

Le Directeur général

Maisons-Alfort, le 3 octobre 2017

AVIS

de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à l'évaluation d'insecticides anti-moustiques adulticides dont l'utilisation pourrait être autorisée par voie dérogatoire pour faire face à une éventuelle épidémie de fièvre jaune dans les territoires ultra-marins

*L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.
L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.
Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part à l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.
Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).
Ses avis sont publiés sur son site internet.*

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

L'Anses a été saisie le 24 avril 2017 par la Direction générale de la prévention des risques et la Direction générale de la santé afin d'identifier les insecticides anti-moustiques adulticides dont l'utilisation pourrait être autorisée par voie dérogatoire pour faire face à une éventuelle épidémie de fièvre jaune dans les territoires ultra-marins.

En raison de l'épidémie actuelle de fièvre jaune qui touche l'Amérique du Sud, notamment au Brésil, le risque de diffusion aux Antilles, à court-moyen terme, ne peut pas être écarté. Le vecteur principal de la fièvre jaune, présent dans les territoires et départements d'Amérique et à Mayotte, est le moustique *Aedes aegypti*. Il faut également noter qu'*Aedes albopictus* est capable de transmettre le virus de la fièvre jaune, ce qui n'exclut pas la possibilité de transmission de la maladie dans les autres départements d'outre-mer et en Métropole

Pour faire face à toute épidémie de fièvre jaune qui pourrait se produire dans les départements français d'Amérique (DFA) et compte tenu :

- du niveau de résistance avéré des moustiques vecteurs *Aedes aegypti* à la deltaméthrine dans ces territoires,
- de l'absence de vaccination des populations antillaises,
- du niveau élevé de mortalité de cette maladie,
- des recommandations du Haut conseil de la santé publique (HCSP),

une utilisation dérogatoire d'un insecticide anti-moustique adulticide basé sur une substance active autre que la deltaméthrine serait *a priori* nécessaire.

Par ailleurs, d'une part, l'Anses a produit en février dernier l'évaluation de quatre substances actives présentant un intérêt pour la lutte anti-vectorielle (LAV) en réponse à la saisine n° 2016-SA-0132, d'autre part, le malathion a été utilisé par dérogation en 2014 dans un cadre d'épidémie de chikungunya en Guyane.

Aussi, il est demandé à l'Anses de déterminer quels insecticides adulticides, parmi des formulations à base de malathion, bendiocarbe, chlorpyrifos-méthyl, imidaclopride et dinotéfurane, pourraient être utilisés en

pulvérisations intra et péri domiciliaires par voie dérogatoire pour faire face à une épidémie de fièvre jaune dans ces territoires.

Il est également demandé à l'Anses de préciser les conditions dans lesquelles ces insecticides pourraient être utilisés, ainsi que les mesures de gestion de risques à prescrire, pour limiter les risques pour les expositions primaires (applicateurs professionnels), et secondaires (résidents et promeneurs) et pour l'environnement.

2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

En janvier 2017, l'Anses a rendu un avis (Anses, 2017) relatif à la possibilité d'utilisation de produits insecticides adulticides à base de bendiocarbe, du chlorpyrifos-méthyl, de l'imidaclopride et de dinotéfurane pour des usages péri-domiciliaires. Cet avis comprend d'une part des éléments sur l'efficacité de ces substances actives, d'autre part une évaluation des risques pour l'opérateur, les résidents et l'environnement, et les compare à ceux associés aux mêmes usages de la deltaméthrine. Le travail présenté ici reprend les résultats présentés dans l'avis de l'Anses en janvier 2017, en ajoutant les évaluations de risques liés à la substance active malathion.

Compte tenu du délai imparti pour la réalisation de cet avis, l'évaluation quantitative du risque a été réalisée en se focalisant sur les usages péri-domiciliaires. L'évaluation quantitative du risque pour des usages intra-domiciliaires a été réalisée pour l'opérateur uniquement. Pour les résidents et pour l'environnement, une analyse de l'opportunité et de la faisabilité des évaluations de risque pour des usages intra-domiciliaires a été menée.

Démarche suivie des travaux d'expertise

L'Anses a fondé ses travaux d'expertise sur la base des données qu'elle a collectées dans :

- les rapports d'évaluation des substances actives bendiocarbe, deltaméthrine, dinotéfurane et imidaclopride pour leur approbation en tant que substance active biocide ;
- les rapports d'évaluation des substances actives chlorpyrifos-méthyl et malathion pour leur approbation en tant que substance active phytopharmaceutique ;
- des travaux de l'Organisation Mondiale pour la santé (OMS) relatifs aux doses d'application recommandées dans le cadre de la LAV
- des travaux de l'OMS relatifs à la réévaluation de produits à base de malathion pour la lutte anti-vectorielle ;
- l'avis de l'Anses de janvier 2017 relatif à l'évaluation de substances actives présentant un intérêt pour la lutte anti-vectorielle;
- l'avis de l'Anses du 14 mars 2014 relatif aux substances actives biocides pouvant être utilisées dans le cadre de la prévention d'une épidémie de chikungunya en Guyane. En effet, en mars 2014, l'Anses avait rendu un avis relatif aux substances actives biocides pouvant être utilisées dans le cadre de la prévention d'une épidémie de chikungunya en Guyane. Cet avis présentait en particulier l'évaluation de l'efficacité et des risques pour la deltaméthrine en association avec le pypéronyl byutoxyde, le fénithrothion et le malathion, ces substances ayant toutes déjà été utilisées pour des usages de lutte anti-vectorielle. Dans le cadre de cet avis, les risques liés aux usages intra-domiciliaires et péri-domiciliaires étaient évalués. L'évaluation avait montré que des risques pour la santé humaine et l'environnement liés à l'usage de substances alternatives à la deltaméthrine ne pouvaient pas être exclus. Ainsi, un ensemble de mesures de gestion à mettre en place était préconisé si un usage de ces substances devait être envisagé.

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) » et a été réalisée par la Direction de l'évaluation des produits réglementés (DEPR) de l'Anses, avec l'appui d'un expert rapporteur.

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 rendues publiques *via* le site internet de l'Anses (www.anses.fr).

Après consultation du Comité d'experts spécialisé « substances et produits biocides », réuni le 14 septembre 2017, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail émet l'avis suivant.

3. SYNTHÈSE DES RESULTATS

3.1. STATUT DES SUBSTANCES ACTIVES AU REGARD DES CADRES RÉGLEMENTAIRES EXISTANTS

Le statut des substances active au regard des réglementations biocide (Règlement (UE) n°528/2012) et phytopharmaceutique (Règlement (CE) n°1107/2009) est donné dans le tableau ci-dessous. Sont également indiquées les doses d'application vérifiées ou estimées pour des applications de LAV en usage péri-domiciliaires, ainsi que la disponibilité de produits pour la LAV.

Tableau 1 : statut réglementaire des substances actives étudiées et données relatives à leur utilisation pour la lutte anti-vectorielle

	Approbation de la substance au niveau européen	Utilisation possible en LAV		
		Usage LAV connu	Dose (g/ha)	Disponibilité de produits Démonstration de l'efficacité
Deltaméthrine	biocide et phytopharmaceutique	oui	1	Produits de LAV disponibles en France. Efficacité vérifiée dans le dossier d'AMM
Bendiocarbe	biocide	oui	10	Pas de produit de LAV disponible Efficacité de formulations utilisées pour d'autres usages biocides vérifiée par des essais terrain (source : Anses 2017)
Chlorpyrifos-méthyl	phytopharmaceutique	non	40	Pas de produit de LAV disponible Efficacité de formulations utilisées pour des usages phytopharmaceutiques vérifiée (source : Anses 2017)
Dinotéfurane	biocide	non	400	Pas de produit de LAV disponible Pas de produit compatible avec un usage LAV en Europe (source : Anses 2017)
Imidaclopride	biocide et phytopharmaceutique	non	40	Pas de produit de LAV Efficacité de formulations utilisées pour des usages phytopharmaceutiques en cours de tests.
Malathion	Phytopharmaceutique Le malathion est désormais interdit pour tout usage biocide en Europe, la substance active n'ayant pas été approuvée au niveau européen	oui	112 à 600	Produits de LAV disponibles, recommandés par l'OMS, non autorisés en France (la dérogation autorisant de façon temporaire le malathion pour des usages de LAV en Guyane ayant été suspendue le 31 mars 2015) Evaluation par l'OMS de l'efficacité des produits.

3.2. IMPACT SUR SANTE HUMAINE

3.2.1. Définition des valeurs de référence pour chaque substance

Les substances actives sélectionnées dans la saisine étant approuvées dans le cadre de la réglementation européenne des produits biocides et/ou de la réglementation européenne des produits phytopharmaceutiques, les valeurs de références retenues sont celles qui ont été définies dans les dossiers européens¹.

¹ Pour la deltaméthrine et l'imidaclopride qui sont approuvées selon les deux réglementations, les valeurs de référence communes sont identiques dans les deux dossiers. Pour l'imidaclopride, les valeurs de référence pour l'évaluation du risque alimentaire n'étant pas disponibles dans le dossier biocide, ce sont les valeurs présentes dans le dossier phytopharmaceutique qui ont été retenues.

Prise en compte de l'absorption cutanée

L'absorption d'une substance active au travers de la peau, en plus des propriétés chimiques de la substance, est grandement influencée par les autres substances de la formulation dans laquelle elle se trouve et par sa concentration dans ce mélange.

Les données d'absorption cutanée présentées ci-dessous proviennent des dossiers européens d'inscription des substances actives. Elles ont été construites à partir d'études sur la substance active à des concentrations couvrant les dilutions d'application et dans un solvant aqueux excepté pour la deltaméthrine pour laquelle des tests ont été réalisés avec des solvants aqueux et organiques. Ces valeurs ne sont pas forcément adaptées à la formulation et aux dilutions notamment dans le cas de dilutions dans un solvant organique. Il sera donc nécessaire de réaliser des études d'absorption cutanée sur les produits contenant les substances actives et sur les bouillies après dilution afin de confirmer ces valeurs.

Tableau 2 : Valeurs de référence pour la deltaméthrine (source : rapport d'évaluation européen de la deltaméthrine en tant que substance active biocide, mai 2011)

	Valeurs de référence (mg/kg pc/j)	Etude support	Facteur de sécurité	Effets critiques
AEL² court-terme	0,0075	Toxicité répétée, 13 semaines, chien (absorption orale de 75 %)	100	Effets neurotoxiques et diminution du gain de poids corporel
AEL moyen-terme	0,0075	Toxicité répétée, 13 semaines, chien (absorption orale de 75 %)	100	
AEL long-terme	0,0075	Toxicité répétée, 1 an, chien (absorption orale de 75 %)	100	
ARfD³	0,01	Toxicité répétée, 1 an, chien	100	
DJA⁴	0,01	Toxicité répétée, 13 semaines, chien	100	
Absorption cutanée	2 % pour les formulations concentrées et diluées (2 types de formulations testées : à base d'eau et à base de solvant organique)			

Tableau 3 : valeurs de référence pour le bendiocarbe (sources : rapport d'évaluation européen, septembre 2011, Anses 2014a)

	Valeurs de référence (mg/kg pc/j)	Etude support	Facteur de sécurité	Effets critiques
AEL court-terme (voies orale et cutanée)	0,01	Toxicité répétée, 112 jours, chien (absorption orale de 100 %)	100	Inhibition de l'activité cholinestérase au niveau des globules rouges et du cerveau
AEL court-terme (inhalation)	0,006	Toxicité répétée, 13 semaines, rat (absorption orale de 100 %)	100	
AEL moyen-terme (voies orale et cutanée)	0,01	Toxicité répétée, 112 jours, chien (absorption orale de 100 %)	100	
AEL moyen-terme (inhalation)	0,006	Toxicité répétée, 13 semaines, rat (absorption orale de 100 %)	100	

² (Acceptable Exposure Level ou niveau acceptable d'exposition) : quantité maximale de substance active à laquelle un humain peut être exposé quotidiennement, sans effet dangereux pour sa santé.

³ (Acute reference dose) : dose de référence aiguë.

⁴ Dose journalière admissible.

AEL long-terme (voies orale et cutanée)	0,0065	Toxicité répétée, 2 ans, chien (absorption orale de 100 %)	100
AEL long-terme (inhalation)	0,003	Toxicité répétée, 13 semaines, rat (absorption orale de 100 %)	200
ARfD	0,01	Toxicité répétée, 112 jours, chien	100
DJA	0,004	<i>JMPR⁵, 1984 (étude support non renseignée)</i>	
Absorption cutanée	5 % pour les formulations concentrées et diluées (formulation testée à base d'eau)		

Tableau 4 : valeurs de référence pour le chlorpyriphos-méthyl (source rapport d'évaluation européen du chlorpyriphos-méthyl en tant que substance active phytopharmaceutique, juin 2015)

	Valeurs de référence (mg/kg pc/j)	Etude support	Facteur de sécurité	Effets critiques
AOEL⁶	0,01	Toxicité répétée, 90 jours, chien (absorption orale de 100 %)	100	Inhibition de l'activité cholinestérase au niveau du cerveau
ARfD	0,1	Etude neurocomportementale et inhibition de la cholinestérase (cerveau), rat	100	
DJA	0,01	Toxicité répétée, 1 an, chien	100	
Absorption cutanée	1 % (lecture croisée avec le chlorpyriphos – substance active testée)			

Tableau 5 : valeurs de référence pour le dinotéfurane (source : rapport d'évaluation européen du dinotéfurane en tant que substance active biocide, juin 2014)

	Valeurs de référence (mg/kg pc/j)	Etude support	Facteur de sécurité	Effets critiques
AEL court-terme	1,75	Etude du développement, rat (absorption orale de 100 %)	100	Diminution du gain de poids corporel et de la consommation de nourriture
AEL moyen-terme	1,75	Etude du développement, rat (absorption orale de 100 %)	100	
AEL long-terme	0,22	Toxicité répétée, 1 an, chien (absorption orale de 100 %)	100	
ARfD	1,75	Etude du développement, rat	100	
DJA	0,22	Toxicité répétée, 1 an, chien	100	
Absorption cutanée	36 % pour 0,03 % de substance active 28 % pour 0,3 % de substance active 10 % pour 3 % de substance active (Formulations testées à base d'eau)			

⁵ Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues : réunion conjointe entre la FAO et l'OMS sur les résidus de pesticides.

⁶ Acceptable Occupational Exposure Level ou niveau acceptable d'exposition pour le professionnel est la quantité maximale de substance active à laquelle un professionnel peut être exposé quotidiennement, sans effet dangereux pour sa santé.

Tableau 6 : valeurs de référence pour l'imidaclopride (sources : rapport d'évaluation européen de l'imidaclopride en tant que substance active biocides, février 2011 et rapport d'évaluation européen de l'imidaclopride en tant que substance active phytopharmaceutique, juin 2008)

	Valeurs de référence (mg/kg pc/j)	Etude support	Facteur de sécurité	Effets critiques
AEL court-terme	0,4	Etude de neurotoxicité, rat (absorption orale de 100 %)	100	Diminution du gain de poids corporel et de la consommation de nourriture
AEL moyen-terme	0,2	Etude fertilité, 2 générations, rat (absorption orale de 100 %)	100	
AEL long-terme	0,06	Toxicité répétée, 2 ans, rat (absorption orale de 100 %)	100	
ARfD	0,08	Toxicité répétée, 90 jours, chien (absorption orale de 100%)	100	
DJA	0,06	Toxicité répétée, 2 ans, rat (absorption orale de 100 %)	100	
Absorption cutanée	1 % pour la formulation concentrée (20 % substance active) 8 % pour la formulation diluée (0,07 % de substance active) (Formulations testées à base d'eau)			

Tableau 7 : Valeurs toxicologiques de référence pour le malathion (source avis ANSES 2014)

Evaluation du risque	Valeurs de référence (mg/kg pc/j)	Etude support	Facteur de sécurité	Effet critique
AOEL ⁷	0,03	Etude rat (90 jours ; orale)	1000*	Inhibition de l'activité de l'acétylcholinestérase
DJA ⁸	0,03	Etude rat (24 mois ; orale)	1000*	
ARfD ⁹	0,3	Etude lapin (tératogenecité ; orale)	100	Résorption
ARfD	1,5	Données humaines	10**	Aucun effet
Absorption cutanée	15% (solution concentrée)			

* En plus du facteur par défaut de 100, un facteur de sécurité additionnel de 10 a été ajouté pour tenir compte des incertitudes liées à la teneur en isomalathion entre les spécifications actuelles (0,2 %) et les teneurs couvertes dans les études de toxicologie (0,03 %).

** Un facteur de 10 lié à la variabilité inter-espèce n'est pas ici nécessaire.

⁷ AOEL : niveau acceptable d'exposition pour l'opérateur.

⁸ DJA : Dose Journalière Admissible.

⁹ ARfD : Dose de référence aiguë.

3.2.2. Evaluation des risques pour la santé humaine

3.2.2.1. Evaluation du risques pour des opérateurs : usage intra-domiciliaires et péri-domiciliaires

Trois phases d'exposition sont identifiées :

- la préparation de l'opération de traitement comprenant le mélange du produit dans un solvant et le chargement du réservoir du véhicule 4x4 ou de l'appareil portable,
- l'application de la solution diluée,
- le nettoyage de l'équipement d'application.

Pour les applications par véhicule, des opérateurs différents peuvent être affectés aux différentes tâches. Pour les applications avec des appareils portatifs, ces trois phases sont généralement réalisées par le même opérateur dans une journée.

Il n'existe pas de modèles européens spécifiques pour l'application d'insecticides pour des usages de luttés anti-vectorielle. Les données disponibles dans le guide BHHM de l'ECHA (ECHA 2015) couvrent des applications intra-domiciliaires avec un matériel de nébulisation portable. Les usages intra-domiciliaires avec un matériel de nébulisation portable représentent un pire cas par rapport aux applications péri-domiciliaires, qu'elles soient faites avec un appareil portable ou à l'aide d'un véhicule 4x4. En effet, à l'intérieur de l'habitat le nuage créé lors de la nébulisation peut facilement revenir sur l'opérateur induisant une plus forte exposition, alors qu'en extérieur le nuage créé est plus dispersé.

L'évaluation du risque pour l'opérateur lors de l'application est donc réalisée pour des usages intra-domiciliaires, qui représentent la situation la plus exposante, les risques évalués pour l'application péri-domiciliaire étant par conséquent au plus équivalents à ceux estimés pour les applications intra-domiciliaires.

Quel que soit le mode d'application, les doses d'applications considérées pour l'évaluation des risques sont les suivantes :

Tableau 8 : Doses d'application, types de formulations et concentrations des dilutions pour chaque substance active.

