

Le Directeur général

Maisons-Alfort, le 18 janvier 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

*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

Dans le contexte de la mondialisation des échanges de biens et des mouvements de personnes, les maladies émergentes telles que la dengue, le chikungunya et le Zika, transmises par les moustiques *Aedes albopictus* (ou moustique tigre) et *Aedes aegypti* sont présentes sur une large zone géographique et s'étendent sur plusieurs continents.

En France, la dengue circule dans les collectivités d'outre-mer depuis plusieurs années selon un mode endémo-épidémique (Cassadou et al. 2007, Chaud et al, 2006). Des épidémies de chikungunya ont touché les différentes collectivités d'outre-mer. Le Zika, a également émergé en 2015 en Amérique du Sud pour diffuser ensuite en Guadeloupe, Guyane, Martinique ainsi que dans les îles du Nord (Saint-Barthélemy et Saint-Martin). Le moustique *Aedes albopictus* est implanté depuis 2004 en Métropole, avec une trentaine de départements concernés en 2015 (DGS 2015). Par ailleurs des cas importés de dengue, de chikungunya et de Zika sont régulièrement détectés dans de nombreux départements par le dispositif de surveillance renforcée¹. Plusieurs épisodes de circulation autochtone de dengue et de chikungunya ont également été mis en évidence en Métropole.

La lutte anti-vectorielle (LAV), dans sa composante biocide est menée avec des insecticides. Pour ce qui concerne la lutte contre les moustiques adultes, la principale substance active utilisée est la deltaméthrine. Dans plusieurs régions où cette molécule est la seule utilisée depuis de nombreuses années, en particulier dans les collectivités d'outre-mer, les moustiques vecteurs ont développé des mécanismes de résistance. Disposer rapidement d'une palette de molécules diverses, efficaces, acceptables au regard des risques

¹<http://invs.santepubliquefrance.fr/Dossiers-thematiques/Maladies-infectieuses/Maladies-a-transmission-vectorielle/Zika/Donnees-epidemiologiques/France-metropolitaine/Chikungunya-dengue-et-zika-Donnees-de-la-surveillance-renforcee-en-France-metropolitaine-en-2016>

associés et permettant d'assurer une véritable LAV et de mettre en œuvre des stratégies de gestion de la résistance des vecteurs aux insecticides, revêt aujourd'hui une importance majeure.

C'est dans ce contexte que les ministères chargés de l'environnement, de la santé, du travail et de l'agriculture ont saisi l'Anses en 2015 afin d'identifier des substances actives présentant un intérêt pour une utilisation LAV et potentiellement candidates à une utilisation à court et moyen termes dans le cadre de la réglementation biocide européenne (UE) 528/2012.

En se basant sur la liste de 32 substances déjà identifiées dans l'avis de l'Anses du 3 janvier 2013 (Anses 2013), l'Anses a proposé dans son avis du 1^{er} février 2016 (Anses 2016) un nombre réduit de molécules adulticides ou larvicides potentiellement utilisables à court ou moyen terme. L'Anses a rappelé à cette occasion que l'utilisation éventuelle des substances actives identifiées contre les moustiques, au sein de formulations insecticides, exigeait au préalable que des évaluations de leur efficacité et des risques pour la santé humaine, ainsi que pour l'environnement, soient réalisées.

Le 18 avril 2016, les ministères chargés de l'écologie, de la santé et du travail ont à nouveau saisi l'Anses afin qu'elle engage les travaux d'évaluation de l'efficacité et des risques pour des molécules identifiées permettant des traitements adulticides alternatifs à la deltaméthrine. Les quatre substances suivantes ont été retenues : bendiocarbe, chlorpyrifos-méthyl, dinotéfurane et imidaclopride.

La priorité a été mise sur la lutte péri-domiciliaire contre les espèces du genre *Aedes* implantées dans les collectivités d'outre-mer et en Métropole, au vu des enjeux sanitaires et de la résistance des moustiques (en particulier *Ae. aegypti*) aux pyréthrinoïdes dans plusieurs de ces collectivités.

En réponse à cette saisine, l'Anses a engagé des travaux d'évaluation des risques liés à l'utilisation des produits formulés à base de ces quatre substances actives, pour la santé humaine et l'environnement. L'Anses a également fait réaliser des travaux expérimentaux relatifs à l'efficacité de ces substances actives sur le terrain dans le cadre de conventions de recherche et développement (CRD). Ces travaux ont été coordonnés par l'Anses en lien avec le CNEV². Par ailleurs, la deltaméthrine, qui est dans le cadre français la seule substance active de référence pour une utilisation adulticide en lutte anti-vectorielle, a également été étudiée de la même façon afin de pouvoir procéder à une analyse comparative.

Pour appuyer ses travaux en réponse à la saisine, l'Anses a mis en place un groupe d'expertise collective en urgence (GECU) qui s'est réuni à cinq reprises.

2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

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) ». L'expertise a été réalisée par la Direction de l'évaluation des produits réglementés (DEPR) de l'Anses.

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 de substances actives pour leur approbation en tant que substances actives biocides pour le bendiocarbe, la deltaméthrine, le dinotéfurane et l'imidaclopride ;
- le rapport d'évaluation de la substance active chlorpyrifos-méthyl pour son approbation en tant que substance active phytopharmaceutique ;
- des travaux de l'OMS³ relatifs aux doses d'application recommandées dans le cadre de la LAV pour les quatre substances d'intérêt et de la deltaméthrine ;

² Centre National d'Expertise sur les Vecteurs (CNEV).

³ Organisation Mondiale pour la santé.

- des différents documents techniques d'évaluation des risques pour la santé humaine en application du Règlement Biocides (UE) n° 528/212 ;
- une note de l'Anses de décembre 2013, relative aux dangers de la deltaméthrine, basée sur les données disponibles dans les rapports d'évaluation réglementaire européens de la substance active deltaméthrine finalisé en février 2010, ainsi que les données issues de la bibliographie scientifique concernant des dangers qui n'auraient pas été identifiés lors de l'évaluation réalisée suivant le cadre réglementaire européen ;
- l'avis de l'Anses de février 2016 relatif à l'actualisation de l'identification substances actives et produits biocides potentiellement intéressants pour une utilisation en LAV ;
- l'avis de l'Anses de 2013 relatif à la hiérarchisation des insecticides potentiellement utilisables en lutte anti-vectorielle (LAV) ;
- des informations sur les pratiques de terrain fournies dans un rapport commandé par l'Anses dans le cadre d'une CRD ;
- les fiches d'information réalisées par l'EID⁴ relatives aux traitements adulticides par voie terrestre et à la description de l'appareillage utilisé en LAV ;
- les résultats disponibles au 13 décembre 2016 des travaux expérimentaux relatifs à l'efficacité de substances actives obtenus dans le cadre de conventions de recherche et développement avec le CEDRE⁵ et l'EID. Les résultats des travaux menés en laboratoire pour mesurer l'efficacité des substances actives sur les moustiques *Aedes albopictus* et *Aedes aegypti* ont été inclus dans l'avis. Les tests d'efficacité de terrain sont encore en cours de réalisation.

3. SYNTHÈSE DES RESULTATS

Après consultation du GECU réuni pour la dernière fois le 13 décembre 2016, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail émet l'avis suivant.

3.1. RAPPEL DU STATUT RÉGLEMENTAIRE DES SUBSTANCES ACTIVES

Dans l'avis de l'Anses relatif à l'actualisation de substances actives biocides potentiellement intéressants pour une utilisation en LAV du 2 février 2016 (Anses 2016), le statut réglementaire des cinq substances actives (deltaméthrine, bendiocarbe, chlorpyrifos-méthyl, dinotéfurane et imidaclopride) avait été présenté. Le statut de ces substances actives et l'information relative à la disponibilité des produits les contenant présentés ci-dessous ont été mis à jour.

3.1.1. Deltaméthrine - Pyréthrinoïdes

Dans les réglementations biocide et phytopharmaceutique, la deltaméthrine est une substance active approuvée au niveau européen et des produits contenant cette substance active sont disponibles, y compris dans les collectivités d'outre-mer. Ces produits sont destinés à la lutte contre les moustiques et autres insectes y compris pour des usages de LAV.

3.1.2. Bendiocarbe - Carbamates

Le bendiocarbe est une substance active biocide approuvée conformément au règlement biocide (UE) n°

⁴ Entente Interdépartementale pour la Démoustication du littoral méditerranéen.

⁵ Centre de Démoustication et de Recherches Entomologiques de la Martinique.

528/2012.

Des produits à base de bendiocarbe et d'association de bendiocarbe avec d'autres substances actives, destinés à la lutte contre les moustiques sont commercialisés en France.

Il n'existe pas de produit phytopharmaceutique à base de bendiocarbe commercialisé car cette substance n'est pas notifiée.

3.1.3. Chlorpyriphos-méthyl - Organophosphorés

Le chlorpyriphos-méthyl n'est pas inscrit au programme d'examen des substances actives biocides, et ne fait donc pas l'objet d'usages biocides. Les raisons en sont administratives, aucun pétitionnaire ne l'ayant notifié dans les délais réglementaires.

Le chlorpyriphos-méthyl est une substance active phytopharmaceutique approuvée. Des produits phytopharmaceutiques sont autorisés en France et disponibles, notamment pour une application par pulvérisation sur les cultures.

3.1.4. Dinotéfurane et imidaclopride - Néonicotinoïdes

Le dinotéfurane et l'imidaclopride sont des substances actives biocides approuvées conformément au règlement biocide (UE) n° 528/2012.

Le dinotéfurane étant une substance active nouvelle (substances active non existante au moment de l'établissement de la liste des substances inscrites au programme d'examen biocides en 2007), les produits doivent avoir une autorisation de mise à disposition sur le marché (AMM) conforme au règlement biocide (UE) n° 528/2012 avant d'être commercialisés. A ce jour, il n'y a pas de produits en France contenant du dinotéfurane. Des demandes d'AMM ont été déposées en France et sont en cours d'instruction. Ces produits sont destinés à la lutte contre les insectes autres que les moustiques.

Pour l'imidaclopride, des produits biocides sont déjà commercialisés en France. Des demandes d'AMM ont été déposées en France et sont en cours d'instruction. Ces produits sont destinés à la lutte contre les insectes autres que les moustiques (blattes, fourmis, mouches essentiellement).

Dans la réglementation phytopharmaceutique, il n'existe pas de produits à base de dinotéfurane commercialisés car cette substance n'est pas notifiée au niveau européen. L'imidaclopride est une substance active approuvée et des produits destinés à la lutte contre les mouches, pucerons et autres ravageurs de cultures sont autorisés en France. Ces produits sont appliqués par pulvérisation, sur des céréales, cultures légumières, arbres et arbustes et pour le traitement de semences et du sol.

Il convient de noter que, dans le cadre de ces usages phytopharmaceutiques, la loi n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages, dans son article 125 (alinéa II), précise que « l'utilisation de produits phytopharmaceutiques contenant une ou des substances actives de la famille des néonicotinoïdes et de semences traitées avec ces produits est interdite à compter du 1^{er} septembre 2018 ». Des dérogations peuvent « être accordées jusqu'au 1^{er} juillet 2020 par arrêté conjoint des ministres chargés de l'agriculture, de l'environnement et de la santé ».

3.2. DESCRIPTION DES USAGES PERI-DOMICILIAIRES CONSIDERES

Les principales méthodes de traitements insecticides mises en œuvre dans le cadre de la LAV sont les traitements par application intra-domiciliaire, péri-domiciliaire et spatiale (application à plus large échelle) (Cassadou et al. 2007, Chaud et al. 2006). La lutte péri-domiciliaire, usage considéré prioritairement dans le cadre de cette saisine, consiste à appliquer des produits insecticides dans un périmètre restreint à l'entourage immédiat des habitations (DGS 2015).

3.2.1. Choix de la méthode de traitement en fonction des caractéristiques des moustiques

Le choix de la méthode de lutte péri-domiciliaire tient compte du caractère exophile⁶ et endophile⁷ des deux espèces de moustiques *Aedes albopictus* et *Aedes aegypti* (Degallier et al. 1988, EHESP 2011). Le tableau 1 suivant présente les caractéristiques des deux espèces de moustiques.

Tableau 1: caractéristiques des espèces de moustiques *Aedes albopictus* et *Aedes aegypti* (Degallier et al. 1988, EHESP 2011, Roche et al. 2015)

Moustiques	Habitats et caractéristique
<i>Aedes albopictus</i>	Espèce rurale et urbaine
	Majoritairement exophile
	Pic d'agressivité en début et fin de journée
	Multiples piqures
	Pontes multiples dans les récipients
	Distance de vol généralement comprises entre 190 et 200 m
	Dans le sud de la France la photopériode critique (durée du jour induisant la diapause dans 50% des œufs) est estimée à une durée du jour d'environ 13h Pas de diapause de l'espèce en zone tropicale (La Réunion et Mayotte)
<i>Aedes aegypti</i>	Espèce rurale et urbaine
	Exophile et endophile
	Pic d'agressivité en début et fin de journée
	Multiples piqures dans la journée
	Pontes multiples dans les récipients
	Distance de vol généralement comprise 200 à 400 m
	Entrée en diapause rare voire inexistante (possible à une température inférieure à 28 °C en conditions humides)

En Métropole, le moustique *Aedes albopictus* est implanté dans plusieurs départements (DGS 2015). En milieu urbain, *Aedes albopictus* étant exophile, 80 % des gîtes larvaires se trouvent autour des habitations, en particulier dans les jardins, les cours, les terrasses... La particularité de cette espèce est de pouvoir entrer en diapause au stade œuf. Ainsi, les œufs pondus en fin de saison (septembre) pourront éclore au printemps suivant (à partir d'avril-mai), l'éclosion est en effet déclenchée par la photopériode et par la température (Lacour et al. 2015, EHESP 2011, Cassadou et al. 2007).

Pour prévenir la circulation de virus transmis par *Aedes albopictus*, le ministère de la santé par l'instruction n° DGS/RI&/2015/125 du 16 avril 2015 a mis à jour le guide relatif aux modalités de mise en œuvre du plan anti-dissémination du chikungunya et de la dengue en Métropole (DGS 2015). La lutte péri-domiciliaire constituée par des actions physiques (destruction de tous les gîtes larvaires pouvant être détruits) et des traitements

⁶ Arthropode ayant pour gîtes de repos des abris extérieurs (anfractuosités, végétation basse, creux d'arbres, etc.)

⁷ Arthropode ayant pour gîtes de repos des abris à l'intérieur des habitations.

larvicides et/ou adulticides est réalisée autour des habitations des cas, dans un périmètre de l'ordre de 50 m alors que les pulvérisations spatiales sont réalisées dans un périmètre de l'ordre de 150 m selon la configuration du terrain. Cette dernière distance correspond à la distance de dispersion estimée du moustique *Ae. albopictus*.

A la Réunion, département dans lequel l'espèce *Aedes albopictus* est très majoritairement présente, seule la lutte péri-domiciliaire est réalisée comme en Métropole.

