



information



formation



recherche



coopération
internationale

ADDENDA À L'ÉVALUATION DES RISQUES
TOXICOLOGIQUES ASSOCIÉS À L'UTILISATION
D'ADULTICIDES DANS LE CADRE D'UN
PROGRAMME DE LUTTE VECTORIELLE CONTRE LA
TRANSMISSION DU VIRUS DU NIL OCCIDENTAL

INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC

ADDENDA À L'ÉVALUATION DES RISQUES
TOXICOLOGIQUES ASSOCIÉS À L'UTILISATION
D'ADULTICIDES DANS LE CADRE D'UN PROGRAMME DE
LUTTE VECTORIELLE CONTRE LA TRANSMISSION DU
VIRUS DU NIL OCCIDENTAL

DIRECTION DES RISQUES BIOLOGIQUES,
ENVIRONNEMENTAUX ET OCCUPATIONNELS

JUIN 2003

AUTEURS

Mathieu Valcke, M. Env., M. Sc.
Institut national de santé publique du Québec

Denis Belleville, M.D., M. Sc.
Institut national de santé publique du Québec

AVEC LA COLLABORATION DE

Onil Samuel, conseiller scientifique
Institut national de santé publique du Québec

La réalisation de ce document a été rendue possible grâce à une contribution financière du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec.

Ce document est disponible en version intégrale sur le site Web de l'INSPQ : <http://www.inspq.qc.ca>

Reproduction autorisée à des fins non commerciales à la condition d'en mentionner la source.

CONCEPTION GRAPHIQUE
MARIE-PIER ROY

DOCUMENT DÉPOSÉ À SANTÉCOM ([HTTP://WWW.SANTECOM.QC.CA](http://www.santecom.qc.ca))
COTE : INSPQ-2003-036

DÉPÔT LÉGAL – 3^e TRIMESTRE 2003
BIBLIOTHÈQUE NATIONALE DU QUÉBEC
BIBLIOTHÈQUE NATIONALE DU CANADA
ISBN 2-550-41427-6

©Institut national de santé publique du Québec (2003)

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX.....	II
SIGLES ET ABRÉVIATIONS.....	III
1. INTRODUCTION.....	1
2. MODÉLISATIONS EFFECTUÉES	3
2.1 Formulations modélisées.....	3
2.2 Processus de modélisation.....	3
3. RÉSULTATS DES MODÉLISATIONS.....	5
3.1 Sortie des résultats primaires à l'aide de PKBW2	5
3.2 Traitement des résultats primaires donnés par PKBW2.....	7
4. DOSES D'EXPOSITION ET INDICES DE RISQUES DÉCOULANT DE LA MODÉLISATION L'AIDE DE PKBW2	9
4.1 Comparaison entre les doses d'exposition et indices de risque découlant de la modélisation de pulvérisations terrestres effectuée à l'aide de PKBW2 ou de ISCST3.....	9
4.2 Doses et indices de risque découlant de la modélisation de pulvérisations aériennes à l'aide de PKBW2	11
5. DISCUSSION	13
5.1 Comparaison des résultats générés par les deux logiciels.....	13
5.1.1 Comparaison des résultats.....	13
5.1.2 Variantes dans le fonctionnement des deux logiciels.....	16
5.2 Modélisation des pulvérisations aériennes.....	18
5.3 Validation terrain	18
6. CONCLUSION	19
7. RÉFÉRENCES.....	21
ANNEXE	23

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 : Résultats bruts issus de la modélisation sur 960 secondes réalisée à l'aide de PKBW2	5
Tableau 3.2 : Comparaison des résultats pour une pulvérisation <i>ULV</i> par voie terrestre pour les logiciels PKBW2 et ISCST3	6
Tableau 3.3 : Concentrations environnementales maximales moyennes des adulticides aux niveaux aigu, sous-chronique et chronique, découlant de la modélisation à l'aide de PKBW2.....	7
Tableau 4.1 : Comparaison entre les doses d'exposition et indices de risque (IR) issus des résultats de PKBW2 et ceux de ISCST3.....	10
Tableau 4.2 : Doses d'exposition et indices de risque (IR) issus des résultats générés à l'aide de PKBW2 pour la modélisation de pulvérisations aériennes	11
Tableau 5.1 : Comparaison de l'additivité des risques entre les résultats découlant de la modélisation à l'aide de ISCST3 et ceux à l'aide de PKBW2, pour les 0,5 à 4 ans.....	15

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

Sigle	Signification
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
ISCST3	Sigle d'un logiciel de modélisation environnementale
MAPAQ	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
MSSS	Ministère de la Santé et des Services sociaux
NYCDOH	<i>New York City Department of Health</i>
PBO	<i>Piperonyl Butoxide</i> (Butoxyde de pipéronyle)
PHED	<i>Pesticide Handlers Exposure Database</i>
PKBW2	Sigle d'un logiciel de modélisation environnementale
RfD	<i>Reference Dose</i> (Dose de référence)
SOPFIM	Société de protection des forêts contre les insectes et maladies
VNO	Virus du Nil occidental
ULV	<i>Ultra Low Volume</i>

1 INTRODUCTION

Le virus du Nil occidental (VNO) a été signalé pour la première fois en territoire québécois à l'été 2002. De nombreux oiseaux infectés ainsi que des groupes de moustiques positifs ont été trouvés dans plusieurs régions de la province. Quelques mammifères infectés ont été identifiés et 16 cas humains, dont 2 décès, ont été confirmés. Le gouvernement du Québec avait adopté, en mai 2002, un plan d'intervention dans le but d'annoncer les dispositions gouvernementales en matière de surveillance, de prévention et de contrôle du VNO.

Parmi ces dispositions, l'utilisation de produits insecticides contre les larves de moustiques (larvicides) et, en derniers recours, contre les moustiques adultes (adulticides) a été proposée dans le cas où le risque d'épidémie au VNO serait significativement élevé dans la population québécoise et justifierait le contrôle des moustiques. À la demande du ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS), l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) a procédé à une évaluation des risques toxicologiques pour la santé humaine associés à l'utilisation des adulticides. L'objectif était de quantifier les effets toxicologiques sur la population et les travailleurs advenant leur utilisation, telle qu'elle a été prévue dans les conditions normales des éventuelles procédures d'intervention du MSSS. Les résultats de cette évaluation devaient aider les autorités à prendre des décisions en mesurant les effets toxicologiques en comparaison aux conséquences d'une épidémie de VNO.

Pour effectuer cette évaluation, publiée en mars 2002, l'INSPQ a eu recours à un processus de modélisation environnementale par ordinateur afin d'estimer les concentrations retrouvées dans le milieu résultant de divers scénarios de pulvérisation (Valcke et Belleville, 2002). Le logiciel (ISCST3) utilisé, conçu pour estimer les concentrations environnementales provenant d'une source fixe d'émission, a généré des valeurs résultant de pulvérisations terrestres de pesticides. Il avait été prévu de recourir à un second logiciel, AgDrift, utilisé en milieu agricole et conçu pour estimer les concentrations résultant de pulvérisations aériennes et terrestres de pesticides. Les difficultés rencontrées lors de l'utilisation de ce logiciel, lequel devait générer des valeurs issues de la modélisation du comportement de fines gouttelettes, caractéristiques des scénarios de pulvérisation prévus, ont rendu impossible la production de résultats. Le consultant, la Société de protection des forêts contre les insectes et maladies (SOPFIM), a alors exploré l'utilisation d'un autre logiciel (PKBW2). D'après les résultats préliminaires obtenus lors de l'utilisation de ce logiciel, il semble que ce dernier serait en mesure de fournir les données requises initialement. Dans leur premier rapport, Valcke et Belleville (2002) ont recommandé de procéder ultérieurement aux modélisations manquantes afin, d'une part, de comparer les résultats avec ceux obtenus lors de la modélisation réalisée avec ISCST3 et d'autre part, de générer des valeurs de concentrations environnementales lors de pulvérisations aériennes d'adulticides, tâche qu'ISCST3 n'a pu accomplir. Ces modélisations ont donc été réalisées à l'aide de PKBW2. Le présent addenda fait état des résultats obtenus et de leurs répercussions sur les conclusions de l'évaluation du risque de Valcke et Belleville, publiée par l'INSPQ en 2002.

2 MODÉLISATIONS EFFECTUÉES

La SOPFIM a procédé à la modélisation assistée par ordinateur afin d'estimer les concentrations environnementales retrouvées dans le milieu à la suite de divers scénarios de pulvérisation d'adulticides à l'aide du logiciel PKBW2.

Le présent document fait un bref rappel des scénarios de pulvérisation ainsi qu'un rapide survol des paramètres considérés lors de la modélisation. Pour obtenir plus de détails concernant cette modélisation, le lecteur peut consulter le rapport sur l'évaluation du risque (Valcke et Belleville 2002) et le rapport complet de la SOPFIM (voir annexe).

2.1 FORMULATIONS MODÉLISÉES

Les scénarios suivants de pulvérisation effectuée par voies terrestre et aérienne d'adulticides ont été modélisés:

- Pulvérisations *ULV* par voies aérienne et terrestre de *Fyfanon* 95 % (malathion)
- Pulvérisations *ULV* par voies aérienne et terrestre de *Mosquito-Fog* 40 % (resméthrine)
- Pulvérisations *ULV* par voies aérienne et terrestre de *Scourge* (resméthrine synergisée au butoxyde de pipéronyle [PBO])¹.

En raison du type de pulvérisations effectuées lors du traitement barrière avec la perméthrine, qui consiste à appliquer une couche d'adulticide sur un support solide, et des difficultés éprouvées lors de la modélisation de ce type de pulvérisation à l'aide du logiciel PKBW2, les résultats générés par ISCST3, lors de l'étude de 2002, seront utilisés pour les discussions se rapportant à ce type de pulvérisation dans la section portant sur le potentiel d'additivité des risques entre les substances.

2.2 PROCESSUS DE MODÉLISATION

Le logiciel utilisé dans le cadre du présent travail est PKBW2. Les paramètres retenus de pulvérisation de pesticides sont les mêmes, pour la plupart, que ceux qui avaient été considérés lors de l'étude de Valcke et Belleville (2002). Quelques différences ont été notées par rapport aux conditions des modélisations effectuées antérieurement à l'aide d'ISCST3. Ce dernier n'avait considéré qu'une seule bande de traitement avec des vents variant en vitesse et en orientation de manière aléatoire à l'intérieur des plages permises pour l'épandage d'adulticides. Ceci permettait d'estimer des concentrations en aval de la bande de traitement selon un angle variable par rapport à cette dernière. Par contre, PKBW2 a considéré un à un les vents à vitesse régulière de 2, 5 et 15 km/h, orientés de manière constante

¹ Il faut noter que le produit n'est pas homologué au Canada. Toutefois, puisqu'il a été utilisé aux Etats-Unis dans la lutte au VNO, il a été tout de même évalué à titre comparatif. En effet, de l'avis des experts en contrôle vectoriel, cette formulation offre une alternative intéressante et devrait être envisagée lors de la planification d'une campagne de contrôle des vecteurs du VNO. Dans les circonstances, l'évaluation de risques pouvait potentiellement en favoriser l'homologation.

perpendiculairement à l'axe de pulvérisation des 20 bandes de traitement parallèles et équidistantes de 100 mètres, permettant de couvrir une surface de traitement d'une largeur totale de 2 000 mètres. Après consultation avec la SOPFIM, il ressort que la longueur des bandes de traitement n'a aucune influence sur les résultats (Rousseau, 2002). En effet, puisque les concentrations environnementales ont été déterminées à partir du flux des gouttelettes dans l'air perpendiculairement à l'axe des bandes de traitement, la longueur de cet axe n'importe pas (voir annexe). Toutefois, afin de pouvoir comparer les résultats avec la modélisation antérieure, les concentrations environnementales résultant d'une seule bande de traitement d'épandage ont également été utilisées.

Comme PKBW2 a aussi permis de modéliser les pulvérisations aériennes, il importe de préciser les différences entre les paramètres de modélisation des pulvérisations terrestres et aériennes. Outre les variations reliées aux taux de pulvérisation (conformément aux étiquettes de produits) et aux équipements utilisés pour les épandages, mentionnons que les vitesses de déplacement des sources d'émission (camion et avion) étaient respectivement de 16 et 160 km/h alors que les hauteurs d'épandage étaient respectivement de 2 et 107 mètres.

Pour ce logiciel, le flux des gouttelettes d'adulticide en circulation est la variable la plus importante à considérer dans l'évaluation des concentrations au sol et dans l'air. En effet, toute la modélisation repose sur le calcul des quantités de produits ayant circulé, durant une certaine période et à diverses hauteurs, à l'intérieur de la zone de traitement pour une période de temps donnée. Pour les besoins de la modélisation, l'individu-type exposé lors d'un événement de pulvérisation ne se déplace pas et est situé à l'intérieur de la zone de traitement. Comme pour la modélisation à l'aide d'ISCST3, la concentration dans l'air a été évaluée à une hauteur de 1,5 mètres. La durée d'exposition a été établie à 960 secondes, soit le temps maximal pouvant être modélisé par PKBW2. Dans le rapport de la SOPFIM, il est mentionné que « pour tous les essais modélisés, la majorité du produit vaporisé avait atteint le sol ou s'était déplacé au-delà de 2 000 mètres en 960 secondes ou moins ». Il en résulte donc que cette limite de temps du logiciel n'a eu aucun effet important sur l'évaluation finale des risques d'exposition.

3 RÉSULTATS DES MODÉLISATIONS

La présente section montre les résultats bruts générés par la modélisation ainsi que les résultats transformés aux fins de la comparaison des deux méthodes de modélisation pour les pulvérisations terrestres. Les résultats ainsi transformés seront utilisés dans les équations d'estimation de l'exposition et serviront à l'évaluation des risques toxicologiques.

3.1 SORTIE DES RÉSULTATS PRIMAIRES À L'AIDE DE PKBW2

Le Tableau 3.1 illustre les résultats de la modélisation effectuée à l'aide de PKBW2 pour chaque produit étudié.

Tableau 3.1 : Résultats bruts issus de la modélisation sur 960 secondes réalisée à l'aide de PKBW2

Formulation (ingrédient)	Vitesse du vent (km/h)	Pulvérisations terrestres				Pulvérisations aériennes			
		Moyenne des [] maximales au sol ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)		Moyenne des [] maximales dans l'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Moyenne des [] maximales au sol ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)		Moyenne des [] maximales dans l'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
		1 bande de traitement	20 bandes de traitements	1 bande de traitement	20 bandes de traitements	1 bande de traitement	20 bandes de traitements	1 bande de traitement	20 bandes de traitements
<i>Fyfanon</i> (malathion- 95 %)	2	1,52	1,64	250	316	0,40	2,11	49	126
	5	1,94	2,15	116	150	0,16	1,03	18	47
	15	2,04	2,16	37	47	0,04	0,14	1,4	3
<i>Mosquito-Fog</i> (Resméthrine- 40 %)	2	0,22	0,24	36	46	0,01	0,03	0,62	1,60
	5	0,28	0,31	17	22	0*	0,01	0,23	0,06
	15	0,30	0,31	5	7	0,01	0,02	0,02	0,04
<i>Scourge</i> (Resméthrine 18 %)	2	0,08	0,09	14	17	0*	0,01	0,23	0,60
	5	0,11	0,12	6	8	0*	0,01	0,08	0,20
	15	0,11	0,12	2	3	0*	0*	0,01	0,02
<i>Scourge</i> (PBO-54 %)	2	0,25	0,27	41	52	0,01	0,03	0,70	1,79
	5	0,32	0,37	19	24	0*	0,02	0,25	0,67
	15	0,33	0,35	6	8	0*	0*	0,02	0,05

* : les « 0 » résultent de valeurs arrondies à deux décimales.

Conformément à une étude new-yorkaise (New York City Department of Health [NYCDOH], 2001), les concentrations environnementales maximales moyennes issues de la modélisation de pulvérisations aériennes sont généralement plus faibles que celles correspondant aux pulvérisations terrestres. Cependant, l'effet du vent sur les concentrations au sol varie selon que les pulvérisations sont effectuées par voie aérienne ou terrestre. En effet, les concentrations augmentent avec l'intensité du vent pour les pulvérisations terrestres alors qu'elles diminuent pour les pulvérisations aériennes. La raison de ce phénomène n'est pas bien connue (Rousseau, 2002).

Le Tableau 3.2 compare les résultats générés par les deux logiciels pour les pulvérisations terrestres uniquement, puisque ISCST3 n'avait pu produire de résultats pour les pulvérisations aériennes. Pour ce faire, il a été nécessaire de transformer les résultats de concentrations dans l'air fournis par PKBW2 sur une base comparable à ceux fournis par ISCST3, soit une concentration sur une base horaire. Comme les résultats bruts fournis par PKBW2 sont établis sur la base d'un flux de gouttelettes se déplaçant durant un maximum de 960 secondes, la valeur de la concentration obtenue a été ramenée sur une base horaire de la manière suivante :

$$[]_{\text{horaire}} = []_{960 \text{ secondes}} \times 960 \text{ secondes} / 3\,600 \text{ secondes par heure}$$

Tableau 3.2 : Comparaison des résultats pour une pulvérisation ULV par voie terrestre pour les logiciels PKBW2 et ISCST3

Logiciel	Formulation (ingrédient)	Concentration maximale moyenne dans l'air, sur une base horaire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Concentration maximale moyenne au sol ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	
		1 bande de traitement	20 bandes de traitement	1 bande de traitement	20 bandes de traitement
PKBW2	<i>Fyfanon</i> (malathion 95 %)	66,7	84,3	2,0	2,2
	<i>Mosquito-Fog</i> (Resméthrine 40 %)	9,7	12,3	0,3	0,3
	<i>Scourge</i> (Resméthrine 18 %)	3,6	4,6	0,1	0,1
	<i>Scourge</i> (PBO 54 %)	10,9	13,8	0,3	0,4
ISCST3	<i>Fyfanon</i> (malathion 95 %)	63,3	NSP	2,3	NSP
	<i>Mosquito-Fog</i> (Resméthrine 40 %)	22,8	NSP	0,8	NSP
	<i>Scourge</i> (Resméthrine 18 %)	10,1	NSP	0,4	NSP
	<i>Scourge</i> (PBO 54 %)	30,3	NSP	1,1	NSP

NSP : Ne s'applique pas

Le tableau ci-dessus indique que les concentrations dans l'air modélisées à l'aide de PKBW2 sont plus faibles que celles modélisées à l'aide de ISCST3, à l'exception de la concentration du malathion. Par ailleurs, comme nous l'avons décrit à la section 2, PKBW2 a permis de générer des résultats correspondant à 20 bandes de traitement, ceci en répétant à 20 reprises la simulation d'une seule bande. Cette répétition n'était pas possible avec ICSCST3, et seuls les résultats correspondant à une seule bande de traitement ont pu être générés. Malgré cela, les concentrations au sol varient peu selon que 1 ou 20 bandes de traitement sont modélisées. Même en considérant 20 bandes, les concentrations au sol modélisées à l'aide de PKBW2 demeurent inférieures à celles résultant d'une seule bande selon ISCST3. La faible variation des concentrations estimées au sol après le traitement d'une bande par rapport à celles estimées dans le cas de 20 bandes s'explique par le fait que la majorité du produit se dépose dans les 100 premiers mètres lors de la pulvérisation terrestre (voir annexe). Enfin, la différence entre les valeurs modélisées à l'aide de ISCST3 et celles modélisées à l'aide de PKBW2 est faible pour le malathion, mais elle est plus importante dans le cas des autres produits.