	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyrifos -méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Dose d'application (g s.a./ha)	1	10	40	400	40	112
Formulation et concentration de s.a. dans le produit*	Liquide à 2 % p/v	Poudre à 80 % p/p	Liquide à 22,5 % p/v	Liquide à 20 % p/v	Liquide à 20 % p/v	Liquide 5,6% p/v
Dilution max (% m/m) (5 L/ha dans l'eau)	0,02 %	0,20 %	0,80%	8,00 %	0,80 %	2,24%
Dilution min (% m/m) (0,5 L/ha dans solvant organique)	0,29 %	2,86 %	11,43%	-**	11,43 %	-**

* pour chacune des substances, la formulation retenue a été choisie parmi des formulations commerciales existantes sur le marché en usage biocide ou phytopharmaceutique et susceptibles de pouvoir être utilisées dans des nébulisations ULV.

** dilution minimale non atteignable avec le produit disponible

Prise en compte des Equipements de Protection Individuelle (EPI)

Si nécessaire, les EPI sont pris en compte dans l'évaluation sur la base du guide méthodologique de l'ECHA pour l'évaluation des expositions humaines aux produits biocides (BHHM) (ECHA 2015). Les facteurs de protection appliqués sont les suivants :

- Gants répondant aux normes NF EN 374 parties 1, 2 et 3 : liquides 90 % ; solides 95 %,
- Combinaison de protection chimique : catégorie III de type 6 : 90 % ; type 3 ou 4 : 95 %,

- Masque de protection respiratoire : filtre P2 Facteur de Protection Assigné de 10 (FPA 10), filtre P3 Facteur de Protection Assigné de 20 (FPA 20).

3.2.2.1.1. Phase de préparation de l'opération : dilution/chargement

Lors de l'opération de dilution et chargement, l'opérateur peut entrer en contact cutané (principalement les mains) avec le produit pur ou avec la bouillie. Les substances actives ayant une volatilité limitée du fait de leur pression de vapeur et cette opération ne générant pas d'aérosol, l'exposition par inhalation est limitée.

Traitement avec un appareillage monté sur un pick-up

Le réservoir de l'appareillage dépasse les 100 litres et peut donc contenir la bouillie nécessaire pour tous les traitements réalisés au cours d'une journée. Une seule opération de chargement est réalisée dans les locaux des services de LAV.

Le BHHM (ECHA 2015) conseille le modèle EUROPOEM pour évaluer l'exposition lors du chargement du réservoir de traitement sur un tracteur. La manipulation étant similaire à celle pour un pick-up, le modèle EUROPOEM a été utilisé ici. Ce modèle présente des valeurs de contamination différentes en fonction de la formulation. Cette contamination est exprimée en mg de substance active qui arrive par la voie considérée en fonction de la masse de substance active manipulée en kg. Pour le chargement et mélange de poudre, seules les données d'exposition des mains sont disponibles.

Tableau 9: expositions et risques des opérateurs lors du mélange et chargement pour une application à partir d'un pick-up. Un % d'AEL inférieur à 100% indique un risque acceptable

Paramètres	Unités	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyrifos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Absorption cutanée produit concentré	%	2 %	5 %	1 %	10 %	1 %	15 %
Dose efficace	g/ha	1	10	40	400	40	112
Surface traitée	ha	75	75	75	75	75	75
Quantité de s.a. pour le traitement	kg	0.075	0.75	3	30	3	8,4
Formulation	-	liquide	poudre	liquide	liquide	liquide	liquide
Contamination du corps	mg s.a. /kg s.a.	1,95	données non-disponibles	1,95	1,95	1,95	1,95
Contamination des mains	mg s.a. /kg s.a.	8	10,2	8	8	8	8
Exposition par inhalation	mg s.a. /kg s.a.	0,003	0,66	0,003	0,003	0,003	0,003
AEL long terme	mg s.a. /kg bw	0,0075	Cutanée : 0,0065	0,005	0,22	0,06	0,03
			Inhalation : 0,003				
Niveau 1 : sans EPI							
Dose interne	mg s.a. /kg bw	5,05 x 10 ⁻⁴	Cutanée : 1,28 x 10 ⁻²	1,03 x 10 ⁻²	9,98 x 10 ⁻¹	7,99 x 10 ⁻²	2,09 x 10 ⁻¹
			Inhalation : 1,65 x 10 ⁻²				
%AEL	%	7 %	Cutanée : 196 %	205 %	454 %	133 %	698 %
			Inhalation : 550 %				

Paramètres	Unités	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Niveau 2a: gants + combinaison type 6							
Dose interne	mg s.a. /kg bw	5,73 x 10 ⁻⁵	Cutanée : 1,28 x 10 ⁻³	1,30 x 10 ⁻³	1,03 x 10 ⁻¹	8,26 x 10 ⁻³	3,21 x 10 ⁻³
			Inhalation : 1,65 x 10 ⁻²				
%AEL	%	1 %	Cutanée : 20 %	26 %	47 %	14 %	11%
			Inhalation : 550 %				
Niveau 2b : gants + combinaison type 6 +masque FPA 10							
Dose interne	mg s.a. /kg bw	5,05 x 10 ⁻⁵	Cutanée : 1,28 x 10 ⁻⁰³	1,03 x 10 ⁻³	9,98 x 10 ⁻²	7,99 x 10 ⁻³	2,83 x 10 ⁻³
			Inhalation : 1,65 x 10 ⁻³				
%AEL	%	1 %	Cutanée : 20 %	21 %	45 %	13 %	9%
			Inhalation : 55 %				

Comme le montre le Tableau 9, selon les hypothèses choisies, lors du chargement d'un véhicule pick-up :

- le risque lié à l'exposition à la deltaméthrine est acceptable sans EPI,
- le risque lié à l'exposition à l'imidaclopride, au dinotéfurane, au chlorpyriphos-méthyl ou au malathion est acceptable considérant le port de gants de protection chimique et d'une combinaison catégorie III de type 6,
- le risque lié à l'exposition au bendiocarbe est acceptable considérant le port de gants de protection chimique et d'une combinaison catégorie III de type 6 et le port d'un masque de FPA 10 à cause de la forme poudre.

Traitement avec appareillage à dos

Une opération de traitement avec appareillage à dos dure entre 1 et 2h. Un opérateur est en capacité de traiter 1 hectare en 5 min, donc jusqu'à 24 hectares en une opération.

Les réservoirs sont de taille limitée (moins de 5 litres). L'ensemble de la bouillie nécessaire est préparée dans les locaux des services de LAV. Il peut être nécessaire de réaliser plusieurs opérations de chargement au cours de l'opération de traitement dont certaines sur le terrain.

Pour l'évaluation des expositions lors du remplissage d'appareils à dos, le modèle BBA¹⁰ développé pour les usages agricoles notamment pour les pulvérisations avec du matériel portable a été utilisé. Ce modèle présente des valeurs de contamination différentes en fonction de la formulation. Cette contamination est exprimée en mg de produit qui arrive par la voie considérée en fonction de la masse de substance active manipulée en kg.

Tableau 10 : expositions et risques des opérateurs lors du mélange et chargement pour une application par nébulisation avec un appareil portable. Un % d'AEL inférieur à 100% indique un risque acceptable

Paramètres	Unités	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Absorption cutanée produit concentré	%	2 %	5 %	1 %	10 %	1 %	15 %
Dose efficace	g/ha	1	10	40	400	40	112
Surface traitée	ha	24	24	24	24	24	24

¹⁰ BBA German Operator Exposure Model ; modèle allemand pour la protection des opérateurs (Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 277, Berlin 1992, en allemand).

Paramètres	Unités	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Quantité de s.a. nécessaire pour le traitement	kg	0,024	0,24	0,96	9,6	0,96	2,7
Formulation	-	liquide	poudre	liquide	liquide	liquide	liquide
Contamination des mains	mg /kg s.a.	205	50	205	205	205	205
Exposition par inhalation	mg /kg s.a.	0,05	0,8	0,05	0,05	0,05	0,05
AEL long terme	mg s.a. /kg bw	0,0075	Cutanée : 0,0065 Inhalation : 0,003	0,005	0,22	0,06	0,03
Niveau 1 : sans EPI							
Dose interne	mg s.a. /kg bw	3,32 x 10 ⁻⁵	Cutanée : 8,00 x 10 ⁻³ Inhalation : 2,56 x 10 ⁻³	4,68 x 10 ⁻³	6,58 x 10 ⁻¹	6,72 x 10 ⁻³	7,73 X 10 ⁻²
%AEL	%	0,44 %	Cutanée : 123 % Inhalation : 85 %	94 %	299%	11%	258%
Niveau 2 : avec gants							
Dose interne	mg s.a. /kg bw	3,68 x 10 ⁻⁶	Cutanée : 8,00 x 10 ⁻⁴ Inhalation : 2,56 x 10 ⁻³	3,06 x 10 ⁻³	6,72 x 10 ⁻²	8,16 x 10 ⁻⁴	7,84 x 10 ⁻³
%AEL	%	0,049 %	Cutanée : 12 % Inhalation : 8 5%	61 %	31 %	1,36 %	26%

Selon les hypothèses choisies, lors du chargement d'un appareil de nébulisation portable :

- le risque lié à l'exposition à l'imidaclopride, au chlorpyriphos-méthyl ou à la deltaméthrine est acceptable sans EPI.
- le risque lié à l'exposition au dinotéfurane ou au bendiocarbe ou au malathion est acceptable considérant le port de gants de protection chimique.

3.2.2.1.2. Phase d'application

Une opération de traitement avec appareillage à dos dure entre 1 et 2h. Durant cette phase, l'opérateur pourra être exposé à la bouillie pendant sa nébulisation. L'exposition se fera donc par contact cutané avec l'aérosol généré et par inhalation des gouttelettes dans l'air.

Deux études sont rapportées dans le guide de l'ECHA. La première, intitulée « misting model 2 », couvre une application par nébulisation à froid en intérieur. La seconde, intitulée « fogging model 3 », couvre une application par nébulisation à chaud en intérieur. Le nombre d'évènements d'application observés dans ces études est faible (8 pour la première étude, 4 pour la seconde) mais donne un premier niveau d'information permettant de savoir si des situations d'application acceptables existent. Des études supplémentaires seront nécessaires pour confirmer ces résultats et appuyer par exemple un dossier de demande d'AMM pour un produit pour ces usages.

Tableau 11 : valeurs d'expositions préconisées par le guide de l'ECHA pour ces modèles :

	Unités	Misting model 2	Fogging model 3
Contamination des mains avec port de gants	mg produit/min	0,2	0,33
Contamination du corps	mg produit/min	21,8	1,13
Concentration en produit dans l'air	mg produit/m ³	70,2	négligeable

L'étude « Misting model 2 » présente des contaminations supérieures, elle est donc retenue dans le cadre d'une approche maximaliste pour évaluer l'exposition aux substances faisant l'objet de la saisine.

Les concentrations d'applications étant variables, il a été réalisé une évaluation des expositions à la dilution la plus forte et une estimation de la concentration maximum acceptable pour l'opérateur.

Tableau 12: expositions et risques des opérateurs lors de l'application par nébulisation en intradomiciliaire avec un appareil portable. Un % d'AEL inférieur à 100% indique un risque acceptable

Substance	Unités	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Absorption cutanée, produit dilué	%	2 %	5 %	1 %	36 %	8 %	15 %
Dose efficace	g/ha	1	10	40	400	40	112
Concentration de pulvérisation	%	0,02 %	0,20 %	0,80%	8,00%	0,80 %	2,24 %
Durée	min	120	120	120	120	120	120
AEL long term	mg s.a. /kg bw	0,0075	Cutanée : 0,0065 Inhalation : 0,003	0,005	0,22	0,06	0,03
Niveau 1 : gants							
Dose interne	mg s.a. /kg bw	9,19 x 10 ⁻⁴	Cutanée : 8,36 x 10 ⁻³ Inhalation : 5,85 x 10 ⁻³	3,01 x 10 ⁻²	2,64	7,69 x 10 ⁻²	3,46 x 10 ⁻¹
%AEL	%	12 %	Cutanée : 129 % Inhalation : 195 %	602 %	1201 %	128 %	1155 %
Niveau 2 a : gants + combinaison type 6							
Dose interne	mg s.a. /kg bw	6,04 x 10 ⁻⁰⁴	Cutanée : 4,76 x 10 ⁻⁴ Inhalation : 5,85 x 10 ⁻³	2,38 x 10 ⁻²	3,71 x 10 ⁻¹	2,64 x 10 ⁻²	8,15 x 10 ⁻²
%AEL	%	8 %	Cutanée : 7 % Inhalation : 195 %	476 %	169 %	44 %	272 %
Niveau 2 b : gants + combinaison type 3-4 + masque FPA 10							
Dose interne	mg s.a. /kg bw	6,88 x 10 ⁻⁰⁵	Cutanée : 4,76 x 10 ⁻⁴ Inhalation : 5,85 x 10 ⁻⁴	2,55 x 10 ⁻³	9,77 x 10 ⁻²	3,99 x 10 ⁻³	1,52 x 10 ⁻²
%AEL	%	1 %	Cutanée : 7 % Inhalation : 20 %	51 %	44 %	7 %	51 %
Concentration max applicable en niveau 3	w/w	2,18 %	1,00 %	1,57 %	18,01 %	12,03 %	4,42%

Selon les hypothèses choisies, lors de l'application par nébulisation :

- le risque lié à l'exposition à la deltaméthrine est acceptable considérant le port de gants de protection chimique,
- le risque lié à l'exposition l'imidaclopride ou au bendiocarbe est acceptable considérant le port de gants de protection chimique et d'une combinaison catégorie III de type 6,
- le risque lié à l'exposition au dinotéfurane, au chlorpyriphos-méthyl ou au malathion est acceptable considérant le port de gants de protection chimique et d'une combinaison catégorie III de type 3 ou 4 et le port d'un masque de FPA 10.

3.2.2.1.3. Phase de nettoyage des appareils

Le nettoyage manuel des appareils de nébulisation portatifs ou celui des appareil montés sur pick-up sont assez similaires. Néanmoins, pour les pick-ups, le nettoyage est plus souvent réalisé par une autre personne que l'opérateur au contraire des appareils portatifs. De plus, de nombreux véhicules sont équipés d'un système de nettoyage automatique.

Le nettoyage manuel consiste en une vidange de l'appareil et en la circulation d'eau dans le système pour le nettoyer. Il n'y a pas de démontage de l'appareil. Les contacts avec la bouillie ou l'eau de rinçage étant très limités sous réserve que les précautions de protection équivalentes à celles prises lors du remplissage soient appliquées, nous n'avons pas considéré cette exposition.

3.2.2.1.4. Exposition combinée mélange chargement et application

L'opérateur pouvant réaliser lui-même le mélange - chargement et l'application, l'évaluation de l'exposition résultant de l'accomplissement de ces deux tâches est présentée ci-dessous.

Tableau 13 : expositions et risques des opérateurs lors du mélange chargement combiné dans une même journée avec l'application par nébulisation

Substance	Unités	Delta-méthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinoté-furane	Imida-clopride	Malathion
Niveau 1 : Mélange chargement pas d'EPI + Application avec gants							
Dose interne mélange chargement	mg s.a. /kg bw	3,32 x 10 ⁻⁵	Cutanée : 8,00 x 10 ⁻³ Inhalation : 2,56 x 10 ⁻³	1,06 x 10 ⁻²	6,58 x 10 ⁻¹	6,72 x 10 ⁻³	7,73 X 10 ⁻²
Dose interne application	mg s.a. /kg bw	9,19 x 10 ⁻⁴	Cutanée : 8,36 x 10 ⁻³ Inhalation : 5,85 x 10 ⁻³	3,01 x 10 ⁻⁰²	2,64 x 10 ⁺⁰⁰	7,69 x 10 ⁻²	3,46 x 10 ⁻¹
Dose interne combinée	mg s.a. /kg bw	9,53 x 10 ⁻⁴	Cutanée : 1,64 x 10 ⁻² Inhalation : 8,41 x 10 ⁻³	3,48 x 10 ⁻²	3,30 x 10 ⁰	8,36 x 10 ⁻²	4,21 x 10 ⁻¹
%AEL	%	13 %	Cutanée : 252 % Inhalation : 280 %	695 %	1500 %	139 %	1412%
Niveau 2 a : Mélange chargement avec gants + Application avec gants et combinaison type 6							
Dose interne mélange chargement	mg s.a. /kg bw	3,68 x 10 ⁻⁶	Cutanée : 8,00 x 10 ⁻⁴ Inhalation : 2,56 x 10 ⁻³	3,06 x 10 ⁻³	6,72 x 10 ⁻²	8,16 x 10 ⁻⁴	7,84 x 10 ⁻³
Dose interne application	mg s.a. /kg bw	6,04 x 10 ⁻⁴	Cutanée : 4,76 x 10 ⁻⁴ Inhalation : 5,85 x 10 ⁻³	2,38 x 10 ⁻²	3,71 x 10 ⁻¹	2,64 x 10 ⁻²	8,15 x 10 ⁻²
Dose interne combinée	mg s.a. /kg bw	6,08 x 10 ⁻⁴	Cutanée : 1,28 x 10 ⁻³ Inhalation : 8,41 x 10 ⁻³	2,68 x 10 ⁻²	4,38 x 10 ⁻¹	2,73 x 10 ⁻²	8,94 x 10 ⁻²
%AEL	%	8 %	Cutanée : 20 % Inhalation : 280%	537 %	199 %	45 %	298%
Niveau 2 b : Mélange chargement avec gants, ajout d'un masque FPA 10 pour le Chlorpyriphos-méthyl + Application avec gants, combinaison type 3-4, masque FPA 10							
Dose interne mélange chargement	mg s.a. /kg bw	3,68 x 10 ⁻⁶	Cutanée : 8,00 x 10 ⁻⁴ Inhalation : 2,56 x 10 ⁻³	4,68 x 10 ⁻⁴	6,72 x 10 ⁻²	8,16 x 10 ⁻⁴	7,84 x 10 ⁻³
Dose interne application	mg s.a. /kg bw	6,88 x 10 ⁻⁵	Cutanée : 4,76 x 10 ⁻⁴ Inhalation : 5,85 x 10 ⁻⁴	2,55 x 10 ⁻³	9,77 x 10 ⁻²	3,99 x 10 ⁻³	1,52 x 10 ⁻²
Dose interne combinée	mg s.a. /kg bw	7,25 x 10 ⁻⁵	Cutanée : 1,06 x 10 ⁻³ Inhalation : 3,15 x 10 ⁻³	3,01 x 10 ⁻³	1,65 x 10 ⁻¹	4,81 x 10 ⁻³	1,72 x 10 ⁻²
%AEL	%	1 %	Cutanée : 16 % Inhalation : 105 %	60 %	75 %	8 %	57%

Selon les hypothèses choisies, pour le bendiocarbe, le risque lié à l'exposition suite aux opérations de mélange et chargement puis d'application réalisées dans une même journée est inacceptable considérant les EPI nécessaires pour ces tâches individuellement. Un affinement a été réalisé en considérant le port de masque P2 (FPA 10) durant la phase de mélange chargement.