Dans les autres collectivités d'outre-mer où est implantée l'espèce *Aedes aegypti* (départements français d'Amérique) et ceux où sont présentes les deux espèces *Aedes aegypti* et *Aedes albopictus* (Mayotte), une lutte péri-domiciliaire et intra-domiciliaire est réalisée. Elle consiste à pulvériser des produits insecticides respectivement autour et à l'intérieur des habitations. En effet, *Aedes aegypti* étant à la fois endophile et exophile (Degallier et al. 1988, Cassadou et al. 2007, EHESP 2011) au contraire d'*Aedes albopictus*, plutôt exophile, les traitements sont réalisés à l'intérieur des habitations et autour des foyers de contamination pour lutter contre cette espèce. Contrairement à l'espèce *Aedes albopictus*, la diapause est rare voire inexistante pour l'espèce *Aedes aegypti* (Degallier et al. 1988), et les traitements sont réalisés presque toute l'année.

Une fois l'épidémie déclenchée (explosion spatio-temporelle du nombre de cas) (Cassadou et al. 2007), ces traitements sont réduits et réservés à des cas particuliers (populations fragiles : personnes âgées, enfants, femmes enceintes) car considérés comme incapables d'inverser la courbe épidémique et susceptibles d'accroître les phénomènes de résistance chez les espèces vectrices ciblées.

Dans le cadre de la présente saisine, seuls le traitement adulticide en péri-domiciliaire a été pris en compte dans les différents scénarios d'évaluation des risques.

3.2.2. Choix des formulations insecticides et des appareillages adéquats

Le choix du type de formulations insecticides conditionne le mode d'application et l'appareillage choisi en fonction des conditions d'accès aux sites de traitement. Pour les traitements adulticides péri-domiciliaires, un traitement couvrant une surface autour des foyers de contamination est recherché. Le produit est pulvérisé et des formulations liquides sont par conséquent utilisées.

Pour les formulations de type émulsion aqueuse, liquide homogène à diluer avant emploi, les applications visant à lutter contre les stades adultes en péri-domiciliaire sont réalisées à ultra-bas-volume (ULV – volume de bouillie < 5 L/ha)⁸:

- soit par nébulisation à froid. Les appareillages sont montés sur un véhicule pick-up 4x4 afin de couvrir un rayon de 150 m autour des maisons où les cas ont séjournés (traitement spatial autoporté) ;
- soit par nébulisation à froid ou à chaud (thermo-nébulisation) à l'aide d'un appareil portable, à pied pour des traitements péri-domiciliaires plus ciblés, aux abords immédiats des maisons où les cas ont séjournés (traitement spatial péri-domiciliaire à pied).

⁸ Fiches d'information réalisées par l'EID relatives aux traitements adulticides par voie terrestre et à la description de l'appareillage utilisé en LAV.

3.3. EVALUATION DE L'EFFICACITE DES SUBSTANCES ACTIVES

Dans le cadre d'une CRD, des tests expérimentaux d'efficacité ont été prévus en collaboration avec des opérateurs de LAV et de démoustication (EID Méditerranée pour la Métropole et le CEDRE pour la Martinique) sur les 4 substances actives d'intérêt afin de vérifier leur efficacité sur les moustiques cibles présents en France.

Les expérimentations sont prévues en deux temps :

- dans un premier temps, préalablement à la mise en œuvre d'expérimentations de terrain, il était nécessaire de déterminer des doses d'application opérationnelles pour les 4 substances actives d'intérêt à partir de tests d'efficacité en laboratoire. Pour cela, une revue des résultats disponibles dans les publications scientifiques a été réalisée. Par ailleurs, des essais en laboratoire par contact topique ont été réalisés pour les espèces cibles présentes en France par les deux laboratoires ;
- dans un second temps, les doses d'application estimées pour le traitement spatial doivent être testées au cours d'essais en conditions semi-contrôlées : les épandages seront réalisés au moyen d'un nébulisateur à froid sur des parcelles de taille limitée sur lesquels sont répartis un réseau de cagettes contenant des lots de moustiques femelles adultes.

Les travaux sont encore en cours et, fin 2016, seuls les résultats de la première étape, visant à déterminer des doses topiques étaient disponibles. Ces résultats sont présentés de façon synthétique ci-dessous. L'ensemble des résultats expérimentaux de laboratoire et de terrain feront l'objet de rapports complets attendus en 2017.

3.3.1. Recherche bibliographique de doses d'application opérationnelles pour les 4 substances actives d'intérêt

Les recherches bibliographiques ont été menées sur les bases de données de Scopus (www.scopus.com) et Pubmed (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>). Le profil de recherche bibliographique a été élaboré à partir de mots-clés (« nom de la substance active », « mosquito ») permettant de rechercher des études d'efficacité de manière assez large.

Les études d'efficacité sélectionnées pour les 4 substances actives d'intérêt mettent en œuvre en grande majorité :

- soit des applications topiques (WHO 2009) (essais de laboratoire permettant de déterminer une dose létale de l'insecticide pour 50 % (« DL₅₀⁹ ») ou 90 % (DL₉₀)¹⁰ des moustiques, lorsqu'il est appliqué sur le pronotum des moustiques femelles. Cette dose est exprimée usuellement en nanogramme (ng) de substance active par milligramme (mg) de moustique femelle ou dans certaines publications en ng de substance active par moustique femelle.
- soit des applications par aspersion intra-domiciliaire d'insecticide afin de rechercher un effet rémanent (IRS : « indoor residual spraying » (WHO 2006)).

En effet, il est à noter que peu d'études incluent des applications spatiales permettant d'inférer des doses opérationnelles pouvant être exploitées dans le cadre de cette saisine. Quelques données (Mount 1998, Mount et al. 1996, Tapley 1980, Roberts 1984) permettent d'identifier des doses de terrain en gramme par hectare (g/ha), pour le bendiocarbe et le chlorpyrifos-méthyl. Des données sont également disponibles dans la littérature pour le chlorpyrifos-éthyl.

Pour chaque substance d'intérêt, le Tableau 2 répertorie les doses létales 50 % (DL₅₀) par applications topiques issues de la littérature pour différentes espèces avec leur profil de sensibilité (sensible ou le cas échéant résistant).

⁹ DL50: concentration de la substance active entraînant 50 % de mortalité des moustiques.

¹⁰ DL90: concentration de la substance active entraînant 90 % de mortalité des moustiques.

Tableau 2 : Données relatives aux doses efficaces issues de la littérature pour les 4 substances actives d'intérêt et des substances actives de référence (deltaméthrine, malathion et lambda-cyhalothrine)

	Application par voie topique - DL ₅₀ (ng s.a. / mg p.v. femelle)											Dose recommandée par l'OMS – traitement spatial (g s.a./ha)	
	<i>Anopheles gambiae</i> (S)	<i>Anopheles gambiae</i> (R - kdr)	<i>Anopheles stephensi</i> (S)	<i>Anopheles stephensi</i> (R-DDT/malathion/ deltaméthrin)	<i>Culex pipiens</i> (S)	<i>Culex quinquefasciatus</i> (S)	<i>Culex quinquefasciatus</i> (R-kdr+oxydases)	<i>Culex quinquefasciatus</i> (R-OP, tolérant pyréthrinoides)	<i>Aedes albopictus</i> (S)	<i>Aedes aegypti</i> (S)	<i>Aedes aegypti</i> (R-kdr)		<i>Anopheles quadrimaculatus</i>
Bendiocarbe					0,57 ^{*(2)}								néant
Chlorpyriphos-méthyl	1,27 ⁽⁸⁾	2,25 ^{*(8)}			1,5 ^{*(2)}								néant
Dinotéfurane	0,18 ⁽¹⁾	0,3 ⁽¹⁾				13,75 ⁽¹⁾	31,16 ⁽¹⁾	9,49 ⁽¹⁾		7,14 ⁽¹⁾	12,57 ⁽¹⁾		néant
Imidaclopride			2,217 ^{*(7)}	0,297 ^{*(7)}		1,2 ⁽⁶⁾		0,009 ^{*(7)}		0,558 ^{*(7)} 0,77 ⁽⁶⁾		0,38 ⁽⁶⁾	néant
Deltaméthrine	0,018 ⁽¹⁾				0,07 ^{*(2)}	0,14 ⁽¹⁾			0,00082 ⁽⁴⁾	0,018 ⁽³⁾			0,5 - 1,0
Malathion			6 ^{*(5)}							6 ^{*(5)}			112-600
Lamda-cyhalothrine					1,3 ^{*(2)}								2

* Résultat exprimé en ng s.a./femelle ; (1) Corbel et al. (2004) ; (2) Kim et al (2007) ; (3) Rapport Essais IRD 2008 - Martinique ; (4) Chan et al (2011) ; (5) Hadaway et al (1963) ; (6) Pridgeon et al. (2008) ; (7) Urabayala et al. (2015) ; (8) Bonnet et al. (2004).

Pour les substances actives de référence régulièrement utilisées sur le terrain en LAV (en l'occurrence deltaméthrine, malathion et lambda-cyhalothrine), les informations relatives aux doses recommandées par l'OMS en application spatiale ont été également rajoutées (WHO 2016), ainsi que les DL₅₀ issues d'applications topiques retrouvées dans la littérature. Pour cette saisine, seules les données relatives à la deltaméthrine ont été prises en compte.

Ainsi en synthèse, il peut être constaté pour chacune des 4 substances actives d'intérêt ce qui suit :

3.3.1.1. Bendiocarbe

Une seule étude pertinente (Kim et al. 2007) en application topique a été répertoriée sur l'espèce *Cx. pipiens* (sensible) avec une DL₅₀ de 0,57 ng / femelle moustique. Par ailleurs, des doses opérationnelles sont recommandées par l'OMS pour des traitements intérieurs résiduels par pulvérisation (WHO 2013), comprises entre 0,1 et 0,4 g de substance active / m².

Sur la base de références de la littérature (Mount 1998, Roberts 1984), une dose en application spatiale de 10 g sa / ha apporte une efficacité satisfaisante.

3.3.1.2. Chlorpyrifos-méthyl

Deux études d'efficacité en application topique (Bonnet et al. 2004, Kim et al. 2007) respectivement sur les espèces *An. gambiae* sensible et résistante (mutation kdr), et *Cx. pipiens* (sensible) sont retrouvées dans la littérature. Les résultats font état de DL₅₀ de 1,27 et 2,25 ng / mg de moustique femelle sur respectivement les formes sensibles et résistantes de l'espèce *Anopheles gambiae*, et 1,15 ng / moustique femelle sur *Cx. pipiens*.

En traitements intérieurs résiduels par pulvérisation, des études font état d'efficacité satisfaisantes pour des applications de doses de l'ordre de 500 mg sa / m² (Ansari and Razdan 2004, N'Guessan et al. 2010) sur les genres *Anopheles* et *Culex*.

3.3.1.3. Dinotéfurane

Une étude bibliographique (Corbel et al. 2004) permet de déterminer des doses par application topique sur les espèces *Ae. aegypti*, *An. gambiae* et *Cx. pipiens* sensibles ou résistantes (mutation kdr). En moyenne, les DL₅₀ retrouvées sur les espèces résistantes (mutation kdr) et exprimées par mg de moustique femelle sont doublées par-rapport aux valeurs issues des tests sur espèces sensibles (respectivement 7,14 contre 12,57 ng sur *Ae. aegypti*, 13,75 contre 31,16 ng sur *Cx. quinquefasciatus*, et 0,18 contre 0,30 ng sur *An. gambiae*).

3.3.1.4. Imidaclopride

Deux études bibliographiques (Pridgeon et al. 2008, Uragayala et al. 2015) avec des applications topiques (DL₅₀) ont été retenues sur respectivement les espèces *Ae. aegypti* et *Cx. quinquefasciatus* pour la première étude, et les espèces *Ae. aegypti*, *An. stephensis* et *Cx. quinquefasciatus* pour la seconde. Les DL₅₀ sur *Cx. quinquefasciatus*, bien qu'issues de deux études différentes, sont relativement proches (respectivement 0,77 ng / mg de moustique femelle et 0,558 ng / moustique femelle, considérant que le poids d'un moustique femelle est de l'ordre de 1 mg).

3.3.2. Extrapolation de doses d'application topique vers des doses d'application spatiale

3.3.2.1. Comparaison des DL₅₀ entre la deltaméthrine et les 4 substances actives d'intérêt, d'après les données de la littérature.

Compte-tenu du peu de données relatives aux doses utilisables directement sur le terrain en application spatiale pour les 4 substances actives d'intérêt, le ratio DL₅₀ s.a./DL₅₀ deltaméthrine a été considéré pour les principales espèces (*Ae. aegypti*, *An. gambiae* et *Cx. pipiens*). Ce ratio a été appliqué à la dose spatiale de la deltaméthrine recommandée de l'OMS de 1 g/ha pour estimer une dose théorique efficace en situation d'application spatiale. Il doit néanmoins être souligné que l'objectif des essais en application topique n'est pas de déterminer des doses opérationnelles utilisables sur le terrain. Il convient donc ici de considérer ces doses théoriques calculées avec réserve et elles devront être affinées le cas échéant ultérieurement.

Il est à noter que certaines publications mentionnaient des doses létales 90 ou 95 % (DL₉₀ ou DL₉₅), qui n'ont pas été prises en compte dans le calcul de ces ratios car les résultats montraient une plus grande variabilité.

Les ratios et doses théoriques pour chaque substance active d'intérêt ainsi calculés figurent dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3: DL₅₀ (ng s.a./mg p.v. femelle) estimée par application par voie topique, ratio DL_{50 sa} / DL₅₀ deltaméthrine et estimation d'une dose efficace pour une application spatiale à partir des ratios calculés (en g de s.a./ha).

	<i>Aedes aegypti</i> (S)		<i>Aedes aegypti</i> (R-kdr)		<i>Culex pipiens</i> (S)		<i>Culex quinquefasciatus</i> (S)		<i>Anopheles gambiae</i> (S)		Dose estimée (g s.a./ ha)
	DL ₅₀	Ratio **	DL ₅₀	Ratio **	DL ₅₀	Ratio **	DL ₅₀	Ratio **	DL ₅₀	Ratio **	
Deltaméthrine	0,018 ⁽³⁾	1		1	0,07 ^{*(2)}		0,14 ⁽¹⁾	1	0,018 ⁽¹⁾		1
Bendiocarbe					0,57 ^{*(2)}	8					10
Chlorpyrifos-méthyl					1,5 ^{*(2)}	21			1,27 ⁽⁷⁾	71	40
Dinotéfurane	7,14 ⁽¹⁾	397	12,57 ⁽¹⁾	698			13,75 ⁽¹⁾	98	0,18 ⁽¹⁾	10	400
Imidaclopride	0,558 ^{*(6)} - 0,77 ⁽⁵⁾	31-43					1,2 ⁽⁵⁾	9			40

* Résultat exprimé en ng s.a./femelle ; ** Ratio DL₅₀ s.a./DL₅₀ deltaméthrine ;
(1) Corbel et al. (2004) ; (2) Nam Jin Kim et al (2007) ; (3) Rapport Essais IRD 2008 - Martinique ; (4) Chan et al. (2011) ; (5) Pridgeon et al. (2008) ; (6) Uragayala et al. (2015) ; (7) Bonnet et al. (2004).