3.2 TRAITEMENT DES RÉSULTATS PRIMAIRES DONNÉS PAR PKBW2

Les résultats bruts ont fait l'objet d'une série d'opérations visant à estimer les concentrations maximales dans l'air, à la surface du sol et dans le sol. Ces dernières ont été utilisées pour le calcul des doses résultant des différents niveaux d'exposition : aigu, sous-chronique et chronique. Les définitions de ces niveaux et la façon dont les concentrations environnementales ont été évaluées et utilisées, selon les scénarios de pulvérisation envisagés, sont détaillées dans l'étude de Valcke et Belleville (2002). Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 3.3 : Concentrations environnementales maximales moyennes des adulticides à la suite d'une exposition aiguë, sous-chronique ou chronique, découlant de la modélisation à l'aide de PKBW2

Produit	Milieu	Concentrations aiguës		Concentrations sous-chroniques		Concentrations chroniques	
		Pulvérisations aériennes	Pulvérisations terrestres	Pulvérisations aériennes	Pulvérisations terrestres	Pulvérisations aériennes	Pulvérisations terrestres
Malathion	[] _{air} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹	26	65,1	NSP	NSP	NSP	NSP
	[] _{surface} ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) ²	2,16	2,21	0,51	0,52	0,04	0,04
	[] _{sol} ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$) ³	2,37	2,43	0,71	0,73	0,10	0,10
Resméthrine seule	[] _{air} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹	0,11	3,21	NSP	NSP	NSP	NSP
	[] _{surface} ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) ²	0,03	0,33	0,01	0,09	0*	0,01
	[] _{sol} ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$) ³	0,15	1,82	0,09	1,07	0,05	0,63
Resméthrine synergisée	[] _{air} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹	0,04	1,20	NSP	NSP	NSP	NSP
	[] _{surface} ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) ²	0,01	0,13	0*	0,03	0*	0*
	[] _{sol} ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$) ³	0,06	0,69	0*	0,41	0*	0,24
PBO	[] _{air} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹	0,34	9,73	NSP	NSP	NSP	NSP
	[] _{surface} ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) ²	0*	0,35	0*	0,07	0*	0*
	[] _{sol} ($\mu\text{g}/\text{cm}^3$) ³	0,01	1,32	0,01	0,83	0*	0,33

1 : Concentration dans l'air

2 : Concentration en surface du sol

3 : Concentration dans le sol, en considérant que ce qui se dépose en surface se distribue entièrement dans le premier centimètre d'épaisseur du sol.

NSP: Ne s'applique pas : L'évaluation considère qu'il n'y a pas de gouttelettes en suspension dans l'air autrement qu'au niveau aigu.

* : Les « 0 » résultent de valeurs arrondies à deux décimales.

4 DOSES D'EXPOSITION ET INDICES DE RISQUES DÉCOULANT DE LA MODÉLISATION À L'AIDE DE PKBW2

La présente section donne une comparaison entre les résultats découlant de la modélisation des pulvérisations terrestres effectuée à l'aide de PKBW2 et ceux découlant de la modélisation avec ISCST3 lors de l'étude de Valcke et Belleville (2002). De plus, les résultats issus de la modélisation d'événements de pulvérisations aériennes, uniquement à l'aide de PKBW2, sont rapportés.

4.1 COMPARAISON ENTRE LES DOSES D'EXPOSITION ET INDICES DE RISQUE DÉCOULANT DE LA MODÉLISATION DE PULVÉRISATIONS TERRESTRES EFFECTUÉE À L'AIDE DE PKBW2 OU DE ISCST3

Afin de vérifier, à la suite d'une exposition aiguë l'effet de la concentration dans l'air plus importante du malathion, et afin de vérifier dans quelle mesure les doses d'exposition et les indices de risque découlant de la modélisation effectuée à l'aide de PKBW2 se comparent avec ceux issus de la modélisation effectuée à l'aide de ISCST3, nous avons produit le tableau comparatif suivant. Notons que dans un souci de précaution, les doses ont été calculées en considérant les concentrations environnementales résultant de 20 bandes de traitement générées à l'aide de PKBW2, légèrement supérieures à celles issues d'une seule bande de traitement. Le grisé identifie les indices de risque supérieurs à 1.

Tableau 4.1 : Comparaison entre les doses d'exposition et indices de risque (IR) issus des résultats de PKBW2 et ceux de ISCST3

Produit	Classe d'âge	Niveau aigu (Doses (mg/kg-jr) / IR)		Niveau sous-chronique (Doses (mg/kg-jr) / IR)		Niveau chronique (Doses (mg/kg-jr) / IR)	
		ISCST3	PKBW2	ISCST3	PKBW2	ISCST3	PKBW2
Malathion	0 à 6 mois	0,005/ 0,154	0,006/ 0,203*	0,075/ 0,31	0,003/ 0,134	0,001/ 0,032	0/ 0,016**
	6 mois à 4 ans	0,34/ 0,834	0,321/ 0,838*	0,085/ 2,172	0,076/ 1,947	0,004/ 0,166	0,004/ 0,152
	5 à 11 ans	0,126/ 0,368	0,117/ 0,388	0,032/ 0,193	0,028/ 0,112	0,002/ 0,069	0,001/ 0,059
	12 à 19 ans	0,077/ 0,222	0,072/ 0,234	0,02/ 0,119	0,017/ 0,068	0,001/ 0,041	0,001/ 0,035
	20 ans et +	0,016/ 0,073	0,015/ 0,085	0,005/ 0,075	0,004/ 0,036	0/ 0,014**	0/ 0,01**
Resméthrine seule	0 à 6 mois	0,006/ 0,072	0,003/ 0,038	0,001/ 0,005	0/ 0,001	0/ 0,007**	0/ 0,002**
	6 mois à 4 ans	0,137/ 0,714	0,052/ 0,286	0,042/ 0,185	0,016/ 0,076	0,01/ 0,188	0,002/ 0,058
	5 à 11 ans	0,058/ 0,021	0,021/ 0,01	0,02/ 0,002	0,007/ 0,001	0,004/ 0,127	0,001/ 0,036
	12 à 19 ans	0,035/ 0,012	0,013/ 0,006	0,012/ 0,001	0,004/ 0**	0,002/ 0,073	0,001/ 0,02
	20 ans et +	0,0081/ 0,006	0,003/ 0,003	0,003/ 0**	0,001/ 0**	0,001/ 0,0172	0/ 0,005**
Resméthrine synergisée	0 à 6 mois	0,003/ 0,032	0,001/ 0,014	0/ 0,002	0/ 0**	0/ 0,003**	0/ 0,001**
	6 mois à 4 ans	0,061/ 0,318	0,021/ 0,112	0,019/ 0,084	0,005/ 0,025	0,002/ 0,083	0,001/ 0,021
	5 à 11 ans	0,026/ 0,009	0,008/ 0,004	0,009/ 0,001	0,002/ 0**	0,002/ 0,056	0/ 0,013**
	12 à 19 ans	0,016/ 0,005	0,005/ 0,002	0,005/ 0,001	0,001/ 0**	0/ 0,032**	0/ 0,008**
	20 ans et +	0,003/ 0,003	0,001/ 0,001	0,001/ 0**	0/ 0**	0/ 0,007**	0/ 0,002**
PBO	0 à 6 mois	0,018/ 0,017	0,078/ 0,007	0,012/ 0,069	0,002/ 0,01	0,003/ 0,206	0,001/ 0,031
	6 mois à 4 ans	0,222/ 0,066	0,072/ 0,023	0,049/ 0,109	0,015/ 0,035	0,003/ 0,057	0,001/ 0,012
	5 à 11 ans	0,115/ 0,018	0,037/ 0,007	0,027/ 0,007	0,008/ 0,001	0,002/ 0,029	0/ 0,005**
	12 à 19 ans	0,07/ 0,011	0,023/ 0,004	0,016/ 0,004	0,005/ 0,001	0,001/ 0,018	0/ 0,003**
	20 ans et +	0,014/ 0,004**	0,004/ 0,002	0,003/ 0,003	0,001/ 0**	0,001/ 0,007	0/ 0,001**

* : Cas où les valeurs de PKBW2 sont plus élevées que celles de ISCST3.

** : Les « 0 » résultent de valeurs arrondies à 3 décimales.

Comme les concentrations environnementales générées pour les pulvérisations terrestres à l'aide de PKBW2 sont plus faibles que celles générées à l'aide de ISCST3, les doses d'exposition et les indices de risque sont également plus faibles, exception faite du malathion au niveau aigu, en raison des concentrations dans l'air légèrement supérieures. Ces résultats correspondent aux données du Tableau 3.3. De manière absolue, l'indice de risque sous-chronique pour les 6 mois à 4 ans concernant le malathion demeure le seul qui soit supérieur à 1.

4.2 DOSES ET INDICES DE RISQUE DÉCOULANT DE LA MODÉLISATION DE PULVÉRISATIONS AÉRIENNES À L'AIDE DE PKBW2

Les doses d'exposition et les indices de risques résultant de la modélisation de pulvérisations aériennes des divers adulticides à l'aide de PKBW2 sont présentés au tableau suivant, pour les expositions aiguë, sous-chronique et chronique, de même que pour les diverses classes d'âge.

Tableau 4.2 : Doses d'exposition et indices de risque (IR) issus des résultats générés à l'aide de PKBW2 pour la modélisation de pulvérisations aériennes

Adulticides :	Malathion	Resméthrine seule	Resméthrine synergisée	Butoxyde de pypéronyle (PBO)
Terme Classes d'âge	(Doses [mg/kg-jr] / IR)	(Doses [mg/kg-jr] / IR)	(Doses [mg/kg-jr] / IR)	(Doses [mg/kg-jr] / IR)
Aigu				
0 à 6 mois	0,027/ 0,084	0/ 0,001*	0/ 0,001*	0/ 0*
6 mois à 4 ans	0,31/ 0,701	0,005/ 0,025	0,002/ 0,008	0,001/ 0*
5-11 ans	0,112/ 0,287	0,002/ 0*	0,001/ 0*	0/ 0*
12-19 ans	0,068/ 0,173	0,001/ 0*	0/ 0*	0/ 0*
20 ans et +	0,014/ 0,05	0/ 0*	0/ 0*	0/ 0*
Sous-chronique				
0 à 6 mois	0,003/ 0,131	0/ 0*	0/ 0*	0/ 0*
6 mois à 4 ans	0,075/ 1,909	0/ 0,002*	0/ 0,002*	0/ 0*
5-11 ans	0,028/ 0,11	0/ 0*	0/ 0*	0/ 0*
12-19 ans	0,017/ 0,067	0/ 0*	0/ 0*	0/ 0*
20 ans et +	0,004/ 0,035	0/ 0*	0/ 0*	0/ 0*
Chronique				
0 à 6 mois	0/ 0,017*	0/ 0*	0/ 0*	0/ 0*
6 mois à 4 ans	0,004/ 0,152	0/ 0,005*	0/ 0,002*	0/ 0*
5-11 ans	0,001/ 0,059	0/ 0,003*	0/ 0,001*	0/ 0*
12-19 ans	0,001/ 0,035	0/ 0,002*	0/ 0,001*	0/ 0*
20 ans et +	0/ 0,01*	0/ 0*	0/ 0*	0/ 0*

* : Les « 0 » résultent de valeurs arrondies à 2 décimales.

On remarque, comme le laissaient présager les concentrations environnementales, que les doses d'exposition et les indices de risques correspondants sont sensiblement plus faibles pour les scénarios de pulvérisations aériennes que pour les pulvérisations terrestres. En fait, seules les doses d'exposition estimées pour le malathion représentent un niveau de risque significatif. Tout comme pour les pulvérisations terrestres, un indice de risque supérieur à 1 n'est calculé que dans le cas des enfants de 6 mois à 4 ans, exposés au malathion de façon sous-chronique, c'est-à-dire durant la période envisageable de traitement de 56 jours durant l'été. Pour les autres substances, les doses d'exposition estimées sont très faibles et les indices de risque calculés paraissent, somme toute, négligeables.

Le Tableau 4.1 indique que, pour le malathion, les différences entre les doses d'exposition et les indices de risque résultant de la modélisation de pulvérisations aériennes comparativement à celles de pulvérisations terrestres s'estompent à mesure que l'on considère des expositions de plus en plus longues. Ceci s'explique par une demi-vie environnementale très courte pour le malathion. Il en résulte qu'au-delà de quelques jours, les différences de concentrations environnementales initiales n'ont plus d'effet sur les résidus retrouvés.

5 DISCUSSION

La discussion porte principalement sur les répercussions des nouveaux résultats, issus de la modélisation à l'aide de PKBW2, sur les conclusions de l'évaluation de risques produite en 2002 à l'aide de ISCST3. Il s'agit donc d'une discussion comparative qui ne portera pas sur les éléments propres à l'évaluation de risque en soi, puisque cela a déjà été fait dans le cadre de l'étude de Valcke et Belleville (2002). Rappelons finalement que la modélisation n'a été utilisée que pour évaluer les risques encourus par la population en général et ne change en rien les conclusions de l'étude de 2002 quant à l'exposition et aux risques encourus par les travailleurs participant aux activités de pulvérisation. Ceux-ci, rappelons-le, avaient été déterminés à partir des données de la *Pesticide Handlers Exposure Database (PHED)* pour le malathion, et en comparaison avec des données provenant de la documentation scientifique sur le sujet pour les autres substances.

5.1 COMPARAISON DES RÉSULTATS GÉNÉRÉS PAR LES DEUX LOGICIELS

On peut comparer les logiciels ISCST3 et PKBW2 de deux manières : d'une part, sur la base des résultats obtenus à partir des deux logiciels et d'autre part, selon le fonctionnement interne des logiciels.

5.1.1 Comparaison des résultats

Le premier niveau de comparaison a trait aux résultats obtenus pour les doses d'exposition et les indices de risque aigu, sous-chronique et chronique, pour chaque adulticide. À un second niveau, les indices de risques combinés obtenus lors de l'analyse du phénomène d'additivité des risques seront comparés.

5.1.1.1 Exposition et risque aigu attribuables à la pulvérisation de pesticides

Au niveau aigu, les concentrations dans l'air sont considérées dans le calcul de la dose d'exposition, ainsi que les concentrations dans le sol et à sa surface. Or, le logiciel PKBW2 génère des concentrations dans l'air supérieures à celles ayant déjà été utilisées lors de l'évaluation de risque pour le malathion. Il serait par conséquent plausible que les doses d'exposition aiguës, et par surcroît les indices de risque, aient été sous-estimés dans l'étude de 2002. Toutefois, dans le scénario d'exposition aiguë retenu, les doses attribuables à l'exposition cutanée sont plus importantes que les doses par inhalation. Par conséquent, même si les nouvelles concentrations dans l'air sont plus importantes que celles modélisées antérieurement à l'aide de ISCST3, les doses d'exposition, et donc les indices de risque, demeurent du même ordre en raison des dépôts plus faibles au sol. Notons que les évaluations ont été faites, par mesure de conservatisme, pour 20 bandes de traitement. Il appert que si l'on ne considérait qu'une seule bande de traitement, les doses résultantes seraient plus faibles que celles évaluées en 2002, car le nombre de bandes de traitement influence principalement la concentration dans l'air, mais a peu d'effet sur la concentration au sol, dans le cas des pulvérisations terrestres (voir annexe).

Comparativement à l'étude précédente, les nouveaux résultats générés par la modélisation de pulvérisations terrestres avec le logiciel PKBW2 n'occasionnent pas de changement appréciable au niveau des conclusions relatives aux risques. Les résultats du Tableau 4.1 confirment cette observation.

Pour ce qui est des données d'exposition et des risques aigus résultant de la modélisation de pulvérisations aériennes, elles ne font que confirmer l'hypothèse avancée dans l'étude de 2002 et les résultats de l'étude new-yorkaise voulant que cette méthode de pulvérisation soit potentiellement plus sécuritaire d'un point de vue de santé publique. En effet, elle génère des quantités de pesticides moins importantes, ce qui diminue le potentiel d'exposition pour la population, comparativement aux pulvérisations terrestres. Toutefois, les tendances observées, tant au niveau des voies d'exposition que des doses, sont similaires à celles observées pour les pulvérisations terrestres. Ce ne sont que les valeurs absolues qui sont moins élevées (Valcke et Belleville 2002 ; NYCDOH 2001).

5.1.1.2 Expositions et risques sous-chroniques et chroniques attribuables aux pulvérisations d'adulticides

a) Effets autres que le cancer

En tout temps, les concentrations de dépôt au sol modélisées à l'aide de PKBW2 (et donc dans le sol) sont inférieures à celles modélisées à l'aide de ISCST3. Ainsi, les doses sous-chroniques et chroniques résultant de telles concentrations, et par conséquent les indices de risque, sont inférieurs à ceux estimés lors de l'évaluation de risque réalisée en 2002. En effet, pour les expositions sous-chroniques et chroniques, seules les concentrations au sol avaient été prises en considération puisque les gouttelettes ne persistaient pas dans l'air d'une pulvérisation à l'autre. Toutefois, la diminution n'est pas suffisamment importante pour faire passer l'indice de risque sous-chronique des 0,5 à 4 ans pour le malathion en deçà de la valeur de 1. Dans tous les autres cas, l'indice de risque est inférieur à 1. Cela s'applique également lorsqu'on considère les doses d'exposition et les indices de risque découlant de la modélisation des pulvérisations aériennes.

Au niveau des risques non cancérogènes sous-chroniques et chroniques, les nouvelles données n'apportent aucun changement dans les conclusions de l'évaluation des risques effectuée en 2002.

b) Effet cancérogène

Lors de l'évaluation de risques de 2002, la méthodologie privilégiée pour apprécier le risque cancérogène consistait à procéder selon une approche de la comparaison avec la dose de référence chronique (RfD). Les raisons ayant justifié le choix de cette approche sont expliquées dans l'étude. Comme les doses d'exposition chronique estimées à partir des valeurs issues du logiciel PKBW2 sont inférieures à celles estimées à partir des valeurs issues de ISCST3, il en résulte des doses moyennes d'exposition pour la vie entière (70 ans) demeurant bien en deçà de la RfD chronique et ce, pour toutes les substances étudiées. Par conséquent, les conclusions dérivées de cette démarche demeurent inchangées et le risque de cancer pour la population en général demeure faible.