Tableau 14 : expositions et risques des opérateurs lors du mélange chargement combiné avec l'application par nébulisation : affinement de l'évaluation pour le bendiocarbe

Substance	Unités	Bendiocarbe
Niveau 2 c : Mélange chargement avec gants, ajout d'un masque FPA 10 + application avec gants, combinaison type 3-4, masque FPA 10		
Dose interne mélange chargement	mg s.a. /kg bw	Cutanée : $8,00 \times 10^{-4}$
		Inhalation : $2,56 \times 10^{-4}$
Dose interne application	mg s.a. /kg bw	Cutanée : $4,76 \times 10^{-4}$
		Inhalation : $5,85 \times 10^{-4}$
Dose interne combinée	mg s.a. /kg bw	Cutanée : $1,06 \times 10^{-3}$
		Inhalation : $8,41 \times 10^{-4}$
%AEL	%	Cutanée : 16 %
		Inhalation : 28 %

Selon les hypothèses choisies, lors du mélange-chargement combiné dans une même journée avec l'application par nébulisation :

- le risque lié à l'exposition à la deltaméthrine est acceptable considérant le port de gants de protection chimique pendant l'application,
- le risque lié à l'exposition à l'imidaclopride est acceptable considérant pour le mélange et chargement, le port de gants et pour l'application, le port de gants de protection chimique et d'une combinaison catégorie III de type 6,
- le risque lié à l'exposition au dinotéfurane et au malathion est acceptable considérant pour le mélange et chargement le port de gants et pour l'application le port de gants de protection chimique et d'une combinaison catégorie III de type 3 ou 4 et d'un masque FPA 10,
- le risque lié à l'exposition au bendiocarbe ou au chlorpyrifos-méthyl est acceptable considérant pour le mélange et chargement, le port de gants et d'un masque FPA 10 et pour l'application, le port de gants de protection chimique et d'une combinaison catégorie III de type 3 ou 4 et d'un masque FPA 10.

3.2.2.2. Exposition et risque de la population générale : usages péri-domiciliaires

Les habitants présents lors des traitements peuvent être directement exposés à des dérives du panache mais aussi au panache pendant le traitement.

Afin de limiter les expositions, les opérateurs ont pour consigne de couper les nébuliseurs en cas de présence de personnes dans les rues.

Il n'existe pas d'approche harmonisée au niveau européen pour ce scénario. De la même façon, il n'existe pas d'étude expérimentale d'exposition des passants lors des traitements de LAV. Dans Peterson *et al* (2006), une extrapolation est présentée à partir d'études d'exposition de travailleurs agricoles guidant les applications de pulvérisation. Cette étude porte sur des opérateurs assistant des opérations de pulvérisation et exposés aux dérives de pulvérisation. L'article ne détaille pas exactement comment cette extrapolation est réalisée et ne peut donc pas être reproduite.

En l'absence de démarche à reproduire, une évaluation simplifiée de l'exposition de la population présente lors des traitements est proposée prenant en compte le dépôt de la substance sur la peau des personnes exposées et l'inhalation de l'aérosol. Ainsi, selon l'évaluation simplifiée menée, il est considéré qu'un enfant en bas-âge (1 à 2 ans) sera exposé au nuage de la même façon que l'adulte l'accompagnant. Le temps de contact avec le nuage sera identique ainsi que la concentration en substance active dans le nuage. Cette approche très simplifiée ne prend pas en compte notamment le comportement de mise de la main à la bouche de l'enfant, qui peut être une voie de contamination importante pour les enfants. Cela pourra être fait lors des prochaines mises à jour des scénarios LAV.

Pour estimer la concentration en substance active dans le nuage, il est considéré que la quantité de substance active appliquée en fonction de la dose efficace est répartie de façon homogène sur une hauteur de 2 m.

Exposition cutanée au panache

Comme dans une précédente saisine instruite par l'Anses (Anses 2014b), en approche pire cas, il est considéré qu'un adulte peut être exposé par contact cutané à la dose d'application recommandée sur 1 m². Ainsi, l'enfant ayant une surface corporelle plus faible, son exposition externe cutanée par contact avec l'aérosol sera plus faible que celle d'un adulte. Le dépôt de l'aérosol sur la peau de l'enfant est donc calculé par rapport à la différence de surface corporelle totale entre l'adulte et l'enfant. Dans le cadre de l'évaluation réalisée ici, l'exposition pour les enfants sera calculée pour la tranche d'âge de 1 à 2 ans. Si cette estimation de l'exposition est très simpliste, elle permet néanmoins de comparer les ratios de risques entre les différentes substances étudiées.

Tableau 15 : exposition cutanée et risque pour population générale. Un % d'AEL inférieur à 100% indique un risque acceptable

Paramètres	Unités	Delta-méthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Dose appliquée g/ha	g/ha	1	10	40	400	40	112
absorption cutanée	%	2 %	5 %	1 %	36 %	8 %	15
Adultes							
Exposition interne	mg	2,00 x 10 ⁻³	5,00 x 10 ⁻²	4,00 x 10 ⁻²	14.4	3,20 x 10 ⁻³	1,68
Surface corporelle	m ²	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66
Poids corporel adulte	kg	60	60	60	60	60	60
Dose interne	mg/kg	3,33 x 10 ⁻⁵	8,33 x 10 ⁻⁴	6,67 x 10 ⁻⁴	2,40 x 10 ⁻¹	5,33 x 10 ⁻³	2,80 x 10 ⁻²
AEL court terme	mg/kg	0,01	0,01	0,01	1,75	0,40	0,03
%AEL	%	0,44 %	8 %	7 %	14 %	1 %	93 %
Enfants (1 à 2 ans)							
Exposition interne	mg	5,78 x 10 ⁻⁴	1,45 x 10 ⁻²	1,16 x 10 ⁻²	4,16	9,25 x 10 ⁻²	4,86 x 10 ⁻¹
Surface corporelle	m ²	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
Poids corporel adulte	kg	10	10	10	10	10	10
Dose interne	mg/kg	5,78 x 10 ⁻⁵	1,45 x 10 ⁻³	1,16 x 10 ⁻³	4,16 x 10 ⁻¹	9,25 x 10 ⁻²	4,86 x 10 ⁻²
AEL court terme	mg/kg	0,01	0,01	0,01	1,75	0,40	0,03
%AEL	%	0,77 %	14 %	12 %	24 %	2,3 %	162%

Exposition par inhalation

Une exposition de 10 minutes est ici considérée pour la voie par inhalation, comme dans le scénario utilisé dans le rapport de l'Afsset (Afsset 2007) , en considérant que la dose appliquée pour 1 m² au sol est répartie dans un volume de 2 m³ autour de la personne.

Tableau 16 : exposition par inhalation et risque pour population générale. Un % d'AEL inférieur à 100% indique un risque acceptable

Paramètres	Unités	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Concentration dans l'air	mg/m ³	0,05	0,5	2	20	2	112
Durée d'exposition	min	10	10	10	10	10	10
AEL court terme	mg/kg	0,01	0,006	0,01	1,75	0,40	0,03
Adultes							
Taux d'inhalation	m ³ /min	2,08 x 10 ⁻²					
poids corporel	kg	60	60	60	60	60	60
Dose interne inhalée	mg/kg/j	1,74 x 10 ⁻⁴	1,74 x 10 ⁻³	6,94 x 10 ⁻³	6,94 x 10 ⁻²	6,94 x 10 ⁻³	1,94 x 10 ⁻²
%AEL		2 %	29 %	69 %	4 %	2 %	65%
Enfants (1 à 2 ans)							
Taux d'inhalation	m ³ /min	2,10 x 10 ⁻²					
Poids corporel	kg	10	10	10	10	10	10
Dose interne inhalée	mg/kg/j	1,05 x 10 ⁻³	1,05 x 10 ⁻²	4,20 x 10 ⁻²	4,20 x 10 ⁻¹	4,20 x 10 ⁻²	1,07 x 10 ⁻¹
%AEL		14 %	175 %	420 %	24 %	11 %	356

Exposition combiné cutanée et par inhalation

Tableau 17 : exposition combinée (cutanée et par inhalation) et risque pour population générale

Paramètres	Unités	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Adultes							
%AEL combiné	%	3 %	37 %	76 %	18 %	3 %	158 %
Enfants							
%AEL combiné	%	15 %	189 %	432 %	48 %	13 %	518 %

Selon des hypothèses retenues, en cas d'exposition des personnes au voisinage du panache lors d'application péri-domiciliaires, :

- les risques sont acceptables pour la deltaméthrine, le dinotéfurane et l'imidaclopride
- les risques liés à l'exposition au bendiocarbe sont inacceptables pour l'enfant mais acceptables pour l'adulte
- les risques sont inacceptables pour l'adulte et l'enfant pour le chlorpyriphos-méthyl et le malathion.

L'évaluation ne couvre pas les expositions suite aux dépôts des substances actives dans les espaces traités comme, par exemple, l'exposition d'un enfant jouant dans un jardin après traitement ainsi que les différences de comportement comme la mise de la main à la bouche plus fréquente chez les enfants que chez les adultes.

3.2.3. Evaluation des risques via l'alimentation

Seule une pulvérisation péri-domiciliaire en usage professionnel a été prise en compte dans le cadre de cette saisine. Compte tenu du moyen de lutte considéré, seuls les jardins avoisinant le traitement sont susceptibles d'être contaminés par les substances actives étudiées. Par conséquent, une évaluation du risque pour le consommateur lié à la présence de résidus a été réalisée en croisant les données de consommation avec des données de contamination. Les niveaux d'exposition ainsi obtenus ont été comparés aux valeurs toxicologiques de référence de chacune des substances actives étudiées.

Actuellement, aucune donnée concernant la présence de résidus des substances faisant l'objet de cette saisine dans les denrées alimentaires résultant d'un traitement de LAV et aux conditions d'emploi considérées ici n'est disponible. A défaut, une approche théorique maximaliste, détaillée ci-dessous, a été réalisée.

- L'exposition aiguë de l'adulte et de l'enfant, qui se réfère à la quantité maximale de substance ingérée par un consommateur pendant une courte période, a été confrontée à la dose de référence aiguë (ARfD) de chacune des substances actives étudiées de manière à estimer le risque lié à la contamination de chaque denrée.
- Le niveau de résidus dans les différentes denrées a été estimé selon une approche théorique et maximaliste, se basant sur les doses d'emploi par hectare et les rendements respectifs des différentes cultures en kg/ha dans chacun des départements considérés.
- Les données de consommation ont été estimées à l'aide des résultats des bilans des enquêtes de consommation ESCAL (Merle 2008) et CALBAS (Cornely et Théodore 2007).

Le niveau de résidus attendu sur une denrée donnée peut être directement relié à la dose appliquée, au nombre d'applications, ainsi qu'au délai entre l'application et la consommation. Or, en l'absence d'essais permettant de mesurer ce niveau de résidus après une application dans les conditions définies dans la section 3.2.2. , dans un 1^{er} temps, une approche comparative des substances en prenant la deltaméthrine comme référence a été réalisée.

Ainsi, une comparaison entre des indicateurs d'exposition théorique a été établie en considérant comme indicateur le rapport dose appliquée (g sa/ha) sur ARfD de chaque substance rapporté à celui de la deltaméthrine.

Tableau 18: Indicateurs d'exposition théoriques calculés pour chacune des substances actives

Substances	Indicateurs d'exposition
Deltaméthrine	1
Bendiocarbe	10
Chlorpyrifos-méthyl	4
Dinotéfurane	2,3
Imidaclopride	5
Malathion	3,7

Ainsi,

- L'indicateur d'exposition théorique lié à l'application du bendiocarbe est 10 fois supérieur à celui calculé pour la deltaméthrine.
- Pour le malathion, le chlorpyrifos-méthyl et l'imidaclopride, les indicateurs d'exposition calculés sont approximativement de 4 à 5 fois supérieurs à ceux de la deltaméthrine.
- Enfin, le dinotéfurane présente un indicateur d'exposition environ 2 fois plus élevé que celui de la deltaméthrine.

Dans un 2^e temps, afin d'affiner cette approche comparative, le nombre et le type de denrées contribuant le plus fortement à l'exposition des consommateurs sont détaillés dans les tableaux ci-dessous pour chaque DFA. La méthodologie employée a été décrite dans l'avis de l'Anses (Anses, 2017)

Tableau 19 : Nombre de denrées pour lequel un risque aigu ne peut pas être exclu

	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Martinique	5	16	10	10	10	11
Guadeloupe	0	6	2	1	2	2
Guyane	0	8	4	2	5	4

Compte tenu du calcul et des hypothèses maximalistes prises en compte, les niveaux d'exposition théoriques obtenus sont à relativiser. Cette méthodologie souffre de plusieurs limites qui ont été détaillées dans l'avis de l'Anses (Anses, janvier 2017). En particulier,

- Elle ne tient pas compte de la systémie des substances, ni de délais avant récolte Elle tient compte de rendements agricoles alors que les cultures traitées seront ici des potagers privés.
- Elle ne tient pas compte des métabolites de substances, ni du risque cumulé lié à l'ingestion de plusieurs denrées contaminées par la même substance.
- Elle ne tient pas compte de l'exposition liée aux autres usages des substances actives, en particulier les usages agricoles. Cependant, les scénarios mis en œuvre représentent un pire cas théorique associé à des mesures de gestion et sont ainsi très conservateurs.

Ces limites sont applicables pour toutes les substances considérées. C'est pourquoi, il est plus opportun d'analyser les résultats en comparant les résultats pour les différentes substances et non en prenant en compte les concentrations absolues estimées dans les denrées. Par comparaison à la deltaméthrine, l'ensemble des substances considérées conduisent à une exposition des consommateurs supérieure pour les départements français des Antilles.

3.3. IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT DE L'USAGE DES SUBSTANCES ACTIVES EN PULVERISATION PERI-DOMICILIAIRE

3.3.1. Définition des paramètres nécessaires à l'évaluation et des valeurs de référence pour chaque substance

Les évaluations de l'exposition environnementale ont été réalisées en prenant en compte les caractéristiques physico-chimiques et de comportement dans l'environnement de chaque substance active issues des dossiers réglementaires biocides ou phytosanitaires. Le détail de ces caractéristiques est présenté dans le Tableau 20.

Tableau 20 : Paramètres physico-chimiques et de comportement environnemental des substances évaluées

Paramètre	Unité	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Dose à l'hectare	[kg.ha-1]	0,001	0,01	0,04	0,4	0,04	0,112
Log Kow	[-]	4,6	1,7	4	-0,64	0,57	2,75
Koc	[L.kg-1]	4,08 x 10 ⁵	3,34 x 10 ¹	4,59 x 10 ³	3,14 x 10 ¹	2,30 x 10 ²	217
DT50 sol (20°C)	[d]	25,3	3,4	4,0	10,2	71,2	0,17
k sol (20°C)	[d-1]	2,74 x 10 ⁻²	2,02 x 10 ⁻¹	1,73 x 10 ⁻¹	6,80 x 10 ⁻²	9,73 x 10 ⁻³	4,08
DT50 eau de surface (20°C) (dissipation + dégradation)	[d]	141	9	3,6	49,2	42,2	0,416
k eau de surface	[d ⁻¹]	4,92 x 10 ⁻³	7,70 x 10 ⁻²	1,93 x 10 ⁻¹	1,41 x 10 ⁻²	1,64 x 10 ⁻²	1,67

DT50 sediment (20°C) (degradation système total)	[d]	141	9	25,4	59	97,5	0,416
k sediment	[d-1]	$4,92 \times 10^{-3}$	$7,70 \times 10^{-2}$	$2,73 \times 10^2$	$1,17 \times 10^{-2}$	$7,11 \times 10^{-3}$	1,67
BCF fish	[L.kg _{wwt} ⁻¹]	$1,40 \times 10^3$	5,56	$1,80 \times 10^3$	$6,80 \times 10^{-2}$	$6,10 \times 10^{-1}$	103
BCF earthworm	[L.kg _{wwt} ⁻¹]	$4,83 \times 10^2$	1,44	$1,09 \times 10^4$	$8,43 \times 10^{-01}$	$8,80 \times 10^{-1}$	7,59
BMF fish	[-]	2	1	1	1	1	1

Les concentrations d'exposition (PEC) seront par la suite comparées aux concentrations environnementales prévisibles sans effet (PNEC) ou dans certains cas aux doses entraînant 50 % de mortalité (DL₅₀). Les valeurs de toxicité retenues pour dériver ces PNEC sont issues principalement des dossiers réglementaires biocides ou phytosanitaires. Certaines données proviennent également de la littérature. Les PNECs ainsi que les DL₅₀ utilisées pour l'évaluation de risque sont présentées dans le Tableau 21.

Une évaluation de l'exposition de la phase sédiment du compartiment aquatique n'a pas été considérée comme pertinente pour le dinotéfurane et le bendiocarbe étant donné le très faible potentiel d'adsorption de ces deux substances.

Les PNEC sol et sédiment, pour être comparables aux PEC calculées dans les scénarios, seront toujours exprimées en mg par kg de matière fraîche (mg/kg pf). Les PNEC vertébrés seront quant à elles exprimées en mg par kg de poids corporel par jour (mg/kg pc/j).

Tableau 21 : Valeurs de références pour l'évaluation des risques pour l'environnement

Paramètre	Unité	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyrihos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
PNEC eau de surface	µg/L	$7,00 \times 10^{-04}$	$9,00 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^{-03}$	$2,54 \times 10^{-01}$	$4,80 \times 10^{-03}$	$6,00 \times 10^{-03}$
PNEC sédiment	mg/kg pf	$6,20 \times 10^{-03}$	Non pertinent	$1,00 \times 10^{-04}$	Non pertinent	$9,50 \times 10^{-01}$	$3,25 \times 10^{-02}$
PNEC sol	mg/kg pf	$7,50 \times 10^{-02}$	$1,67 \times 10^{-1}$	$8,10 \times 10^{-05}$	$1,70 \times 10^{-04}$	$1,57 \times 10^{-02}$	$2,37 \times 10^{-02}$
PNEC oiseaux long-terme	mg/kg pc/j	1,83	Non disponible	$5,22 \times 10^{-01}$	Non disponible	$3,10 \times 10^{-01}$	0,45
PNEC mammifères long-terme	mg/kg pc/j	2,67	$2,10 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^{-01}$	Non disponible	$6,60 \times 10^{-01}$	$7,3 \times 10^{-02}$
DL50 oral Abeilles	µg/abeille	$7,90 \times 10^{-02}$	$1,00 \times 10^{-1}$	$1,10 \times 10^{-01}$	$2,23 \times 10^{-03}$	$3,70 \times 10^{-03}$	0,38
DL50 contact Abeilles	µg/abeille	$1,50 \times 10^{-03}$	Non disponible	$1,50 \times 10^{-01}$	$5,60 \times 10^{-02}$	$8,10 \times 10^{-02}$	0,27

Il est à noter que des publications récentes montrent, pour les oiseaux, une forte toxicité de certains néonicotinoïdes, en particulier l'imidaclopride (Gibbons et al, 2015 ; Millot et al, 2017) qui pourraient conduire à revoir les valeurs de PNEC au renouvellement des approbations de ces substances.