Pour le bendiocarbe, une seule valeur de DL₅₀ est disponible avec un rapport DL₅₀ bendiocarbe / DL₅₀ deltaméthrine de 8. La dose préconisée extrapolée sur la base serait donc de 8 g sa/ha. Par ailleurs, sur la base de références de la littérature (Mount 1998, Roberts 1984), une dose de 10 g sa / ha apporte une efficacité satisfaisante. Par conséquent, il a été décidé qu'une dose de terrain de 10 g sa / ha semblait cohérente en première approche et pouvait être utilisée pour les essais de semi-terrain.

Pour le chlorpyrifos-méthyl, la moyenne des ratios de deux DL₅₀ disponibles dans la littérature a été calculée. Sur cette base, une dose d'environ 45 g de substance active / ha peut être ainsi préconisée. Néanmoins d'après (Mount 1998) et (Mount et al. 1996) une dose d'environ 40 g sa / ha s'avère efficace et peut ainsi être retenue pour les essais de semi-terrain.

Dans le cas du dinotéfurane, des DL₅₀ étaient disponibles pour plusieurs espèces cibles et une moyenne des ratios a été calculée en considérant les valeurs de DL₅₀ les plus proches. Ainsi la DL₅₀ sur *An.gambiae* (0,18 mg), très éloignée des DL₅₀ retrouvées sur les autres espèces n'a pas été prise en compte. Par extrapolation des ratios de DL₅₀ avec ceux la deltaméthrine, une dose de 400 g sa / ha peut être ainsi préconisée.

Enfin pour l'imidaclopride, les valeurs de DL₅₀ très proches des 2 essais sur *Ae.aegypti* ont été prises en compte pour calculer un ratio pour chaque valeur et d'extrapoler en moyenne une dose préconisée de 40 g sa / ha.

3.3.2.2. Comparaison des DL₅₀ entre la deltaméthrine et les 4 substances actives d'intérêt, d'après les données des essais topiques de laboratoire réalisés par l'EID et le CEDRE.

Les données de la littérature relatives aux DL₅₀ issues d'application topique et précédemment évoquées, proviennent d'essais menés avec des conditions et des espèces hétérogènes d'un protocole à l'autre, pour répondre à des objectifs différents (monitoring de résistance, synergie entre substances actives...).

Afin de confirmer les valeurs de DL₅₀ pour les 4 substances actives d'intérêt, sur les souches d'*Ae.aegypti*, et affiner le calcul des doses qui seront appliquées en Métropole et en Martinique dans le cadre des essais semi-terrain en cagette, une expérimentation préalable en laboratoire avec des applications topiques a été menée. L'objectif est de valider des DL₅₀ sur l'espèce *Ae.aegypti* pour toutes les substances actives d'intérêt y compris la substance de référence (deltaméthrine) dans les mêmes conditions d'essai et de confirmer la cohérence des doses spatiales extrapolées à partir des ratios de DL₅₀ entre substances actives d'intérêt et deltaméthrine.

Ainsi, des essais de laboratoire en application topique ont été réalisés par l'EID Méditerranée en Métropole sur l'espèce *Ae.aegypti*, souche Bora-Bora (sensible) et par le CEDRE en Martinique sur l'espèce *Ae.aegypti* (à la fois sur souche Bora Bora sensible et souches sauvages résistantes collectées sur 3 sites: Carbet, Trinité et Anses-d'Arlet), afin de déterminer des DL₅₀ et DL₉₀ pour les 4 substances d'intérêt et la substance active de référence deltaméthrine.

Les résultats obtenus en Métropole et en Martinique sont présentés dans les tableaux 4 et 5 ci-dessous, récapitulent les moyennes de DL₅₀ et DL₉₀ obtenues pour chaque substance, pour chaque essai réalisé en Métropole et Martinique. L'ensemble des données expérimentales ainsi que les protocoles utilisés feront l'objet de rapports complets attendus en 2017.

Tableau 4: Résultats des essais topiques réalisés en Métropole (EID Méditerranée) et estimation d'une dose efficace pour application spatiale à partir des ratios ratio DL₅₀ sa / DL₅₀ deltaméthrine (en g de s.a/ha).

<i>Ae.aegypti</i> Souche Bora-Bora	Dose topique moyenne ng/mg femelle		Dose estimée (g s.a./ha) à partir des essais topiques	Dose calculée sur la base de la littérature (pour mémoire)
	DL ₅₀	DL ₉₀		
Deltaméthrine	0,015	0,044	1	1
Bendiocarbe	2,30	8,81	156	10
Chlorpyriphos-méthyl	0,98	4,71	66	40
Dinotéfurane	4,51	21,57	305	400
Imidaclopride	1,24	6,34	84	40

Les DL₅₀ sont largement supérieures à celles issues de la revue bibliographique, excepté pour le dinotéfurane. Ce constat suggérerait d'augmenter les doses préconisées pour les essais de terrain, notamment pour les substances actives bendiocarbe et imidaclopride, par rapport aux doses précédemment extrapolées sur la base de la littérature.

Tableau 5: Résultats des essais topiques réalisés en Martinique (CEDRE)

	<i>Ae.aegypti</i> Souches sauvages collectées sur plusieurs sites		<i>Ae.aegypti</i> Souche Bora-Bora	
	Dose topique moyenne ng/mg femelle		Dose topique moyenne ng/mg femelle	
	DL ₅₀	DL ₉₀	DL ₅₀	DL ₉₀
Deltaméthrine	0,55	1,35	non disponible	non disponible
Bendiocarbe	0,73	2,42	non disponible	non disponible
Chlorpyriphos-méthyl	4,92	16,67	2,14	4,44
Dinotéfurane	15,03	103,33	8,21	123,26
Imidaclopride	2,28	11,22	1,79	6,32

Sur souches sauvages, les DL₅₀ et DL₉₀ obtenues avec la deltaméthrine sont augmentées d'un facteur 30 environ, confirmant la forte résistance à cette molécule des souches d'*Ae.aegypti* retrouvées en Martinique.

Au vu des résultats des essais topiques réalisés en Martinique, compte-tenu du biais apporté par la résistance des souches à la deltaméthrine, il n'est pas approprié d'utiliser les valeurs de DL₅₀ pour calculer des ratios DL₅₀ sa / DL₅₀ deltaméthrine et extrapoler des doses de terrain.

La variabilité pour la souche Bora-Bora entre les résultats de Métropole et de Martinique peut s'expliquer par une variabilité inter-laboratoire. De plus, les différences observées entre espèces sauvages et d'élevages peuvent s'expliquer par le fait que les souches sauvages de Martinique sont également résistantes aux organophosphorés (Marcombe et al. 2009) L'imidaclopride est la seule substance active pour laquelle les résultats obtenus par les deux équipes sur la même souche sensible (Bora-Bora) sont similaires.

En conclusion, compte-tenu des résultats synthétisés dans les publications de (Mount 1998), des valeurs de DL₅₀ obtenues avec les essais topiques, il a été considéré qu'il était plus opportun de conserver les doses théoriques proposées à partir de la synthèse bibliographique telles que figurant dans le tableau 5 ci-dessous. Ces doses sont donc utilisées pour l'évaluation des risques pour l'homme et l'environnement, et seront testées lors pour la réalisation des essais de semi-terrain.

Tableau 6: Doses théoriques pour les application terrain, utilisées pour l'évaluation des risques et pour les essais d'efficacité de semi-terrain

	Dose théorique estimée pour une application spatiale (g s.a./ha)
Deltaméthrine	1
Bendiocarbe	10
Chlorpyriphos-méthyl	40
Dinotéfurane	400
Imidaclopride	40

3.4. IMPACT SUR SANTE HUMAINE DE L'USAGE DES SUBSTANCES ACTIVES EN PULVERISATION PERI-DOMICILIAIRE

3.4.1. 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 européens.

3.4.1.1. Deltaméthrine

Les valeurs de références utilisées pour l'évaluation du risque pour la deltaméthrine sont les valeurs définies dans le cadre de l'approbation de la deltaméthrine en tant que substance active biocide (rapport d'évaluation européen de la deltaméthrine, mai 2011).

Tableau 7 : Valeurs de référence pour la deltaméthrine

	Valeurs de référence (mg/kg pc/j)	Etude support	Facteur de sécurité	Effets critiques
AEL ¹¹ 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	
ARfD ¹²	0,01	Toxicité répétée, 1 an, chien	100	
DJA ¹³	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)			

3.4.1.2. Bendiocarbe

Les valeurs de références utilisées pour l'évaluation du risque pour le bendiocarbe sont les valeurs définies dans le cadre de l'approbation du bendiocarbe en tant que substance active biocide (rapport d'évaluation européen, septembre 2011)

Dans le rapport européen aucune ARfD ni DJA n'ont été proposées. L'ARfD a donc été calculée sur la base de l'AEL court-terme, considérant une absorption par voie orale de 100 %. La valeur de DJA retenue est celle présentée dans l'avis de l'Anses relatif à l'actualisation des indicateurs de risque alimentaire lié aux résidus de pesticides (Anses 2014a).

¹¹ (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.

¹² (Acute reference dose) : dose de référence aiguë.

¹³ Dose journalière admissible.

Tableau 8 : valeurs de référence pour le bendiocarbe

	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	
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>JMPR¹⁴, 1984 (étude support non renseignée)</i>		
Absorption cutanée	5 % pour les formulations concentrées et diluées (formulation testée à base d'eau)			

3.4.1.3. Chorpyriphos-méthyl

Les valeurs de références utilisées pour l'évaluation du risque pour le chlorpyriphos-méthyl sont les valeurs définies dans le cadre de son approbation en tant que substance active phytopharmaceutique (rapport d'évaluation européen, juin 2015).

Tableau 9 : valeurs de référence pour le chlorpyriphos-méthyl

	Valeurs de référence (mg/kg pc/j)	Etude support	Facteur de sécurité	Effets critiques
AOEL¹⁵	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)			

Il est à noter que les valeurs de référence du chlorpyriphos-éthyl (CAS 2921-88-2), substance approuvée dans la réglementation phytopharmaceutique dont la structure est proche du chlorpyriphos-méthyl, ont fait l'objet d'une révision en Juin 2013 par l'EFSA¹⁶. Suite à la mise à disposition de nouvelles études, l'EFSA a publié un

¹⁴ (Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues) : réunion conjointe entre la FAO et l'OMS sur les résidus de pesticides.

¹⁵ (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.

¹⁶ European Food Safety Agency : Agence Européenne pour la Sécurité des Aliments

addendum au DAR¹⁷ dans lequel les valeurs de référence ont été diminuées d'un facteur 10 afin de prendre en compte les effets de diminution de l'activité cholinestérase observée au niveau des globules rouges. Ces effets ont été jugés plus importants et plus rapides que ceux observés au niveau du cerveau sur lesquels les VTR étaient préalablement basés.

A ce jour, les VTR du chlorpyrifos-méthyl n'ont pas été révisées. Comme pour les autres substances actives, les évaluations de risques ont été faites sur la base des valeurs des références en vigueur.

3.4.1.4. Dinotéfurane

Les valeurs de références utilisées pour l'évaluation du risque pour le dinotéfurane sont les valeurs définies dans le cadre de son approbation en tant que substance active biocide (rapport d'évaluation européen, juin 2014).

Tableau 10 : valeurs de référence pour le dinotéfurane

	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)			

3.4.1.5. Imidaclopride

Les valeurs de références utilisées pour l'évaluation du risque pour l'imidaclopride sont les valeurs définies dans le cadre de son approbation en tant que substance active biocide (rapport d'évaluation européen, février 2011).

Dans ce rapport européen aucune ARfD ni DJA n'ont été proposées. Les valeurs sont issues du rapport d'évaluation de la substance active soumis dans le cadre du Règlement (UE) No 1107/2009 relatif aux substances actives phytopharmaceutiques.

17 Draft Assessment Report: rapport d'évaluation de la substance active phytopharmaceutique

Tableau 11 : valeurs de référence pour l'imidaclopride

	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)			

A noter qu'une diminution de la valeur de l'ARfD à 0,06 mg/kg pc/j (sur la base des résultats de l'étude de 2 ans chez le rat) a été proposée par l'EFSA en 2016.

3.4.2. Evaluation des risques pour la santé humaine

Cette saisine se focalise sur les traitements adulticides péri-domiciliaires, c'est-à-dire les zones en extérieur au tour de l'habitat de cas identifiés d'infection. L'évaluation des risques couvre les opérateurs et la population générale. Lors des traitements, les voies d'exposition principales pour les opérateurs et la population générale sont la voie cutanée et l'inhalation.

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 dans la section « 3.4.1 définition des valeurs de référence » 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.

Prise en compte de l'absorption par inhalation

En l'absence d'étude d'absorption par inhalation sur les substances considérées dans cette saisine, une valeur d'absorption de 100 % sera prise en compte pour cette voie.

3.4.2.1. Exposition et risque des opérateurs

Les applications péri-domiciliaires visant à lutter contre les stades adultes sont réalisées à ultra-bas-volume (ULV – volume de bouillie 0,5 à 5,0 L/ha) :

- soit par nébulisation à froid. Les appareillages sont montés sur un véhicule pick-up 4x4 afin de couvrir un rayon de 150 m autour des maisons où les cas ont séjournés ;
- soit par nébulisation à froid ou à chaud (par thermo-nébulisation) à l'aide d'un appareil portable, à pied pour des traitements péri-domiciliaires plus ciblés, aux abords immédiats des maisons où les cas ont séjournés dans un rayon de 50 m.

La dilution de la bouillie à appliquer est fonction de la dose à l'hectare, de la vitesse de déplacement du véhicule ou de l'opérateur et du débit des appareils. Le produit contenant la substance active peut être dilué soit dans de l'eau soit dans un solvant organique type naphta lourd ou huile paraffinique.

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

Tableau 12 : Doses d'application, types de formulations et concentrations des dilutions pour chaque substance active.

	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
Dose d'application (g s.a./ha)	1	10	40	400	40
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
Dilution max (% m/m) (5 L/ha dans l'eau)	0,02 %	0,20 %	0,80%	8,00 %	0,80 %
Dilution min (% m/m) (0,5 L/ha dans solvant organique)	0,29 %	2,86 %	11,43%	114,29 %	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.

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.

Prise en compte des Equipements de Protection Individuelle (EPI)

Si nécessaires, 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 Assignée de 10 (FPA 10), filtre P3 Facteur de Protection Assignée de 20 (FPA 20).