Dans un souci de comparaison avec l'étude new-yorkaise, les risques de cancer ont aussi été quantifiés en utilisant l'approche de « facteur de pente de cancer » pour le malathion. Les nouvelles données font passer le risque d'excès de cancer attribuable à l'exposition chronique au malathion, de 4,3 E-07 à 3,6 E-07, soit un peu moins de 4 cas de cancer en excès sur 10 millions de personnes exposées durant toute la vie. Le fait que le risque cancérigène soit le même pour les pulvérisations aériennes et terrestres, malgré des dépôts différents au départ, s'explique de la même manière que la diminution des différences de risques non cancérigènes à mesure que l'on considère des expositions plus longues, par la cinétique d'élimination rapide du malathion (voir section 4.2). Les doses chroniques, à partir desquelles sont estimés les risques cancérigènes, ne varient pas non plus. Ainsi, le risque estimé selon cette méthodologie est du même ordre de grandeur que celui de l'étude de 2002.

5.1.1.3 Additivité des risques

Pour ce qui est de l'additivité des risques, rappelons que les traitements à considérer aux fins de discussion sont ceux où le malathion ou la resméthrine, synergisée ou non, sont utilisés conjointement avec la perméthrine en traitement de barrière. Les raisons justifiant ces choix ont été amplement exposées lors de l'étude de 2002. Les nouveaux résultats font état d'une légère modification par rapport aux conclusions de l'étude de 2002. Rappelons que lors de cette étude, on a estimé des indices de risque combinés supérieurs à 1 pour les 0,5 à 4 ans seulement, en considérant l'utilisation de perméthrine en combinaison avec le malathion (niveaux aigu et sous-chronique) ou la resméthrine non synergisée (niveau aigu). Cependant, ce n'est pas le cas avec la resméthrine synergisée. Le tableau suivant est présenté afin d'apprécier ce changement. Les indices de risque, combinés ou non, supérieurs à 1 y sont illustrés en caractères gras.

Tableau 5.1 : Comparaison de l'additivité des risques entre les résultats découlant de la modélisation effectuée à l'aide d'ISCST3 ou de PKBW2, pour les 0,5 à 4 ans

Adulticides considérés	Indices de risques, selon ISCST3		Indices de risques, selon PKBW2			
	Pulvérisations terrestres		Pulvérisations terrestres		Pulvérisations aériennes	
	Aigus	Sous-chroniques	Aigus	Sous-chroniques	Aigus	Sous-chroniques
Risques pour les substances seules						
Malathion seulement	0,834	2,172	0,838 ¹	1,947	0,701	1,909
Resméthrine non synergisée seulement	0,714	0,185	0,286	0,076	0,025	0,002
Resméthrine synergisée seulement	0,318	0,084	0,112	0,025	0,008	0,002
Perméthrine seulement	0,296 ²	0,252 ²	0,296 ²	0,252 ²	0,296 ²	0,252 ²
Additivité des risques						
Malathion + Perméthrine	1,13	2,424	1,134¹	2,199	0,997	2,161
Resméthrine non synergisée + perméthrine	1,01	0,437	0,582	0,328	0,321	0,254
Resméthrine synergisée + perméthrine	0,614	0,336	0,408	0,277	0,304	0,254

1 : Valeur supérieure pour PKBW2 par rapport à la valeur d'ISCST3.

2 : Valeurs obtenues à l'aide de ISCST3 lors de l'étude de 2002, puisque PKBW2 n'a pas généré de valeur.

Les indices de risque estimés à partir des concentrations environnementales modélisées par PKBW2 étant inférieurs pour la resméthrine, synergisée ou non, à ce qu'ils étaient lors de l'étude de 2002, il est clair qu'il en va de même pour l'indice de risque combiné de la resméthrine synergisée avec la perméthrine (0,408 et 0,277 plutôt que 0,614 et 0,336, aux niveaux aigus et sous-chroniques, respectivement). Cependant, pour ce qui est de la resméthrine non synergisée au niveau aigu, la nouvelle valeur de son indice de risque, nettement inférieure à celle découlant de la modélisation à l'aide de ISCST3 (0,286 plutôt que 0,714), a comme conséquence que la combinaison avec l'indice de risque de la perméthrine demeure inférieure à 1, alors qu'elle dépassait cette valeur dans l'étude de 2002 (0,582 plutôt que 1,01). Pour le malathion, étant donné que les indices de risque découlant de la modélisation à l'aide de PKBW2 sont légèrement supérieurs au niveau aigu, l'utilisation conjointe du malathion avec la perméthrine en traitement barrière génère un indice de risque total supérieur à 1 au niveau aigu, mais très peu différent (1,13 et 1,134) de ce qu'il était lors de la modélisation à l'aide de ISCST3. Quant au niveau sous-chronique, le malathion dépasse à lui seul l'indice de risque de 1 et la contribution de l'indice de risque attribuable à la perméthrine à l'indice de risque total estimé pour un traitement combiné avec les deux substances représente environ 20 % (0,252/2,172) de ce dernier.

À partir des résultats de la modélisation pour les pulvérisations aériennes, la conclusion change un peu puisqu'il n'y a pas de problème d'additivité des risques au niveau aigu, l'indice de risque combiné de la perméthrine avec n'importe lequel des trois autres adulticides ne dépassant pas la valeur de 1. La valeur la plus élevée a été notée pour le malathion (0,997). Cette dernière valeur peut être considérée comme étant un indice de risque égal à 1, c'est-à-dire que l'exposition cumulative est égale à l'exposition maximale pouvant être considérée comme ne présentant pas de risque. Au niveau sous-chronique, encore une fois, le malathion dépasse à lui seul l'indice de risque de 1 et l'utilisation conjointe avec la perméthrine fait passer cet indice de risque de 1,909 à 2,161. De même qu'avec les résultats de la modélisation des pulvérisations terrestres à l'aide de PKBW2, il n'y a pas de problème d'additivité des risques en considérant l'usage conjoint de perméthrine avec la resméthrine synergisée, ou non, les indices de risque combinés étant inférieurs à 1.

5.1.2 Variantes dans le fonctionnement des deux logiciels

La principale différence entre les deux logiciels utilisés est que ISCST3 a été conçu pour modéliser une dispersion de polluants à partir de points fixes d'émission, comme une cheminée par exemple, alors que PKBW2 a été spécialement conçu pour modéliser l'épandage de pesticides par pulvérisation aérienne. Cependant, il peut être utilisé pour modéliser des pulvérisations terrestres en modifiant les paramètres d'entrée de façon représentative, par exemple en supposant qu'un avion se déplace très lentement à quelques mètres du sol, de la même manière qu'un camion se déplace dans une rue. Le logiciel PKBW2 semble plus adapté, et donc plus valide, pour le travail qui a été effectué.

Les variations observées entre ISCST3 et PKBW2 résultent du fait qu'ISCST3 a simulé les dépôts de gouttelettes après un événement ponctuel de pulvérisation, correspondant à la prescription de pulvérisation par hectare, alors que PKBW2 a simulé le dépôt de gouttelettes durant un événement d'émission en continu, sur toute la longueur de la bande de traitement, selon une « dynamique d'épandage » différente.

Par ailleurs, ISCST3 a modélisé le traitement d'une zone linéaire, correspondant à une rue dans un quartier résidentiel par exemple, alors que PKBW2 a simulé le traitement d'une surface correspondant à 20 bandes de traitement de largeur et de longueur indéterminée. En pratique, ceci correspondrait au traitement non pas d'une seule rue d'un quartier, mais de tout un quartier comportant 20 rues parallèles.

L'idée de modéliser 20 bandes de traitement terrestre a surgi au cours du présent mandat, ce qui n'avait pas été suggéré lors de la modélisation à l'aide d'ISCST3. En effet, il n'était pas raisonnable, dans le cas d'un traitement par voie aérienne, de ne considérer qu'une seule bande de traitement plutôt qu'une superficie représentative. La modélisation de 20 bandes de traitement de la pulvérisation terrestre a aussi été effectuée dans la perspective de reproduire ainsi le traitement dans tout un quartier aux rues parallèles. Toutefois, l'omission de la simulation de 20 bandes de traitement lors de l'utilisation de ISCST3 est sans conséquence sur les conclusions de l'étude portant sur les comparaisons des deux logiciels. En effet, une seule bande de traitement modélisée à l'aide d'ISCST3 a généré des résultats supérieurs à ceux d'un traitement de 20 bandes avec PKBW2, sauf pour la concentration de malathion dans l'air. Cette tendance aurait été plus importante encore si 20 bandes de traitement avaient été prises en considération lors de la modélisation à l'aide d'ISCST3. Par contre, le plus important était de simuler le traitement d'une rue d'un quartier résidentiel par exemple. Par ailleurs, avec PKBW2, il y a peu de différence entre les résultats issus d'une seule ou de 20 bandes de traitement, puisque la plus grande proportion du produit est déposée dans les 100 premiers mètres. Il ne peut être exclu que la simulation de 20 bandes de traitement avec ISCST3 aurait pu modifier les conclusions en donnant des résultats tels que les substances qui ne présentaient pas de risque en considérant une seule bande de traitement puissent en présenter dans le cas de 20 bandes. Dans l'état actuel des choses, il n'est cependant pas possible de statuer sur ce point. En raison de l'écart observé entre les indices de risque obtenus et la valeur de 1, il est peu probable qu'une telle modification soit réaliste.

Enfin, ISCST3 a considéré une rugosité correspondant à celle observée dans un quartier hypothétique avec des bâtiments de 2 à 3 étages de haut, alors que PKBW2 a considéré une rugosité correspondant à celle observée dans un champ qui serait constitué d'une couche de végétation d'environ 30 centimètres de hauteur. La rugosité correspond à la propriété d'une surface de présenter des obstacles ou anfractuosités composant un relief avec lequel les gouttelettes en suspension peuvent entrer en contact.

L'effet de cette différence a été analysé sommairement en considérant la sensibilité du logiciel PKBW2 en lien avec le paramètre de rugosité. L'analyse sommaire montre que la quantité totale d'insecticide déposé dans la zone d'étude ne varie pas significativement en fonction de la variation du paramètre de rugosité. Le produit semble se déposer plus près de la source d'émission et plus rapidement lorsque la rugosité augmente.

Il appert donc que pour ce logiciel, le paramètre de rugosité ne devrait pas avoir de conséquences importantes sur les résultats, ceci étant probablement occasionné, entre autres, par le fait que de très fines gouttelettes comme celles modélisées ont un faible pouvoir d'impaction². Le choix de la valeur du paramètre de rugosité peut donc être considéré comme adéquat compte tenu du fonctionnement de PKBW2 et des objectifs initiaux de modélisation.

² Pouvoir d'impaction : capacité d'une gouttelette de heurter ou de se déposer sur une surface solide ou un objet.

En terminant, il importe de noter que malgré les différences importantes dans le fonctionnement des deux logiciels, ils ont donné des résultats relativement similaires. Ceci augmente le niveau de confiance envers les résultats présentés et porte à conclure que les logiciels ont plus de probabilités de représenter adéquatement ce qui s'observerait dans la réalité que s'ils avaient généré des résultats fortement différents.

5.2 MODÉLISATION DES PULVÉRISATIONS AÉRIENNES

L'objectif de modéliser les concentrations environnementales résultant d'événements de pulvérisations aériennes a été atteint avec succès. De plus, les résultats sont en accord avec ce qui avait été supposé lors de l'étude de 2002, à savoir que malgré des taux de pulvérisation plus élevés au départ, les concentrations retrouvées au sol et dans l'air sont inférieures à celles retrouvées à la suite de pulvérisations terrestres. Ceci s'explique par le fait que les adulticides sont projetés à grande vitesse et à une hauteur de 107 mètres (plutôt qu'à 16 km/h et à 2 mètres au-dessus du sol) et que le déplacement dans l'air est plus grand, favorisant la mise en suspension des gouttelettes qui ne tombent pas directement au sol. Celles-ci ont alors plus facilement la possibilité de se diffuser, d'où une moins grande concentration lorsqu'on arrive à hauteur du sol. D'ailleurs, cela se confirme par la majorité des gouttelettes qui se déposent dans les 100 premiers mètres de la zone de traitement avec la pulvérisation terrestre, alors que les premières gouttelettes ne se déposent pas avant 600 mètres dans le cas des pulvérisations aériennes (voir annexe). Le faible diamètre des gouttelettes générées par les techniques de pulvérisation utilisées pour le contrôle vectoriel explique ce phénomène (Rousseau, 2002).

5.3 VALIDATION TERRAIN

La validation des résultats obtenus par modélisation lors d'essais terrains contribuerait à apporter une plus grande exactitude à la présente évaluation du risque pour la santé humaine, mais aussi lors d'une éventuelle évaluation des risques écotoxicologiques. De plus, cela pourrait éventuellement contribuer à répondre à la question soulevée quant à l'effet réel de la rugosité du terrain sur les concentrations environnementales modélisées (section 5.1.2). Enfin, de tels essais contribueraient à préciser la validité des deux logiciels utilisés.

6 CONCLUSION

La modélisation effectuée à l'aide de PKBW2 a fourni des données supplémentaires qui permettent de bonifier les résultats rapportés dans l'évaluation de risques effectuée en 2002. D'une part, le logiciel PKBW2 a permis de réaliser la modélisation de pulvérisations aériennes d'adulticide et de générer les concentrations dans l'air et au sol résultant de ce type de pulvérisation. Les doses d'exposition qui sont estimées à partir de ces concentrations et les indices de risque qui en résultent sont inférieurs à ceux qui ont été estimés dans l'étude de 2002 pour les pulvérisations terrestres. D'autre part, les valeurs obtenues avec PKBW2 pour la modélisation de pulvérisations terrestres d'adulticide ne diffèrent pas tellement de celles obtenues avec ISCST3, et dans la très grande majorité des cas, elles sont inférieures. Il appert donc, de manière générale, que les doses et les risques évalués à partir des résultats obtenus par PKBW2 sont inférieurs à ceux estimés dans l'étude de 2002.

Les objectifs fixés pour ce travail, soit l'obtention de concentrations environnementales par la modélisation de pulvérisations aériennes, ainsi que la comparaison des résultats issus de la modélisation de pulvérisations terrestres par deux logiciels différents, ont été atteints.

À la lumière des résultats rapportés dans cet addenda, dans le cas où une superficie importante devrait être traitée dans le cadre d'un programme de lutte antivectorielle contre le VNO, le traitement par voie aérienne apparaît plus intéressant d'un point de vue de santé publique, parce qu'il génère des doses d'exposition et des indices de risque plus faibles que le traitement par voie terrestre. Cependant, ce traitement requiert des taux de pulvérisation d'adulticide par unité de surface (et donc des quantités globales) plus importants que le traitement par voie terrestre de sorte que les effets sur l'environnement pourraient être plus importants. Statuer sur ce point ne fait cependant pas partie du mandat du présent travail. Dans le cas où les zones à traiter seraient restreintes, il semble acquis, plus d'un point de vue pratique que scientifique, que le traitement par voie terrestre devrait être privilégié.

Dans la conclusion de l'évaluation de risques réalisée en 2002, il est indiqué : « Il semble qu'en cas de nécessité, l'utilisation de la resméthrine synergisée serait le procédé le plus sécuritaire ». Les résultats rapportés dans cet addenda militent aussi en faveur de cette recommandation et, de plus, suggèrent que le recours à des pulvérisations de resméthrine seule pourrait être envisageable étant donné que son utilisation ne poserait pas de risque important. Aussi, comme l'indiquait la revue de la toxicité de ces substances dans l'évaluation de risque de 2002, les manifestations cliniques d'intoxication de la resméthrine avec ou sans PBO sont beaucoup moins sévères que celles générées par le malathion. Donc il est toujours pertinent d'encourager l'homologation de la resméthrine seule (applications aériennes) ou synergisée (applications aériennes et terrestres) à des fins de lutte vectorielle au Canada.

Enfin, les éléments contenus dans le présent addenda viennent renforcer la pertinence de procéder à des essais terrains afin de valider les résultats fournis par les logiciels.

7 RÉFÉRENCES

INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC [INSPQ] (2001). *Proposition d'une évaluation des risques pour la santé humaine des interventions de lutte antivectorielle contre la transmission du virus du Nil occidental et d'autres activités connexes*. Québec, 6 p.

LORANGER, Sylvain (2001). Communication personnelle, Firme QSAR inc., Montréal.

NEW YORK CITY DEPARTMENT OF HEALTH [NYCDOH]. (2001). *Adult Mosquito Control Programs Draft Environmental Impact Statement (DEIS)*, chapter 3C, 135 p., [<http://www.nyc.gov/html/doh/html/wnv/feis.html>], (consulté en 2001). [En ligne], [s.l.], New York

ROUSSEAU, Ghislain (2003). Communication personnelle, Société de la protection des forêts contre les insectes et maladies, Québec. [D'après une conversation avec Janice Glaser, agent d'évaluation scientifique senior, Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire. Ottawa.]

ROUSSEAU, Ghislain (2002). Communication personnelle, Société de la protection des forêts contre les insectes et maladies, Québec.

VALCKE, Mathieu et BELLEVILLE, Denis (2002). *Évaluation des risques toxicologiques associés à l'utilisation d'adulticides dans le cadre d'un programme de lutte vectorielle contre la transmission du virus du Nil occidental*. Québec, Institut national de santé publique du Québec. 89 p.