3.3.2. Evaluation de l'exposition de l'environnement

Considérant que les traitements intradomiciliaires seront toujours associés à des traitements péridomiciliaires qui généreront une exposition environnementale plus importante, seuls les traitements en extérieur ont été évalués pour l'environnement et présentés dans le cadre de cette saisine.

Les différents guides et méthodes utilisés pour l'évaluation de l'exposition environnementale réalisée dans le cadre de cette saisine sont les suivants :

- Generic risk assessment model for indoor and outdoor space spraying of insecticides, first revision. World Health Organization. 2011
http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44613/1/9789241501682_eng.pdf
- Guidance of EFSA - Risk assessment for birds and mammals, 2009,
<http://www.efsa.europa.eu/fr/efsajournal/pub/1438>

- Guidance on the BPR: Volume IV Environment, Part B Risk Assessment (active substances), European Chemicals Agency, 2015, ECHA-15-G-01-EN ISBN: 978-92-9247-093-7, https://echa.europa.eu/documents/10162/15623299/bpr_guidance_ra_vol_iv_part_b_en.pdf

Le détail de l'évaluation de l'exposition environnementale est présenté dans l'Annexe 2. Cette évaluation considère, en pire-cas, trois traitements successifs sur une même zone avec un intervalle de trois jours entre chaque traitement et sans abattement de la dose à l'hectare.

3.3.3. Evaluation des risques pour l'environnement

3.3.3.1. Compartiment aquatique

L'évaluation des risques pour le compartiment aquatique a été réalisée en comparant les concentrations prévisibles dans l'environnement après un cycle d'application (PEC), calculées en annexe 2, et les concentrations prévisibles sans effet (PNEC) présentées en section 3.3.1. Les ratios de risque (PEC/PNEC) ont été calculés sur les valeurs affinées (concentrations moyennes pondérées sur 30 jours), à partir de la dose d'application (100 %).

3.3.3.1.1. Rejet direct vers le milieu aquatique dans zone traitée

Le Tableau 22 présente les ratios de risque pour le compartiment aquatique et montre que pour une émission directe des insecticides sur un plan d'eau, les risques sont inacceptables pour l'ensemble des substances (i.e. PEC/PNEC > 1).

Tableau 22 : Ratios de risque (PEC/PNEC) pour le compartiment aquatique suite à l'émission directe des insecticides vers le compartiment aquatique

Substance active	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Eau de surface - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	487	21	2,57 x10 ⁺⁰³	739	3,76 x10 ⁺⁰³	75.2
Sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	4,88 x10 ^{+03*}	Non pertinent	1,51 x10 ^{+05*}	Non pertinent	1,29 x10 ⁻⁰¹	7,63 x 10 ⁻⁰²

* un facteur supplémentaire de 10 a été ajouté au ratio de risque pour les substances ayant un potentiel d'adsorption élevé et dont la PNEC a été calculée par EPM

3.3.3.1.2. Rejet indirect vers le milieu aquatique via le ruissellement sur le sol (perméable)

Le Tableau 23 montre que, pour une émission indirecte des insecticides vers le compartiment aquatique suite au potentiel ruissellement sur sol perméable, les risques sont acceptables uniquement pour la deltaméthrine, ceci étant expliqué par son potentiel d'adsorption élevé.

Tableau 23: Ratios de risque (PEC/PNEC) pour le compartiment aquatique suite à l'émission indirecte des insecticides vers le compartiment aquatique via le ruissellement sur sol perméable

Substance active	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Eau de surface - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	9,31 x10 ⁻⁰³	3,32	4,85	139	135	2,78
Sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	9,33 x10 ⁻⁰² *	Non pertinent	1,93 x10 ^{+02*}	Non pertinent	4,50 x10 ⁻⁰³	2,82 x 10 ⁻⁰³

* un facteur supplémentaire de 10 a été ajouté au ratio de risque pour les substances ayant un potentiel d'adsorption élevé et dont la PNEC a été calculée par EPM

3.3.3.1.3. Rejet indirect vers le milieu aquatique via le lessivage des surfaces imperméables

Pour une émission indirecte des insecticides vers le compartiment aquatique suite au potentiel lessivage des substances sur sol imperméable (Tableau 24), les risques ne sont acceptables pour aucune des substances.

Tableau 24 : Ratios de risque (PEC/PNEC) pour le compartiment aquatique suite à l'émission indirecte des insecticides vers le compartiment aquatique via le lessivage des sols imperméables

Substance active	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Eau de surface - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	1,70 x10 ⁺⁰³	73,5	9,00 x10 ⁺⁰³	2,59 x10 ⁺⁰³	1,32 x10 ⁺⁰⁴	263
Sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	1,71 x10 ^{+04*}	Non pertinent	5,28 x10 ^{+05*}	Non pertinent	4,51 x10 ⁻⁰¹	2,67 x 10 ⁻⁰¹

* un facteur supplémentaire de 10 a été ajouté au ratio de risque pour les substances ayant un potentiel d'adsorption élevé et dont la PNEC a été calculée par EPM

3.3.3.2. Compartiment terrestre

Sur la base des ratios de risque présentés dans le Tableau 25, les risques pour les organismes du sol sont acceptables pour la deltaméthrine et le bendiocarbe.

Tableau 25: Ratios de risque (PEC/PNEC) pour le compartiment terrestre suite à l'émission directe des insecticides

Substance active	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Sol - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	1,09 x 10 ⁻⁰²	3,24 x 10 ⁻⁰²	283	1,72 x 10 ³	2,18	1,39

3.3.3.3. Empoisonnement des vertébrés

3.3.3.3.1. Vertébrés exposés via l'eau de boisson

Concernant les vertébrés potentiellement contaminés par l'eau de boisson, les risques sont acceptables pour toutes les substances. Aucune donnée de toxicité long-terme sur les oiseaux et les mammifères n'est disponible pour le dinotéfurane ; les données de toxicité long-terme sur les oiseaux sont également manquantes pour le bendiocarbe.

Tableau 26: Ratios de risque (PEC/PNEC) pour les vertébrés exposés via l'eau de boisson

Substance active	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Mammifères - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	2,94x 10 ⁻⁰⁵	2,07 x 10 ⁻⁰²	5,92 x 10 ⁻⁰³	Donnée manquante	6,29 x 10 ⁻⁰³	1,42 x 10 ⁻⁰³
Oiseaux - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	2,24 x 10 ⁻⁰⁵	Donnée manquante	5,91 x 10 ⁻⁰⁴	Donnée manquante	6,99 x 10 ⁻⁰³	1,20 x 10 ⁻⁰⁴

3.3.3.2. Vertébrés exposés via la végétation ou les insectes

Les risques d'empoisonnement des vertébrés via la végétation et les insectes ne sont acceptables que pour la deltaméthrine quel que soit le type de vertébrés considéré. Dans le cas d'expositions réaliste et de prise en compte des valeurs de référence des dossiers européens, l'imidaclopride et le malathion montrent des risques acceptables pour les oiseaux fructivores uniquement, le chlorpyrifos-méthyl pour tous les types d'oiseaux. Les risques pour les mammifères sont inacceptables pour le bendiocarbe. Aucune donnée de toxicité long-terme sur les oiseaux et les mammifères n'est disponible pour le dinotéfurane ; les données de toxicité long-terme sur les oiseaux sont également manquantes pour le bendiocarbe.

Tableau 27: Ratios de risque (PEC/PNEC) pour les vertébrés exposés via la végétation ou les insectes

Substance active	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyrifos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
PIRE CAS						
Mammifères herbivores	$2,20 \times 10^{-02}$	27,9	23,5	Données manquantes	3,55	$9,00 \times 10^{+01}$
Oiseaux herbivores	$9,97 \times 10^{-03}$	Données manquantes	1,40		2,35	4,54
Oiseaux insectivores	$1,14 \times 10^{-02}$		1,60		2,69	5,19
Oiseaux fructivores	$2,14 \times 10^{-03}$		$3,00 \times 10^{-01}$		$5,04 \times 10^{-01}$	$9,73 \times 10^{-01}$
CAS REALISTE						
Mammifères herbivores	$1,07 \times 10^{-02}$	13,7	$1,15 \times 10^{+01}$	Données manquantes	1,74	$4,40 \times 10^{+01}$
Oiseaux herbivores	$4,98 \times 10^{-03}$	Donnée manquantes	$6,99 \times 10^{-01}$		1,18	2,27
Oiseaux insectivores	$4,98 \times 10^{-03}$		$6,99 \times 10^{-01}$		1,18	2,27
Oiseaux fructivores	$9,26 \times 10^{-04}$		$1,30 \times 10^{-01}$		$2,19 \times 10^{-01}$	$4,22 \times 10^{-01}$

3.3.3.3. Vertébrés se nourrissant de poissons

Concernant la contamination des vertébrés se nourrissant de poissons, l'évaluation des risques n'a été considérée pertinente que pour la deltaméthrine et le chlorpyrifos-méthyl.

Les risques sont acceptables pour les oiseaux et les mammifères en ce qui concerne la deltaméthrine. Le chlorpyrifos méthyl montre des risques acceptables pour les oiseaux mais inacceptables pour les mammifères.

Tableau 28: Ratios de risque (PEC/PNEC) pour les vertébrés exposés via la consommation de poissons

Substance active	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyrifos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Mammifères - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	$2,54 \times 10^{-02}$	Non pertinent	3,29		Non pertinent	
Oiseaux - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	$4,15 \times 10^{-02}$		$7,05 \times 10^{-01}$			

3.3.3.4. Vertébrés se nourrissant de vers de terre

Concernant la contamination des vertébrés se nourrissant de vers de terre, l'évaluation des risques n'a été considérée pertinente que pour la deltaméthrine et le chlorpyrifos-méthyl.

Les risques sont acceptables pour les oiseaux et les mammifères dans le cas des deux substances.

Tableau 29: Ratios de risque (PEC/PNEC) pour les vertébrés exposés via la consommation de vers de terre

Substance active	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Mammifères - moyenne pondérée sur 180 jours - applications multiples	$6,37 \times 10^{-06}$	Non pertinent	$5,69 \times 10^{-01}$	Non pertinent		
Oiseaux - moyenne pondérée sur 180 jours - applications multiples	$7,62 \times 10^{-06}$		$8,94 \times 10^{-02}$			

3.3.3.4. Abeilles

L'évaluation du risque pour les abeilles a été réalisée sur la base du calcul d'un Quotient de Danger (HQ, Hazard Quotient). Le HQ est le rapport entre la dose d'application de la substance active à l'hectare (g/ha) et la plus faible DL₅₀ abeilles, orale ou contact (µg/abeille). Pour les applications de produits phytosanitaires, il est considéré qu'un HQ d'une valeur inférieure à 50, est indicateur d'un faible risque pour les abeilles.

Pour toutes les substances, les quotients de danger (HQ) sont supérieurs à 50, sauf pour la deltaméthrine par voie orale dont le quotient de danger est égal à 12.7.

Tableau 30: Quotients de danger pour l'exposition des abeilles

Substance active	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Quotient de danger – Exposition orale	12,7	100	364	$1,79 \times 10^{+04}$	$1,08 \times 10^{+04}$	295
Quotient de danger – Exposition par contact	667	Donnée manquante	267	$7,14 \times 10^{+03}$	$4,94 \times 10^{+02}$	415

Il est à noter que cette estimation des risques via les quotients de danger ne représente qu'une méthode d'évaluation préliminaire. Pour réaliser une évaluation affinée, des données supplémentaires seraient nécessaires pour l'ensemble des substances.

3.3.3.5. Eaux souterraines

En première approche les concentrations dans l'eau interstitielle du sol ont été considérées comme représentatives des concentrations prévisibles dans les eaux souterraines. Les niveaux de contamination étaient acceptables pour la deltaméthrine, le chlorpyriphos-méthyl et le malathion, i.e. < 0,1 µg/L.

Tableau 31: Concentrations dans l'eau interstitielle du sol (µg/L) après plusieurs applications (Tier 1)

	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Concentration eau interstitielle (µg/L)	$2,28 \times 10^{-05}$	$2,11 \times 10^{-01}$	$9,07 \times 10^{-03}$	$3,55 \times 10^{+01}$	3,87	$1,14 \times 10^{-02}$

Pour le dinotéfurane, l'imidaclopride et le bendiocarbe, des estimations affinées par modélisation FOCUS Pearl s'avèrent nécessaires. Les résultats (présentés en annexe) montrent des niveaux de contamination inacceptables pour certains scénarios pour le dinotéfurane et l'imidaclopride.

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

Face à une possible épidémie de fièvre jaune dans les départements français d'Amérique (DFA), l'Anses a mis à jour les évaluations des risques menées pour certaines substances actives adulticides qui pourraient constituer des alternatives à la deltaméthrine pour les traitements de lutte anti-vectorielle adulticides. Ces molécules sont le bendiocarbe, le chlorpyrifos-méthyl, le dinotéfurane, l'imidaclopride et le malathion.

Les molécules étudiées ont été retenues comme constituant des alternatives potentielles à la deltaméthrine pour laquelle le très haut niveau de résistance dans les DFA limite l'efficacité des traitements. Cependant, toutes ces substances n'ont pas la même efficacité prouvée ou attendue :

- Le malathion est aujourd'hui une molécule de référence pour les usages de lutte anti-vectorielle, recommandée par l'OMS. Les doses d'application sont néanmoins assez élevées et l'OMS recommande l'utilisation du malathion pour des usages péri-domiciliaires uniquement¹¹.
- L'imidaclopride a montré une bonne efficacité théorique en laboratoire, néanmoins, l'efficacité dans les essais de semi-terrain s'est révélée assez faible car les formulations disponibles sur le marché ne sont pas adaptées pour des usages LAV en pulvérisation ULV.
- Le dinotéfurane ne semble pas une solution pertinente pour un usage de LAV. A ce jour, il n'existe pas de formulation disponible en Europe qui pourrait être compatible avec les appareils de traitement. De plus, comme indiqué dans l'avis de l'Anses en janvier 2017, les très fortes doses qui seraient à appliquer constitueraient un frein à un usage de lutte anti-vectorielle.
- Le bendiocarbe est également recommandé par l'OMS, pour des applications à l'intérieur des maisons en traitement résiduel. Les essais de semi-terrain en traitement spatial ont démontré des efficacités variables car la formulation destinée au traitement résiduel n'est pas optimisée pour une application spatiale. Néanmoins, certaines répétitions de ces essais attestent d'une bonne efficacité.
- Une bonne efficacité du chlorpyrifos-méthyl en traitement spatial a été confirmée dans les essais de semi-terrain réalisés à la demande de l'Anses.

Les évaluations des risques pour l'opérateur lors de traitements péri- et intra-domiciliaires montrent que le port de protections individuelles appropriées et le respect des bonnes pratiques d'utilisation actuelles sont indispensables pour garantir un risque acceptable. Le niveau de protection des équipements nécessaires pour atteindre cet objectif dépend des substances actives. Ainsi, pour l'imidaclopride, des gants et une combinaison de type 6 sont nécessaires. Pour les quatre autres substances actives considérées, les risques sont acceptables lorsque sont portés des gants, une combinaison de type 3 ou 4 et un masque. Les équipements indiqués ici sont indispensables pour les situations les plus exposantes, correspondant aux usages intra-domiciliaires.

Pour affiner ces résultats, il serait nécessaire de disposer de données d'expositions mesurées dans ces conditions représentatives des usages intra et péri-domiciliaires de lutte anti-vectorielle. Par ailleurs, des études d'absorption cutanée pour les formulations dans les conditions d'usage envisagées (taux de dilution, notamment) permettraient de mieux évaluer les expositions pour chaque substance.

Sur la base des éléments à sa disposition, l'Anses a réalisé une évaluation très simplifiée des expositions de la population générale aux panaches lors d'applications péri-domiciliaires. Avec les hypothèses retenues, les risques pour les résidents sont inacceptables pour le chlorpyrifos-méthyl et le malathion. Ils sont également inacceptables pour les enfants en cas d'utilisation du bendiocarbe. Suivant ces mêmes hypothèses, les risques sont acceptables en cas d'utilisation de l'imidaclopride et du dinotéfurane. Aussi, des mesures de gestion visant à éviter l'exposition des résidents (évacuation temporaire des zones traitées, confinement dans les maisons, information du public, choix des horaires de traitement) seraient nécessaires afin de limiter les expositions de la population générale aux panaches.

L'évaluation quantitative des risques pour les résidents lors d'applications intra-domiciliaires n'a pas été réalisée. Les risques lors de cet usage ne peuvent être exclus si les personnes résident dans les pièces où le traitement est réalisé. *A minima*, il conviendra de s'assurer de l'évacuation effective des personnes des habitations lors de ces traitements et du respect d'un délai avant ré-entrée.

En ce qui concerne le risque via l'alimentation, une contamination des aliments suite au traitement de LAV en extérieur est possible. Si l'usage de ces substances en LAV en traitement péri-domiciliaire devait être envisagé,

¹¹ Space_Spray_products_WHO_February2016

dans l'attente de la production de données permettant d'améliorer les connaissances relatives à la présence éventuelle de résidus dans les denrées végétales cultivées dans les zones concernées, des mesures de gestion visant à réduire les niveaux de contamination des denrées seraient à mettre en place. En particulier :

- des délais avant consommation (temps entre le traitement et la consommation des denrées) pourraient être proposés. Ces délais seraient à préciser en fonction du comportement de chacune des substances actives ;
- une information des riverains serait à préconiser pour éviter l'exposition des animaux de rente lors des traitements, ou encore pour rappeler les mesures d'hygiène classique (lavage et épluchage) lors de la préparation des fruits et légumes cultivés dans les zones traitées.

L'évaluation quantitative des risques pour l'homme via l'alimentation liés aux applications intra-domiciliaires n'a pas été réalisée. Lors des applications intra-domiciliaires, une contamination directe d'aliments ou indirecte via le dépôt de substances sur des surfaces en contact avec les aliments ne peut pas être exclue. Pour éviter une contamination de l'alimentation lors de ces applications intra-domiciliaires, des mesures de gestion, telles que la protection des denrées alimentaires et des surfaces en contact avec les denrées avant le traitement, le nettoyage des surfaces après le traitement, sont indispensables.

L'évaluation de risques pour l'environnement lors d'applications péri-domiciliaires montre que les risques pour les organismes non cibles de l'environnement ne peuvent pas être exclus pour l'ensemble des substances adulticides, y compris la deltaméthrine.