3.4.2.1.1. 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 véhicule 4x4

Une opération de traitement par 4x4 dure en général 2h. Avec une vitesse de 15 km/h et une largeur de cône de nébulisation (andain) de 50 m, il est possible de traiter 75 ha/h. Le débit de pulvérisation est ajusté en fonction de la vitesse du véhicule pour maintenir la dose de 0,5 L/ha.

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 véhicule 4x4, 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.

Tableau 13: expositions et risques des opérateurs lors du mélange et chargement pour une application à partir d'un véhicule 4x4. Un % d'AEL inférieur à 100% indique un risque acceptable

Paramètres	Unités	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
Absorption cutanée produit concentré	%	2 %	5 %	1 %	10 %	1 %
Dose efficace	g/ha	1	10	40	400	40
Surface traitée	ha	150	150	150	150	150
Quantité de s.a. pour le traitement	kg	0,15	1,5	6	60	6
Formulation	-	liquide	poudre	liquide	liquide	liquide
Contamination du corps	mg s.a. /kg s.a.	1,95	0	1,95	1,95	1,95
Contamination des mains	mg s.a. /kg s.a.	8	10,2	8	8	8
Exposition par inhalation	mg s.a. /kg s.a.	0,003	0,66	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
			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
			Inhalation : 1,65 x 10 ⁻²			
%AEL	%	7 %	Cutanée : 196 % Inhalation : 550 %	205 %	454 %	133 %
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
			Inhalation : 1,65 x 10 ⁻²			
%AEL	%	1 %	Cutanée : 20 %	26 %	47 %	14 %

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

Comme le montre le Tableau 13, selon les hypothèses choisies, lors du chargement d'un véhicule 4x4 :

- le risque lié à l'exposition à la deltaméthrine est acceptable sans EPI,
- le risque lié à l'exposition à l'imidaclopride, au dinotéfurane ou au chlorpyriphos-méthyl est acceptables 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 BBA¹⁸ 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.

Tableau14 : 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
Absorption cutanée produit concentré	%	2 %	5 %	1 %	10 %	1 %
Dose efficace	g/ha	1	10	40	400	40
Surface traitée	ha	24	24	24	24	24
Quantité de s.a. nécessaire pour le traitement	kg	0,024	0,24	0,96	9,6	0,96
Formulation	-	liquide	poudre	liquide	liquide	liquide
Contamination des mains	mg /kg s.a.	205	50	205	205	205
Exposition par inhalation	mg /kg s.a.	0,05	0,8	0,05	0,05	0,05

¹⁸ 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
AEL long terme	mg s.a. /kg bw	0,0075	Cutanée : 0,0065	0,005	0,22	0,06
			Inhalation : 0,003			
Niveau 1 : sans EPI						
Dose interne	mg s.a. /kg bw	1,44 x 10 ⁻⁵	Cutanée : 8,00 x 10 ⁻³	4,68 x 10 ⁻³	6,58 x 10 ⁻¹	6,72 x 10 ⁻³
			Inhalation : 2,56 x 10 ⁻³			
%AEL	%	0,192 %	Cutanée : 123 %	94 %	299%	11%
			Inhalation : 85 %			
Niveau 2 : avec gants						
Dose interne	mg s.a. /kg bw	7,20 x 10 ⁻⁶	Cutanée : 8,00 x 10 ⁻⁴	3,06 x 10 ⁻³	6,72 x 10 ⁻²	8,16 x 10 ⁻⁴
			Inhalation : 2,56 x 10 ⁻³			
%AEL	%	0,096 %	Cutanée : 12 %	61 %	31 %	1,36 %
			Inhalation : 85 %			

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 est acceptable considérant le port de gants de protection chimique.

3.4.2.1.2. Phase d'application

Comme identifié dans les précédentes saisines de l'Afsset¹⁹ et de l'Anses sur la lutte anti-vectorielle, il n'existe pas de modèles européens spécifiques pour ce type d'applications.

Les données disponibles dans le guide BHHM de l'ECHA (ECHA 2015) se rapprochant le plus des applications péri-domiciliaires couvrent des applications intra-domiciliaires avec un matériel de nébulisation portable. L'évaluation se focalisera donc sur les usages péri-domiciliaires avec du matériel de pulvérisation portable. Les applications à l'aide d'un véhicule 4x4 sont moins exposantes pour l'opérateur et sont donc couvertes par cette approche.

Par ailleurs, Les usages intra-domiciliaires représentent un pire cas par rapport aux applications péri-domiciliaires. 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.

Durant cette phase, l'opérateur pourra être exposé à la bouillie pendant sa nébulisation. L'exposition se fera donc par contact cutanée 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. Le nombre d'événements 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 15 : valeurs d'expositions préconisées par le guide de l'ECHA pour ces modèles :

	Unités	Misting model 2	Fogging model 3
--	--------	-----------------	-----------------

¹⁹ Agence française de sécurité sanitaire pour l'environnement et le travail

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 maximalisante 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 16: expositions et risques des opérateurs lors de l'application par nébulisation avec un appareil portable. Un % d'AEL inférieur à 100% indique un risque acceptable

Substance	Unités	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
Absorption cutanée, produit dilué	%	2 %	5 %	1 %	36 %	8 %
Dose efficace	g/ha	1	10	40	400	40
Concentration de pulvérisation	%	0,02 %	0,20 %	0,80%	8,00%	0,80 %
Durée	min	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
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
%AEL	%	12 %	Cutanée : 129 % Inhalation : 195 %	602 %	1201 %	128 %
Niveau 2 a : gants + combinaison type 6						
Dose interne	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
%AEL	%	8 %	Cutanée : 7 % Inhalation : 195 %	476 %	169 %	44 %
Niveau 2 b : gants + combinaison type 3-4 +masque FPA 10						
Dose interne	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
%AEL	%	1 %	Cutanée : 7 % Inhalation : 20 %	51 %	44 %	7 %
Concentration max applicable en niveau 3	w/w	2,18 %	1,00 %	1,57 %	18,01 %	12,03 %

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 ou au chlorpyriphos-méthyl 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.

3.4.2.1.3. Phase de nettoyage des appareils

Le nettoyage des appareils de nébulisation portatifs ou pour les véhicules 4x4 est assez similaire. Il 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 sont appliquées, nous n'avons pas considéré cette exposition.

3.4.2.1.4. 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 17 : expositions et risques des opérateurs lors du mélange chargement combiné dans une même journée avec l'application par nébulisation

Substance	Unités	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
Niveau 1 : Mélange chargement pas d'EPI + Application avec gants						
Dose interne mélange chargement	mg s.a. /kg bw	1,44 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 ^{E-3}
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
Dose interne combinée	mg s.a. /kg bw	9,34 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
%AEL	%	12 %	Cutanée : 252 % Inhalation : 280 %	695 %	1500 %	139 %
Niveau 2 a : Mélange chargement avec gants + Application avec gants et combinaison type 6						
Dose interne mélange chargement	mg s.a. /kg bw	7,20 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
Dose interne application	mg s.a. /kg bw	6,04 x 10 ⁻⁴	Cutanée : 4,76 x 10 ⁻⁴ Inhalation : 5,85 x 10 ⁻⁰³	2,38 x 10 ⁻²	3,71 x 10 ⁻¹	2,64 x 10 ⁻²
Dose interne combinée	mg s.a. /kg bw	6,11 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
%AEL	%	8 %	Cutanée : 20 % Inhalation : 280%	537 %	199 %	45 %
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	7,20 x 10 ⁻⁰⁶	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
Dose interne application	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
Dose interne combinée	mg s.a. /kg bw	7,60 x 10 ⁻⁰⁵	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
%AEL	%	1 %	Cutanée : 16 % Inhalation : 105 %	60 %	75 %	8 %

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 durant la phase de mélange chargement.

Tableau 18 : 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 : 8,00E-4
		Inhalation : 2,56E-4
Dose interne application	mg s.a. /kg bw	Cutanée : 4,76E-04
		Inhalation : 5,85E-04
Dose interne combinée	mg s.a. /kg bw	Cutanée : 1,06E-03
		Inhalation : 8,41E-04
%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 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.

3.4.2.2. Exposition et risque de la population générale

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 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. Cette approche ne prend pas en compte notamment le comportement de mise de la main à la bouche de l'enfant.

Il est considéré qu'un enfant en bas-âge (1 à 2 ans) sera exposé 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.

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.

Tableau 19 : exposition cutanée et risque pour population générale. Un % d'AEL inférieur à 100% indique un risque acceptable

Paramètres	Unités	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyrifos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
Dose appliquée g/ha	g/ha	1	10	40	400	40
absorption cutanée	%	2 %	5 %	1 %	36 %	8 %
Adultes						
Exposition interne	mg	2,00 x 10 ⁻⁰³	5,00 x 10 ⁻⁰²	4,00 x 10 ⁻⁰²	1,44 x 10 ⁺¹	3,20 x 10 ⁻⁰³
Surface corporelle	m ²	1,66	1,66	1,66	1,66	1,66
Poids corporel adulte	kg	60	60	60	60	60
Dose interne	mg/kg	3,33 x 10 ⁻⁰⁵	8,33 x 10 ⁻⁰⁴	6,67 x 10 ⁻⁰⁴	2,40 x 10 ⁻⁰¹	5,33 x 10 ⁻⁰³
AEL court terme	mg/kg	0,01	0,01	0,01	1,75	0,40
%AEL	%	0,44 %	8 %	7 %	14 %	1 %
Enfants (1 à 2 ans)						
Exposition interne	mg	5,78 x 10 ⁻⁰⁴	1,45 x 10 ⁻⁰²	1,16 x 10 ⁻⁰²	4,16 x 10 ⁺⁰⁰	9,25 x 10 ⁻⁰²
Surface corporelle	m ²	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
Poids corporel adulte	kg	10	10	10	10	10
Dose interne	mg/kg	3,33 x 10 ⁻⁰⁵	8,33 x 10 ⁻⁰⁴	6,67 x 10 ⁻⁰⁴	2,40 x 10 ⁻⁰¹	5,33 x 10 ⁻⁰³
AEL court terme	mg/kg	0,01	0,01	0,01	1,75	0,40
%AEL	%	0,44%	8 %	7 %	14 %	1 %

Selon le scénario choisi, toutes les substances présentent un risque acceptable pour les adultes et les enfants en cas d'exposition cutanée.

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 sur 1 m² est répartie dans un volume de 2 m³ autour de la personne.

Tableau 20 : exposition par inhalation et risque pour population générale. Un % d'AEL inférieur à 100% indique un risque acceptable

Paramètres	Unités	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfura-ne	Imidaclopride
Concentration dans l'air	mg/m ³	0,05	0,5	2	20	2
Durée d'exposition	min	10	10	10	10	10
AEL court terme	mg/kg	0,01	0,006	0,01	1,75	0,40
Adultes						
Taux d'inhalation	m ³ /min	2,08 x 10 ⁻²	2,08 x 10 ⁻⁰²			
poids corporel	kg	60	60	60	60	60
Dose interne inhalée	mg/kg/j	1,74 x 10 ⁻⁴	1,74 x 10 ⁻⁰³	6,94 x 10 ⁻⁰³	6,94 x 10 ⁻⁰²	6,94 x 10 ⁻⁰³
%AEL		2 %	29 %	69 %	4 %	2 %
Enfants (1 à 2 ans)						
Taux d'inhalation	m ³ /min	2,10 x 10 ⁻²	2,10 x 10 ⁻²	2,10 x 10 ⁻²	2,10 x 10 ⁻²	2,10 x 10 ⁻²
Poids corporel	kg	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
%AEL		14 %	175 %	420 %	24 %	11 %

Selon les hypothèses retenues :

- en cas d'exposition des adultes par inhalation, les risques sont acceptables avec toutes les substances.
- en cas d'exposition des enfants au panache par inhalation, les risques sont acceptables pour l'imidaclopride, le dinotéfurane et la deltaméthrine, et sont inacceptables pour le bendiocarbe et le chlorpyriphos-méthyl.

Exposition combiné cutanée et par inhalation

Tableau 21 : exposition combinée (cutanée et par inhalation) et risque pour population générale

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

Selon des hypothèses retenues :

- en cas de d'exposition cutanée et par inhalation des adultes, les risques sont acceptables avec toutes les substances.

- en cas d'exposition cutanée et par inhalation des enfants, les risques sont acceptables pour l'imidaclopride, le dinotéfurane et la deltaméthrine et sont inacceptables pour le bendiocarbe et le chlorpyrifos-méthyl.

L'évaluation présente 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.

3.4.3. 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 dans les denrées alimentaires résultant d'un traitement de LAV n'est disponible. A défaut, une approche théorique maximaliste, détaillée ci-dessous, été réalisée.

3.4.3.1. Méthodologie

3.4.3.1.1. Valeurs toxicologiques de référence

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. L'estimation du risque chronique pour le consommateur, qui se réfère à la quantité maximale de substance qui peut être quotidiennement ingérée par un consommateur tout au long de sa vie, n'est pas considérée comme pertinente dans le cadre d'une application en LAV.

3.4.3.1.2. Données de contamination

Des mesures de niveaux de résidus dans les denrées alimentaires, suite à l'application de préparations phytosanitaires à base de chlorpyrifos-méthyl ou d'imidaclopride, sont disponibles mais ces niveaux de résidus sont liés à des Bonnes Pratiques Agricoles et ne sont donc pas représentatifs d'un traitement en lutte anti-vectorielle.

En l'absence de mesures de résidus liés à un traitement en LAV dans les conditions d'application précisées dans cette saisine, le niveau de résidus dans les différentes denrées a été estimé selon une approche théorique et maximaliste. Cette approche se base sur :

- les doses d'emploi théoriques par hectare définies dans la section 3.3.2
- les rendements respectifs des différentes cultures en kg/ha dans chacun des départements considérés.

Les rendements des denrées cultivées aux Antilles (Guadeloupe et Martinique), en Guyane, à la Réunion et en Métropole proviennent de la base de données Agreste du ministère de l'Agriculture de l'Alimentation et de la Forêt (Ministère de l'agriculture 2015). Ces rendements moyens par culture sont disponibles pour les années 2007 à 2015. En l'absence de données de production pour Mayotte, les données disponibles pour la Réunion ont été prises en compte.

Les niveaux de contamination ainsi obtenus ont ensuite été croisés avec les données de consommation afin d'obtenir, pour chaque denrée, un niveau d'exposition.

3.4.3.1.3. Données de consommation

Pour les Antilles Françaises, les niveaux de consommation ont été estimés à l'aide des résultats des bilans des enquêtes de consommation ESCAL (Merle 2008) et CALBAS (Cornely et Théodore 2007). Pour la Métropole, les données de consommation disponibles dans l'étude individuelle nationale des consommations alimentaires INCA 1 (AFSSA, 2007) ont été prises en compte. Ces données sont disponibles pour différents groupes de consommateurs, les enfants (de 3 à 5 ans et de 6 à 10 ans), les adolescents de 11 à 15 ans et les adultes (>16 ans).