ANNEXE

MODÉLISATION DES CONCENTRATIONS DANS L'AIR ET AU SOL D'INSECTICIDES (ADULTICIDES) À LA SUITE DE PULVÉRISATIONS AÉRIENNES ET TERRESTRES

**Modélisation des concentrations dans l'air et au sol
d'insecticides (adulticides) à la suite de pulvérisations
aériennes et terrestres**

Rapport présenté à :

Mathieu Valcke et D^r Denis Belleville
Institut national de santé publique du Québec
Longueuil (Québec)

Préparé par :

Société de protection des forêts
contre les insectes et maladies

Décembre 2002

ÉQUIPE DE TRAVAIL

Société de protection des forêts contre les insectes et les maladies

Yves Garant, directeur de l'environnement, des communications et de la santé et sécurité au travail

Ghislain Rousseau, coordonnateur des programmes et suivis

Research Productivity Council

Christopher M. Riley, directeur des technologies d'arrosage

Référence à citer :

Rousseau, G., Y. Garant et C. M. Riley. 2002. Modélisation des concentrations dans l'air et au sol d'insecticides (adulticides) à la suite de pulvérisations aériennes et terrestres. Rapport préparé pour l'Institut national de santé publique du Québec par la Société de protection des forêts contre les insectes et les maladies. 15 pages et annexes.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES ANNEXES	vi
1. INTRODUCTION	1
2. MODÉLISATIONS DE RPC	2
2.1 Démarche méthodologique	2
2.2 Pulvérisations aériennes	4
2.3 Pulvérisations terrestres	5
3. SCÉNARIOS D'EXPOSITION	8
3.1 Pulvérisations aériennes	9
3.2 Pulvérisations terrestres.....	11
4. CONCLUSION	12
RÉFÉRENCES	14

ANNEXES

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Patron du dépôt brut ($\mu\text{g}/\text{m}^2$) du malathion dans un secteur traité par pulvérisation aérienne ou terrestre en condition de vent de 5 km/h.....	6
Figure 2	Patron du dépôt cumulatif du malathion dans un secteur traité par pulvérisation aérienne ou terrestre en condition de vent de 5 km/h.....	7

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Ingrédients actifs retenus par l'INSPQ pour la modélisation des concentrations dans le secteur traité.....	4
Tableau 2	Paramètres de pulvérisation fournis par l'INSPQ.....	4
Tableau 3	Pourcentage du nuage d'insecticide déposé au sol lors d'une pulvérisation aérienne ou terrestre sous les conditions de vents de 2, 5 ou 15 km/h.....	5
Tableau 4	Concentrations maximales d'insecticides dans l'air et au sol à la suite de pulvérisations aériennes ou terrestres	10

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Rapport de C. M. Riley, Research and Productivity Council

ANNEXE 2 : Graphiques des concentrations au sol et dans l'air pour les pulvérisations par voie aérienne

ANNEXE 3 : Graphiques des concentrations au sol et dans l'air pour les pulvérisations par voie terrestre

1. INTRODUCTION

Présent aux États-Unis depuis 1999 et plus particulièrement dans les états du Nord-Est américain, le virus du Nil occidental (VNO) est un nouveau fléau auquel les organismes de santé publique sont confrontés. Au Québec, le VNO a fait son apparition dans plusieurs régions à l'été de 2002. Le Gouvernement du Québec a alors mis en application une stratégie d'intervention, qui s'adapte au degré d'évolution du phénomène sur le territoire québécois (Gouvernement du Québec 2002). Dans l'éventualité où la présence d'insectes infectés menacerait la santé humaine, il pourrait devenir nécessaire d'utiliser des pesticides pour combattre le principal vecteur du virus, les moustiques. L'utilisation de produits biologiques anti-larvaires, comme le *Bacillus thuringiensis*, serait l'approche privilégiée. Toutefois, en tout dernier recours, il pourrait devenir nécessaire d'utiliser des pesticides chimiques pour combattre les insectes adultes (adulticides). Ces adulticides pourraient être pulvérisés par voie terrestre ou aérienne selon l'ampleur de l'épidémie.

De par sa mission, l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) est un acteur important dans ce dossier. L'INSPQ est intéressée entre autres au devenir des insecticides dans l'environnement et des effets sur la santé humaine, dans l'éventualité où des adulticides seraient requis pour contrer une épidémie.

En 2001, l'INSPQ a fait réaliser des travaux de modélisation des insecticides afin de répondre aux préoccupations décrites précédemment. Un mandat avait alors été confié à la Société de protection des forêts contre les insectes et maladies (SOPFIM) dans le but de modéliser, à l'aide du logiciel AgDRIFT® (Teske *et al.* 2000), les concentrations dans l'air et les dépôts d'insecticides dans un secteur traité. L'exercice n'a cependant pu être complété en raison de problèmes intrinsèques avec le logiciel utilisé. Des tests préliminaires avec un autre logiciel nommé PKBW3 (Chapman et Picot 1994, Picot *et al.* non daté) ont indiqué que celui-ci pourrait répondre au mandat de l'INSPQ en modifiant le mode d'utilisation usuel (SOPFIM 2001).

L'INSPQ a donc réitéré sa demande à la SOPFIM en 2002 afin que soient identifiées, dans un secteur traité avec le malathion, la resméthrine ou la resméthrine synergisée, les concentrations maximales dans l'air et au sol.

La SOPFIM a réalisé ce mandat en étroite collaboration avec le Research Productivity Council (RPC), un organisme de recherche privé du Nouveau-Brunswick, spécialisé entre autres dans les techniques de pulvérisation. Dans un premier temps, la réalisation des modélisations a été confiée à M. Christopher M. Riley, directeur du département des technologies d'arrosage, sous la supervision de la SOPFIM. Ces simulations décrivent le comportement du nuage d'insecticide après qu'une bande de traitement de 100 m de largeur ait été effectuée par pulvérisation aérienne et terrestre.

Afin de bien répondre au mandat de l'INSPQ, la SOPFIM a par la suite utilisé ces données pour simuler une pulvérisation dans un secteur de 20 bandes de traitement contiguës (largeur totale de 2 000 m). La demande de l'INSPQ consistait précisément à déterminer les concentrations et le dépôt dans un secteur de ce type.

Le présent rapport est constitué de deux parties. La première partie résume les principaux résultats obtenus par RPC, dont le rapport complet est disponible en anglais à l'annexe 1. Les données de flux qui permettent d'obtenir les concentrations maximales d'insecticides intégrant le temps sont présentées principalement dans la seconde partie du rapport.

Cette seconde partie présente brièvement la démarche de la SOPFIM, les résultats des simulations pour 20 bandes de traitement (dépôt maximal au sol et concentrations maximales intégrant le temps) ainsi que les conclusions de l'étude. Cette démarche a d'ailleurs été présentée aux responsables de l'INSPQ lors d'une rencontre de travail. Les résultats sont illustrés graphiquement pour les pulvérisations aériennes (annexe 2) et les pulvérisations terrestres (annexe 3).

2. MODÉLISATIONS DE RPC

2.1 Démarche méthodologique

Les simulations mathématiques ont été effectuées à l'aide du logiciel PKBW2, une version plus stable que PKBW3 et dont les algorithmes de base sont identiques. Ce logiciel a été développé à l'origine dans le but d'améliorer l'efficacité et la sécurité des pulvérisations aériennes lors de programmes de protection des forêts contre les insectes ravageurs forestiers. Le modèle a été conçu spécifiquement pour prédire le dépôt des insecticides et leur dérive à la suite de pulvérisations aériennes au-dessus de la canopée. Toutes les informations relatives aux paramètres d'entrée (« intrants » du modèle) sont décrites dans le rapport de RPC et seulement les principaux points sont présentés dans les tableaux 1 et 2.

Le modèle retenu considère que les insecticides circulent dans un milieu ouvert où seule une couche de végétation herbacée d'environ 30 cm de hauteur recouvre le sol (aucun arbuste, arbre ou habitation). Le comportement du nuage de chaque insecticide est suivi pour des conditions de vent de 2, 5 et 15 km/h. La vitesse des vents en altitude est corrigée mathématiquement, afin d'obtenir une vitesse ajustée au niveau du sol à 1,5 m de hauteur. Les scénarios modélisés ont lieu en conditions atmosphériques stables.

Les valeurs recherchées pour les divers scénarios ont nécessité environ 130 simulations indépendantes. Par ailleurs, comme le modèle fait les calculs pour des intervalles de hauteur fixes et équidistants, les concentrations dans l'air à une hauteur de 1,5 m de hauteur sont obtenues en calculant la moyenne des concentrations à des hauteurs de 0,1 m et de 4,9 m. Notons également que le modèle PKBW2 utilise des nombres aléatoires selon un processus de chaîne de Markov, ce qui signifie que deux simulations utilisant des intrants identiques ne donneront pas exactement les mêmes résultats. Le modèle intègre donc un facteur de variabilité naturelle.

Tableau 1 Ingrédients actifs retenus par l'INSPQ pour la modélisation des concentrations dans le secteur traité

Ingrédients actifs (concentration %)	Pulvérisation terrestre		Pulvérisation aérienne	
	Volume ml/ha	Ingrédient actif (g/ha)	Volume ml/ha	Ingrédient actif (g/ha)
Malathion (95 %)	48	55	550	633
Resméthrine (40 %)	207	8	207	8
Resméthrine (18 %)	84	3	84	3
Butoxyde de pipéronyle (54 %)		9		9

Tableau 2 Paramètres de pulvérisation fournis par l'INSPQ

Pulvérisation terrestre	Pulvérisation aérienne
Pulvérisation : London Fogger 18-20	Avion : Cessna Agrtruck
Vitesse de déplacement : 16 km/h	Vitesse : 160 km/h
Hauteur de pulvérisation : 2 m	Atomiseur : Micronair AU 5000
Surface du secteur à traiter : 20 lignes de vol	Nombre : 4 atomiseurs
	Position sur l'aile : 1,3 et 3,9 m
	Hauteur de pulvérisation : 107 m
	Vitesse de rotation : 10 000 RPM
	Surface du secteur à traiter : 20 lignes de vol

2.2 Pulvérisations aériennes

Lorsque l'insecticide est pulvérisé par avion à 107 m d'altitude et dans des conditions de vent faible (2 km/h), la première présence de l'insecticide est notée à une distance de 549 m de la première bande de traitement. À une vitesse de vent de 15 km/h, c'est à plus de 1 200 m de la première bande de traitement qu'on décèle la présence de l'insecticide sous le vent. Environ le tiers de la dose émise lors d'un passage d'avion va atteindre le sol à faible vent alors que cette proportion chute à moins de 3%

lorsque le vent souffle à 15 km/h (tableau 3); la majeure partie du pesticide est donc dispersée en dehors de la zone d'étude. Le modèle estime que plus de 92 % du nuage d'insecticide émis à la suite d'un passage d'avion a traversé le secteur traité après une période de 16 minutes (limite de temps maximal de PKBW2 dans ce cas précis).

Tableau 3 Pourcentage du nuage d'insecticide déposé au sol lors d'une pulvérisation aérienne ou terrestre sous des conditions de vents de 2, 5 ou 15 km/h.

Vent	Pulvérisation aérienne	Pulvérisation terrestre
2 km/h	36%	89%
5 km/h	16%	83%
15 km/h	3%	77%

2.3 Pulvérisations terrestres

L'émission d'un insecticide à une hauteur de 2 m du sol par voie terrestre présente un patron de dépôt nettement différent de celui d'une pulvérisation aérienne (voir figures 1 et 2). En pulvérisation terrestre, les plus fortes quantités d'insecticide se déposent près de la source d'émission, surtout dans les 50 premiers mètres, alors que lors d'une pulvérisation aérienne, l'insecticide est poussé par le vortex de l'aéronef et par le vent à une certaine distance dans le secteur traité.

La majeure partie de l'insecticide pulvérisé par voie terrestre, soit de 77% à 89%, se dépose à l'intérieur même des 20 bandes de traitement (tableau 3). À titre d'exemple, la quantité de malathion qui se dépose à 200 m et plus du point d'émission ne représente que 5 % du dépôt mesuré sur les 50 premiers mètres. Les plus forts flux d'insecticide dans l'air se retrouvent aussi très près du point d'émission et décroissent rapidement à plus de 100 m.

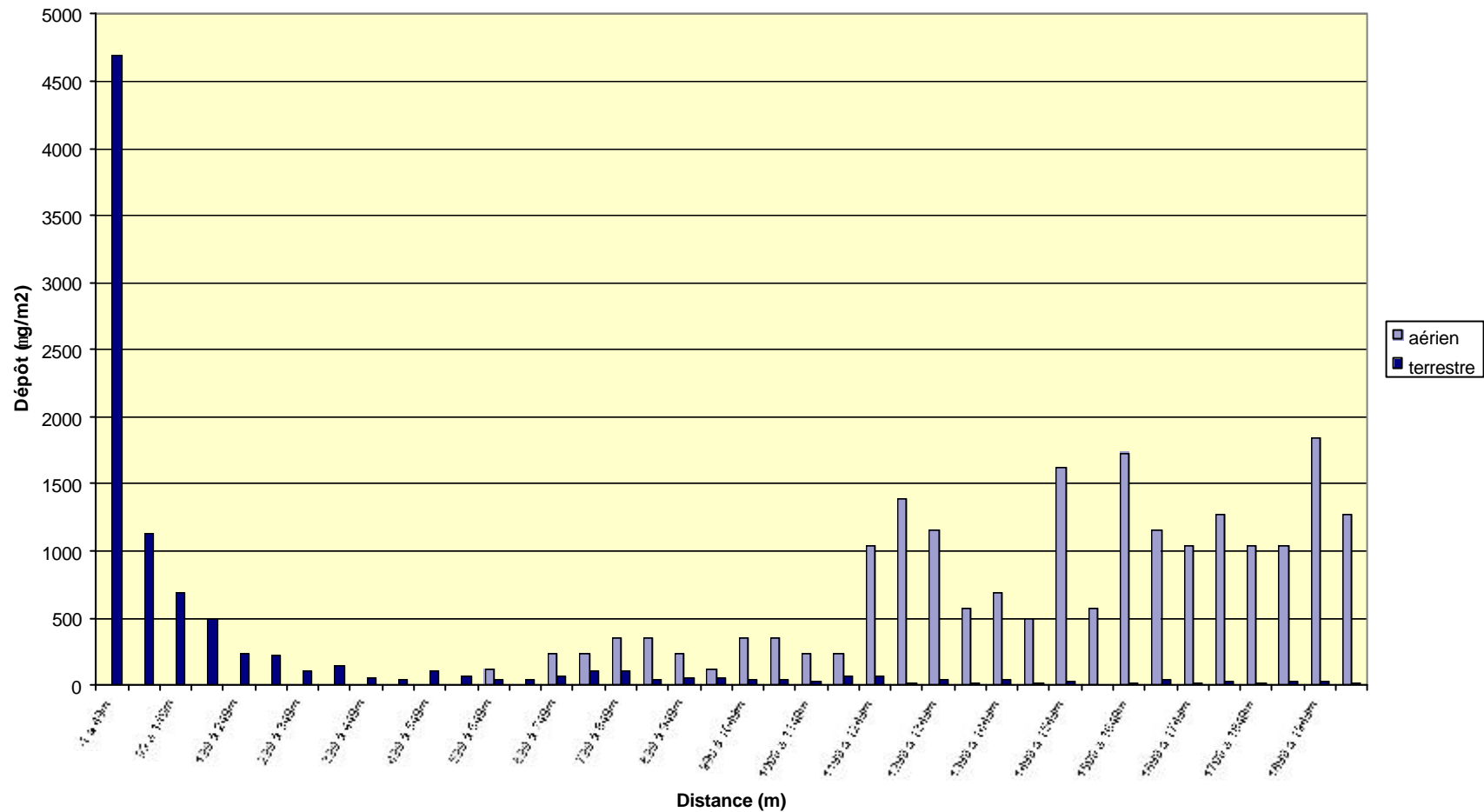


Figure 1 Patron du dépôt brut ($\mu\text{g}/\text{m}^2$) du malathion dans un secteur traité par pulvérisation aérienne ou terrestre en condition de vent de 5 km/h

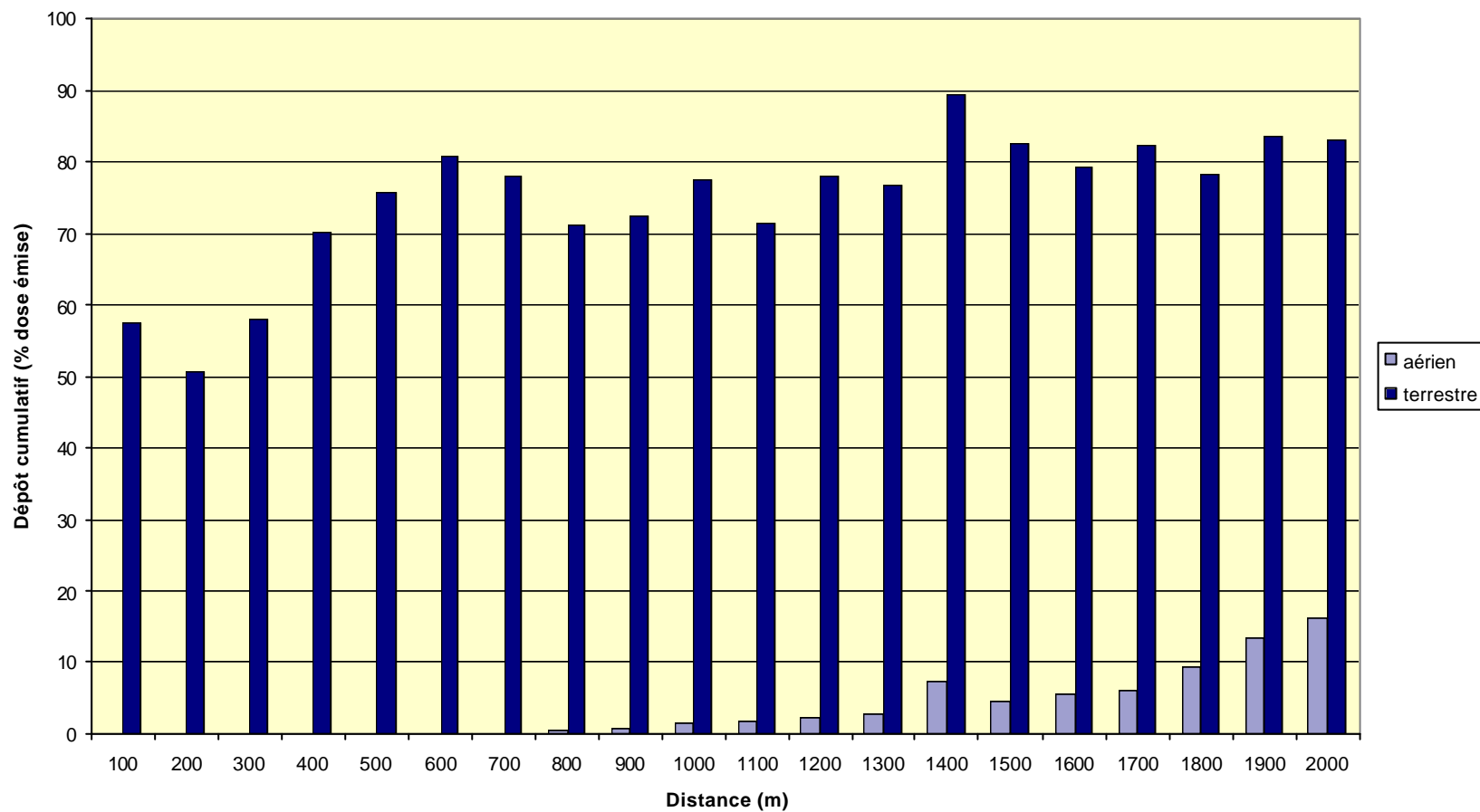


Figure 2 Patron du dépôt cumulé du malathion dans un secteur traité par pulvérisation aérienne ou terrestre en condition de vent de 5 km/h

3. SCÉNARIOS D'EXPOSITION

Des scénarios d'exposition à différents insecticides ont été construits afin d'évaluer une concentration de produit pouvant être absorbée par un individu présent dans un secteur traité par pulvérisation terrestre ou aérienne. Chaque scénario est conforme à la liste d'intrants présentés pour la modélisation (voir annexe 1). Il est important de préciser que la présente étude ne visait pas à déterminer la façon optimale de traiter par voie aérienne ou terrestre, tant sur le plan de la santé humaine que de l'efficacité de traitement. Les intrants n'ont pas fait l'objet d'une évaluation.