Pour les eaux de surfaces, il conviendra en particulier de mettre en place des mesures de gestion permettant de limiter l'exposition du milieu aquatique :

- ne pas traiter aux abords des plans et cours d'eau ;
- ne pas traiter lors d'épisodes pluvieux.

Pour les traitements de LAV utilisant la deltaméthrine, ces mesures de gestion sont déjà mises en œuvre : une zone tampon de 50 m pour protéger les milieux aquatiques est systématiquement respectée et les produits ne sont pas appliqués quand il pleut. Il conviendrait de maintenir ces mesures de gestion si l'une des autres substances venait à être utilisée dans le cadre de traitements de LAV.

La contamination des eaux souterraines à des niveaux inacceptables ($>0,1 \mu\text{g/L}$) ne peut pas être exclue dans le cas du dinotéfurane et de l'imidaclopride.

Pour le compartiment terrestre, des risques acceptables sont estimés pour la deltaméthrine et le bendiocarbe. Des risques inacceptables sont identifiés pour les autres substances. Considérant les usages péri-domiciliaires, aucune mesure de gestion ne semble possible pour limiter l'exposition des organismes du sol.

L'empoisonnement des vertébrés non cibles ne peut pas être exclu pour l'ensemble des substances étudiées. Des publications récentes montrent, pour les oiseaux, une forte toxicité de certains néonicotinoïdes, en particulier l'imidaclopride (Gibbons et al, 2015 ; Millot et al, 2017).

Toutes les molécules étudiées, y compris la deltaméthrine, présentent une très forte toxicité pour les abeilles. Il conviendrait dès lors de mettre en place des mesures de gestion : information des apiculteurs avant application, traitement en dehors des périodes d'activité des abeilles, identification des ruchers avoisinant la zone traitée. Une zone tampon de 80 à 100 m pour protéger les ruchers est généralement imposée pour les traitements avec la deltaméthrine. Cette mesure de gestion devra impérativement être conservée si d'autres substances venaient à être utilisées. En sus, les quotients de danger sont particulièrement élevés pour les deux substances néonicotinoïdes, et appelleraient, au cas où l'une de ces substances serait retenue pour la LAV, la mise en œuvre de mesures de gestion spécifiques prenant en compte leurs caractéristiques.

Par ailleurs, si l'une ou plusieurs de ces substances devaient être utilisées, des mesures d'impact pour l'environnement devraient être mises en place au moment des traitements de LAV.

L'évaluation quantitative des risques pour l'environnement liés aux usages intra-domiciliaires n'a pas été réalisée. Pour ces applications, une contamination moindre de l'environnement est attendue, en particulier pour le compartiment terrestre, les vertébrés non cibles, ou encore les abeilles. Pour les applications intra-domiciliaires, le compartiment aquatique sera le plus impacté via les rejets lors du nettoyage des surfaces traitées dans les eaux de surface, éventuellement via une station d'épuration.

Cependant, les applications intra-domiciliaires sont systématiquement couplées aux applications péri-domiciliaires. Les risques pour les organismes non cibles de l'environnement ne pouvant être exclus pour aucune des substances adulticides lors d'applications péri-domiciliaires, les risques pour les organismes non cibles de l'environnement ne peuvent également pas être exclus en cas d'application intra-domiciliaire couplée de fait aux

applications péri-domiciliaires.

Au vu de l'ensemble des résultats ci-dessus, l'Anses estime que :

- bien qu'il présente un mode d'action différent des pyréthrinoïdes et nouveau pour la lutte anti-vectorielle, l'usage dérogatoire du dinotéfurane n'est pas recommandé, en raison d'une dose efficace théorique très élevée, d'un profil écotoxicologique défavorable, de l'indisponibilité de produit en Europe ainsi que de l'absence d'information quant à la possibilité d'utiliser des formulations commercialisées ailleurs dans des appareillages utilisés en LAV;
- l'usage dérogatoire du bendiocarbe ou du malathion pour la lutte anti-vectorielle nécessiterait la mise en place de mesures de gestion adaptées pour limiter l'exposition des populations. Les opérateurs devraient également porter des équipements de protection plus contraignants que ceux actuellement imposés par l'utilisation de la deltaméthrine. En revanche, les risques pour l'environnement sont moindres que ceux associés à d'autres substances étudiées et l'efficacité de ces substances contre les moustiques adultes a été démontrée. Il est à noter, concernant le malathion, qu'en mars 2015, le Centre International de Recherches sur le Cancer (CIRC) a évalué cette substance dans le cadre des monographies visant à identifier les facteurs environnementaux susceptibles d'accroître le risque de cancer chez l'homme. Dans ce cadre, il a été conclu que le malathion est un cancérigène probable (appartenance au groupe 2A). Suite à la publication des conclusions du CIRC, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a été amenée à actualiser en mai 2016 l'évaluation des risques liés notamment à l'utilisation du malathion pour la lutte anti-vectorielle. Le malathion est désormais interdit pour tout usage biocide en Europe, la substance active n'ayant pas été approuvée au niveau européen et la dérogation autorisant de façon temporaire le malathion pour des usages de lutte anti-vectorielle en Guyane ayant été suspendue le 31 mars 2015. Le malathion est une substance active phytopharmaceutique approuvée au niveau européen. Toutefois, des conclusions récentes de l'EFSA mettent en évidence l'incapacité à finaliser l'évaluation du risque pour les consommateurs découlant de l'usage phytopharmaceutique de cette substance, en l'absence de données suffisantes sur le malaoxon, un des métabolites toxiques du malathion.
- le chlorpyrifos-méthyl, présente également des contraintes en termes d'équipements de protection pour l'opérateur, la population générale et le risque que son utilisation dans le cadre de la LAV est susceptible de présenter pour les organismes du sol. Néanmoins, le chlorpyrifos-méthyl a un mode d'action différent des pyréthrinoïdes. Son efficacité sur les moustiques adultes en traitement spatial a été confirmée récemment dans le cadre des études de semi-terrain commanditées par l'Anses. Il constitue donc une alternative intéressante à la deltaméthrine, permettant ainsi de pallier les phénomènes de résistance. Son utilisation lors d'un usage dérogatoire pourrait être envisagée en l'absence d'alternatives.
- avant d'envisager un usage dérogatoire de l'imidaclopride pour la lutte anti-vectorielle, il serait nécessaire de vérifier la compatibilité des formulations avec les appareillages, ou d'adapter les formulations disponibles aujourd'hui. En effet, les premiers essais terrain ont mis en évidence une incompatibilité de la seule formulation disponible (concentrée soluble) avec une utilisation à ultra-bas volume qu'impose un traitement spatial par nébulisation à froid. Cette substance présenterait un intérêt pour la LAV en alternative à la deltaméthrine compte tenu des risques moins élevés pour la santé humaine, d'une application moins contraignante pour l'opérateur et d'un mode d'action différent de celui des pyréthrinoïdes et nouveau pour la lutte anti-vectorielle. Des risques pour l'environnement sont néanmoins identifiés en raison de son profil écotoxicologique très défavorable, notamment pour les oiseaux et les abeilles. Certains pourraient être limités moyennant l'application stricte de mesures de gestion, dont la nature exacte dans le contexte de la LAV, ainsi que la faisabilité, restent à préciser.

Dr Roger GENET

MOTS-CLES

lutte anti-vectorielle, usage dérogatoire, fièvre jaune, malathion, bendiocarbe, chlorpyrifos-méthyl, dinotéfurane, imidaclopride

ANNEXE 1 – RISQUE ALIMENTAIRE

Evaluation des denrées pour lesquelles un risque aigu ne peut pas être exclu, selon la substance active considérée et le département. La méthode d'évaluation est décrite dans l'avis de l'Anses de janvier 2017.

Pour la Martinique :

Tableau 32 : Denrées cultivées en potager et jardin (sur un total de 36) pour lesquelles un risque aigu ne peut pas être exclu pour chacune des substances étudiées – Traitement péri-domiciliaire en Martinique

	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Denrées consommées épluchées	Corossol Abricot pays Orange	Corossol Abricot pays Orange Mangue Coco Banane Avocat Melon		Corossol Abricot pays Orange Mangue Coco Bananes		Corossol Abricot pays Orange Mangue Coco Bananes
Racines et tubercules	Igname	Igname Carotte Dachine Pomme de terre		Igname Carotte		Igname Carotte
Denrées consommées non épluchées	Haricot	Haricot Gombos Tomates Concombre		Haricot Gombos		haricot Gombos

Le bendiocarbe apparaît comme la substance pour laquelle le plus grand nombre de denrées pour lesquelles un risque aigu ne peut pas être exclu est attendu (50 % des denrées concernées).

Environ 30 % des denrées entrant dans le régime alimentaire contribueraient largement à l'exposition au dinotéfurane, au chlorpyriphos-méthyl, à l'imidaclopride et au malathion de la population martiniquaise. Un risque aigu ne peut pas être exclu pour ces denrées.

Pour la Guadeloupe,

Tableau 33 : Denrées cultivées en potager et jardin (sur un total de 40) pour lesquelles un risque aigu ne peut pas être exclu pour chacune des substances étudiées – Traitement péri-domiciliaire en Guadeloupe

	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Denrées consommées épluchées	/	Orange Coco Corossol Mangue Melon Abricot pays	Orange Coco	Orange	Orange Coco	Orange Coco
Racines et tubercules	/	/	/	/	/	/
Denrées consommées non épluchées	/	/	/	/	/	/

Sur la base des données disponibles et de la méthode utilisée, peu de denrées pour lesquelles un risque aigu ne peut pas être exclu ont été mises en évidence.

Le bendiocarbe est la substance pour laquelle ce nombre de denrées est le plus élevé, avec 6 denrées sur un total de 40.

L'orange et la noix de coco sont les seules denrées pour lesquelles un risque aigu lié à l'exposition des consommateurs au chlorpyrifos-méthyl à l'imidaclopride et au malathion ne peut pas être exclu.

Concernant le dinotéfurane, l'orange est la seule denrée pour laquelle un risque aigu ne peut pas être exclu.

Pour la Guyane,

Tableau 34: Denrées cultivées en potager et jardin (sur un total de 33) pour lesquelles un risque aigu ne peut pas être exclu pour chacune des substances étudiées– Traitement péri-domiciliaire en Guyane

	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyrifos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Denrées consommées épluchées	/	Oranges Mandarines Abricot pays Pamplemousse Bananes	Oranges Mandarines Abricots pays	Oranges	Oranges Mandarines Abricot pays	Oranges Mandarines Abricot pays
Racines et tubercules	/	Manioc	/	/	/	/
Denrées consommées non épluchées	/	Maïs Prunes	Maïs	Maïs	Maïs Prunes	Maïs

30 % des denrées contribueraient fortement à l'exposition des gyanais au bendiocarbe. Un risque aigu lié à la consommation de ces denrées ne peut pas être exclu.

Pour environ 15 % des denrées entrant dans le régime alimentaire un risque aigu lié à l'exposition au chlorpyrifos-méthyl, à l'imidaclopride et au malathion de la population guyanaise ne peut pas être exclu.

L'orange et le maïs sont les seules denrées pour lesquelles un risque aigu ne peut pas être exclu concernant le dinotéfurane.

ANNEXE 2 – EXPOSITION ENVIRONNEMENTALE

Le scénario d'émission OCDE développé en 2008 pour les insecticides, acaricides et produits de contrôle des autres arthropodes en usages domestiques et professionnels(OECD 2008)¹² généralement utilisé pour évaluer les usages biocides des insecticides, indique que les applications pour le contrôle des vecteurs sont exclues du cadre du document en l'attente d'informations complémentaires et qu'un document guide spécifique sera développé par la suite. En 2011, L'OMS a publié le document intitulé « *Generic assessment model for indoor and outdoor space spraying of insecticides* » qui propose une stratégie d'évaluation des risques pour l'environnement par extrapolation des méthodes utilisées pour l'évaluation des produits de protection des plantes (WHO, 2011).

Considérant que les traitements intradomiciliaires seront toujours associés à des traitements péridomiciliaires qui généreront une exposition environnementale plus importante, seuls les traitements en extérieur ont été évalués pour l'environnement et présentés dans le cadre de cette saisine.

Les différents guides et méthodes utilisés pour l'évaluation de l'exposition environnementale réalisée dans le cadre de cette saisine sont les suivants :

- **WHO (2011)**: Generic risk assessment model for indoor and outdoor space spraying of insecticides, first revision. World Health Organization. 2011
http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44613/1/9789241501682_eng.pdf
- **EFSA (2009)**: Guidance of EFSA - Risk assessment for birds and mammals, 2009,
<http://www.efsa.europa.eu/fr/efsajournal/pub/1438>
- **Vol IV Part B (2015)**: Guidance on the BPR: Volume IV Environment, Part B Risk Assessment (active substances), European Chemicals Agency, 2015, ECHA-15-G-01-EN ISBN: 978-92-9247-093-7, https://echa.europa.eu/documents/10162/15623299/bpr_guidance_ra_vol_iv_part_b_en.pdf

Il serait pertinent d'évaluer les risques pour l'environnement liés aux applications d'insecticides dans la zone de traitement proprement dite, mais également dans la zone soumise à la dérive de pulvérisation, qui n'est pas considérée comme étant la cible du traitement anti-moustiques.

Cependant, pour les traitements adulticides en lutte anti-vectorielle, les applications sont réalisées par pulvérisations en ultra-bas volume (ULV), permettant de générer un aérosol de très fines gouttelettes (5-25 µm). L'objectif de cet aérosol est de rester en suspension dans l'air de la zone traitée afin d'impacter au maximum les moustiques adultes contenus dans ce volume d'air. Ce type d'application diffère très largement des pulvérisations généralement utilisées en usage agricole, qui génèrent des gouttelettes plus grosses dont le but est de retomber rapidement sur les végétaux ou le sol à traiter. Or les seules méthodes ou modèles valides étudiant les dérives de pulvérisations sont destinées à l'évaluation de l'application des produits phytopharmaceutiques et ne sont pas directement applicables à la problématique des applications ULV. La dérive de l'aérosol ULV sera notamment fortement dépendante des conditions climatiques (vitesse du vent, pression atmosphérique, humidité relative, température, ...) et le produit pourra dans certaines conditions être transporté sur de longues distances à des concentrations proches des concentrations d'application lorsque les conditions de traitement ne sont pas contrôlées. En l'état actuel des connaissances, il n'y a pas de méthodes validées permettant de déterminer la déposition des insecticides appliqués en pulvérisation ULV.

En l'absence d'outil réaliste pour estimer la dérive de pulvérisation dans le cas de traitement ULV, il est proposé d'évaluer l'exposition pour les doses appliquées dans la zone de traitement et pour des doses d'application correspondant à 10 %, 1 % et 0,1 % des doses cibles d'application, à la fois pour les applications par pulvérisateurs à dos et pour les applications par des pick-up 4 x 4.

¹² OECD series on emission scenario documents, Number 18, Emission scenario document for insecticides, acaricides and products to control other arthropods for household and professional uses, ENV/JM/MONO(2008)14

1 Compartiment aquatique

Selon le document de l'OMS (WHO, 2011), un traitement des zones extérieures peut conduire à la contamination des eaux de surface de manière directe ou indirecte via une dérive du nuage de traitement. Le ruissellement à partir d'un sol contaminé ou le lessivage des revêtements imperméables peuvent également représenter des sources d'exposition des milieux aquatiques en cas de fortes pluies.

1.1 Rejet direct vers le milieu aquatique

Les équations proposées pour estimer les concentrations initiales dans l'environnement aquatique prennent en compte une étendue d'eau d'une profondeur de 50 cm (WHO, 2011). La dose à l'hectare est rapportée au volume d'eau correspondant considérant cette profondeur. L'adsorption sur les matières en suspension est également prise en compte.

Les concentrations dans le sédiment (en poids frais) sont calculées selon la méthode de l'équilibre de partition décrite dans le Vol IV Part B (2015).

Les concentrations qui ont été calculées sont les suivantes :

- dans un premier temps, les concentrations initiales après une seule application dans les compartiments eau et sédiment;
- dans un second temps, les concentrations d'exposition à long terme des organismes pélagiques en intégrant des applications multiples et en tenant compte de la dissipation/dégradation des substances dans la phase eau, ainsi que les concentrations d'exposition à long terme des organismes benthiques en intégrant également les applications multiples et en tenant compte de la dégradation dans le système total. Des concentrations initiales après le dernier traitement, ainsi que des moyennes pondérées sur 30 jours (twa) ont été calculées.

Afin de prendre en compte les traitements successifs qui sont réalisés sur une même zone, un facteur multiplicatif (MAF) a été appliqué sur les concentrations initiales après un seul traitement. Ce facteur a été calculé de la manière suivante :

$$MAF = \frac{1 - e^{-k \times N_{appli} \times I}}{(1 - e^{-k \times I})}$$

Avec N_{appli} = Nombre d'applications sur une zone

I = Intervalle entre les applications

k = $\text{Ln}2 / \text{DT}50$

Dans le cas de la lutte anti-vectorielle, une situation pire-cas de 3 traitements successifs sur une même zone avec un intervalle de 3 jours entre chaque traitement a été considérée.

Les différentes concentrations dans l'eau de surface ainsi que les paramètres pris en compte pour l'évaluation sont présentés dans Tableau 35. Les concentrations sédimentaires pour le dinotéfurane et le bendiocarbe n'ont pas été calculées étant donné que ce compartiment n'est pas considéré comme pertinent pour ces deux substances du fait de leur faible capacité d'adsorption.