En l'absence de données de consommation disponibles pour la Guyane, la Réunion et Mayotte, les données métropolitaines issues de l'étude INCA 1 ont été prises en compte.

3.4.3.2. Résultats et discussions

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 3.3.2, 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 22: Indicateurs d'exposition théoriques calculés pour chacune des substances actives

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

Ainsi,

- Les indicateurs d'exposition théoriques liés à l'application du bendiocarbe sont 10 fois supérieurs à ceux calculés, pour la deltaméthrine.
- Pour le chlorpyriphos-méthyl et l'imidaclopride, les indicateurs d'exposition calculés sont respectivement 4 et 5 fois supérieurs à ceux de la deltaméthrine.
- Enfin, le dinotéfurane présente des indicateurs d'exposition environ 2 fois plus élevés que ceux 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 DOM ainsi que pour la France métropolitaine.

Pour la Martinique :

Tableau 23 : 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
Denrées consommées épiluchées	Corossol Abricot pays Orange	Corossol Abricot pays Orange Mangue		Corossol Abricot pays Orange Mangue	

		Coco Banane Avocat Melon	Coco Bananes
Racines et tubercules	Igname	Igname Carotte Dachine Pomme de terre	Igname Carotte
Denrées consommées non épluchées	Haricot	Haricot Gombos Tomates Concombre	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 chlorpyrphos-méthyl et à l'imidaclopride de la population martiniquaise. Un risque aigu ne peut pas être exclu pour ces denrées.

Pour la Guadeloupe,

Tableau 24 : Denrées cultivées en potager et jardin (sur un total de 41) pour lesquelles un risque aigu ne peut pas être exclu pour chacune des substances étudiées– Traitement péri-domiciliaire en Guadeloupe

	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyrphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
Denrées consommées épluchées	/	Orange Coco Corossol Mangue Melon Abricot pays	Orange Coco	Orange	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 41.

L'orange et la noix de coco sont les seules denrées pour lesquelles un risque aigu lié à l'exposition des consommateurs au chlorpyrphos-méthyl et à l'imidaclopride 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 Réunion,

Tableau 25 : Denrées cultivées en potager et jardin (sur un total de 47) pour lesquelles un risque aigu ne peut pas être exclu pour chacune des substances étudiées– Traitement péri-domiciliaire à la Réunion

	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyrphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
Denrées consommées épluchées	/	Haricot secs Légumes à cosses d'origine tropicale Petits pois	/	/	Haricot secs Légumes à cosses d'origine tropicale
Racines et tubercules	/	Tubercules tropicaux	/	/	/

Denrées consommées non épluchées	/	Pommes Cresson Haricot verts	Haricot secs	/	Haricot verts
----------------------------------	---	------------------------------------	--------------	---	---------------

Le bendiocarbe apparaît comme la substance dénombrant le plus grand nombre de denrées pour lesquelles un risque aigu ne peut pas être exclu (15 % des denrées concernées).

Les haricots et autres légumes à cosses sont les denrées qui contribueraient le plus à l'exposition en chlorpyrifos-méthyl et en imidaclopride des Réunionnais. Un risque aigu lié à la consommation de ces 2 denrées ne peut pas être exclu.

Pour la Guyane,

Tableau 26: 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
Denrées consommées épluchées	/	Oranges Mandarines Abricot pays Pamplemousse Bananes	Oranges Mandarines Abricots pays	Oranges	Oranges Mandarines Abricot pays
Racines et tubercules	/	Manioc	/	/	/
Denrées consommées non épluchées	/	Maïs Prunes	Maïs	Maïs	Maïs Prunes

30 % des denrées contribueraient fortement à l'exposition des guyanais 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 et à l'imidaclopride 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.

Pour la Métropole,

Tableau 27 : Denrées cultivées en potager et jardin (sur un total de 63) pour lesquelles un risque aigu ne peut pas être exclu pour chacune des substances étudiées – Traitement péri-domiciliaire en Métropole

	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyrifos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
Denrées consommées épluchées	/	Châtaigne Haricot secs Pois secs	Châtaigne Haricot secs	/	Châtaigne Haricot secs
Racines et tubercules	/	/	/	/	/
Denrées consommées non épluchées	/	Raisin de table Prunes Cerises Autres légumes à cosses		/	/

Pour 10 % des denrées consommées par les métropolitains un risque aigu ne peut pas être exclu pour le bendiocarbe.

Les châtaignes et les haricots secs sont les seules denrées qui contribueraient fortement à l'exposition des consommateurs pour le chlorpyrifos-méthyl et l'imidaclopride, et pour lesquelles un risque aigu ne peut pas être exclu.

3.4.3.3. Discussions et limites de l'expertise

3.4.3.3.1. Discussions

- **Calcul théorique et maximaliste**

Compte tenu du calcul et des hypothèses maximalistes prises en compte, les niveaux d'exposition théoriques obtenus sont à relativiser. En effet, la deltaméthrine est autorisée en tant que substance phytopharmaceutique sur un grand nombre de cultures à des doses bien supérieures à celle recommandée en LAV (EFSA 2015). Cependant, les usages agricoles comprennent, mis à part une dose précise à l'hectare pour une culture donnée ainsi qu'un nombre d'applications, un délai avant récolte (DAR). Dans le cadre de cette évaluation, aucun DAR n'a été pris en compte (le niveau de résidus théorique obtenu par calcul et utilisé pour l'évaluation du risque correspond à une consommation le jour du traitement, correspondant à un DAR de 0 jour).

Bien qu'un risque aigu ne puisse être exclu pour plusieurs denrées pour la deltaméthrine d'après la méthodologie employée dans le cadre de cette saisine, en pratique, aucun dépassement de l'ARfD n'est attendu à la dose recommandée. C'est pourquoi, il est plus opportun d'analyser les résultats en comparant ceux obtenus pour les autres substances avec ceux de la deltaméthrine, substance déjà utilisée dans le cadre de la LAV et non en concentrations absolues estimées dans les denrées.

- **Systémie des substances**

Une substance systémique (Couteux et al. 2016) est une substance capable, après pénétration dans la plante, de migrer à l'intérieur de celle-ci. Ainsi, dans le cas de fruits épluchés lorsqu'ils sont consommés, par exemple comme la banane, une substance non systémique conduira très probablement à peu ou pas de résidus par exemple. Egalement, une substance non systémique sera probablement retrouvée en faible quantité dans les légumes racines lorsqu'elle est appliquée sur les feuilles de ces mêmes légumes. A l'inverse, lorsqu'une substance est systémique, un épluchage ou un lavage ne seront pas forcément suffisants pour diminuer un niveau de résidus.

Ainsi, compte tenu du calcul maximaliste et des hypothèses prises en compte, les niveaux d'exposition théoriques attendus sont à relativiser, en particulier pour les substances non systémiques.

Le chlorpyrifos-méthyl et l'imidaclopride sont autorisés en France pour des usages phytopharmaceutiques en application directe sur les cultures. Lors de l'évaluation européenne des substances, il a été statué que l'imidaclopride (EFSA 2008) possède des propriétés systémiques, contrairement au chlorpyrifos-méthyl (*Spain* 2003). Pour le chlorpyrifos-méthyl, des niveaux d'exposition moindres par rapport aux résultats obtenus ici sont donc attendus pour les fruits et légumes dont seule la pulpe est consommée ainsi que pour les racines et tubercules.

Ainsi, pour l'ensemble des consommateurs, l'exposition au chlorpyrifos-méthyl peut être considérée comme limitée en considérant que le nombre maximal de denrées consommées non épluchées pour lesquelles un risque aigu ne peut pas être exclu s'élève à deux.

En revanche, aucune information quant à la systémie du bendiocarbe et du dinotéfurane n'est à ce jour disponible dans les dossiers européens. Toutefois, dans la littérature, le bendiocarbe est décrit comme une substance systémique (Tomlin 1994) tout comme le dinotéfurane (Byrne et al. 2016)

- **Lieux d'applications**

Enfin, les résultats obtenus sont à relativiser au regard du lieu d'application du produit, et en particulier de la distance maintenue entre le traitement et les potagers. En effet, les calculs ont été réalisés dans le cadre de cette saisine en tenant compte d'une application directe sur les cultures comme cela peut être le cas pour un usage agricole, ce qui ne sera pas le cas pour l'usage lutte anti-vectorielle. Plus la distance entre le traitement et le potager sera élevée, moins les denrées seront contaminées. Par conséquent, il semble toujours pertinent de comparer les résultats obtenus par rapport à la deltaméthrine.

3.4.3.3.2. Conclusion

Par comparaison à la deltaméthrine, l'ensemble des substances considérées conduit à une exposition des consommateurs supérieure.

Un risque aigu n'est pas attendu en Métropole ni à la Réunion suite à l'exposition des consommateurs au dinotéfurane. Toutefois, pour les consommateurs guyanais, guadeloupéens et martiniquais, un risque aigu ne peut pas être exclu pour certaines denrées.

En raison de ses propriétés non systémiques, un risque aigu lié à l'utilisation du chlorpyrifos-méthyl n'est pas attendu en Métropole ni en Guadeloupe. Cependant, un risque aigu ne peut pas être exclu en Guyane, à la Réunion et en Martinique pour certaines denrées et plus particulièrement pour les fruits et légumes consommés non épluchés.

Pour l'ensemble des consommateurs, un risque aigu lié à l'utilisation du bendiocarbe et de l'imidaclopride en LAV ne peut pas être exclu pour certaines denrées.

3.4.3.3.3. Limites de l'expertise

Données de consommation pour la Réunion, la Guyane et Mayotte: en l'absence de données de consommation spécifiques pour la population réunionnaise et mahoraise, les données de consommation métropolitaines issues de l'enquête INCA 1 ont été prises en compte. Il est important de noter que ces données ne sont pas représentatives des régimes alimentaires guyanais, réunionnais et mahorais. Par conséquent, certaines denrées produites dans le département considéré n'ont pas pu être prises en compte. Toutefois, lorsque c'était possible, des ajustements ont été réalisés pour pallier l'absence de données. Par exemple, la donnée de consommation « pomme de terre » a été utilisée pour la catégorie des « légumes-racines et légumes-tubercules tropicaux ».

Rendements : en raison de l'approche maximaliste réalisée, le niveau de rendement est le seul facteur influençant le niveau de contamination des denrées calculé. Ainsi, les denrées à faibles rendements sont, par défaut, les plus contaminées. Afin d'affiner les calculs de contaminations, d'autres facteurs comme la biomasse totale auraient pu être pris en compte. Toutefois, ces données ne sont pas disponibles. Par ailleurs, les données statistiques AGRESTE sur les rendements agricoles ne prennent pas en compte l'autoproduction et ne sont donc pas forcément représentatives des rendements obtenus dans les jardins et vergers familiaux (probable surestimation).

Définition du résidu et métabolites : l'étude des métabolites éventuellement générés et la prise en compte d'une définition du résidu plus affinée pour chaque substance active n'a pas été réalisée en raison d'un manque de données pour l'imidaclopride, dinotéfurane et le bendiocarbe.

Par exemple, concernant le chlorpyrifos-méthyl, la définition du résidu pour l'évaluation des risques inclut les métabolites TCP et ses conjugués. Des facteurs de conversion validés au niveau européen permettent de prendre en compte la formation des métabolites conformément à la définition pour l'évaluation du risque (par exemple : 1,7 pour l'orange, 9,5 pour les abricots, 2,08 pour les tomates). Cependant, ces facteurs de conversion sont liés à des Bonnes Pratiques Agricoles et notamment à des délais avant récolte particuliers. Par conséquent, en l'absence de telles informations dans le cadre de cette saisine, ces facteurs n'ont pas été pris en compte. Pour la deltaméthrine, ce facteur de conversion est égal à 1 pour toutes les denrées.

Risque cumulé: le risque cumulé lié à l'ingestion de plusieurs denrées contaminées par la même substance n'a pas été pris en compte

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

3.5.1. 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 28.

Tableau 28 : Paramètres physico-chimiques et de comportement environnemental des substances évaluées

paramètre	Unité	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
Dose à l'hectare	[kg.ha-1]	0,001	0,01	0,04	0,4	0,04
Log Kow	[-]	4,6	1,7	4	-0,64	0,57
Koc	[L.kg-1]	$4,08 \times 10^5$	$3,34 \times 10^1$	$4,59 \times 10^3$	$3,14 \times 10^1$	$2,30 \times 10^2$
DT50 sol (20°C)	[d]	25,3	3,4	4,0	10,2	71,2
k sol (20°C)	[d-1]	$2,74 \times 10^{-2}$	$2,02 \times 10^{-1}$	$1,73 \times 10^{-1}$	$6,80 \times 10^{-2}$	$9,73 \times 10^{-3}$
DT50 eau de surface (20°C) (dissipation + dégradation)	[d]	141	9	3,6	49,2	42,2
k eau de surface	[d ⁻¹]	$4,92 \times 10^{-3}$	$7,70 \times 10^{-2}$	$1,93 \times 10^{-1}$	$1,41 \times 10^{-2}$	$1,64 \times 10^{-2}$
DT50 sédiment (20°C) (dégradation système total)	[d]	141	9	25,4	59	97,5
k sédiment	[d-1]	$4,92 \times 10^{-3}$	$7,70 \times 10^{-2}$	$2,73 \times 10^2$	$1,17 \times 10^{-2}$	$7,11 \times 10^{-3}$
BCF fish	[L.kg _{wwt} ⁻¹]	$1,40 \times 10^3$	5,56	$1,80 \times 10^3$	$6,80 \times 10^{-2}$	$6,10 \times 10^{-1}$
BCF earthworm	[L.kg _{wwt} ⁻¹]	$4,83 \times 10^2$	1,44	$1,09 \times 10^4$	$8,43 \times 10^{-01}$	$8,80 \times 10^{-1}$
BMF fish	[-]	2	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 29.

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 29 : Valeurs de références pour l'évaluation des risques

paramètre	Unité	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyrihos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
PNEC eau de surface	µg/L	$7,00 \times 10^{-4}$	$9,00 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^{-3}$	$2,54 \times 10^{-1}$	$4,80 \times 10^{-3}$
PNEC sédiment	mg/kg pf	$6,20 \times 10^{-3}$	Non pertinent	$1,00 \times 10^{-4}$	Non pertinent	$9,50 \times 10^{-1}$
PNEC sol	mg/kg pf	$7,50 \times 10^{-2}$	$1,67 \times 10^{-1}$	$8,10 \times 10^{-5}$	$1,70 \times 10^{-4}$	$1,57 \times 10^{-2}$
PNEC oiseaux long-terme	mg/kg pc/j	1,83	Non disponible	$5,22 \times 10^{-1}$	Non disponible	$3,10 \times 10^{-1}$
PNEC mammifères long-terme	mg/kg pc/j	2,67	$2,10 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^{-1}$	Non disponible	$6,60 \times 10^{-1}$
LD50 oral Abeilles	µg/abeille	$7,90 \times 10^{-2}$	$1,00 \times 10^{-1}$	$1,10 \times 10^{-1}$	$2,23 \times 10^{-3}$	$3,70 \times 10^{-3}$
LD50 contact Abeilles	µg/abeille	$1,50 \times 10^{-3}$	Non disponible	$1,50 \times 10^{-1}$	$5,60 \times 10^{-2}$	$8,10 \times 10^{-2}$

3.5.2. Evaluation de l'exposition environnementale

Le scénario d'émission OCDE développé en 2008 pour les insecticides, acaricides et produits pour contrôler les autres arthropodes en usages domestiques et professionnels(OECD 2008) 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 plus tard. 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).