Pour chaque scénario d'exposition, 20 bandes de traitement équidistantes de 100 m sont considérées. Le calcul des concentrations dans l'air doit de plus tenir compte du temps de présence de l'individu dans l'aire traitée afin d'évaluer une concentration moyenne dans l'air à l'intérieur de cette superficie. La personne exposée est réputée ne pas se déplacer durant le traitement. La durée d'exposition a été établie à 960 secondes, soit le temps maximum alloué par PKBW2 pour effectuer les calculs. Pour tous les essais modélisés, la majorité du produit pulvérisé avait atteint le sol ou s'était déplacé au-delà de 2 000 m en 960 secondes ou moins.

La concentration moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans l'air est obtenue en divisant la valeur du flux ($\mu\text{g}/\text{m}^2$) par la vitesse (m/s) de déplacement de l'air à l'endroit déterminé. On obtient alors une concentration intégrant le temps ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). En divisant cette dernière par le temps d'exposition (s), on obtient alors la concentration moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) dans l'air pour la durée d'exposition. Il est important de préciser que la méthode utilisée ne fournit pas d'information pour les concentrations aiguës dans l'air auxquelles un individu pourrait être exposé. Cependant, la quantité totale absorbée (par ingestion et inhalation) serait la même. En ce qui a trait aux quantités déposées au sol, le facteur temps n'a pas à être considéré dans la mesure où le nuage du produit s'est entièrement déplacé en aval du point d'échantillonnage par rapport à la source d'émission.

Le calcul des concentrations dans l'air et au sol a été réalisé pour le malathion, la resméthrine et la resméthrine synergisée (tableau 4). Pour connaître les concentrations de butoxyde de pipéronyle (PBO) mélangé à la resméthrine pulvérisée à raison de 3 g/ha, il suffit de multiplier les valeurs obtenues avec la resméthrine par un facteur de 3.

3.1 Pulvérisations aériennes

Le comportement du nuage d'insecticide varie selon la vitesse des vents. On observe un pic de concentration dans l'air à une distance de près de 1 000 m en aval du point d'émission lorsque le vent est faible (2 km/h), alors que le profil du nuage sous des conditions de vent de 5 et 15 km/h a tendance à s'aplanir (annexe 2).

Les résultats indiquent que les concentrations décelées dans les limites des 20 bandes traitées sont plus importantes lorsque les vents sont faibles (annexe 2). Ceci est prévisible étant donné qu'un des facteurs les plus importants affectant le transport des petites gouttelettes est la vitesse du vent. Il est important de mentionner que les concentrations maximales dans l'air et au sol à l'intérieur d'un secteur traité sont atteintes à la suite du traitement d'environ 14 bandes, et ce, pour une vitesse de vent de 2 km/h. Dans les deux autres scénarios, 5 et 15 km/h, les concentrations maximales à la suite de 20 bandes de traitement ne sont vraisemblablement pas encore atteintes. Pour le malathion, les concentrations ont varié de 126 à 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en fonction de la vitesse des vents. Quant à la resméthrine pulvérisée à raison de 8 g/ha, la concentration maximale est de 1,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; la valeur étant 2,7 fois inférieure lorsque ce produit est pulvérisé à raison de 3 g/ha.

Tableau 4 Concentrations maximales d'insecticides dans l'air et au sol à la suite de pulvérisations aériennes ou terrestres

Traitement et produit	Aérien - Malathion			Terrestre - Malathion		
	Vent 2 km/h	5 km/h	15 km/h	2 km/h	5 km/h	15 km/h
Taux d'application	633 g/ha	633 g/ha	633 g/ha	55 g/ha	55 g/ha	55 g/ha
Concentration dans l'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
Maximum pour 1 passage	49	18	1	250	116	37
Maximum pour 20 passages	126	47	3	316	150	47
Concentration au sol ($\mu\text{g}/\text{m}^2$)						
Maximum pour 1 passage	4042	1559	404	15209	19405	20446
Maximum pour 20 passages	21135	10336	1559	16393	21466	21611

Traitement et produit	Aérien - Resméthrine			Terrestre - Resméthrine		
	Vent 2 km/h	5 km/h	15 km/h	2 km/h	5 km/h	15 km/h
Taux d'application	8 g/ha	8 g/ha	8 g/ha	8 g/ha	8 g/ha	8 g/ha
Concentration dans l'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						
Maximum pour 1 passage	0,62	0,23	0,02	36	17	5
Maximum pour 20 passages	1,60	0,59	0,04	46	22	7
Concentration au sol ($\mu\text{g}/\text{m}^2$)						
Maximum pour 1 passage	51	20	5	2214	2825	2976
Maximum pour 20 passages	267	131	20	2386	3125	3146

Traitement et produit	Aérien – Resméthrine synergisée			Terrestre – Resméthrine synergisée		
	Vent 2 km/h	5 km/h	15 km/h	2 km/h	5 km/h	15 km/h
Taux d'application	3 g/ha	3 g/ha	3 g/ha	3 g/ha	3 g/ha	3 g/ha
Concentration dans l'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹						
Maximum pour 1 passage	0,23	0,08	0,01	14	6	2
Maximum pour 20 passages	0,60	0,2	0,02	17	8	3
Concentration au sol ($\mu\text{g}/\text{m}^2$)						
Maximum pour 1 passage	19	7	2	829	1058	1115
Maximum pour 20 passages	100	49	7	894	1170	1178

¹ La concentration de butoxyde de pipéronyle est obtenue en multipliant la valeur mesurée pour la resméthrine par un facteur de 3.

La valeur maximale détectée pour le PBO lorsque pulvérisé en présence de resméthrine (3 g/ha) est de $1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les valeurs maximales ont toutes été mesurées lorsque le traitement était réalisé en présence d'un vent faible (2 km/h).

En ce qui a trait aux concentrations de produit présent au sol, les résultats indiquent des quantités maximales de 21 135 et $267 \mu\text{g}/\text{m}^2$ pour le malathion et la resméthrine (8 g/ha). La concentration maximale de PBO mélangé à la resméthrine (3 g/ha) est de $300 \mu\text{g}/\text{m}^2$. La quantité de produit présente au sol correspond au tiers de la quantité pulvérisée par hectare.

3.2 Pulvérisations terrestres

Le comportement du nuage d'insecticide pour les traitements simulés par voie terrestre est semblable pour les trois conditions de vent (annexe 3). Les valeurs maximales mesurées dans l'air sont détectées pour le traitement réalisé à une vitesse de 2 km/h. Les plus fortes concentrations pour le malathion et la resméthrine (8 g/ha) sont respectivement de 316 et de $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Quant au mélange de resméthrine synergisée, ces valeurs sont de $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la resméthrine et de $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le PBO.

Au sol, les valeurs les plus élevées sont mesurées lors des traitements réalisés à 15 km/h. Le malathion, la resméthrine (8g/ha) et la resméthrine synergisée ont été décelés à des maximums respectifs de 21 611, 3 146, 1 178 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ et de 3 534 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ pour le PBO. Ces dernières concentrations représentent près de quatre fois plus de produit par unité de surface que la quantité pulvérisée.

4. CONCLUSION

Le recours au logiciel PKBW2 a permis de déterminer des concentrations dans l'air et au sol sur une distance de 2 000 m à partir du point d'émission. Pour les concentrations dans l'air, nous avons opté pour des valeurs de flux intégrant le temps à une position donnée, car ces valeurs seront utilisées par l'INSPQ pour compléter une étude sur les risques toxicologiques associés à l'utilisation d'adulticides.

Les simulations indiquent que les concentrations maximales prédites dans l'air et au sol sont toujours plus élevées lorsque les insecticides sont pulvérisés par voie terrestre, et ce, pour les trois conditions de vent étudiées. Cette situation était prévisible puisque l'altitude, le vortex de l'aéronef et le vent sont des variables importantes affectant la dilution et la dispersion du nuage d'insecticide lors de pulvérisations aériennes.

Dans le cas de la pulvérisation par voie aérienne, on retrouve les plus fortes concentrations au sol et dans l'air pour les simulations réalisées à une vitesse de vent de 2 km/h. Ces concentrations diminuent significativement avec une hausse du vent de 2 à 15 km/h. Pour les traitements réalisés par voie terrestre, le maximum observé dans l'air est mesuré pour une vitesse de vent de 2km/h, tandis que le maximum observé au sol a été obtenu lors de simulations réalisées pour une vitesse de vent de 15 km/h. Pour toutes les vitesses de vent lors de traitement par voie terrestre, l'insecticide se dépose rapidement dans les premiers 50 m. Les valeurs maximales calculées au sol pour le malathion sont du même ordre de grandeur tant pour la pulvérisation aérienne que terrestre, en dépit du fait que le taux d'application par voie terrestre est 11 fois inférieur à celui de la voie aérienne.

La SOPFIM a travaillé avec les intrants fournis par l'INSPQ mais nous croyons qu'il serait pertinent de revoir certains des paramètres, afin de s'assurer qu'ils sont optimaux. À titre d'exemple, le taux d'application utilisé lors des pulvérisations aériennes de malathion était très élevé par rapport à celui utilisé lors des pulvérisations terrestres. Il serait également opportun de revoir les altitudes de vol,

afin de trouver le scénario optimal, c'est-à-dire celui qui permet la meilleure efficacité possible tout en utilisant la plus faible dose d'insecticide et en maintenant des hauts standards de sécurité sur le plan de l'aviation.

Les modèles sont des outils fort utiles pour prédire le comportement des insecticides dans le temps et dans l'espace et ils sont des aides à la décision profitables lors de la planification de programmes expérimentaux et opérationnels. Il est fort probable que les scénarios de pulvérisation par voie aérienne et terrestre pourraient être améliorés à l'aide de simulations réalisées avec des modèles mathématiques. Le traitement par voie aérienne est complexe mais très efficace lorsque réalisé en tenant compte de toutes les connaissances reliées à ce domaine d'activité.

Toutefois, lorsqu'il est question de santé publique et d'impacts environnementaux potentiels, une évaluation sur le terrain pourrait bonifier ces modèles et fournir des données empiriques aux autorités. Ces données pourraient également servir de base d'information pour répondre aux préoccupations du public, soucieux d'une utilisation rationnelle des pesticides.

RÉFÉRENCES CONSULTÉES

- L'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire 2001. Fiche technique sur l'utilisation du malathion dans les programmes de lutte contre les moustiques. Santé Canada.
- Chapman, T.J. et J.J.C. Picot. 1994. The modified PKBW model for multiple canopy heights and mixed needle/broadleaf foliage (development of spray dispersion model variant: PKBW2). Final report. University of New Brunswick, Department of chemical engineering. 12 p .
- Cheminova Canada. 1998. Fiche signalétique du Fyfanon® ULV. No. Homologation 9337.
- Gouvernement du Québec. 2002. Plan d'intervention gouvernemental pour le contrôle de la transmission du virus du Nil occidental au Québec. Ministère de la santé et des services sociaux. Mai 2002.
- Picot, J.J.C., D.J. Wallace, T.J. Chapman et D. Karman. Non daté. The program for predicting deposition and drift in aerial spraying. User manual. 118 p.
- Riley, C. M. 1995. A sensitivity analysis and validation of the AgDISP 6.1, FSCBG 4.3 and PKBW2 spray drift and deposit models. Rapport présenté à Environnement Canada par Chemical and Biotechnical Services. Pagination multiple.
- SOPFIM 2001. Simulations du dépôt d'insecticide à l'aide d'AgDRIFT® et de PKBW3. Limites et potentiel des logiciels. Rapport présenté à l'Institut national de santé publique du Québec par la Société de protection des forêts contre les insectes et maladies. Août 2001.
- Teske, M.E., S.L. Bird, D.M. Esterly, S.L. Ray et S.G. Perry. 2000. A user's guide for AgDRIFT® 2.0: A tiered approach for the assessment of spray drift of pesticides. C.D.I. Report No. 99-01. 133 p.

United States Environmental Protection Agency. 2000. Malathion: revised occupational and residential exposure and risk assessment for the reregistration eligibility decision (RED) document. Office of prevention, pesticides and toxic substances. 90 p.

ANNEXE 1

RAPPORT DE C. M. RILEY

RESEARCH AND PRODUCTIVITY COUNCIL

Report Number: ES/02/03

November 8, 2002

Job Number: ES-J1132

**An Estimation of Airborne Spray Flux
and Spray Deposit on the Ground
Resulting from Aerial and Ground
Applications of Insecticide for the
Control of Adult Mosquitos**

Final Report

Prepared for:

Ghislain Rousseau
SOPFIM
1780 Rue Semple
Quebec, Quebec
J1L 2P8

Prepared by:

Christopher M. Riley
Chemical and Biotechnical Services
Research and Productivity Council
921 College Hill Road
Fredericton, N. B.
E3B 6Z9

Mr. Christopher M. Riley
Manager, Spray Technology
Chemical and Biotechnical Services

Dr. Peter J. Silk, FCIC
Department Head
Chemical and Biotechnical Services

Report Number: ES/02/03

November 8, 2002

Job Number: ES-J1132

Introduction:

The PKBW2 computer program evolved from research in aerial spray technology that was carried out by the Spray Efficacy Research Group in the early 1980's and 1990's. The model was developed as a tool to increase the efficiency and safety of aerial spray operations and predicts the dispersion and deposition of spray droplets, following the application of pesticides in silvicultural scenarios. The menu-assisted input files allow for a selection of aircraft and atomizer parameters, spray formulation parameters, weather parameters, forest vegetation parameters and computational parameters. Graphical displays and output files provide information on the predicted behaviour of the droplet cloud as a function of time, as well as qualitative and quantitative spray deposit, suspended droplet concentration and time-integrated spray flux at different heights and distances downwind of the aircraft flight path.

This report describes the results obtained from simulated applications of insecticides for the control of adult mosquitos by aircraft and ground based spray equipment under three different wind speed conditions. Six application scenarios are examined and results of deposit and airborne spray flux are reported for different insecticides and dosage rates.

Methods and Materials:

The PKBW model was designed specifically to be used to predict spray deposit and drift of aerially applied pesticides over a forest canopy. As such, several of the menu-driven input parameters of the model are set automatically when certain, predetermined, scenario parameters are selected. The model also allows for the use of customized values for most of the input parameters and hence the model can, within certain limitations, be used to predict the behaviour of pesticide sprays applied by aircraft over non-forest environments, and the dispersion and deposition of ground-based pesticide applications.

The model requires inputs under the categories of "Aircraft Parameters," "Stand Parameters," "Formulation Characteristics," "Droplet Spectra," "Meteorological Parameters" and "Computational Parameters." A list of key criteria for the different application parameters was provided as the basis for the application scenarios (Appendix A). Other parameters were set based on discussions with the client, on realistic values, or on the requirements/limitations

Report Number: ES/02/03

November 8, 2002

Job Number: ES-J1132

of the model (for example spray aircraft are assumed to be flying straight and level, perpendicular to the direction of the prevailing wind). The model simulates only a single spray line. The results of multiple, offset, spray lines can be calculated using the results of applications to a single spray line.

The model considers spray cloud behaviour over flat terrain with a uniform tree stand; for each of the application scenarios the "Stand Parameters" were representative of grass approximately 30cm tall. No vortex wake code was available for the Piper Pawnee and so data for a Cessna Agtruck was used. The ground application scenarios were modelled as an aircraft with one atomizer flying at a height of 2m, at a speed of 16 km/hr, with a negligible vortex strength of 10cm/second for 3 seconds (based on minimum model requirements).

The model assumes that atmospheric stability conditions are uniform as a function of height. Scenarios were modelled based on "stable" atmospheric conditions that would be expected during early morning and late evening spray operations. Wind speed and friction velocity values were calculated for stable atmospheric conditions based on the following equation:

$$U(z) = U^*/k (\ln(z/z_0) + 4.7/L (z-z_0))$$

where:

U(z) is the mean wind speed at height z above ground level

U* is the friction velocity at a height of 10m

k is Von Karman's constant of 0.4

L is the Monin Obukhov length (a value of 53m was used)

z is the height above ground level

z₀ is the roughness length (a value of 0.2m, characteristic of a rural environment, with considerable tree coverage was used)

Report Number: ES/02/03

November 8, 2002

Job Number: ES-J1132

The height of the “mixing layer” in all scenarios was set at 120m, i.e., above 107m flying height of the spray aircraft (the model will not accept values below 80m). The spray formulation was entered as 100% non-volatile and the humidity was set at 100% to doubly ensure no evaporation of the spray droplets. Values for droplet spectrum inputs were based on values provided by Dr. R. E. Mickle (REMsPC) and G.D.G. Environnement Ltee.

The computational parameters of the model allow for a maximum of 43 points (distances) in the computational sample grid. Thus, in order to achieve a downwind distance of 2000m, a computational grid spacing of 50m was selected ($40 \times 50 = 2000$). Based on the limitations of the model the computational grid began at -1m (i.e., 1m upwind of the spray line). In the case of the ground applications, the model was also run with a computational grid spacing of 10m in order to achieve detailed information on the predicted deposit within the first 400m downwind of the spray line. The maximum time period for storing spray cloud data (i.e., the data on which the model bases its calculations) is 1000 seconds and the number of time intervals that the model can process is no more than 42. The time interval for storing spray cloud position and concentration data was generally set to 30 seconds with a maximum time period of 960 seconds (i.e., 32, 30 second time intervals).

A full set of application parameters is presented in Appendix B.

Results and Discussion:

The original intention had been to run the model and use tabulated cloud suspension data (droplets per cubic metre) and droplet spectrum information to calculate the concentration of active ingredient per m^3 at a height of 1.5m above the ground. Unfortunately, although the model output displayed this information graphically, this information could not be downloaded as a data file and so this approach had to be abandoned. Fortunately the model is able to predict time-integrated spray flux values and by doing multiple runs of the model it is, therefore, possible to obtain information on the time-integrated spray flux profiles at different distances from the spray line. If the spray flux value is divided by the unit volume of horizontal airflow per m^2 the average concentration experienced can be estimated (the horizontal airflow is calculated using the wind speed in m/s and the estimated time in seconds taken for the spray cloud to be transported beyond the distance being considered). The calculated wind

Report Number: ES/02/03

November 8, 2002

Job Number: ES-J1132

speeds at a height of 1.5m are 0.39m/s, 0.98m/s and 2.93m/s for the nominal wind speeds of 2, 5 and 15 km/hr at 10m, respectively.

The calculated average spray flux based on approximately 130 runs of the model are presented in Tables 1 to 6. Data is presented as an average of the predicted spray flux values at 0.1m and 4.9m above ground level. (The model presents spray flux information for a computational grid of 26 equidistant points to the height of the mixing layer. In all scenarios the mixing layer was 120m and so the points were at 4.8m intervals. Heights of 0.1m and 4.9m represent the closest points to the client-specified height of 1.5m). In the case of the aerial sprays, the distance increment was 50m in the near field and 100m in the further field. In the case of the ground sprays, the distance increment was 10m in the near field, 50m in the mid field and 100m in the far field.