Tableau 35 : Concentrations dans le compartiment aquatique suite à la déposition directe des substances après application

Paramètre	Symbole	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyrifos -méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Dose de substance active appliquée (kg/ha)	A	0,001	0,01	0,04	0,4	0,04	0,112
Profondeur du système aquatique (m)	Psw	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Coefficient de partition solides/eau pour les matières en suspension (L/kg)	Kpsusp	4,08 x 10 ⁴	3,34	4,59 x 10 ²	3,14 x 10 ⁰	2,30 x 10 ¹	2,17 x 10 ⁺⁰¹
Coefficient de partition eau/matière en suspension (m3/m3)	Ksusp-water	1,02 x 10 ⁴	1,73	1,16 x 10 ²	1,69 x 10 ⁺⁰⁰	6,65	6,33
Concentration de matières en suspension dans le compartiment eau (mg/L)	SUSPwater	1,50 x 10 ¹	1,50 x 10 ⁺⁰¹	1,50 x 10 ¹	1,50 x 10 ⁺⁰¹	1,50 x 10 ¹	1,50 x 10 ⁺⁰¹
Densité des matières en suspension (kg/m3)	RHO susp	1150	1150	1150	1150	1150	1150
Application unique							
Concentration initiale dans l'eau (µg/L) - 1 application	Ci sw 1	1,24 x 10 ⁻¹	2,00	7,95 x 10 ⁰	8,00 x 10 ¹	8,00	2,24 x 10 ⁺⁰¹
Concentration initiale dans le sédiment (mg/kg) - 1 application	Ci sed 1	1,10	Non pertinent	7,98 x 10 ⁻⁰¹	Non pertinent	4,62 x 10 ⁻⁰²	1,23 x 10 ⁻⁰¹
Compartiment eau – Applications multiples + dissipation et dégradation							
DT50 dissipation/dégradation phase eau	DT ₅₀ sw	1,41 x 10 ²	9,00 x 10 ⁰	3,60 x 10 ⁰	4,92 x 10 ¹	4,22 x 10 ¹	4,16 x 10 ⁻⁰¹
k eau	k sw	4,92 x 10 ⁻³	7,70 x 10 ⁻²	1,93 x 10 ⁻¹	1,41 x 10 ⁻²	1,64 x 10 ⁻²	1,67
Nombre d'applications	Nappli	3	3	3	3	3	3
Intervalle de traitement	l	3	3	3	3	3	3
Facteur multiplicatif phase eau	MAF sw	2,96	2,42	1,88	2,88	2,86	1,01
Période de pondération	t	30	30	30	30	30	30
Concentration initiale dans l'eau (µg/L) – applications multiples	Ci sw Nappli	3,67 x 10 ⁻¹	4,85 x 10 ⁰	1,49 x 10 ⁺¹	2,30 x 10 ⁺²	2,29 x 10 ⁻¹	2,25 x 10 ⁺⁰¹
Concentration moyenne dans l'eau pondérée sur 30 jours (µg/L) - applications multiples	Ctwa sw Nappli	3,41 x 10 ⁻¹	1,89	2,57	1,88 x 10 ²	1,80 x 10 ¹	4,51 x 10 ⁻⁰¹
Compartiment sédiment – Applications multiples + dégradation							
DT50 système aquatique total	DT50 syst total	1,41 x 10 ²	9,00	2,54 x 10 ¹	5,90 x 10 ¹	9,75 x 10 ¹	4,16 x 10 ⁻⁰¹
k système total	k syst total	4,92 x 10 ⁻³	7,70 x 10 ⁻²	2,73 x 10 ⁻²	1,17 x 10 ⁻²	7,11 x 10 ⁻²	1,67
Nombre d'applications	Nappli	3	3	3	3	3	3
Intervalle de traitement	l	3	3	3	3	3	3
Facteur multiplicatif système total	MAF syst total	2,96	2,42	2,77	2,90	2,94	1,01
Période de pondération	t	30	30	30	30	30	30
Concentration initiale eau (dégradation système total) (µg/L) – applications multiples	Ci sw Nappli (syst total)	3,67 x 10 ⁻¹	4,85	2,20 x 10 ¹	2,32 x 10 ²	2,35 x 10 ¹	2,25 x 10 ⁺⁰¹
Concentration initiale dans le sédiment (mg/kg) – applications multiples	Ci sed Nappli	3,25	Non pertinent	2,21	Non pertinent	1,36 x 10 ⁻¹	1,24 x 10 ⁻⁰¹
Concentration sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours (mg/kg) – applications multiples	Ctwa sed Nappli	3,03	Non pertinent	1,51	Non pertinent	1,22 x 10 ⁻¹	2,48 x 10 ⁻⁰³

$$\begin{aligned}
 C_{i\ sw1} &= (A \times 100) \div (P_{sw} \times (1 + K_{psusp} \times SUSP_{water} \times 10^{-6})) \\
 C_{i\ sw\ Nappli} &= C_{i\ sw1} \times MAF \\
 C_{i\ sed\ (1\ ou\ Nappli)} &= C_{i\ sw\ (1\ ou\ Nappli)} \times \frac{K_{susp - water}}{RHO_{susp}} \\
 C_{twa} &= C_i \times \frac{1}{kt} \times (1 - e^{-kt})
 \end{aligned}$$

Le tableau ci-dessous présente les différentes concentrations obtenues pour le compartiment aquatique considérant 10, 1 ou 0,1 % de la dose de substances appliquée à l'hectare.

Tableau 36 : Concentrations dans le compartiment aquatique suite à la déposition directe des substances considérant un abattement de la dose à l'hectare (10, 1 ou 0,1% de la dose/ha)

Paramètre	Symbole	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
10 % de la dose à l'hectare							
Concentration moyenne dans l'eau pondérée sur 30 jours (µg/L) - applications multiples	Ctwa sw Nappli	3,41 x 10 ⁻²	1,89 x 10 ⁻¹	2,57 x 10 ⁻¹	1,88 x 10 ¹	1,80	4,51 x 10 ⁻⁰²
Concentration sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours (mg/kg) – applications multiples	Ctwa sed Nappli	3,03 x 10 ⁻¹	Non pertinent	1,51 x 10 ⁻¹	Non pertinent	1,22 x 10 ⁻²	2,48 x 10 ⁻⁰⁴
1 % de la dose à l'hectare							
Concentration moyenne pondérée sur 30 jours (µg/L) - applications multiples	Ctwa sw Nappli	3,41 x 10 ⁻⁰³	1,89 x 10 ⁻⁰²	2,57 x 10 ⁻²	1,88 x 1 ⁺⁰⁰	1,80 x 10 ⁻¹	4,51 x 10 ⁻⁰³
Concentration sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours (mg/kg) – applications multiples	Ctwa sed Nappli	3,03 x 10 ⁻⁰²	Non pertinent	1,51 x 10 ⁻²	Non pertinent	1,22 x 10 ⁻³	2,48 x 10 ⁻⁰⁵
0,1 % de la dose à l'hectare							
Concentration moyenne pondérée sur 30 jours (µg/L) - applications multiples	Ctwa sw Nappli	3,41 x 10 ⁻⁰⁴	1,89 x 10 ⁻⁰³	2,57 x 10 ⁻³	1,88 x 10 ⁻⁰¹	1,80 x 10 ⁻²	4,51 x 10 ⁻⁰⁴
Concentration sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours (mg/kg) – applications multiples	Ctwa sed Nappli	3,03 x 10 ⁻⁰³	Non pertinent	1,51 x 10 ⁻³	Non pertinent	1,22 x 10 ⁻⁴	2,48 x 10 ⁻⁰⁶

1.2 Rejet indirect vers le milieu aquatique via le ruissellement sur le sol (perméable)

Selon le document de l'OMS (WHO, 2011), le ruissellement n'est un phénomène pertinent qu'en cas de fortes pluies, lorsque le terrain est escarpé et que la nature du sol permet le ruissellement (argileux, limoneux). Une estimation de la contamination du compartiment aquatique par cette voie est proposée sur la base de ce qui est réalisé pour les contaminations de l'environnement par des biocides en lien avec l'épandage des fumiers (ESD PT18) (OECD 2006)¹³.

Les concentrations dans les eaux de surface sont dérivées des concentrations initiales dans l'eau interstitielle du sol après une ou plusieurs applications en appliquant une dilution de 10 dans le

¹³ OECD Series on emission scenario documents Number 14 - Emission Scenario Document for Insecticides for Stables and Manure Storage Systems- ENV/JM/MONO(2006)4

compartiment aquatique récepteur. Les concentrations dans l'eau après adsorption sur les matières en suspension et le sédiment sont calculées de la même manière que précédemment. Des concentrations initiales et pondérées sur 30 jours sont proposées (Tableau 37).

Tableau 37 : Concentrations dans le compartiment aquatique suite au ruissellement des substances sur sol perméable

Paramètre	Symbole	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos -méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Dose appliquée (kg/ha)	A	0,001	0,01	0,04	0,4	0,04	0,112
Concentration initiale dans l'eau interstitielle après une application (µg/L) (Tableau 42)	Ci pw 1	$4,08 \times 10^{-05}$	4,16	$1,45 \times 10^{-01}$	$1,75 \times 10^{+02}$	2,82	8,35
Concentration initiale dans l'eau interstitielle après des applications multiples (µg/L) (Tableau 43)	Ci pw Nappli	$1,13 \times 10^{-04}$	7,67	$2,83 \times 10^{-01}$	$4,34 \times 10^{+02}$	$8,21 \times 10^{+00}$	8,35
Dilution	Dil	10	10	10	10	10	10
Application unique							
Concentration initiale dans l'eau (µg/L) - 1 application	Ci sw run-off 1	$2,53 \times 10^{-06}$	$4,16 \times 10^{-01}$	$1,44 \times 10^{-02}$	$1,75 \times 10^{+01}$	$2,82 \times 10^{-01}$	$8,34 \times 10^{-01}$
Concentration initiale dans le sédiment (mg/kg) - 1 application	Ci sed run-off 1	$2,25 \times 10^{-0}$	Non pertinent	$1,45 \times 10^{-03}$	Non pertinent	$1,63 \times 10^{-03}$	$4,59 \times 10^{-03}$
Applications multiples							
Concentration initiale dans l'eau (µg/L) applications multiples	Ci sw run-off Nappli	$7,01 \times 10^{-06}$	$7,67 \times 10^{-01}$	$2,81 \times 10^{-02}$	$4,34 \times 10^{+01}$	$8,21 \times 10^{-01}$	$8,34 \times 10^{-01}$
Concentration initiale dans le sédiment (mg/kg) – applications multiples	Ci sed run-off Nappli	$6,22 \times 10^{-05}$	Non pertinent	$2,82 \times 10^{-03}$	Non pertinent	$4,75 \times 10^{-03}$	$4,59 \times 10^{-03}$
Applications multiples + dégradation/dissipation							
Concentration moyenne pondérée (30j) dans l'eau (µg/L) – applications multiples	Ctwa sw run-off Nappli	$6,52 \times 10^{-06}$	$2,99 \times 10^{-01}$	$4,85 \times 10^{-03}$	$3,54 \times 10^{+01}$	$6,48 \times 10^{-01}$	$1,67 \times 10^{-02}$
Concentration moyenne pondérée (30j) dans le sédiment (mg/kg) – applications multiples	Ctwa sed run-off Nappli	$5,79 \times 10^{-05}$	Non pertinent	$1,93 \times 10^{-03}$	Non pertinent	$4,27 \times 10^{-03}$	$9,18 \times 10^{-05}$
$C_{sw\ run-off} = (C_{pw} \div Dil) \times (1 + K_{psusp} \times SUSP_{water} \times 10^{-6})$							

Le Tableau 38 présente les différentes concentrations obtenues pour le compartiment aquatique considérant 10, 1 ou 0,1 % de la dose de substances appliquée à l'hectare.

Tableau 39 : Concentrations dans le compartiment aquatique suite au ruissellement des substances sur sol perméable considérant un abattement de la dose à l'hectare (10, 1 ou 0,1% de la dose/ha)

Paramètre	Symbole	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos s-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
10 % de la dose à l'hectare							
Concentration moyenne pondérée sur 30 jours (µg/L) - applications multiples	Ctwa sw Nappli	$6,52 \times 10^{-07}$	$2,99 \times 10^{-02}$	$4,85 \times 10^{-04}$	$3,54 \times 10^{+00}$	$6,48 \times 10^{-02}$	$1,67 \times 10^{-03}$

Concentration sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours (mg/kg) – applications multiples	Ctwa sed Nappli	$5,79 \times 10^{-06}$	Non pertinent	$1,93 \times 10^{-04}$	Non pertinent	$4,27 \times 10^{-04}$	$9,18 \times 10^{-06}$
1 % de la dose à l'hectare							
Concentration moyenne pondérée sur 30 jours (µg/L) - applications multiples	Ctwa sw Nappli	$6,52 \times 10^{-08}$	$2,99 \times 10^{-03}$	$4,85 \times 10^{-05}$	$3,54 \times 10^{-01}$	$6,48 \times 10^{-03}$	$1,67 \times 10^{-04}$
Concentration sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours (mg/kg) – applications multiples	Ctwa sed Nappli	$5,79 \times 10^{-07}$	Non pertinent	$1,93 \times 10^{-05}$	Non pertinent	$4,27 \times 10^{-05}$	$9,18 \times 10^{-07}$
0,1 % de la dose à l'hectare							
Concentration moyenne pondérée sur 30 jours (µg/L) - applications multiples	Ctwa sw Nappli	$6,52 \times 10^{-09}$	$2,99 \times 10^{-04}$	$4,85 \times 10^{-06}$	$3,54 \times 10^{-02}$	$6,48 \times 10^{-04}$	$1,67 \times 10^{-05}$
Concentration sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours (mg/kg) – applications multiples	Ctwa sed Nappli	$5,79 \times 10^{-08}$	Non pertinent	$1,93 \times 10^{-06}$	Non pertinent	$4,27 \times 10^{-06}$	$9,18 \times 10^{-08}$

1.3 Rejet indirect vers le milieu aquatique via le lessivage des surfaces imperméables

Il a également été jugé pertinent d'estimer la contamination du compartiment aquatique via le lessivage des surfaces imperméables en cas de pluie après le traitement. Il a été considéré que la zone de traitement pour une application péri-domiciliaire représentait 7 ha (soit un rayon de traitement de 150 m autour de l'habitation cible), selon les informations de l'EID, et que 10 % des surfaces traitées étaient imperméables et pouvaient conduire à des émissions vers un point d'eau (1000 m³ selon l'ESD PT08 (OECD 2013), bridge over a pond). Ces émissions ont été calculées après une seule ou plusieurs applications, sans considérer de dégradation sur les surfaces imperméables, en appliquant le facteur MAF de la même façon que pour les rejets directs (sur les concentrations dans l'eau). Les concentrations dans l'eau après adsorption sur les matières en suspension et le sédiment sont calculées de la même manière que précédemment (Tableau 35). Des concentrations initiales et pondérées sur 30 jours sont proposées.

Tableau 40 : Concentrations dans le compartiment aquatique suite au lessivage des substances sur sol imperméable

Paramètre	Symbole	Deltamethrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos -méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Dose appliquée (kg/ha)	A	0,001	0,01	0,04	0,4	0,04	0,112
Surface traitée (ha)	AREA	7	7	7	7	7	7
Fraction de surfaces imperméables (-)	F leaching	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Quantité de substance soumise au lessivage (kg)	Q leaching	0,0007	0,007	0,028	0,28	0,028	0,0784
Volume du compartiment aquatique récepteur (m ³) - Pond Biocides PT08	Vpond	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Application unique							
Concentration initiale dans l'eau (µg/L) - 1 application	Ci sw 1	$4,34 \times 10^{-01}$	7,00	$2,78 \times 10^{+01}$	$2,80 \times 10^{+02}$	$2,80 \times 10^{+01}$	$7,84 \times 10^{+01}$

Concentration initiale dans le sédiment (mg/kg) - 1 application	Ci sed 1	3,85	Non pertinent	$2,79 \times 10^{+00}$	Non pertinent	$1,62 \times 10^{-01}$	$4,31 \times 10^{-01}$
Compartiment eau – Applications multiples + dissipation et dégradation							
Facteur multiplicatif	MAF eau	2,96	2,42	1,88	2,88	2,86	1,01
Concentration initiale dans l'eau (µg/L) - applications multiples	Ci sw Nappli	1,28	$1,70 \times 10^{+01}$	$5,22 \times 10^{+01}$	$8,06 \times 10^{+02}$	$8,00 \times 10^{+01}$	$7,89 \times 10^{+01}$
Concentration moyenne pondérée sur 30 jours (µg/L) - applications multiples	Ctwa sw Nappli	1,19	6,61	9,00	$6,57 \times 10^{+02}$	$6,32 \times 10^{+01}$	1,58
Compartiment sédiment – Applications multiples + dégradation							
Facteur multiplicatif	MAF syst total	2,96	2,77	2,42	2,90	2,94	1,01
Concentration initiale eau (dégradation système total) (µg/L)	Ci sw Nappli (syst total)	1,28	$7,70 \times 10^{+01}$	$1,70 \times 10^{+01}$	$8,11 \times 10^2$	$8,22 \times 10^{+01}$	$7,89 \times 10^{+01}$
Concentration initiale dans le sédiment (mg/kg) - applications multiples	Ci sed Nappli	$1,14 \times 10^{+01}$	$7,74 \times 10^{+00}$	Non pertinent	Non pertinent	$4,75 \times 10^{-01}$	$4,34 \times 10^{-01}$
Concentration moyenne pondérée sur 30 jours dans le sédiment (mg/kg) - applications multiples	Ctwa sed Nappli	$1,06 \times 10^{+01}$	5,28	Non pertinent	Non pertinent	$4,28 \times 10^{-01}$	$8,68 \times 10^{-03}$
$Q \text{ leaching} = A \times \text{AREA} \times F \text{ leaching}$ $Ci \text{ sw } 1 = (Q \text{ leaching} \div V \text{ pond}) \div (P \text{ sw} \times (1 + K \text{ psusp} \times \text{SUSPwater} \times 10^{-6}))$							

Le

Tableau 41 présente les différentes concentrations obtenues pour le compartiment aquatique considérant 10, 1 ou 0,1 % de la dose de substances appliquée à l'hectare.

Tableau 41 : Concentrations dans le compartiment aquatique suite au lessivage des substances sur sol imperméable considérant un abattement de la dose à l'hectare (10, 1 ou 0,1% de la dose/ha)

Paramètre	Symbole	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
10 % de la dose à l'hectare							
Concentration moyenne pondérée sur 30 jours (µg/L) - applications multiples	Ctwa sw Nappli	$1,19 \times 10^{-01}$	$6,61 \times 10^{-01}$	$9,00 \times 10^{-01}$	$6,57 \times 10^{+012}$	6,32	$1,58 \times 10^{-01}$
Concentration sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours (mg/kg) - applications multiples	Ctwa sed Nappli	1,06	Non pertinent	$5,28 \times 10^{-01}$	Non pertinent	$4,28 \times 10^{-02}$	$8,68 \times 10^{-04}$
1 % de la dose à l'hectare							
Concentration moyenne pondérée sur 30 jours (µg/L) - applications multiples	Ctwa sw Nappli	$1,19 \times 10^{-02}$	$6,61 \times 10^{-02}$	$9,00 \times 10^{-02}$	6,57	$6,32 \times 10^{-01}$	$1,58 \times 10^{-02}$
Concentration sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours (mg/kg) - applications multiples	Ctwa sed Nappli	$1,06 \times 10^{-01}$	Non pertinent	$5,28 \times 10^{-02}$	Non pertinent	$4,28 \times 10^{-03}$	$8,68 \times 10^{-05}$

0,1 % de la dose à l'hectare							
Concentration moyenne pondérée sur 30 jours (µg/L) - applications multiples	Ctwa sw Nappli	1,19 x 10 ⁻⁰³	6,61 x 10 ⁻⁰³	9,00 x 10 ⁻⁰³	6,57 x 10 ⁻⁰¹	6,32 x 10 ⁻⁰²	1,58 x 10 ⁻⁰³
Concentration sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours (mg/kg) - applications multiples	Ctwa sed Nappli	1,06 x 10 ⁻⁰²	Non pertinent	5,28 x 10 ⁻⁰³	Non pertinent	4,28 x 10 ⁻⁰⁴	8,68 x 10 ⁻⁰⁶

2 Compartiment terrestre

Le scénario de l'OMS (WHO, 2011) propose de calculer les concentrations pour le compartiment terrestre en prenant en compte la déposition directe de la dose appliquée à l'hectare, une profondeur de sol de 10 cm et une interception foliaire de 50 %. Les concentrations initiales dans le sol et l'eau interstitielle du sol après la première application sont présentées dans Tableau 42.