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

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 contenu dans ce volume d'air. Ce type d'application diffère grandement 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 d'application 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 le risque 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 véhicules 4 x 4.

3.5.2.1. Compartiment aquatique

Selon le document de l'OMS, 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.

3.5.2.1.1. 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 (OMS). 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 la Guidance on the BPR: Volume IV Environment, Part B Risk Assessment (active substances).

Les concentrations qui ont été calculées sont les suivantes :

- dans un premier temps, les concentrations initiales après une seule application dans le compartiment eau et sédiment;
- dans un second temps, les concentrations d'exposition à long terme des organismes pélagiques en intégrant des applications multiples dans les calculs 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 dans les calculs 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 = $\ln 2 / DT50$

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 30. 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 30 : Concentrations dans le compartiment aquatique suite à la déposition directe des substances après application

		Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
Dose de substance active appliquée (kg/ha)	A	0,001	0,01	0,04	0,4	0,04
Profondeur du système aquatique (m)	Psw	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Coefficient de partition solides/eau pour les matières en suspension (L/kg)	Kpsusp	$4,08 \times 10^4$	3,34 x	$4,59 \times 10^2$	$3,14 \times 10^0$	$2,30 \times 10^1$
Coefficient de partition eau/matière en suspension (m3/m3)	Ksusp-water	$1,02 \times 10^4$	1,73	$1,16 \times 10^2$	$1,69 \times 10^{+00}$	6,65
Concentration de matières en suspension dans le compartiment eau (mg/L)	SUSPwater	$1,50 \times 10^1$	$1,50 \times 10^{+01}$	$1,50 \times 10^1$	$1,50 \times 10^{+01}$	$1,50 \times 10^1$
Densité des matières en suspension (kg/m3)	RHO susp	1150	1150	1150	1150	1150
Application unique						
Concentration initiale dans l'eau (µg/L) - 1 application	Ci sw 1	$1,24 \times 10^{-1}$	2,00	$7,95 \times 10^0$	$8,00 \times 10^1$	8,00
Concentration initiale dans le sédiment (mg/kg) - 1 application	Ci sed 1	1,10	Non pertinent	$7,98 \times 10^{-01}$	Non pertinent	$4,62 \times 10^{-02}$
Compartiment eau – Applications multiples + dissipation et dégradation						
DT50 dissipation/dégradation phase eau	DT ₅₀ sw	$1,41 \times 10^2$	$9,00 \times 10^0$	$3,60 \times 10^0$	$4,92 \times 10^1$	$4,22 \times 10^1$
k eau	k sw	$4,92 \times 10^{-3}$	$7,70 \times 10^{-2}$	$1,93 \times 10^{-1}$	$1,41 \times 10^{-2}$	$1,64 \times 10^{-2}$
Nombre d'applications	Nappli	3	3	3	3	3
Intervalle de traitement	I	3	3	3	3	3
Facteur multiplicatif phase eau	MAF sw	2,96	2,42	1,88	2,88	2,86
Période de pondération	t	30	30	30	30	30
Concentration initiale dans l'eau (µg/L) – applications multiples	Ci sw Nappli	$3,67 \times 10^{-1}$	$4,85 \times 10^0$	$1,49 \times 10^{+1}$	$2,30 \times 10^{+2}$	$2,29 \times 10^{+1}$
Concentration moyenne dans l'eau pondérée sur 30 jours (µg/L) - applications multiples	Ctwa sw Nappli	$3,41 \times 10^{-1}$	1,89		$1,88 \times 10^2$	$1,80 \times 10^1$
Compartiment sédiment – Applications multiples + dégradation						
DT50 système aquatique total	DT ₅₀ syst total	$1,41 \times 10^2$	9,00	$2,54 \times 10^1$	$5,90 \times 10^1$	$9,75 \times 10^1$
k système total	k syst total	$4,92 \times 10^{-3}$	$7,70 \times 10^{-2}$	$2,73 \times 10^{-2}$	$1,17 \times 10^{-2}$	$7,11 \times 10^{-2}$
Nombre d'applications	Nappli	3	3	3	3	3
Intervalle de traitement	I	3	3	3	3	3
Facteur multiplicatif système total	MAF syst total	2,96	2,42	2,77	2,90	2,94
Période de pondération	t	30	30	30	30	30
Concentration initiale eau (dégradation système total) (µg/L) – applications multiples	Ci sw Nappli (syst total)	$3,67 \times 10^{-1}$	4,85	$2,20 \times 10^1$	$2,32 \times 10^2$	$2,35 \times 10^1$

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
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
$Ci\ sw1 = (A \times 100) \div (Psw \times (1 + Kpsusp \times SUSPwater \times 10^{-6}))$ $Ci\ sw\ Nappli = Ci\ sw1 \times MAF$ $Ci\ sed\ (1\ ou\ Nappli) = C\ sw(1\ ou\ Nappli) \times \frac{Ksusp - water}{RH0susp}$ $Ctwa = Ci \times \frac{1}{kt} \times (1 - e^{-kt})$						

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 31 : 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)

		Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
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
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
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
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
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
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

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

Selon le document de l'OMS, 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).

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 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 32).

Tableau 32 : Concentrations dans le compartiment aquatique suite au ruissellement des substances sur sol perméable

		Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
Dose appliquée (kg/ha)	A	0,001	0,01	0,04	0,4	0,04
Concentration initiale dans l'eau interstitielle après une application (µg/L) (Tableau 36)	Ci pw 1	$4,08 \times 10^{-05}$	4,16	$1,45 \times 10^{-01}$	$1,75 \times 10^{+02}$	2,82
Concentration initiale dans l'eau interstitielle après des applications multiples (µg/L) (Tableau 37)	Ci pw Nappli	$1,13 \times 10^{-04}$	7,67	$2,83 \times 10^{-01}$	$4,34 \times 10^{+02}$	$8,21 \times 10^{+00}$
Dilution	Dil	10	10	10	10	10
Application unique						
Concentration initiale dans l'eau (µg/L) - 1 application	Ci sw run-off 1	$2,53 \times 10^{-06}$	$4,16 \times 10^{-01}$	$1,44 \times 10^{-02}$	$1,75 \times 10^{+01}$	$2,82 \times 10^{-01}$
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	$1,63 \times 10^{-03}$
Applications multiples						
Concentration initiale dans l'eau (µg/L) applications multiples	Ci sw run-off Nappli	$7,01 \times 10^{-06}$	$7,67 \times 10^{-01}$	$2,81 \times 10^{-02}$	$4,34 \times 10^{+01}$	$8,21 \times 10^{-01}$
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	$4,75 \times 10^{-03}$
Applications multiples + dégradation/dissipation						
Concentration moyenne pondérée (30j) dans l'eau (µg/L) – applications multiples	Ctwa sw run-off Nappli	$6,52 \times 10^{-06}$	$2,99 \times 10^{-01}$	$4,85 \times 10^{-03}$	$3,54 \times 10^{+01}$	$6,48 \times 10^{-01}$
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	$4,27 \times 10^{-03}$
$C_{sw\ run-off} = (C_{pw} \div Dil) \times (1 + K_{psusp} \times SUSP_{water} \times 10^{-6})$						

Le

Tableau 33 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 33 : 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)

Substance active		Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
10 % de la dose à l'hectare						
Concentration moyenne	Ctwa sw	$6,52 \times 10^{-07}$	$2,99 \times 10^{-02}$	$4,85 \times 10^{-04}$	$3,54 \times 10^{+00}$	$6,48 \times 10^{-02}$

pondérée sur 30 jours (µg/L) - applications multiples	Nappli					
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	$4,27 \times 10^{-04}$
1 % de la dose à l'hectare						
Concentration moyenne pondérée sur 30 jours (µg/L) - applications multiples	Ctwa sw Nappli	$6,52 \times 10^{-08}$	$2,99 \times 10^{-03}$	$4,85 \times 10^{-05}$	$3,54 \times 10^{-01}$	$6,48 \times 10^{-03}$
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	$4,27 \times 10^{-05}$
0,1 % de la dose à l'hectare						
Concentration moyenne pondérée sur 30 jours (µg/L) - applications multiples	Ctwa sw Nappli	$6,52 \times 10^{-09}$	$2,99 \times 10^{-04}$	$4,85 \times 10^{-06}$	$3,54 \times 10^{-02}$	$6,48 \times 10^{-04}$
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	$4,27 \times 10^{-06}$

3.5.2.1.3. 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 31). Des concentrations initiales et pondérées sur 30 jours sont proposées.

Tableau 34 : Concentrations dans le compartiment aquatique suite au lessivage des substances sur sol imperméable

Substance active		Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyrifos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
Dose appliquée (kg/ha)	A	0,001	0,01	0,04	0,4	0,04

Surface traitée (ha)	AREA	7	7	7	7	7
Fraction de surfaces imperméables (-)	F leaching	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
Volume du compartiment aquatique récepteur (m3) - Pond Biocides PT08	Vpond	1000	1000	1000	1000	1000
Application unique						
Concentration initiale dans l'eau (µg/L) - 1 application	Ci sw 1	4,34 x 10 ⁻⁰¹	7,00	2,78 x 10 ⁺⁰¹	2,80 x 10 ⁺⁰²	2,80 x 10 ⁺⁰¹
Concentration initiale dans le sédiment (mg/kg) - 1 application	Ci sed 1	3,85	Non pertinent	2,79 x 10 ⁺⁰⁰	Non pertinent	1,62 x 10 ⁻⁰¹
Compartiment eau – Applications multiples + dissipation et dégradation						
Facteur multiplicatif	MAF eau	2,96	2,42	1,88	2,88	2,86
Concentration initiale dans l'eau (µg/L) - applications multiples	Ci sw Nappli	1,28	1,70 x 10 ⁺⁰¹	5,22 x 10 ⁺⁰¹	8,06 x 10 ⁺⁰²	8,00 x 10 ⁺⁰¹
Concentration moyenne pondérée sur 30 jours (µg/L) - applications multiples	Ctwa sw Nappli	1,19	6,61	9,00	6,57 x 10 ⁺⁰²	6,32 x 10 ⁺⁰¹
Compartiment sédiment – Applications multiples + dégradation						
Facteur multiplicatif	MAF syst total	2,96	2,77	2,42	2,90	2,94
Concentration initiale eau (dégradation système total) (µg/L)	Ci sw Nappli (syst total)	1,28	7,70 x 10 ⁺⁰¹	1,70 x 10 ⁺⁰¹	8,11 x 10 ⁻²	8,22 x 10 ⁺⁰¹
Concentration initiale dans le sédiment (mg/kg) - applications multiples	Ci sed Nappli	1,14 x 10 ⁺⁰¹	7,74 x 10 ⁺⁰⁰	Non pertinent	Non pertinent	4,75 x 10 ⁻⁰¹
Concentration moyenne pondérée sur 30 jours dans le sédiment (mg/kg) - applications multiples	Ctwa sed Nappli	1,06 x 10 ⁺⁰¹	5,28	Non pertinent	Non pertinent	4,28 x 10 ⁻⁰¹
$Q \text{ leaching} = A \times \text{AREA} \times F \text{ leaching}$ $Ci \text{ sw } 1 = (Q \text{ leaching} \div V_{\text{pond}}) \div (P_{\text{sw}} \times (1 + K_{\text{psusp}} \times \text{SUSP}_{\text{water}} \times 10^{-6}))$						

Le

Tableau 35 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 35 : 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)

		Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
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
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	$4,28 \times 10^{-02}$
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	$6,32 \times 10^{-01}$
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	$4,28 \times 10^{-03}$
0,1 % de la dose à l'hectare						
Concentration moyenne pondérée sur 30 jours (µg/L) - applications multiples	Ctwa sw Nappli	$1,19 \times 10^{-03}$	$6,61 \times 10^{-03}$	9,00E-03	$6,57 \times 10^{-01}$	$6,32 \times 10^{-02}$
Concentration sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours (mg/kg) - applications multiples	Ctwa sed Nappli	$1,06 \times 10^{-02}$	Non pertinent	$5,28 \times 10^{-03}$	Non pertinent	$4,28 \times 10^{-04}$

3.5.2.2. Compartiment terrestre

Le scénario de l'OMS (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 36.

Tableau 36: Concentrations initiales dans le sol (mg/kg poids frais) et l'eau interstitielle (µg/L) après une application

		Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
Dose appliquée (kg/ha)	A	0,001	0,01	0,04	0,4	0,04
Fraction d'interception foliaire (-)	Fi	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
Densité du sol humide (kg/m ³)	RHOs oil	1700	1700	1700	1700	1700
Coefficient de partition eau/sol (m3/m3)	Ksoil-water	$1,22 \times 10^4$	1,20	$1,38 \times 10^2$	1,14	7,10

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
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
$Ci\ soil = \frac{A \times 100 \times (1 - Fi)}{RH\ soil \times P\ soil}$ $Ci\ pw = Ci\ sol \times \frac{RH\ soil}{K\ soil - water}$						

Dans le cas de traitements multiples, un facteur multiplicatif a été là encore considéré. Pour le sol, il a été calculé en prenant en compte, le nombre de traitements, leur intervalle ainsi que la DT50 des substances dans le sol (20°C), permet de déduire les concentrations initiales après le dernier traitement (Tableau 37).

Tableau 37: Concentrations initiales dans le sol (mg/kg poids frais) et l'eau interstitielle (µg/L) après plusieurs applications

		Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
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
Demi-vie dans le sol à 20°C (j)	DT50	25,31	3,43	4,00	10,20	71,24
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
Nombre d'applications	Nappli	3	3	3	3	3
Intervalle (j)	l	3	3	3	3	3
Facteur multiplicatif	MAF sol	2,77	1,84	1,95	2,48	2,91
Concentration initiale dans le sol après plusieurs applications (mg/kg pf)	Ci soil Nappl	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
Concentration initiale dans l'eau interstitielle après plusieurs applications (µg/L)	Ci pw Nappl	1,13 x 10 ⁻⁰⁴	7,67	2,83 x 10 ⁻⁰¹	4,34 x 10 ⁺⁰²	8,21
$k = \ln(2) / DT50$ $MAF = \frac{1 - e^{-k t Nappli}}{1 - e^{-kt}}$ $Ci\ soil\ Nappl = Ci\ soil\ 1 \times MAF$						

L'évaluation du risque pour les organismes du sol sera toujours réalisée sur les concentrations initiales dans ce compartiment, 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 38: Concentrations moyennes pondérées sur 180 jours dans le sol (mg/kg poids frais) et l'eau interstitielle (µg/L) après plusieurs applications

		Deltamethrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
Concentration initiale dans le sol après plusieurs applications (mg/kg pf)	Ci soil Napp li	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
Demi-vie dans le sol à 20°C (j)	DT50	25,31	3,43	4,00	10,20	71,24
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
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
Densité du sol frais (kg/m3)	RHO soil	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
Concentration eau interstitielle - moyenne pondérée sur 180 jours (µg/L)	Cpw	2,28 x 10 ⁻⁰⁵	2,11 x 10 ⁻⁰¹	9,07 x 10 ⁻⁰³	3,55 x 10 ⁺⁰¹	3,87
$Ctwa\ soil = Ci(x)\ soil \times \frac{1}{k \times 180} \times (1 - e^{-k \times 180})$ $Cpw = Ctwa\ sol \times \frac{RHO\ soil}{K\ soil - water}$						

3.5.2.3. 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.