Also included with the spray flux data is information on the percentage of emitted spray that has deposited, as well as the percentage that is still airborne both up to, and beyond, the corresponding sample distance (e.g., in Table 1 after 960 seconds 2.01% of the emitted spray has deposited within 500m, 0.84% is still airborne within the first 500m downwind of the spray line and 97.15% of the emitted spray has travelled beyond 500m).

It should be noted that in calculating the results, the model uses randomly generated numbers in a Markov chain process. The consequence of this is that the results of model runs with identical input parameters are never identical. This sometimes produces inconsistencies in the results, for example, in Table 1 the total spray deposit predicted up to 1400m at the lowest wind speed was greater than the total deposit up to 2000m.

On the right of Tables 1 to 6 are presented values of spray deposit on the ground in distance increments of 50m and, for the ground applications, 10m. The model produces results that are not point values but are average values over each sample distance.

In the aerial application it took time for the spray cloud to descend before reaching the ground. At a mean wind speed of 2km/hr the distance travelled by the spray cloud before being encountered on the ground was 549m. At the highest wind speed, spray deposit was not encountered on the ground until 1249m. The highest spray flux values and the greatest deposits on the ground, resulting from the aerial application, were seen at the lowest wind

Report Number: ES/02/03

November 8, 2002

Job Number: ES-J1132

speed. Flux values and deposit on the ground within 2000m decreased with increasing wind speed from 35.91% at 2 km/hr to 2.65% at 15 km/hr.

Results for the ground applications showed less marked, but similar, trends: decreasing total spray deposit on the ground, and greater downwind displacement of the spray cloud, with increased wind speed resulting in a greater percentage of the total emitted material being airborne beyond the 2km sample distance after 960 seconds.

Results for the different insecticides and/or dosages are based on direct calculation from the active ingredient dose since droplet spectra were identical for the different formulations and there was no droplet evaporation. As agreed with SOPFIM a standard swath width of 100m was used for all calculations.

The results predicted by the PKBW2 model (as well as the AGDISP and FSCBG models) have been validated with spray drift and deposit data from 18 sets of detailed results from field studies carried out in New Brunswick between 1986 and 1991 (Riley, 1995). The parameters of the observed deposit profiles that were compared included the location of the maximum deposit, the value of the maximum deposit, the total integrated deposit and the location corresponding to the accumulation of 50% total integrated deposit from both silvicultural insecticide and herbicide applications. Regression analysis of the data indicated that each of the models typically predicted values for each of the four characteristic parameters that differed from field results by a factor of two or less. Despite the validation of the PKBW2 model with data from the aerial application of herbicides and insecticides in a forestry situation, the model has not been validated for aerial nor ground applications in an urban environment, nor for drift beyond 1200m. It is recommended that additional effort be put into extending the capabilities of the model, and validating the model performance with data from confirmatory field studies before model results are used as the firm basis for regulatory decisions regarding the application of mosquito adulticide sprays.

Report Number: ES/02/03

November 8, 2002

Job Number: ES-J1132

TABLEAUX DES RÉSULTATS (voir fichier séparé)

Report Number: ES/02/03

November 8, 2002

Job Number: ES-J1132

Appendix A

Report Number: ES/02/03

November 8, 2002

Job Number: ES-J1132

Modélisation demandée par l'Institut National de la Santé Publique.

INTRANTS

Deux modes de traitement et trois produits différents.

Surface du bloc 20 lignes.

Tous les intrants peuvent être modifiés après discussion.

Traitement

Aérien

Avion: Piper Pawnee Type D

Vitesse: 160 km/h

Système de pulvérisation: AU 5000

Nombre: 4

Vitesse de rotation: 10 000

Position sur l'aile: 1.3 et 3.9 m

Hauteur de pulvérisation: 107 m

Sol

Système de pulvérisation: London Fogger 18-20

Vitesse: 16 km/h

Hauteur de pulvérisation: 2 m

Report Number: ES/02/03

November 8, 2002

Job Number: ES-J1132

Produit

Aérien

FYFANON ULV (pur)

Volume: 550 ml/ha - 633 g/ha (Malathion)

Largeur d'arrosage: 100 m

SCOURGE (Mélange: dilué 5x avec huile végétale)

Volume: 84 ml /ha - 3 g/ha (Resmetrin) - 9 g/ha ou (PBO)

Largeur d'arrosage: 91 m

MOSQUITO FOG - 40% (Mélange: dilué 10.5x avec huile végétale)

Volume: 207 ml/ha - 8 g/ha (Resmetrin)

Largeur d'arrosage: 91 m

Sol

FYFANON ULV (pur)

Volume: 48 ml/ha - 55 g/ha (Malathion)

Largeur d'arrosage: 100 m

SCOURGE (Mélange: dilué 5x avec huile végétale)

Volume: 84 ml/ha - 3 g/ha (Resmetrin) - 9 g/ha (PBO)

Largeur d'arrosage: 91 m

MOSQUITO FOG - 40% (Mélange: dilué 10.5x avec huile végétale)

Volume: 207 ml/ha - 8 g/ha (Resmetrin)

Largeur d'arrosage: 91 m

Les résultats devront être présentés pour des vitesses de vent de 2, 5 et 15 km/h mesurées à 10 m de hauteur.

Pas d'évaporation.

Température 18°C.

Extrants

Courbe d'ingrédient actif par unité de surface présent au sol et tableau des valeurs obtenues, à l'intérieur d'une superficie traitée.

Report Number: ES/02/03

November 8, 2002

Job Number: ES-J1132

Courbe d'ingrédient actif par unité de volume présent dans l'air (1.5 m) et tableau des valeurs obtenues, à l'intérieur d'une superficie traitée.

Note: Description détaillée de la méthodologie utilisée.

Commentaires et/ou recommandations.

Appendix B

Report Number: ES/02/03

November 8, 2002

Job Number: ES-J1132

Aerial Application Scenarios

Aircraft and Atomizer Parameters

Aircraft Type: Cessna Ag Truck

Wingspan: (pre-set)

Speed: 44.4 m/s

Height: 107m

Vortex Calculation: yes

Aircraft Vortex: (pre-set)

Atomizer Type: other

Number on Aircraft: 4

Spread Under Wing: 2.6m

Fuselage Distance: 1.3m

Flow per Atomizer: 3.7 l/min

Atomizer speed: n/a

Droplet Spectrum:	D (um)	Mass fraction
	16.7	0.2088
	26.1	0.1791
	40.0	0.2480
	69.8	0.2834
	91.9	0.0603
	158.3	0.0204

Report Number: ES/02/03

November 8, 2002

Job Number: ES-J1132

Ground Application Scenarios

Aircraft and Atomizer Parameters

Aircraft Type: Other

Wingspan: 10m

Speed: 4.44 m/s

Height: 2m

Vortex Calculation: yes

Aircraft Vortex: 0.1m/s for each wing for seconds

Atomizer Type: other

Number on Aircraft: 1

Spread Under Wing: 0m

Fuselage Distance: 0.01m

Flow per Atomizer: 1l/min

Atomizer speed: n/a

Droplet Spectrum:	D (um)	Mass fraction
	10	0.1338
	15	0.1758
	22	0.1391
	27	0.1770
	33	0.0974
	40	0.1750
	48	0.1019

Report Number: ES/02/03

November 8, 2002

Job Number: ES-J1132

Coincident Parameters

Stand Parameters

Canopy Deposit Calculation: Yes

Stand Type: other

Roughness Height (m): 0.2

Displacement Height (m): 0.24

Base of Foliage Crown (m): 0.1

Mean Tree Height (m): 0.3

Leaf diameter (mm): 2

Leaf Length (mm): 200

Foliage Density (m²/m²): 0.3

Needle or Leaf Type: other

Shelter * Orientation factor: 0.00

Foliage Distribution Data:	Height (m)	% Foliage
	0.1_	0
	0.2	60
	0.3	80
	0.4	90
	0.5	100

Weather Parameters

Atmospheric stability: stable

Air Temperature (deg. C): 18

Pressure (kPa): 101.3

Relative humidity (%): 100

Friction Velocity (m/s): 0.071, 0.177 or 0.531

Mixing layer Height (m): 120

Monin-Obukhov Length (m): 53

Velocity profile: no

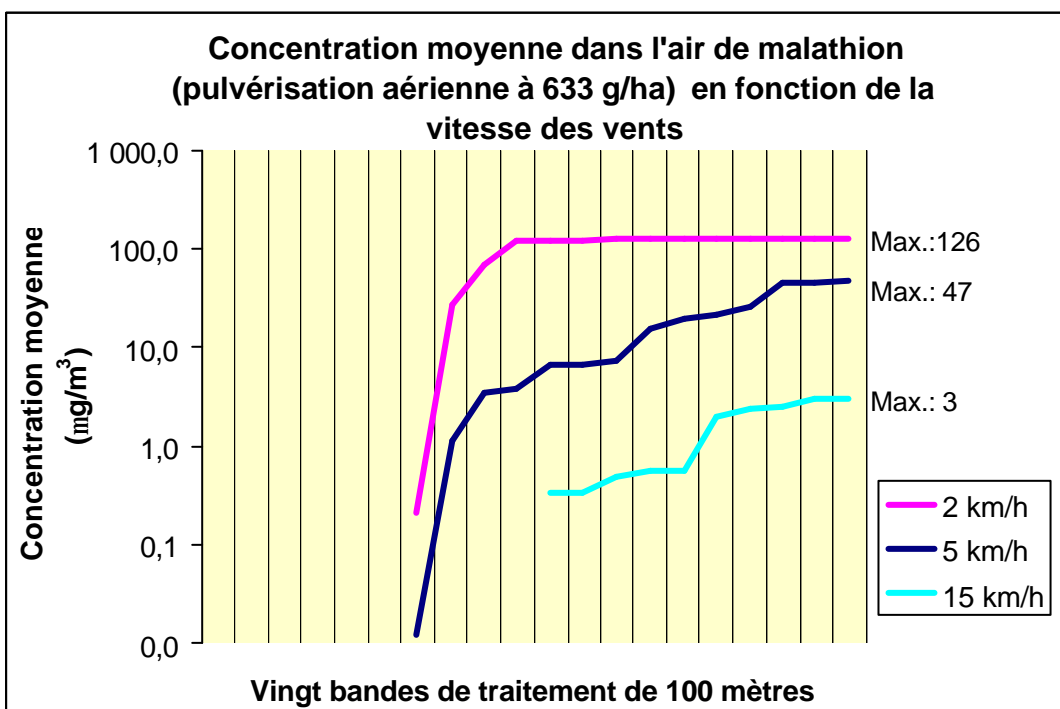
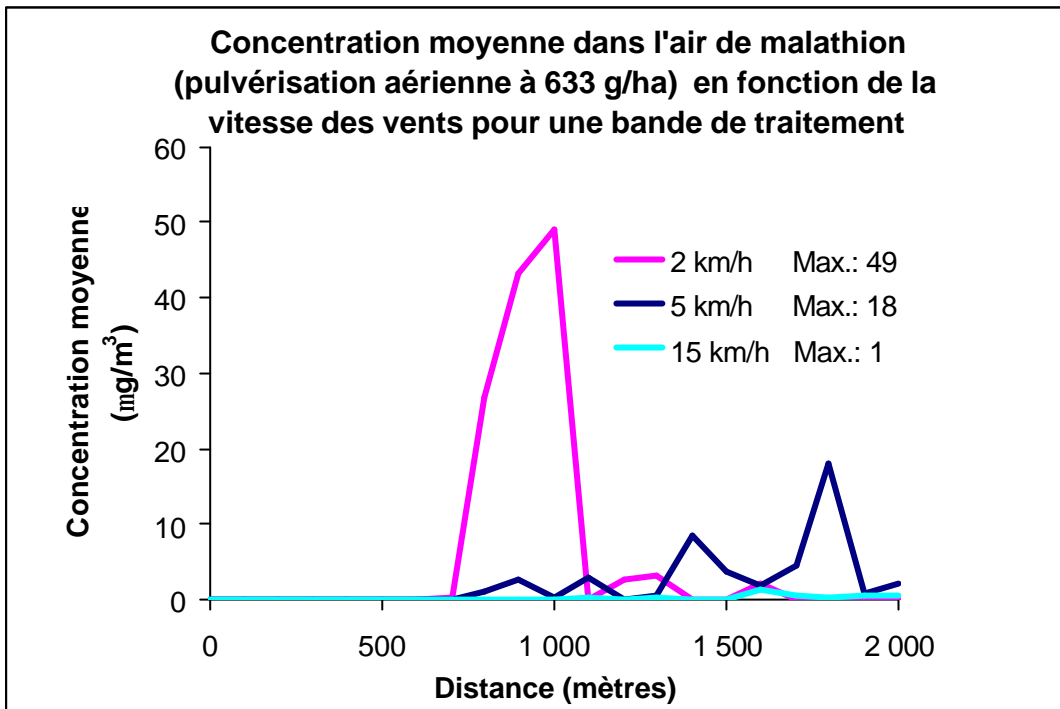
Formulation Parameters

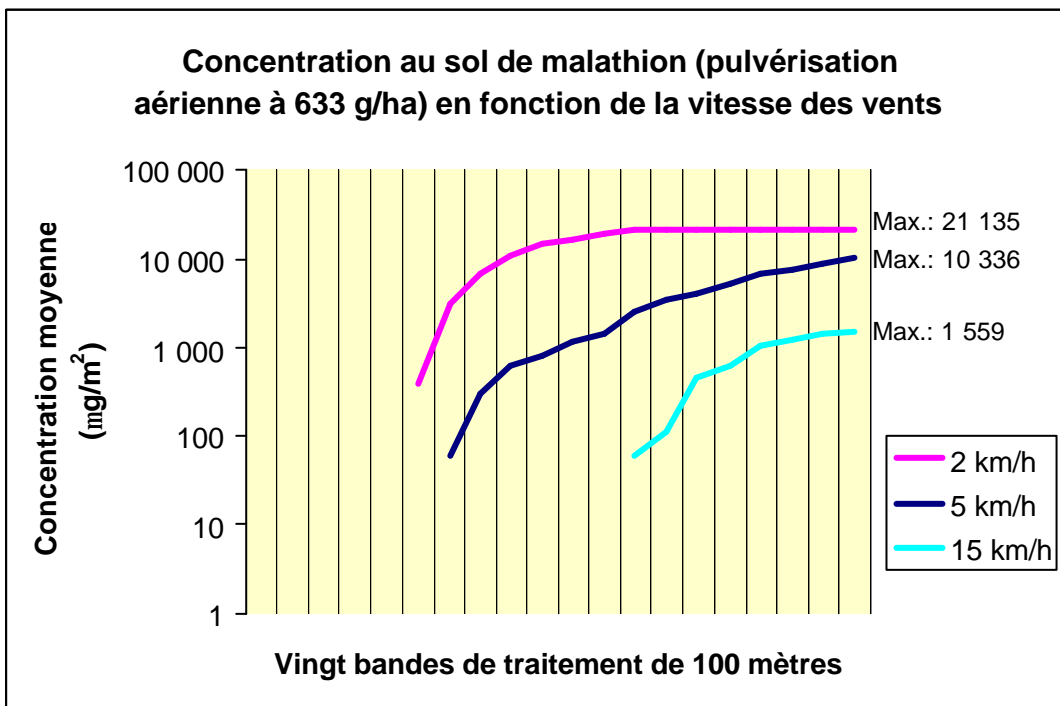
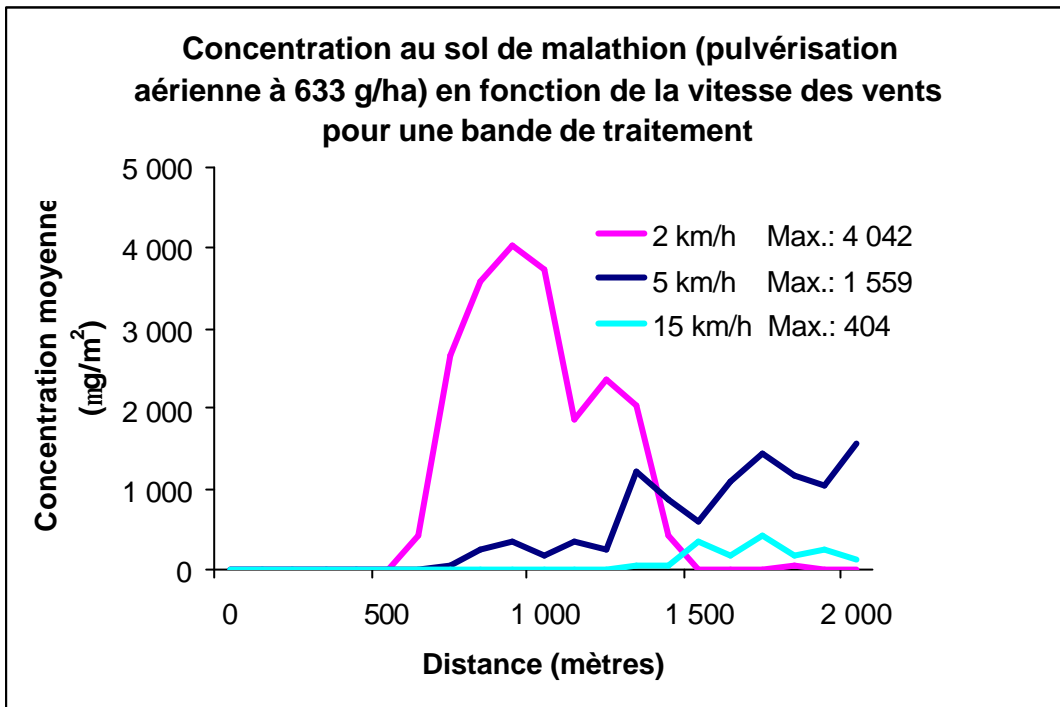
Type: emulsion/slurry