Tableau 42: Concentrations initiales dans le sol (mg/kg poids frais) et l'eau interstitielle (µg/L) après une application

Paramètre	Symbole	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Dose appliquée (kg/ha)	A	0,001	0,01	0,04	0,4	0,04	0,112
Fraction d'interception foliaire (-)	Fi	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Profondeur du sol (m)	Psoil	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Densité du sol humide (kg/m ³)	RHsoil	1700	1700	1700	1700	1700	1700
Coefficient de partition eau/sol (m ³ /m ³)	Ksoil-water	1,22 x 10 ⁴	1,20	1,38 x 10 ²	1,14	7,10	6,71
Concentration initiale dans le sol après une application (mg/kg pf)	Ci soil	2,94 x 10 ⁻⁰⁴	2,94 x 10 ⁻⁰³	1,18 x 10 ⁻⁰²	1,18 x 10 ⁻⁰¹	1,18 x 10 ⁻⁰²	3,29 x 10 ⁻⁰²
Concentration initiale dans l'eau interstitielle après une application (µg/L)	Ci pw	4,08 x 10 ⁻⁰⁵	4,16	1,45 x 10 ⁻⁰¹	1,75 x 10 ⁺⁰²	2,82	8,35
$Ci\ soil = \frac{A \times 100 \times (1 - Fi)}{RHsoil \times Psoil}$ $Ci\ pw = Ci\ soil \times \frac{RHsoil}{Ksoil - water}$							

Dans le cas de traitements multiples, un facteur multiplicatif a été considéré, en prenant en compte, le nombre de traitements, leur intervalle ainsi que la DT50 des substances dans le sol (20°C). Il permet de déduire les concentrations initiales après le dernier traitement (Tableau 43).

Tableau 43: Concentrations initiales dans le sol (mg/kg poids frais) et l'eau interstitielle (µg/L) après plusieurs applications

Paramètre	Symbole	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Concentration initiale dans le sol après une application (mg/kg pf)	Ci soil 1	2,94 x 10 ⁻⁰⁴	2,94 x 10 ⁻⁰³	1,18 x 10 ⁻⁰²	1,18 x 10 ⁻⁰¹	1,18 x 10 ⁻⁰²	3,29 x 10 ⁻⁰²

Demi-vie dans le sol à 20°C (j)	DT50	25,31	3,43	4,00	10,20	71,24	0,17
Constante de dégradation (j ⁻¹)	k	2,74 x 10 ⁻⁰²	2,02 x 10 ⁻⁰¹	1,73 x 10 ⁻⁰¹	6,80 x 10 ⁻⁰²	9,73 x 10 ⁻⁰³	4,08
Nombre d'applications	Nappli	3	3	3	3	3	3
Intervalle (j)	l	3	3	3	3	3	3
Facteur multiplicatif	MAF sol	2,77	1,84	1,95	2,48	2,91	1,00
Concentration initiale dans le sol après plusieurs applications (mg/kg pf)	Ci soil Nappli	8,15 x 10 ⁻⁰⁴	5,42 x 10 ⁻⁰³	2,29 x 10 ⁻⁰²	2,92 x 10 ⁻⁰¹	3,43 x 10 ⁻⁰²	3,29 x 10 ⁻⁰²
Concentration initiale dans l'eau interstitielle après plusieurs applications (µg/L)	Ci pw Nappli	1,13 x 10 ⁻⁰⁴	7,67	2,83 x 10 ⁻⁰¹	4,34 x 10 ⁺⁰²	8,21	8,35
$k = \ln(2) / DT50$ $MAF = \frac{1 - e^{-k t Nappli}}{1 - e^{-kt}}$ Ci soil Nappli = Ci soil 1 x MAF							

L'évaluation du risque pour les organismes du sol sera toujours réalisée sur les concentrations initiales étant donné que les PNEC disponibles sont dérivées de concentrations nominales et donc initiales. Néanmoins, afin de dériver des concentrations réalistes pour les eaux souterraines et l'empoisonnement secondaire via l'ingestion de vers de terre, des concentrations moyennes pondérées dans le sol à 180 jours ont été déterminées comme proposé dans la Guidance on the BPR: Volume IV Environment, Part B Risk Assessment. En effet, le transport au travers de couches de sol ainsi que la contamination des organismes via la bioaccumulation sont des processus lents. Considérer un niveau de contamination égal aux concentrations initiales dans le sol serait un pire-cas irréaliste. La pondération des concentrations dans le sol est un moyen de prendre en compte la fenêtre de pertinence de ces processus long-termes.

A partir des concentrations pondérées dans le sol, sont déterminées les concentrations dans l'eau interstitielle du sol représentant en première approche, les concentrations prévisibles dans les eaux souterraines

Tableau 44: Concentrations moyennes pondérées sur 180 jours dans le sol (mg/kg poids frais) et l'eau interstitielle (µg/L) après plusieurs applications

Paramètre	Symbole	Deltamethrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Concentration initiale dans le sol après plusieurs applications (mg/kg pf)	Ci soil Nappli	8,15 x 10 ⁻⁰⁴	5,42 x 10 ⁻⁰³	2,29 x 10 ⁻⁰²	2,92 x 10 ⁻⁰¹	3,43 x 10 ⁻⁰²	3,29 x 10 ⁻⁰²
Demi-vie dans le sol à 20°C (j)	DT50	25,31	3,43	4,00	10,20	71,24	0,17
Constante de dégradation (j ⁻¹)	k	2,74 x 10 ⁻⁰²	2,02 x 10 ⁻⁰¹	1,73 x 10 ⁻⁰¹	6,80 x 10 ⁻⁰²	9,73 x 10 ⁻⁰³	4,08
Coefficient de partition sol eau (m3/m3)	Ksoil-water	1,22 x 10 ⁺⁰⁴	1,20	1,38 x 10 ⁺⁰²	1,14	7,10	6,71
Densité du sol frais (kg/m3)	RHOsoil	1700	1700	1700	1700	1700	1700
Concentration sol - moyenne pondérée sur 180 jours (mg/kg pf)	Ctwa soil	1,64 x 10 ⁻⁰⁴	1,49 x 10 ⁻⁰⁴	7,35 x 10 ⁻⁰⁴	2,39 x 10 ⁻⁰²	1,62 x 10 ⁻⁰²	4,49 x 10 ⁻⁰⁵

Concentration eau interstitielle - moyenne pondérée sur 180 jours (µg/L)	Cpw	$2,28 \times 10^{-05}$	$2,11 \times 10^{-01}$	$9,07 \times 10^{-03}$	$3,55 \times 10^{+01}$	3,87	$1,14 \times 10^{-02}$
$C_{twa\ soil} = C_i(x)\ soil \times \frac{1}{k \times 180} \times (1 - e^{-k \times 180})$ $Cpw = C_{twa\ sol} \times \frac{RH_{soil}}{K_{soil} - water}$							

3 Empoisonnement des vertébrés

Les effets possibles de l'ingestion de résidus d'insecticides par les oiseaux et les mammifères, soit directement via leur nourriture ou l'eau de boisson, soit indirectement via leurs proies, ont été considérés dans l'évaluation des risques pour ce type d'applications en extérieur.

3.1 Vertébrés exposés via l'eau de boisson

L'évaluation de l'exposition des vertébrés s'abreuvant dans la zone contaminée a été réalisée en prenant en compte les concentrations moyennes pondérées dans le compartiment eau après plusieurs applications directes dans le compartiment aquatique (Tableau 36), ainsi que les taux d'abreuvements recommandés dans le guide de l'EFSA (2009) : 0,46 L/kg pc/j pour les mammifères et 0,24 L/kg pc/j pour les oiseaux. Il a été considéré que les vertébrés ne s'abreuaient qu'à 50% dans la zone traitée.

Tableau 45: Dose alimentaires journalières des oiseaux et mammifères (mg/kg de poids corporel par jour) exposés via l'eau de boisson

Paramètre	Symbole	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyrifos -méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Concentration moyenne pondérée dans l'eau sur 30 jours (µg/L) - applications multiples (Tableau 36)	Ctwa sw	$3,41 \times 10^{-01}$	1,89	2,57	$1,88 \times 10^{-02}$	$1,80 \times 10^{-01}$	$4,51 \times 10^{-01}$
Taux d'abreuvement mammifère (L/kg pc/j)	DWR mammal	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
Taux d'abreuvement oiseau (L/kg pc/j)	DWR bird	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
Dose alimentaire journalière (mammifères) (mg sa/kg bw/j)	PECmam mifères	$7,84 \times 10^{-05}$	$4,35 \times 10^{-04}$	$5,92 \times 10^{-04}$	$4,32 \times 10^{-02}$	$4,15 \times 10^{-03}$	$1,04 \times 10^{-04}$
Dose alimentaire journalière (oiseaux) (mg sa/kg bw/j)	PECoise aux	$4,09 \times 10^{-05}$	$2,27 \times 10^{-04}$	$3,09 \times 10^{-04}$	$2,25 \times 10^{-02}$	$2,17 \times 10^{-03}$	$5,41 \times 10^{-05}$
<i>PECpredateur = Ctwa sw × DWR × 0,5</i>							

3.2 Vertébrés exposés via la végétation et/ou les insectes

La conduite d'une évaluation des risques pour les vertébrés se nourrissant de végétaux et d'insectes nécessite de calculer ou de mesurer les résidus d'insecticides dans leur nourriture. La stratégie proposée dans le document de l'OMS (WHO, 2011) est fondée sur l'évaluation réalisée pour les pesticides, considérant des applications d'insecticides sur les cultures, ce qui n'est pas strictement comparable aux applications de lutte anti-vectorielle mais peut être utilisée en première approche.

Pour cette méthode, des fractions de contamination des oiseaux et mammifères en fonction de leur poids corporel, de leur régime alimentaire et du type d'exposition (court-terme, moyen-terme ou long-terme) sont proposées sur la base d'études de consommation des différents organismes du guide de l'EFSA (2009). Pour cette saisine, seules les concentrations à long-terme ont été dérivées. Les poids corporels des espèces représentatives sont celles qui conduisent à des évaluations pires-cas pour chaque type de vertébrés : on considère en effet qu'un petit mammifère consomme une quantité de nourriture en proportion plus importante par rapport à son poids en comparaison aux mammifères de taille plus importante. On note également que les oiseaux insectivores sont généralement petits alors que les herbivores sont plus gros ce qui explique les différences importantes entre les espèces prises en compte.

Deux types de situations sont représentés : une approche pire-cas qui prend en compte une distribution au 90^{ème} percentile des concentrations de résidus et une approche plus réaliste fondée sur une distribution au 50^{ème} percentile des concentrations de résidus. Dans les deux cas, il est considéré que les espèces ciblées ne passent que 50 % de leur temps de prise de nourriture dans la zone traitée.

Pour calculer la dose alimentaire journalière (DAJ), on multiplie les fractions de contamination présentées dans le Tableau 46 par la dose d'insecticides à l'hectare.

Lorsque des traitements successifs sont réalisés sur une même zone, il convient d'appliquer un facteur multiplicatif (MAF) sur le résultat. Ce facteur est calculé de la manière suivante :

$$MAF = \frac{1 - (1 - e^{-0,069 \times N_{appli} \times I})}{(1 - e^{-0,069 \times I})}$$

Avec N_{appli} = Nombre d'applications sur une zone
 I = Intervalle entre les applications
0,069 = constante de dégradation considérant une demi-vie de 10 jours

Pour les expositions long-termes, il est possible d'affiner les concentrations de résidus en considérant une pondération dans le temps sur la base de la dégradation de la substance sur la nourriture. Par défaut, le guide de l'EFSA indique une demi-vie de dégradation sur la nourriture de 10 jours, ainsi qu'une fenêtre pertinente de 21 jours. Un facteur de pondération (ftwa) peut être calculé de la manière suivante :

$$ftwa = \frac{(1 - e^{-kt})}{kt}$$

Avec $k = \text{Ln } 2 / \text{DT50 (nourriture)} = \text{Ln } 2 / 10 \text{ jours} = 0.069$

$t = \text{fenêtre de pondération pertinente} = 21 \text{ jours}$

Tableau 46: Paramètres pris en compte pour le calcul des doses alimentaires journalières des oiseaux et mammifères (mg/kg de poids corporel par jour) exposés à long-terme via les insectes et/ou la végétation

	Poids corporels (g)	Fraction de contamination (pire-cas)	Fraction de contamination (cas plus réaliste)	Facteur de pondération
	Pc	Fc	Fc	Ftwa
Exposition long terme				
Mammifères herbivores (campagnol)	25	45	22*	0,53
Oiseaux herbivores (oie)	3000	14	7*	0,53
Oiseaux insectivores (roitelet)	10	16	7*	0,53
Oiseaux fructivores	80	3	1,3*	0,53

* Valeurs pire-cas pour la saison de reproduction

Les doses alimentaires journalières pour une exposition à long-terme des vertébrés sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 47: Doses alimentaires journalières des oiseaux et mammifères (mg/kg de poids corporel par jour) exposés à long-terme via les insectes et/ou la végétation

Paramètres	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Dose d'application (kg/ha) = A	0,001	0,01	0,04	0,40	0,04	0,112
MAF	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47	2,47
PIRE-CAS - Dose alimentaire journalière pour une exposition à long terme (mg/kg pc/j) = DAJ long-terme						
Mammifères herbivores	$5,86 \times 10^{-02}$	$5,86 \times 10^{-01}$	2,35	$2,35 \times 10^{+01}$	2,35	6,57
Oiseaux herbivores	$1,82 \times 10^{-02}$	$1,82 \times 10^{-01}$	$7,30 \times 10^{-01}$	7,30	$7,30 \times 10^{-01}$	2,04
Oiseaux insectivores	$2,09 \times 10^{-02}$	$2,09 \times 10^{-01}$	$8,34 \times 10^{-01}$	8,34	$8,34 \times 10^{-01}$	2,34
Oiseaux fructivores	$3,91 \times 10^{-03}$	$3,91 \times 10^{-02}$	$1,56 \times 10^{-01}$	1,56	$1,56 \times 10^{-01}$	$4,38 \times 10^{-01}$
CAS REALISTE - Dose alimentaire journalière pour une exposition à long terme (mg/kg pc/j) = DAJ long-terme						
Mammifères herbivores	$2,87 \times 10^{-02}$	$2,87 \times 10^{-01}$	1,15	$1,15 \times 10^{+01}$	1,15	3,21
Oiseaux herbivores	$9,12 \times 10^{-03}$	$9,12 \times 10^{-02}$	$3,65 \times 10^{-01}$	$3,65 \times 10^{+00}$	$3,65 \times 10^{-01}$	1,02
Oiseaux insectivores	$9,12 \times 10^{-03}$	$9,12 \times 10^{-02}$	$3,65 \times 10^{-01}$	$3,65 \times 10^{+00}$	$3,65 \times 10^{-01}$	1,02
Oiseaux fructivores	$1,69 \times 10^{-03}$	$1,69 \times 10^{-02}$	$6,78 \times 10^{-02}$	$6,78 \times 10^{-01}$	$6,78 \times 10^{-02}$	$1,90 \times 10^{-01}$
$DAJ = A \times fc \times MAF \times ftwa$						

3.3 Vertébrés se nourrissant de poissons

Cette voie de contamination des prédateurs se nourrissant de poissons n'est pertinente que pour les substances bioaccumulables. Considérant les BCF des substances proposées à l'évaluation, seules celles de la deltaméthrine (BCF poisson = 1400 L/kg) et le chlorpyrifos- méthyl (BCF poisson = 1800 L/kg) seront prises en compte, les BCF des autres substances étant inférieurs à 10 L/kg.

Le niveau de contamination de la nourriture est déterminé selon le Vol IV Part B (2015) à partir des concentrations en substance active dans l'eau (moyenne pondérée sur 30 jours) après une exposition directe du compartiment aquatique (Tableau 35) et des facteurs de bioaccumulation et de biomagnification chez le poisson. Les résidus dans la nourriture sont ensuite convertis à une dose journalière en les multipliant respectivement par 0,142 (mammifères) et 0,159 (oiseaux) selon le guide de l'EFSA (2009) pour la consommation spécifique de poissons. Il est également considéré que les prédateurs ne se nourrissent qu'à 50 % dans la zone traitée. Un facteur de 0,5 est donc introduit dans le calcul de la dose alimentaire journalière (Tableau 48).

Tableau 48: Doses alimentaires journalières des oiseaux et mammifères (mg/kg de poids corporel par jour) exposés via l'ingestion de poissons

Paramètre	Symbole	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyrifos -méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Concentration moyenne pondérée sur 30 jours (mg/L) - applications multiples (Tableau 36)	Ctwa sw	$3,41 \times 10^{-04}$	Non pertinent	$2,57 \times 10^{-03}$	Non pertinent	Non pertinent	Non pertinent
Facteur de bioconcentration chez le poisson (L/kg fish)	BCFfish	$1,40 \times 10^{+03}$		$1,80 \times 10^{+03}$			
Facteur de biomagnification chez le poisson (-)	BMF	2		1			
Fraction de prise alimentaire mammifères (kg nourriture/kg bw/j)	Falim mamm	0,142		0,142			
Fraction de prise alimentaire oiseaux (kg nourriture/kg bw/j)	Falim ois	0,159		0,159			
Dose alimentaire journalière (mammifères) (mg sa/kg bw/j)	PECmam mifères	$6,78 \times 10^{-02}$		$3,29 \times 10^{-01}$			
Dose alimentaire journalière (oiseaux) (mg sa/kg bw/j)	PECoise aux	$7,59 \times 10^{-02}$		$3,68 \times 10^{-01}$			
$PEC_{predateur} = Ctwa\ sw \times BCF_{fish} \times BMF \times Falim \times 0,5$							

3.4 Vertébrés se nourrissant de vers de terre

Cette voie de contamination des prédateurs se nourrissant de vers de terre n'est pertinente que pour les substances bioaccumulables. Considérant les valeurs de BCF des substances proposées à l'évaluation, seules la deltaméthrine (BCF poisson = 1400 L/kg) et le chlorpyrifos -méthyl (BCF poisson = 1800 L/kg) seront prises en compte, les BCF des autres substances étant inférieurs à 10 L/kg.