3.5.2.3.1. 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 31), ainsi que les taux d'abreuvements recommandés dans le guide de l'EFSA : 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 39: Dose alimentaires journalières des oiseaux et mammifères (mg/kg de poids corporel par jour) exposés via l'eau de boisson

Substance active		Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
Concentration moyenne pondérée dans l'eau sur 30 jours (µg/L) - applications multiples (Tableau 31)	Ctwa sw	$3,41 \times 10^{-01}$	1,89	2,57	$1,88 \times 10^{+02}$	$1,80 \times 10^{+01}$
Taux d'abreuvement mammifère (L/kg pc/j)	DWR mammal	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
Dose alimentaire journalière (mammifères) (mg sa/kg bw/j)	PECmammifères	$7,84 \times 10^{-05}$	$4,35 \times 10^{-04}$	$5,92 \times 10^{-04}$	$4,32 \times 10^{-02}$	$4,15 \times 10^{-03}$
Dose alimentaire journalière (oiseaux) (mg sa/kg bw/j)	PECoiseaux	$4,09 \times 10^{-05}$	$2,27 \times 10^{-04}$	$3,09 \times 10^{-04}$	$2,25 \times 10^{-02}$	$2,17 \times 10^{-03}$
$PEC_{predateur} = Ctwa\ sw \times DWR \times 0,5$						

3.5.2.3.2. 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 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 (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 40 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 40: 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 41: 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

Substance active	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyrifos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
Dose d'application (kg/ha) = A	0,001	0,01	0,04	0,40	0,04
MAF	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
Oiseaux herbivores	$1,82 \times 10^{-02}$	$1,82 \times 10^{-01}$	$7,30 \times 10^{-01}$	7,30	$7,30 \times 10^{-01}$
Oiseaux insectivores	$2,09 \times 10^{-02}$	$2,09 \times 10^{-01}$	$8,34 \times 10^{-01}$	8,34	$8,34 \times 10^{-01}$
Oiseaux fructivores	$3,91 \times 10^{-03}$	$3,91 \times 10^{-02}$	$1,56 \times 10^{-01}$	1,56	$1,56 \times 10^{-01}$
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 x
Oiseaux herbivores	$9,12 \times 10^{-03}$	$9,12 \times 10^{-02}$	$3,65 \times 10^{-01}$	$3,65 \times 10^{+00}$	$3,65 \times 10^{-01}$
Oiseaux insectivores	$9,12 \times 10^{-03}$	$9,12 \times 10^{-02}$	$3,65 \times 10^{-01}$	$3,65 \times 10^{+00}$	$3,65 \times 10^{-01}$
Oiseaux fructivores	$1,69 \times 10^{-03}$	$1,69 \times 10^{-02}$	$6,78 \times 10^{-02}$	$6,78 \times 10^{-01}$	$6,78 \times 10^{-02}$
$DAJ = A \times fc \times MAF \times ftwa$					

3.5.2.3.3. 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 la deltaméthrine (BCF poisson = 1400 L/kg) et le chlorpyriphos- méthyl (BCF poisson = 1800 L/kg) seront présentées, les BCF des autres substances étant inférieurs à 10 L/kg.

Le niveau de contamination de la nourriture est déterminé selon le « Guidance on the BPR: Volume IV Environment, Part B Risk Assessment » à partir des concentrations en substance active dans l'eau (moyenne pondérée sur 30 jours) après une exposition directe du compartiment aquatique (Tableau 31) 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 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 42).

Tableau 42: Doses alimentaires journalières des oiseaux et mammifères (mg/kg de poids corporel par jour) exposés via l'ingestion de poissons

Substance active		Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos -méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
Concentration moyenne pondérée sur 30 jours (mg/L) - applications multiples (Tableau 31)	Ctwa sw	$3,41 \times 10^{-04}$	Non pertinent	$2,57 \times 10^{-03}$	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)	PECmammifères	$6,78 \times 10^{-02}$		$3,29 \times 10^{-01}$		
Dose alimentaire journalière (oiseaux) (mg sa/kg bw/j)	PECoiseaux	$7,59 \times 10^{-02}$		$3,68 \times 10^{-01}$		
$PEC_{\text{predateur}} = Ctwa_{sw} \times BCF_{\text{fish}} \times BMF \times Falim \times 0,5$						

3.5.2.3.4. 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 niveaux de BCF des substances proposées à l'évaluation, seules la deltaméthrine (BCF poisson = 1400 L/kg) et le chlorpyriphos -méthyl (BCF poisson = 1800 L/kg) seront présentées, les BCF des autres substances étant inférieurs à 10 L/kg.

Le niveau de contamination de la nourriture est déterminé selon la Guidance on the BPR: Volume IV Environment, Part B Risk Assessment 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 38 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 43: Doses alimentaires journalières des oiseaux et mammifères (mg/kg de poids corporel par jour) exposés via l'ingestion de vers de terre

Substance active		Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
Concentration dans l'eau interstitielle moyenne pondérée sur 180 jours (mg/L) (Tableau 38)	Ctwa pw	2,28 x 10 ⁻⁰⁸	Non pertinent	9,07 x 10 ⁻⁰⁶	Non pertinent	Non pertinent
Concentration dans le sol moyenne pondérée sur 180 jours (mg/kg pf) (Tableau 38)	Ctwa soil	1,64 x 10 ⁻⁰⁴		7,35 x 10 ⁻⁰⁴		
Facteur de bioconcentration chez le vers de terre (-)	BCF	4,83 x 10 ⁺⁰²		1,09 x 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 x 10 ⁻⁰⁵		8,89 x 10 ⁻⁰²		
Dose alimentaire journalière (mammifères) (mg sa/kg bw/j)	PECmammifères	1,70 x 10 ⁻⁰⁵		5,69 x 10 ⁻⁰²		
Dose alimentaire journalière (oiseaux) (mg sa/kg bw/j)	PECoiseaux	1,40 x 10 ⁻⁰⁵		4,67 x 10 ⁻⁰²		
$Cearthworm = \frac{(BCF_{earthworm} \times Cpw) + (Ctwa_{sol} \times 0,113)}{1,113}$ $PEC_{predateur} = Cearthworm \times 0,5 \times Falim$						

3.5.2.4. 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 44: Calculs des quotients de danger (HQ) pour les abeilles

Substance active		Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	dinotéfurane	Imidaclopride
Dose appliquée (g/ha)	A	1	10	40	400	40
Dose létale orale 50% (µg/bee)	LD50 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
Dose létale contact 50% (µg/bee)	LD50 contact	1,50 x 10 ⁻⁰³	Pas de donnée	1,50 x 10 ⁻⁰¹	5,60 x 10 ⁻⁰²	8,10 x 10 ⁻⁰²
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
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
$HQ = \frac{A}{LC50}$						

3.5.2.5. Eaux souterraines

Suite à l'estimation pire-cas des concentrations dans les eaux souterraines après une phase de traitement, calculées dans la section 3.5.2.2, il a été considéré que les niveaux de contamination étaient acceptables pour la deltaméthrine et le chlorpyrifos-méthyl, 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 45. 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 45: 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
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		
Crops Application				
Crop(s)	-	Grassland		Grassland
Selected Locations		CHATEAUDUN		CHATEAUDUN
		HAMBURG		HAMBURG

Input parameter	Unit	Bendiocarbe	Dinotéfurane	Imidaclopride
		JOKIOINEN		JOKIOINEN
		KREMSMUENSTER		KREMSMUENSTER
		OKEHAMPTON		OKEHAMPTON
		PIACENZA		PIACENZA
		PORTO		PORTO
		SEVILLA		SEVILLA
		THIVA		THIVA

Tableau 46 : 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
KREMSMUENSTER	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.

3.5.3. Evaluation des risques pour l'environnement

3.5.3.1. 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 section 3.5.2.1, et les concentrations prévisibles sans effet (PNEC) présentées en section 3.5.1. 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 %) mais également considérant un abattement de la dose (10, 1 ou 0,1 %)

3.5.3.1.1. Rejet direct vers le milieu aquatique dans zone traitée

Le Tableau 47 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). Lorsque seulement 1 % de la dose appliquée est considérée dans les calculs, les risques pour le bendiocarbe deviennent acceptables. A 0,1 % de la dose appliquée, les ratios de risque pour la deltaméthrine, l'imidaclopride et le chlorpyriphos-méthyl sont toujours inacceptables pour au moins l'une des deux phases du compartiment aquatique.

Tableau 47 : Ratios de risque (PEC/PNEC) pour le compartiment aquatique suite à l'émission directe des insecticides vers le compartiment aquatique sans (100%) ou avec abattement de la dose à l'hectare (10, 1 ou 0,1 %)

	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
100% de la dose à l'hectare					
Eau de surface - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	4,87 x10 ⁺⁰²	2,10 x10 ⁺⁰¹	2,57 x10 ⁺⁰³	7,39 x10 ⁺⁰²	3,76 x10 ⁺⁰³
Sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	4,88 x10 ^{+03*}	Non pertinent	1,51 x10 ^{+05*}	Non pertinent	1,29 x10 ⁻⁰¹
10% de la dose à l'hectare					
Eau de surface - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	4,87 x10 ⁺⁰¹	2,10	2,57 x10 ⁺⁰²	7,39 x10 ⁺⁰¹	3,76 x10 ⁺⁰²
Sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	4,88 x10 ^{+02*}	Non pertinent	1,51 x10 ^{+04*}	Non pertinent	1,29 x10 ⁻⁰²
1% de la dose à l'hectare					
Eau de surface - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	4,87	0,21	25,7	7,39	37,6
Sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	4,88 x10 ^{+01*}	Non pertinent	1,51 x10 ^{+03*}	Non pertinent	1,29 x10 ⁺⁰³
0,1% de la dose à l'hectare					
Eau de surface - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	0,487	2,10 x10 ⁻⁰²	2,57	7,39 x10 ⁻⁰¹	3,76
Sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	4,88 *	Non pertinent	151	Non pertinent	1,29 x10 ⁻⁰⁴

* 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

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

Le Tableau 48 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. Les risques deviennent également acceptables pour le bendiocarbe lorsque 10 % de la dose à l'hectare est considérée. A 0,1 % de la dose à l'hectare, les risques sont acceptables pour toutes les substances.

Tableau 48: 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, sans (100 %) ou avec abattement de la dose à l'hectare (10, 1 ou 0,1% de la dose/ha)

Substance active	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-methyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
100% de la dose à l'hectare					
Eau de surface - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	9,31 x10 ⁻⁰³	3,32	4,85	139	135
Sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	9,33 x10 ⁻⁰² *	Non pertinent	1,93 x10⁺⁰²*	Non pertinent	4,50 x10 ⁻⁰³
10% de la dose à l'hectare					
Eau de surface - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	9,31 x10 ⁻⁰⁴	0,33	4,85 x10 ⁻⁰¹	13,9	13,5
Sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	9,33 x10 ⁻⁰³ *	Non pertinent	1,93 x10⁺⁰¹ *	Non pertinent	4,50 x10 ⁻⁰⁴
1% de la dose à l'hectare					
Eau de surface - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	9,31 x10 ⁻⁰⁵	3,32 x10 ⁻⁰²	4,85 x10 ⁻⁰²	1,39	1,35
Sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	9,33 x10 ⁻⁰⁴	Non pertinent	1,93 *	Non pertinent	4,50 x10 ⁻⁵
0,1% de la dose à l'hectare					
Eau de surface - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	9,31 x10 ⁻⁰⁶	3,32 x10 ⁻⁰³	4,85 x10 ⁻⁰³	1,39 x10 ⁻⁰¹	1,35 x10 ⁻⁰¹
Sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	9,33 x10 ^{-05*}	Non pertinent	1,93 x10 ⁻⁰¹ *	Non pertinent	4,50 x10 ⁻⁶

* 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

3.5.3.1.3. 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 49), les risques ne sont acceptables que dans le cas du bendiocarbe lorsque seulement 1 % de la dose appliquée à l'hectare est considérée. Pour les autres substances, quelle que soit la dose à l'hectare, les ratios de risques restent supérieurs à 1 pour au moins l'une des deux phases.

Tableau 49 : 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 imperméable, sans (100%) ou avec abattement de la dose à l'hectare (10, 1 ou 0,1% de la dose/ha)

Substance active	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyrifos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
100% de la dose à l'hectare					
Eau de surface - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	1,70 x10 ⁺⁰³	7,35 x10 ⁺⁰¹	9,00 x10 ⁺⁰³	2,59 x10 ⁺⁰³	1,32 x10 ⁺⁰⁴
Sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	1,71 x10 ^{+04*}	Non pertinent	5,28 x10 ^{+05*}	Non pertinent	4,51 x10 ⁻⁰¹
10% de la dose à l'hectare					
Eau de surface - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	1,70 x10 ⁺⁰²	7,35	9,00 x10 ⁺⁰²	2,59 x10 ⁺⁰²	1,32 x10 ⁺⁰³
Sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	1,71 x10 ^{+03*}	Non pertinent	5,28 x10 ^{+04*}	Non pertinent	4,51 x10 ⁻⁰²
1% de la dose à l'hectare					
Eau de surface - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	17	7,35 x10 ⁻⁰¹	90	25,9	132
Sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	1,71 x10 ^{+02*}	Non pertinent	5,28 x10 ^{+03*}	Non pertinent	4,51 x10 ⁻⁰³
0,1% de la dose à l'hectare					
Eau de surface - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	1,70	7,35 x 10 ⁻⁰²	9,00	2,59	13,2
Sédiment - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	1,71 x 10 ^{+01*}	Non pertinent	5,28 x10 ^{+02*}	Non pertinent	4,51 x10 ⁻⁰⁴

* 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

3.5.3.2. Compartiment terrestre

Sur la base des ratios de risque présentés dans le Tableau 50, les risques pour les organismes du sol sont acceptables pour la deltaméthrine et le bendiocarbe. Pour l'imidaclopride, les risques deviennent acceptables lorsque 10 % de la dose à l'hectare est considérée et pour le chlorpyriphos-méthyl lorsque 0,1 % de la dose à l'hectare est considérée. Seul le dinotéfurane ne montre pas de ratio de risque inférieur à 1, même à une dose de 0,1% de la quantité appliquée à l'hectare.