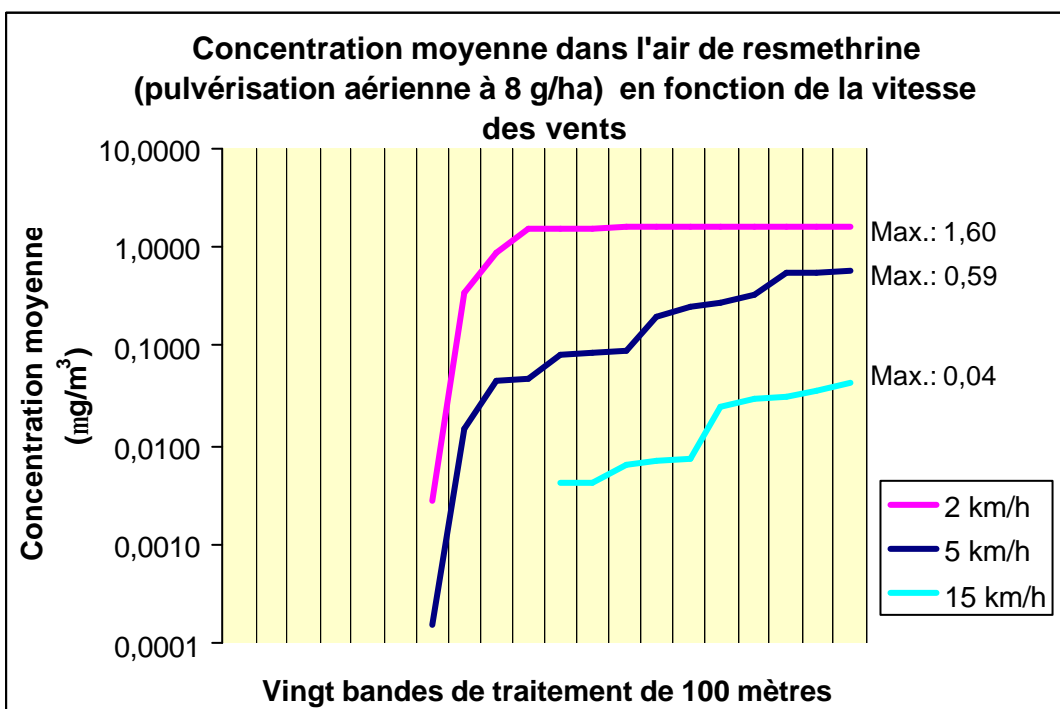
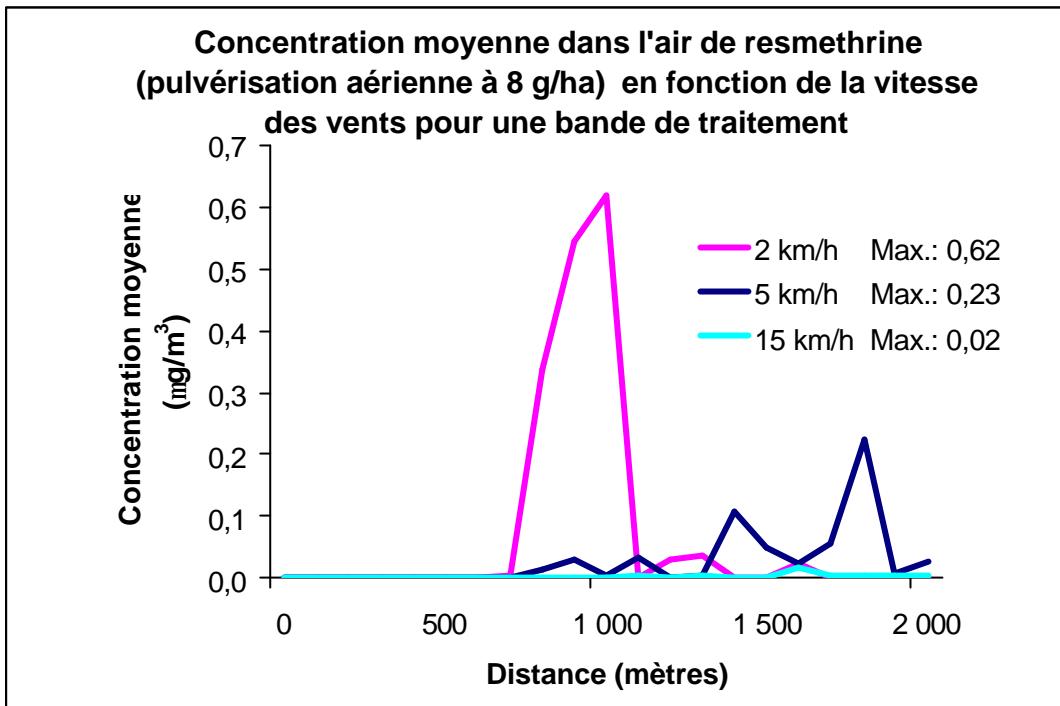
Fraction non-volatile: 1.00

ANNEXE 2

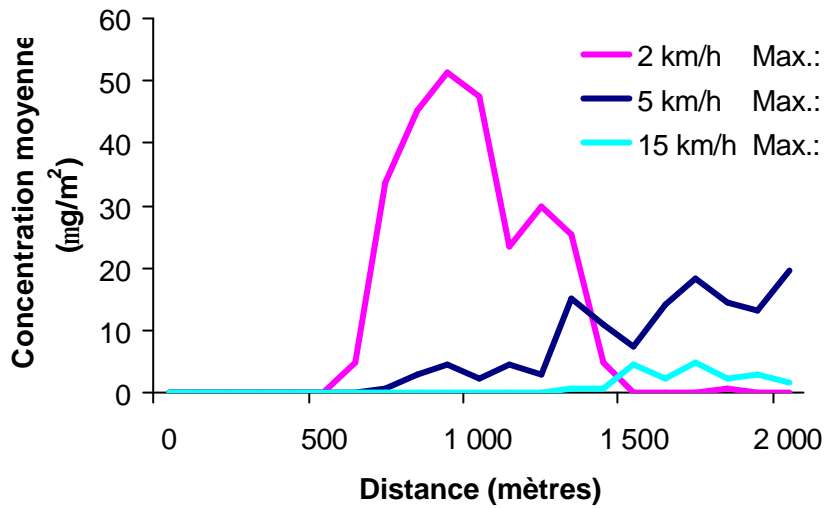
**GRAPHIQUES DES CONCENTRATIONS A U SOL ET DANS L'AIR POUR LES
PULVÉRISATIONS PAR VOIE AÉRIENNE**



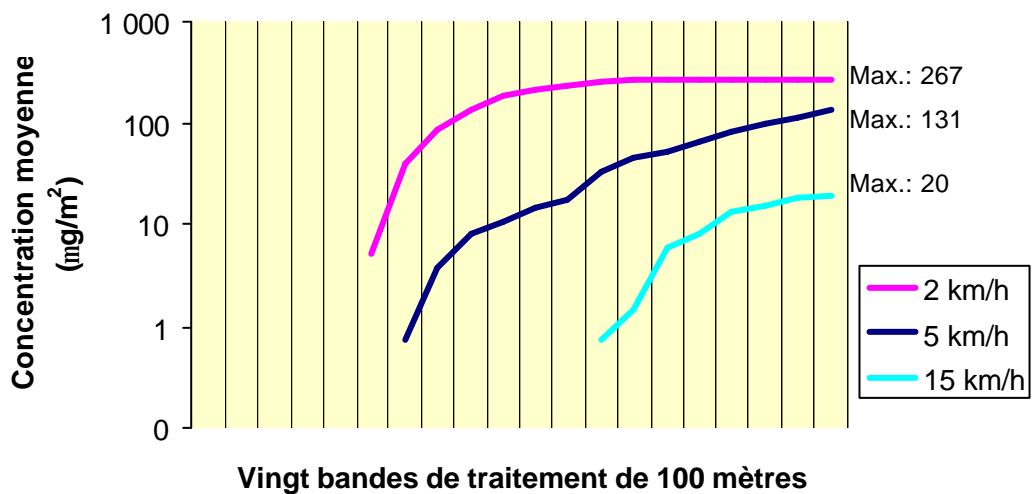


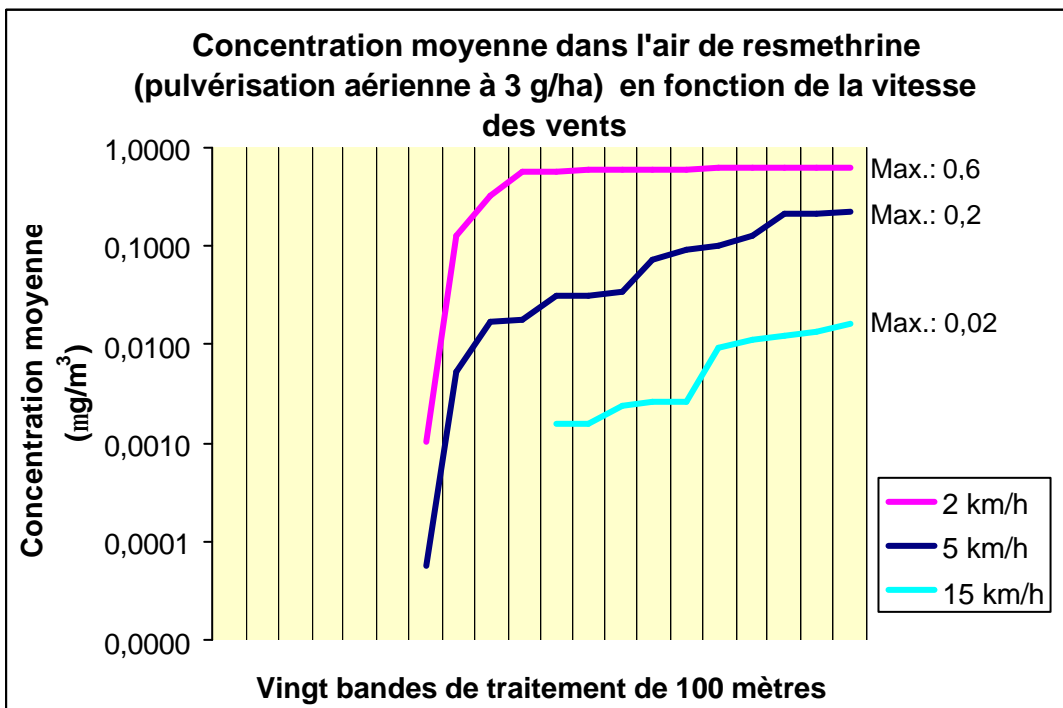
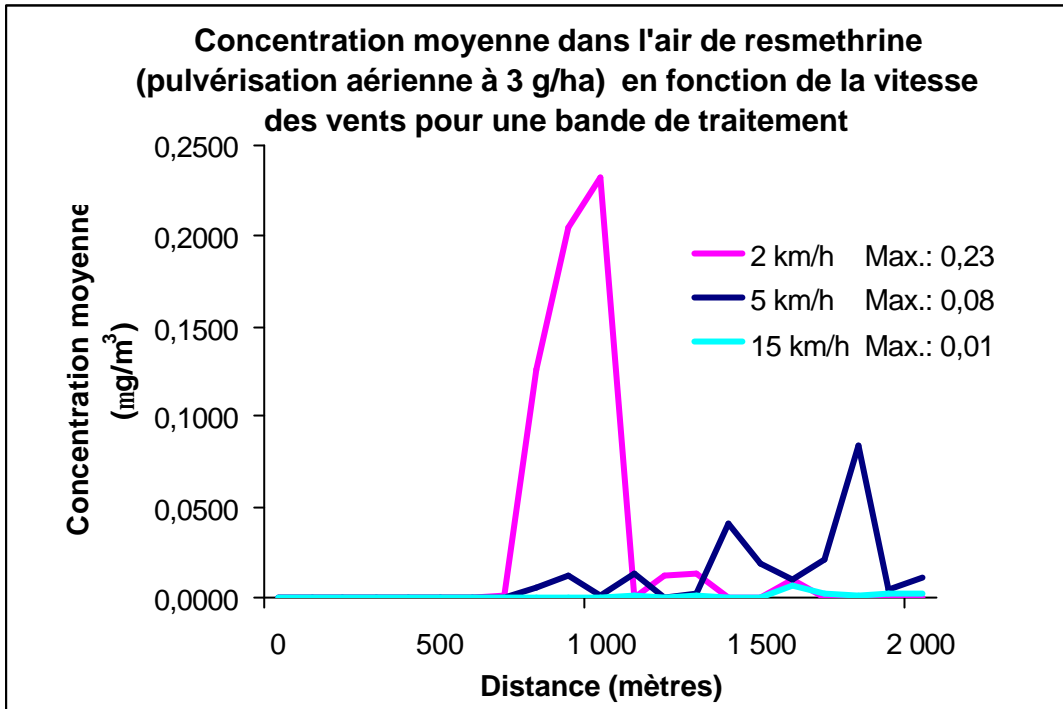


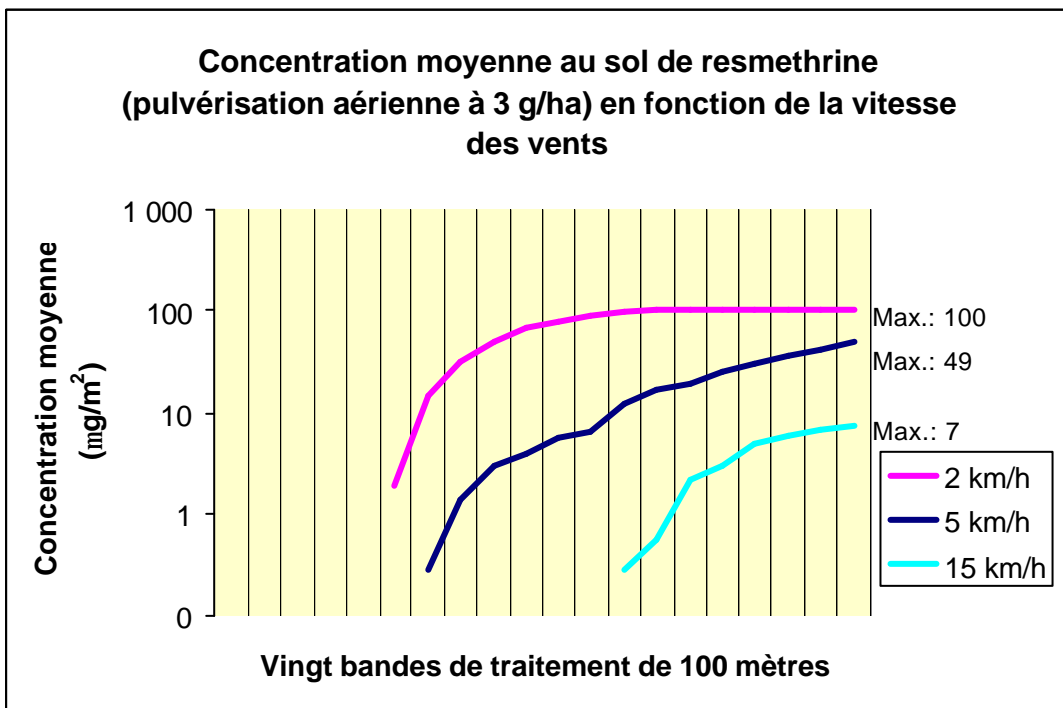
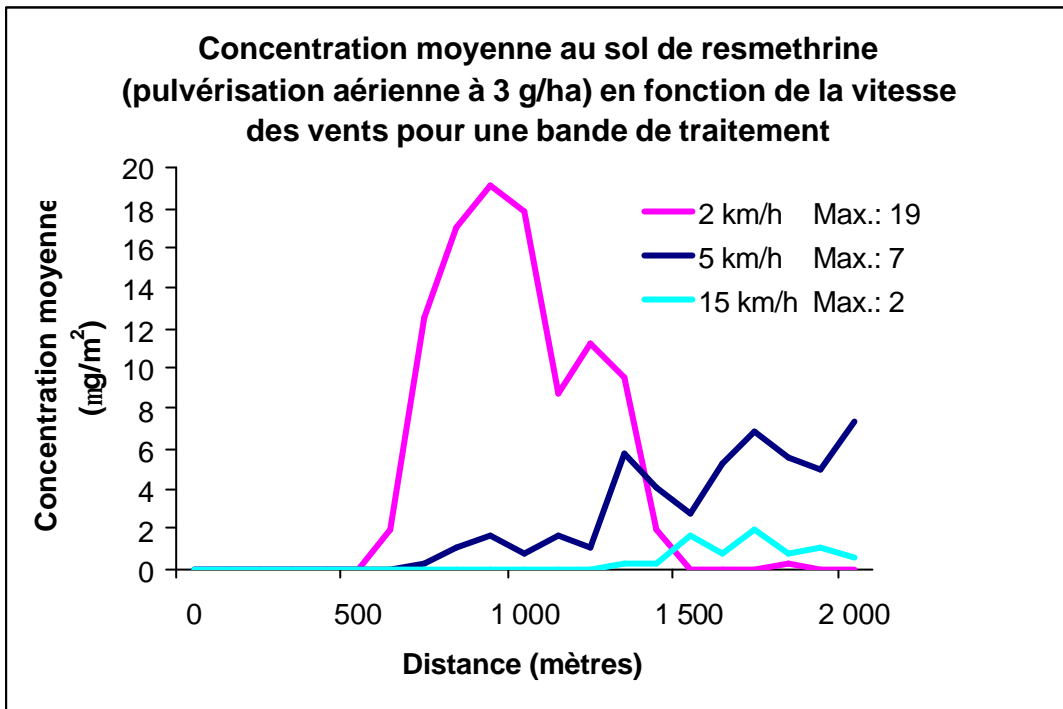
**Concentration moyenne au sol de resmethrine
(pulvérisation aérienne à 8 g/ha) en fonction de la vitesse
des vents pour une bande de traitement**