Le niveau de contamination de la nourriture est déterminé selon le Vol IV Part B (2015) à partir des concentrations en substances actives dans le sol et l'eau interstitielle du sol (moyennes pondérées sur 180 jours après plusieurs applications) présentées dans le

Tableau 44 et du facteur de bioaccumulation chez le vers de terre. Les résidus dans la nourriture sont ensuite convertis à une dose journalière en les multipliant respectivement par 1,28 (mammifères) et 1,05 (oiseaux) selon le guide l'EFSA pour la consommation spécifique de vers de terre. Il est également

considéré que les prédateurs ne se nourrissent qu'à 50 % dans la zone traitée et un facteur 0,5 est également introduit dans le calcul de la dose alimentaire journalière.

Tableau 49: Doses alimentaires journalières des oiseaux et mammifères (mg/kg de poids corporel par jour) exposés via l'ingestion de vers de terre

Paramètre	Symbole	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Concentration dans l'eau interstitielle moyenne pondérée sur 180 jours (mg/L) (Tableau 44)	Ctwa pw	$2,28 \times 10^{-08}$	Non pertinent	$9,07 \times 10^{-06}$	Non pertinent	Non pertinent	Non pertinent
Concentration dans le sol moyenne pondérée sur 180 jours (mg/kg pf) (Tableau 44)	Ctwa soil	$1,64 \times 10^{-04}$		$7,35 \times 10^{-04}$			
Facteur de bioconcentration chez le vers de terre (-)	BCF	$4,83 \times 10^{-02}$		$1,09 \times 10^{+04}$			
Fraction de prise alimentaire mammifères (mg nourriture/kg bw/j)	Falim mamm	1,28		1,28			
Fraction de prise alimentaire oiseaux (mg nourriture/kg bw/j)	Falim ois	1,05		1,05			
Concentration dans le vers de terre (mg/kg pf)	Cearthworm	$2,66 \times 10^{-05}$		$8,89 \times 10^{-02}$			
Dose alimentaire journalière (mammifères) (mg sa/kg bw/j)	PECmammifères	$1,70 \times 10^{-05}$		$5,69 \times 10^{-02}$			
Dose alimentaire journalière (oiseaux) (mg sa/kg bw/j)	PECoiseaux	$1,40 \times 10^{-05}$		$4,67 \times 10^{-02}$			
$Cearthworm = \frac{(BCF_{earthworm} \times Cpw) + (Ctwa_{sol} \times 0,113)}{1,113}$ $PEC_{predateur} = Cearthworm \times 0,5 \times Falim$							

4 Abeilles

Pour l'évaluation des produits phytosanitaires appliqués en pulvérisation, le calcul d'un Quotient de Danger (HQ, Hazard Quotient) permet d'estimer en première approche le risque pour les abeilles. En l'absence d'autres méthodes d'évaluation spécifiques aux applications de lutte anti-vectorielle, le calcul des HQ pour chaque substance active sélectionnée a été choisi comme la méthode d'estimation du risque la plus adaptée.

Le HQ est le rapport entre la dose d'application de la substance active à l'hectare (g/ha) et la plus faible DL₅₀ abeilles, orale ou contact (µg/abeille). Pour les applications de produits phytosanitaires, il est considéré qu'un HQ d'une valeur inférieure à 50, est indicateur d'un faible risque pour les abeilles.

Tableau 50: Calculs des quotients de danger (HQ) pour les abeilles

Paramètre	Symbole	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	dinotéfurane	Imidaclopride	Malathion
Dose appliquée (g/ha)	A	1	10	40	400	40	112
Dose létale orale 50% (µg/bee)	DL50 oral	7,90 x 10 ⁻⁰²	1,00 x 10 ⁻⁰¹	1,10 x 10 ⁻⁰¹	2,23 x 10 ⁻⁰²	3,70 x 10 ⁻⁰³	3,80 x 10 ⁻⁰¹
Dose létale contact 50% (µg/bee)	DL50 contact	1,50 x 10 ⁻⁰³	Pas de donnée	1,50 x 10 ⁻⁰¹	5,60 x 10 ⁻⁰²	8,10 x 10 ⁻⁰²	2,70 x 10 ⁻⁰¹
Quotient de danger – Exposition orale	HQ oral	1,27 x 10 ¹	1,00 x 10 ²	3,64 x 10 ²	1,79 x 10 ⁴	1,08 x 10 ⁴	2,95 x 10 ⁺⁰²
Quotient de danger – Exposition par contact	HQ contact	6,67 x 10 ⁺⁰²	-	2,67 x 10 ⁺⁰²	7,14 x 10 ³	4,94 x 10 ⁺⁰²	4,15 x 10 ⁺⁰²
$HQ = \frac{A}{LC50}$							

5 Eaux souterraines

Suite à l'estimation pire-cas des concentrations dans les eaux souterraines après une phase de traitement, calculées dans le Tableau 43, il a été considéré que les niveaux de contamination étaient acceptables pour la deltaméthrine, le chlorpyriphos-méthyl et le malathion, i.e. < 0,1 µg/L. Pour le dinotéfurane, l'imidaclopride et le bendiocarbe, des estimations affinées par modélisation FOCUS Pearl s'avèrent nécessaires.

Les paramètres pris en compte pour la modélisation sont présentés ci-dessous dans le Tableau 51. En pire-cas, il a été considéré que les applications d'insecticides étaient réalisées début mars, période où les épisodes de pluie sont plus importants. Une interception foliaire de 50 % a également été prise en compte.

Tableau 51: Paramètres de modélisation FOCUS Pearl

Input parameter	Unit	Bendiocarbe	Dinotéfurane	Imidaclopride
Physicochemical parameters				
Molecular weight	g.mol ⁻¹	223,2	202,2	255,7
Water solubility	mg.L ⁻¹	280 (20°C)	5,45 x 10 ⁺⁰⁴ (25°C)	613 (20°C)
Molar enthalpy of dissolution	kJ.mol ⁻¹	27	27	27
Saturated vapour pressure (25 °C)	Pa	4,60 x 10 ⁻³	5,00 x 10 ⁻⁰⁵	9,00 x 10 ⁻¹⁰
Molar enthalpy of vaporisation	kJ.mol ⁻¹	95	95	95
Diffusion coefficient in water (20 °C)	m ² .d ⁻¹	4,3 x 10 ⁻⁰⁵	4,3 x 10 ⁻⁰⁵	4,3 x 10 ⁻⁰⁵
Diffusion coefficient in air (20 °C)	m ² .d ⁻¹	0,43	0,43	0,43
Degradation parameters				
Half-life in soil (20°C)	d	3,4	10,2	71,24
Arrhenius activation energy	kJ.mol ⁻¹	65,4	65,4	65,4
Exponent of moisture correction function	-	0,7	0,7	0,7
Sorption parameters				
K _{oc} value	L.kg ⁻¹	33,4	31,4	230

Input parameter	Unit	Bendiocarbe	Dinotéfurane	Imidaclopride
K _{om} value (20°C)	mL.g ⁻¹	19,3	18,2	133,3
Freundlich exponent 1/n	-	1	1	1
Method of subroutine description	-	pH independent	pH independent	pH independent
Crop related parameters				
Crop uptake factor	-	0	0	0
Application Schemes				
Dosage insecticides	kg.ha ⁻¹	0,01	0,4	0,04
Interception foliaire	-	50 %	50 %	50 %
Dose FOCUS		0,005	0,2	0,02
Application type	-	To the soil surface	To the soil surface	To the soil surface
Repeat interval for years	-	1	1	1
Date	-	01/03		
		04/03		
		07/03		
Crops Application				
Crop(s)	-	Grassland		
Selected Locations		CHATEAUDUN		
		HAMBURG		
		JOKIOINEN		
		KREMSMUNSTER		
		OKEHAMPTON		
		PIACENZA		
		PORTO		
		SEVILLA		
		THIVA		

Tableau 52 : Concentrations obtenues dans les eaux souterraines (µg/L) après modélisation avec le logiciel FOCUS Pearl 4.4.4

	Concentrations au 80 ^{ème} percentile (µg/L)		
	Bendiocarbe	Dinotéfurane	Imidaclopride
CHATEAUDUN	0	0,129218	0,100832
HAMBURG	0,000003	0,375115	0,197911
JOKIOINEN	0,000002	0,349148	0,101721
KREMSMUNSTER	0,000003	0,178952	0,135674
	Bendiocarbe	Dinotéfurane	Imidaclopride
OKEHAMPTON	0,000032	0,412368	0,205392
PIACENZA	0,000019	0,179046	0,157483
PORTO	0,000002	0,064383	0,095754
SEVILLA	0	0,004474	0,023552
THIVA	0	0,002097	0,041868

Il doit être souligné que les conditions pédo-climatiques du scénario Jokioinen ne sont pas représentatives des conditions de traitements pour la LAV.



BIBLIOGRAPHIE

- AFSSA (Agence nationale de la sécurité sanitaire des aliments). 2007. "Etude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires (INCA)." <http://www.anses.fr/fr/glossaire/1205>
- Afsset. 2007. "Evaluation comparée des risques et de l'efficacité des produits de lutte antivectorielle adulticide dans le cadre de la lutte contre l'épidémie de chikungunya. Avis de l'Afsset du 15 Octobre 2007, synthèse bibliographique de l'Institut de recherche pour le développement, Rapport du Bureau d'évaluation des risques des produits et agents chimiques et Rapports du Consultancy for Environmental and Human Toxicology and Risk Assessment (saisine Afsset n°2006/002)."
- Ansari, and Razdan. 2004. "Impact of residual spraying of bendiocarb against the malaria vector *Anopheles culicifacies* in selected villages of the Ghaziabad district Uttar Pradesh, India." *Journal of the American Mosquito Control Association*, 20(4):418-423.
- Anses. 2013. "Hiérarchisation des insecticides potentiellement utilisables en lutte anti-vectorielle (LAV)." *Edition scientifique*.
- Anses. 2014a. "Actualisation des indicateurs de risque alimentaire lié aux résidus de pesticides."
- Anses. 2014b. "Avis de l'Anses relatif aux substances actives biocides pouvant être utilisées dans le cadre de la prévention d'une épidémie de chikungunya en Guyane."
- Anses. 2016. "Actualisation de substances actives et produits biocides potentiellement intéressants pour une utilisation en lutte anti-vectorielle (LAV)."
- Anses.2017. "AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à l'évaluation de substances actives présentant un intérêt pour la lutte anti-vectorielle"
- Bonnet, Corbel, Darriet, Chandre, and Hougard. 2004. "Tropical applications of pyrethroid and organophosphate mixtures revealed positive interactions against pyrethroid-resistant *Anopheles gambiae*." *The American Mosquito Control Association, Inc.* 20 (4):438-443.
- Byrne, Daugherty, Grafton-Cardwell, Bethke, and Morse. 2016. "Evaluation of systemic neonicotinoid insecticides for the management of the Asian citrus psyllid *Diaphorina*." *Pest Manag Sci.* . doi: doi: 10.1002/ps.4451.
- Cassadou, Gustave, Faure, Chaud, Yebakima, Cardoso, Chappert, Quenel, Rosine, and Léon. 2007. "Programme de surveillance, d'alerte et de gestion des épidémies de dengue en Guadeloupe continentale et îles proches (PSAGE Dengue)." *DGS-Cire Antilles Guyane-INV.S.*
- Chaud et al. 2006. "Programme de surveillance, d'alerte et de gestion des épidémies de dengue (PSAGE Dengue) en Martinique."
- Corbel, Duchon, Zaim, and Hougard. 2004. "Dinotefuran: A Potential Neonicotinoid Insecticide Against Resistant Mosquitoes." *J. Med. Entomol.* 41 (4):712-717.
- Cornely, and Théodore. 2007. "Hygiène de vie et habitudes alimentaires dans une région de la Guadeloupe : le Sud Basse Terre en 2005 Basse Terre " *Observatoire régional de la santé de Guadeloupe*,:24.
- Couteux, Alice, Lejeune, and Violaine 2016. "Index phytosanitaire. ACTA, ."1000.
- Degallier, Hervé, Travassos Da Rosa, and Sa. 1988. "*Aedes Aegypti* : importance de sa biologie dans la transmission de la dengue et des autres arbovirus."
- DGS. 2015. "Guide relatif aux modalités de mise en oeuvre du plan anti-dissémination du chikungunya et de la dengue en métropole." *Ministère des affaires sociales de la santé et des droits des femmes*.

ECHA. 2015. "Biocides Human Health Exposure Methodology, ECHA 2015.

ECHA, 2015. Guidance on the BPR: Volume IV Environment, Part B Risk Assessment (active substances), ECHA-15-G-01-EN ISBN: 978-92-9247-093-7 https://echa.europa.eu/documents/10162/15623299/bpr_guidance_ra_vol_iv_part_b_en.pdf

EFSA. 2008. "Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance imidacloprid." *EFSA, Scientific Report*. 148:1-120.

EFSA. 2009. "Guidance of EFSA - Risk assessment for birds and mammals" <http://www.efsa.europa.eu/fr/efsajournal/pub/1438>.

EFSA. 2015. "Reasoned opinion on the review of the existing maximum residue levels for deltamethrin according to Article 12 of Regulation (EC) No 396/2005. ." *EFSA Journal* 2015 15 (11):104 doi:doi:10.2903/j.efsa.2015.4309.

EHESP. 2011. "Analyse des pratiques actuelles destinées à limiter la propagation d'Aedes albopictus dans la zone sud de la France et propositions d'amélioration." *Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique_DGS*.

Gibbons D. , Morrissey C., Mineau P. 2015. A review of the direct and indirect effects of neonicotinoids and fipronil on vertebrate wildlife. *Environ Sci Pollut Res* 22:103–118.

IRD, 2008. Résistance des vecteurs d'arboviroses aux insecticides dans les départements français d'outremer et implications opérationnelles. Rapport de projet de recherche

Kim, Chang, Lee, and Ahn. 2007. "Monitoring of insecticide resistance in field-collected population of Culex pipiens pallens (Diptera : Culicidae)" *Asia-Pacific Entomology* 10(3):257-261.

Marcombe, Poupardin, Darriet, Reynaud, Bonnet, Strode, Brengues, Yébakima, Ranson, Corbel, and David. 2009. "Exploring the molecular basis of insecticide resistance in the dengue vector Aedes aegypti: a case study in Martinique Island (French West Indies)." *BioMed Central* <http://www.biomedcentral.com/1471-2164/10/494> 10 (494).

Merle B, Deschamps V, Merle S, Malon A, Bateau A, Pierre-Louis K, . 2008. "Enquête sur la santé et les comportements alimentaires en Martinique (Escal 2003-2004). Résultats du volet « consommations alimentaires et apports nutritionnels »." *Institut de veille sanitaire, Université Paris 13, Conservatoire national des arts et métiers, Observatoire de la santé de Martinique Saint-Maurice*:24.

Millot F. et al. 2017. Field evidence of bird poisonings by imidacloprid-treated seeds:a review of incidents reported by the French SAGIR network from 1995 to 2014. *Environ Sci Pollut Res* 24:5469–5485

Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la Forêt. 2015. "Agreste - La statistique, l'évaluation et la prospective agricole " <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/en-region>.

Mount. 1998. "A critical review of ultralow-volume aerosol of insecticide applied with vehicle-mounted generators for adult mosquito control." *The American Mosquito Control Association, Inc.* 14 (3):305-334.

Mount, Biery, and Haile. 1996. "A review of ultralow-volume aerial sprays of insecticide for mosquito control." *Journl offii.' American Moquito Control association* 12 (4):601-618.

N'Guessan, Boko, Odjo, Chabi, Akogbeto, and Rowland. 2010. "Control of pyrethroid and DDT-resistant Anopheles gambiae by application of indoor residual spraying or mosquito nets treated with a long-lasting organophosphate insecticide, chlorpyrifos-methyl." *Malaria Journal* 9 (44).

OECD. 2006. "OECD Series on emission scenario documents Number 14 - Emission Scenario Document for Insecticides for Stables and Manure Storage Systems- ENV/JM/MONO(2006)4." 4.

OECD. 2008. "OECD series on emission scenario documents, Number 18, Emission scenario document for insecticides, acaricides and products to control other arthropods for household and professional uses, ENV/JM/MONO(2008)14."

OECD. 2013. "OECD Series on emission scenario documents Number 2 - Revised Emission Scenario Document for Wood Preservatives - ENV/JM/MONO(2013)21." 21.

Peterson R.K.D., Macedo P.A., Davis R.S., A human-health risk assessment for West Nile virus and insecticides used in mosquito management, *Environ. Health Perspect.* 114 (2006), pp. 366-372

Pridgeon, Pereira, Becnel, Allan, Clark, and Linthicum. 2008. "Susceptibility of *Aedes aegypti*, *Culex quinquefasciatus* Say, and *Anopheles quadrimaculatus* Say to 19 Pesticides with Different Modes of Action." *J. Med. Entomol.* 45 (1):82-87.

Roberts. 1984. "Evaluation of bendicarb as an ULV cold aerosol against caged mosquitoes." *Insect affecting man and animal Research laboratory* 44:457.

Roche, Léger, L'Ambert, Lacour, Foussadier, Besnard, Barré-Cardi, Simard, and Fontenille. 2015. "The Spread of *Aedes albopictus* in Metropolitan France : Contribution of Environmental Drivers and Human Activities and Predictions for a Near Future." *PlosOne* : <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0125600>

Spain. 2003. "Addendum III.B.6 Residues to the draft assessment report on the active substance chlorpyrifos-methyl prepared by the rapporteur Member State Spain in the framework of Council Directive 91/414/EEC", March 2003.

Tapley. 1980. "Evaluation of novel bendicarb ULV formulation against adult mosquitoes." *Mosquitoes News* 40 (4):560-563.

Tomlin. 1994. "The pesticide manual: a world compendium, Bath, U.K." *Bath Press.* (1341).

Uragayala, Verma, Natarajan, Velamuri, and Kamaraju. 2015. "Adulticidal & larvicidal efficacy of three neonicotinoids against insecticide susceptible & resistant mosquito strains. Indian." *J Med Res* 142:64-70.

WHO. 2006. "Guidelines for testing mosquito adulticides for indoor residual spraying and treatment of mosquito nets – part 3 related to small-scale field trials (phase II)." *WHO/CDS/NTD/WHOPES/GCDPP/3.*

WHO. 2009. "Guidelines for efficacy testing of insecticides for indoor and outdoor ground-applied space spray applications – part 2.1 related to "Intrinsic insecticidal activity"." *WHO/HTM/NTD/WHOPES/2009.2.*

WHO, 2011 Generic risk assessment model for indoor and outdoor space spraying of insecticides, first revision.. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44613/1/9789241501682_eng.pdf

WHO. 2013. "WHO recommended insecticides for indoor residual spraying against malaria vectors."

WHO. 2016. "Recommended insecticides for space spraying against mosquitoes."