Tableau 50: Ratios de risque (PEC/PNEC) pour le compartiment terrestre suite à l'émission directe des insecticides sans (100%) ou avec abattement de la dose à l'hectare (10, 1 ou 0.1% de la dose/ha)

Substance active	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
100 % de la dose à l'hectare					
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
10% de la dose à l'hectare					
Sol - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	1,09 x 10 ⁻⁰³	3,24 x 10 ⁻⁰³	28,3	172	2,18 x 10 ⁻⁰¹
1% de la dose à l'hectare					
Sol - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	1,09 x 10 ⁻⁰⁴	3,24 x 10 ⁻⁰⁴	2,83	17,2	2,18 x 10 ⁻⁰²
0,1% de la dose à l'hectare					
Sol - moyenne pondérée sur 30 jours - applications multiples	1,09 x 10 ⁻⁰⁵	3,24 x 10 ⁻⁰⁵	2,83 x 10 ⁻⁰¹	1,72	2,18 x 10 ⁻⁰³

3.5.3.3. Empoisonnement des vertébrés

3.5.3.3.1. 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 51: Ratios de risque (PEC/PNEC) pour les vertébrés exposés via l'eau de boisson sans abattement de la dose à l'hectare

Substance active	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
100% de la dose à l'hectare					
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
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

3.5.3.3.2. 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 réalistes, l'imidaclopride montre des risques acceptables pour les oiseaux fructivores uniquement, le chlorpyriphos-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 52: Ratios de risque (PEC/PNEC) pour les vertébrés exposés via la végétation ou les insectes sans abattement de la dose à l'hectare

Substance active	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
100% de la dose à l'hectare – PIRE CAS					
Mammifères herbivores	$2,20 \times 10^{-02}$	27,9	23,5	Données manquantes	3,55
Oiseaux herbivores	$9,97 \times 10^{-03}$	Données manquantes	1,40		2,35
Oiseaux insectivores	$1,14 \times 10^{-02}$		1,60		2,69
Oiseaux fructivores	$2,14 \times 10^{-03}$		$3,00 \times 10^{-01}$		$5,04 \times 10^{-01}$
100% de la dose à l'hectare – CAS REALISTE					
Mammifères herbivores	$1,07 \times 10^{-02}$	13,7	$1,15 \times 10^{+01}$	Données manquantes	1,74
Oiseaux herbivores	$4,98 \times 10^{-03}$	Donnée manquantes	$6,99 \times 10^{-01}$		1,18
Oiseaux insectivores	$4,98 \times 10^{-03}$		$6,99 \times 10^{-01}$		1,18
Oiseaux fructivores	$9,26 \times 10^{-04}$		$1,30 \times 10^{-01}$		$2,19 \times 10^{-01}$

3.5.3.3.3. 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 chlorpyriphos-méthyl.

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

Tableau 53: Ratios de risque (PEC/PNEC) pour les vertébrés exposés via la consommation de poissons sans abattement de la dose à l'hectare

Substance active	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
100% de la dose à l'hectare					
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	$4,15 \times 10^{-02}$		$7,05 \times 10^{-01}$		

3.5.3.3.4. 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 54: Ratios de risque (PEC/PNEC) pour les vertébrés exposés via la consommation de vers de terre sans abattement de la dose à l'hectare

Substance active	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyrifos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
100% de la dose à l'hectare					
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	$7,62 \times 10^{-06}$		$8,94 \times 10^{-02}$		

3.5.3.4. Abeilles

Pour toutes les substances, les quotients de danger (HQ) sont supérieurs à 100, sauf pour la deltaméthrine par voie orale dont le quotient de danger est égal à 12.7.

Quelles que soient les voies d'exposition, la substance la plus préoccupante est le dinotéfurane.

Tableau 55: Quotients de danger pour l'exposition des abeilles

Substance active	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyrifos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
100% de la dose à l'hectare					
Quotient de danger – Exposition orale	12,7	100	364	$1,79 \times 10^{+04}$	$1,08 \times 10^{+04}$
Quotient de danger – Exposition par contact	667	Donnée manquante	267	$7,14 \times 10^{+03}$	$4,94 \times 10^{+02}$

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

3.5.3.5. Eaux souterraines

En évaluation pire-cas, ou quel que soit le scénario du modèle FOCUS, les niveaux de contamination estimés pour les eaux souterraines sont acceptables pour la deltaméthrine, le chlorpyriphos-méthyl et le bendiocarbe. Le dinotéfurane et l'imidaclopride montrent des niveaux de contamination inacceptables pour certains scénarios.

Tableau 56: Paramètres de modélisation FOCUS Pearl

	Concentration closest to the 80th percentile (µg/L)				
	Deltaméthrine	Bendiocarbe	Chlorpyriphos-méthyl	Dinotéfurane	Imidaclopride
CHATEAUDUN	Acceptable	Acceptable	Acceptable	> 0,1 µg/L	Acceptable
HAMBURG		Acceptable		> 0,1 µg/L	> 0,1 µg/L
JOKIOINEN	Concentration dans l'eau interstitielle < 0,1 µg/L (Tier 1)	Acceptable	Concentration dans l'eau interstitielle < 0,1 µg/L (Tier 1)	> 0,1 µg/L	Acceptable
KREMSMUNSTER		Acceptable		> 0,1 µg/L	> 0,1 µg/L
OKEHAMPTON		Acceptable		> 0,1 µg/L	> 0,1 µg/L
PIACENZA		Acceptable		> 0,1 µg/L	> 0,1 µg/L
PORTO		Acceptable		Acceptable	Acceptable
SEVILLA	Tableau 38	Acceptable	Tableau 38	Acceptable	Acceptable
THIVA		Acceptable		Acceptable	Acceptable

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

Dans le cadre de la recherche de molécules insecticides adulticides constituant des alternatives à la deltaméthrine, l'Anses a mené des travaux d'évaluation sur quatre substances actives potentiellement d'intérêt : le bendiocarbe, le chlorpyrifos-méthyl, le dinotéfurane et l'imidaclopride. La deltaméthrine, qui est dans le cadre français la seule substance active de référence pour une utilisation adulticide en lutte anti-vectorielle, a également été étudiée de la même façon afin de pouvoir procéder à une analyse comparative.

L'évaluation a consisté en une estimation d'une dose efficace d'une part, et en l'évaluation des risques pour l'homme et l'environnement d'autre part, considérant des traitements adulticides appliqués dans le cadre d'une lutte anti-vectorielle péri-domiciliaire uniquement (traitement spatial autoporté et traitement spatial péri-domiciliaire réalisé à pied).

Pour chacune des substances, des doses théoriques efficaces ont été déterminées sur la base des informations disponibles dans la littérature scientifique, complétées par des tests menés en laboratoire sur des souches de moustiques d'élevage et sauvages de l'espèce *Aedes aegypti*.

Compte-tenu des valeurs plus élevées de DL₅₀ obtenues dans ces essais de laboratoire et des doses efficaces en traitement spatial disponibles pour certaines substances actives, il a été considéré qu'il était plus approprié de conserver les doses issues d'expériences de terrain lorsque celles-ci étaient disponibles, et les doses proposées sur la base de la synthèse bibliographique pour la réalisation de l'évaluation des risques.

Au vu des essais expérimentaux, il est possible d'ordonner les substances (de la plus efficace à la moins efficace) selon leur toxicité sur les moustiques comme suit : deltaméthrine, bendiocarbe, chlorpyrifos-méthyl et imidaclopride, dinotéfurane.

Des doses d'application théoriques ont été estimées et ont servi pour l'évaluation des risques pour l'Homme et l'environnement. Si la deltaméthrine reste la molécule appliquée à la dose la plus faible (1 g/ha), le bendiocarbe pourrait être utilisé à une dose de 10 g/ha, et l'imidaclopride et le chlorpyrifos-méthyl à 40 g/ha. En revanche, le dinotéfurane semblerait être efficace à des doses bien supérieures (400 g/ha), ce qui pourrait être un frein à une utilisation en LAV.

L'évaluation de l'efficacité sur le terrain, incluant des tests aux doses efficaces théoriques est en cours dans le cadre de conventions de recherche et développement. Les résultats de ces tests semi-terrain (moustiques en cagettes, pulvérisation ultra bas volume (ULV)), qui seront disponibles dans le courant de 2017, devraient permettre de vérifier l'efficacité réelle sur les moustiques présents en France métropolitaine et outre-mer et, le cas échéant, revoir les doses d'application.

Les évaluations des risques pour l'opérateur ont confirmé que les risques liés à l'utilisation de deltaméthrine sont acceptables, moyennant le port d'équipements de protection individuels appropriés et dans le respect des bonnes pratiques d'utilisation actuelles. L'utilisation d'autres molécules conduirait à un risque acceptable moyennant le port d'équipements de protection plus contraignants. Ainsi, pour l'imidaclopride, des gants et une combinaison de type 6 sont nécessaires. Pour les trois autres substances actives considérées, les risques sont acceptables lorsque sont portés des gants, une combinaison de type 3 ou 4 et un masque..

L'évaluation du risque pour l'opérateur a été réalisée à partir de modèles d'exposition dédiés aux pulvérisations intra-domiciliaires. Ces modèles sont représentatifs des pulvérisations ULV mises en œuvre dans le cadre de la LAV, mais représentent des situations pire-cas par rapport aux usages péri-domiciliaires dans la mesure où une application en extérieur est réalisée. De plus, ces modèles reposent sur un faible nombre d'observations. Pour affiner ces résultats, il serait nécessaire de disposer de données d'expositions mesurées représentant les usages péri-domiciliaires. Par ailleurs, des études d'absorption cutanée pour les formulations dans les conditions d'usage (taux de dilution, notamment) permettraient de mieux évaluer les expositions pour chaque substance.

Concernant les expositions de la population générale aux panaches, les risques liés à l'éventuelle exposition des adultes sont acceptables. Pour les enfants, ils sont acceptables pour l'imidaclopride, le dinotéfurane et la deltaméthrine. En revanche, ils sont inacceptables pour le bendiocarbe et le chlorpyrifos-méthyl en lien avec l'exposition par inhalation. Si ces deux substances venaient à être retenues pour des usages de lutte anti-vectorielle, des mesures de gestion visant à éviter l'exposition des résidents au traitement (évacuation des zones traitées, confinement dans les maisons, information du public) seraient nécessaires afin de limiter les expositions de la population générale aux panaches.

En ce qui concerne le risque via l'alimentation, une contamination des aliments suite au traitement de LAV en extérieur est possible. Une approche comparative des substances actives en prenant la deltaméthrine comme référence a été réalisée. Pour les quatre substances considérées, le nombre de denrées pour lesquelles un risque aigu ne peut pas être exclu ainsi que les indicateurs d'exposition sont supérieurs à ceux calculés pour la deltaméthrine. Toutefois, compte tenu des hypothèses et des calculs maximalistes, ces résultats sont à relativiser, en particulier pour le chlorpyrifos-méthyl en raison de l'absence d'effet systémique. L'absence de données validées sur la systémie du dinotéfurane et du bendiocarbe ne permet pas d'affiner les résultats obtenus. Si l'usage de ces substances en LAV en traitement péri-domiciliaire devait être envisagé, 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 des fruits et légumes) lors de la préparation des fruits et légumes cultivés dans les zones traitées.

L'évaluation de risques pour l'environnement montre que les risques pour les organismes non cibles de l'environnement ne peuvent être exclus pour aucune des substances adulticides, y compris la deltaméthrine.

Le compartiment aquatique est le plus vulnérable aux substances insecticides. Il conviendra 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 conserver ces mesures de gestion si les autres substances venaient à être utilisées dans le cadre de traitements de LAV.

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 être exclu pour aucune des 4 substances étudiées.

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

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.

Au vu de l'ensemble des résultats ci-dessus, sur la base de doses efficaces théoriques et des informations communiquées par les opérateurs de terrain, il est estimé que :

- les quatre substances évaluées ont toutes un profil de risques moins favorable par rapport au profil de la deltaméthrine ;
- l'imidaclopride serait la substance la moins contraignante en termes d'équipements de protections à utiliser pour l'opérateur, comparée aux trois autres substances actives. Des risques pour l'environnement sont néanmoins identifiés en raison de son profil écotoxicologique très défavorable. 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. L'utilisation pratique reste également à définir : les premiers essais terrain réalisés en métropole dans le cadre de la convention recherche et développement ont mis en évidence une incompatibilité de la seule formulation disponible (concentrée soluble) à une utilisation à ultra-bas volume qu'impose un traitement spatial par nébulisation ;
- le bendiocarbe constituerait aussi une alternative d'intérêt à la deltaméthrine. Cependant, son utilisation serait plus contraignante en termes d'équipements de protections pour l'opérateur et nécessiterait des mesures de gestion adaptées pour éviter l'exposition des enfants au panache. En revanche, les risques pour l'environnement sont limités ;
- le dinotéfurane présente peu d'avantages par rapport à la deltaméthrine étant donné la dose efficace théorique très élevée et le profil écotoxicologique défavorable. De plus, la formulation destinée aux traitements agricoles actuellement disponibles hors Europe ne serait pas compatible avec l'appareillage utilisé en LAV, ce qui sera un frein pour la réalisation des tests d'efficacité et limiterait son utilisation possible à court terme ;
- le chlorpyrifos-méthyl, présente également des contraintes en termes d'équipements de protections 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. Son utilisation serait à envisager en deuxième intention. Néanmoins, le chlorpyrifos-méthyl a un mode d'action différent des autres substances considérées ici. Si son efficacité sur les moustiques venait à être vérifiée notamment dans le cadre des études de semi-terrain dont les résultats sont à venir, il pourrait représenter une alternative intéressante au sein d'un panel de substances actives présentant des modes d'action variés, permettant ainsi de pallier les phénomènes de résistance aux insecticides.

L'Anses rappelle enfin que les traitements adulticides constituent un moyen de lutte contre la propagation des moustiques vecteurs d'arboviroses mais ne peut à lui seul constituer une solution unique de lutte anti-vectorielle. Les campagnes d'information sur l'importance de l'élimination mécanique des gîtes larvaires, et de la protection individuelle sont les solutions à privilégier. Dans le cadre de la lutte biocide, les traitements larvicides doivent également être priorités pour éviter la prolifération des moustiques. Les traitements adulticides doivent rester des moyens ponctuels destinés à éviter la propagation de la maladie autour des foyers de contamination dans un cadre bien défini au regard notamment du contexte épidémiologique et des conditions locales.

Dr Roger GENET

MOTS-CLES

lutte anti-vectorielle, Bendiocarbe, chlorpyrifos-méthyl, deltaméthrine, dinotéfurane, imidaclopride

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)."
- 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*.

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.

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 o 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."