**Concentration moyenne au sol de resmethrine
(pulvérisation aérienne à 8 g/ha) en fonction de la vitesse
des vents**

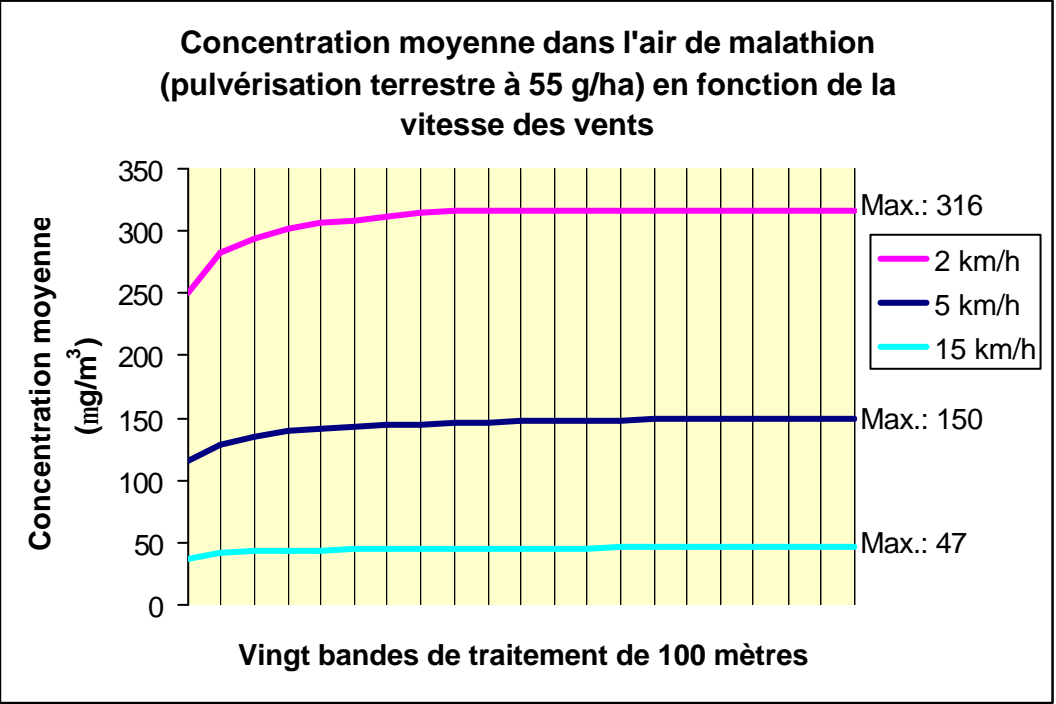
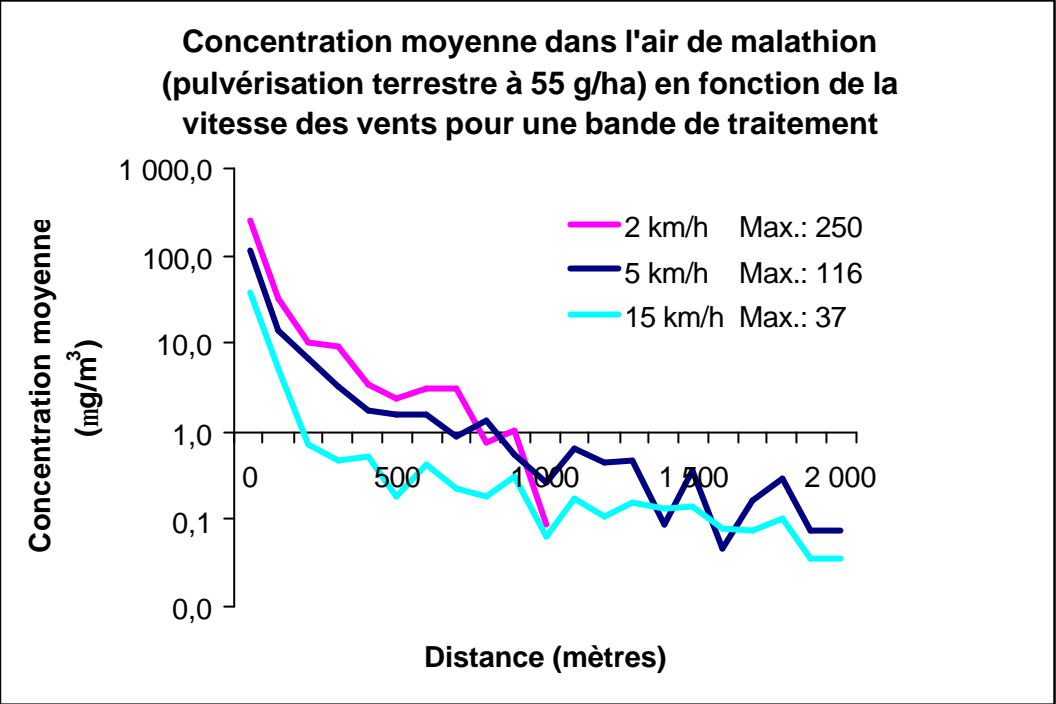


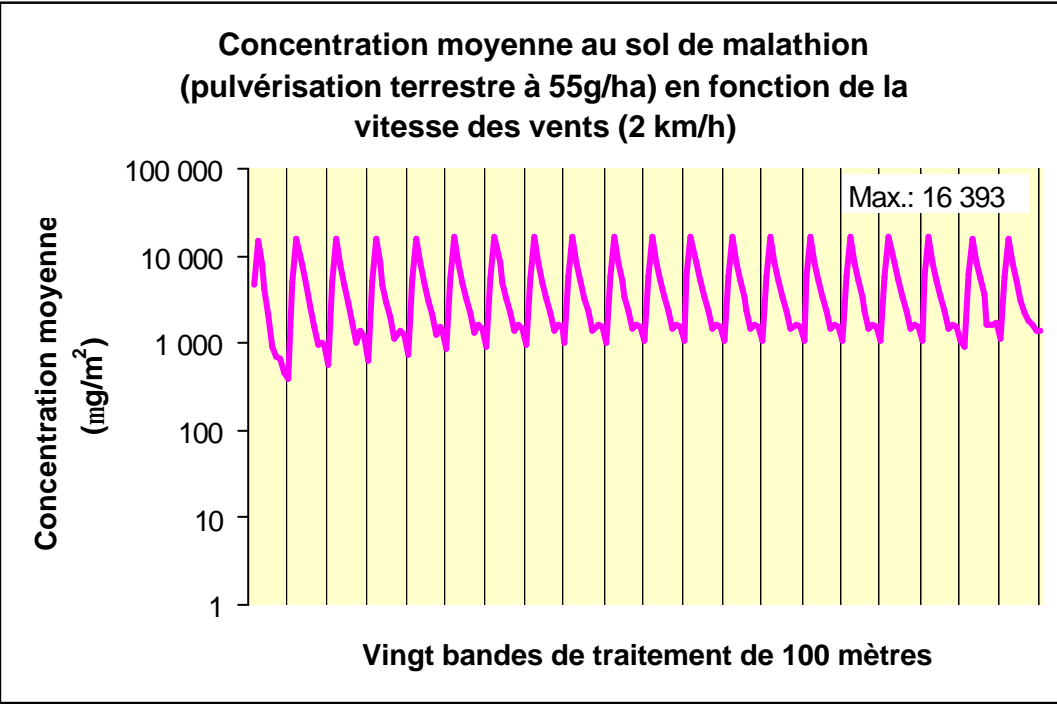
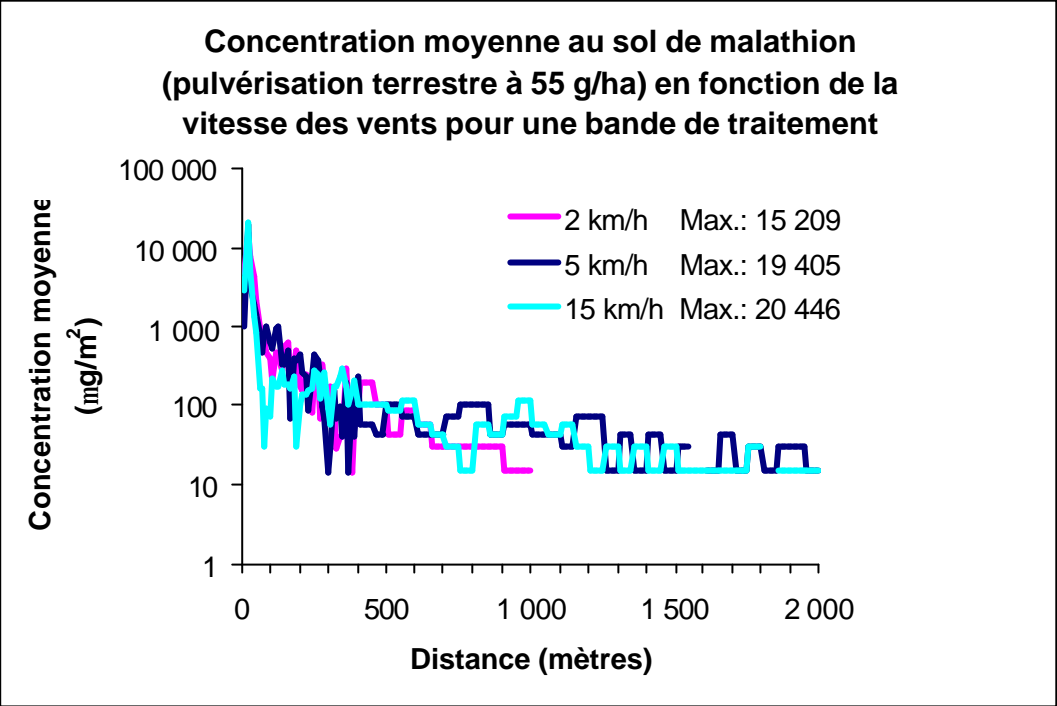


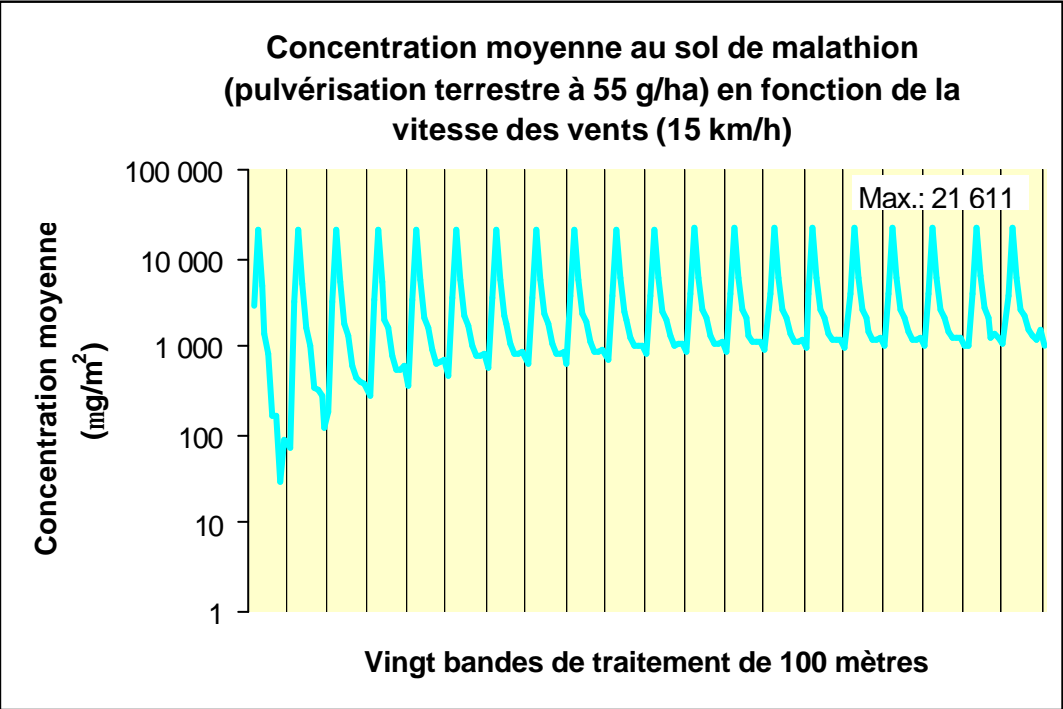
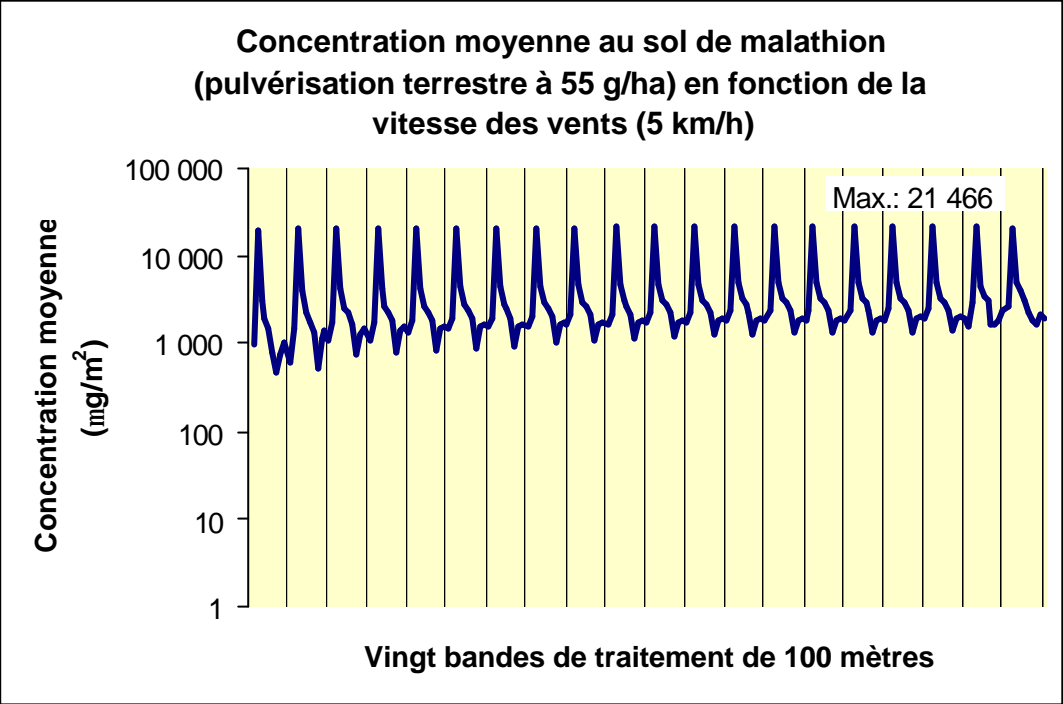


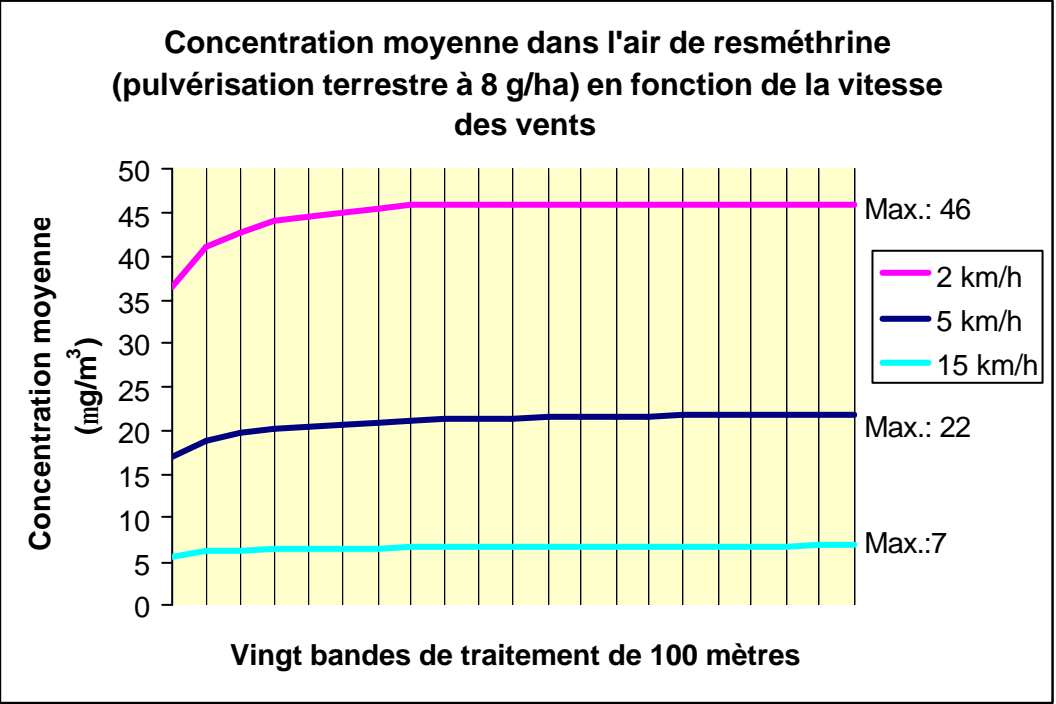
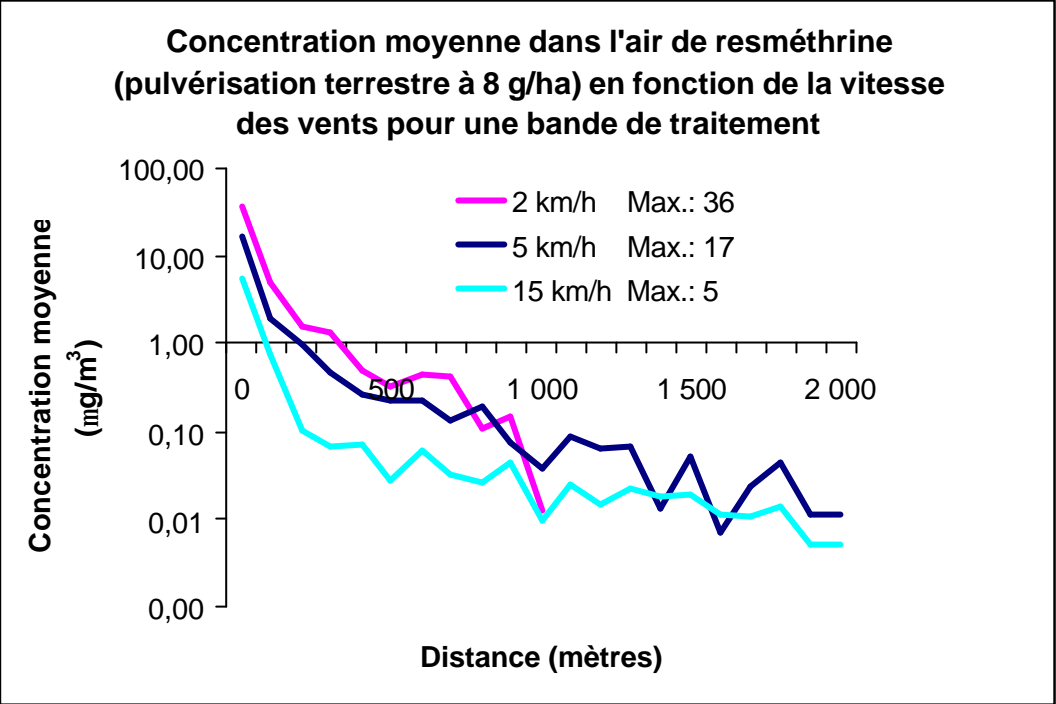
ANNEXE 3

**GRAPHIQUES DES CONCENTRATIONS AU SOL ET DANS L'AIR POUR LES
PULVÉRISATIONS PAR VOIE TERRESTRE**

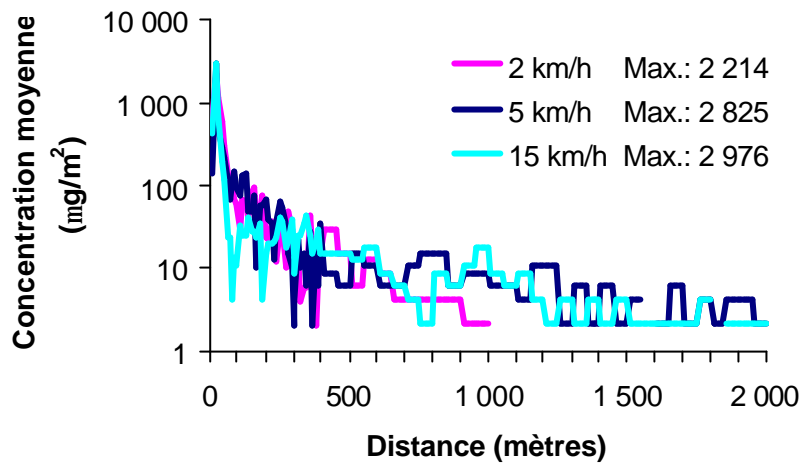




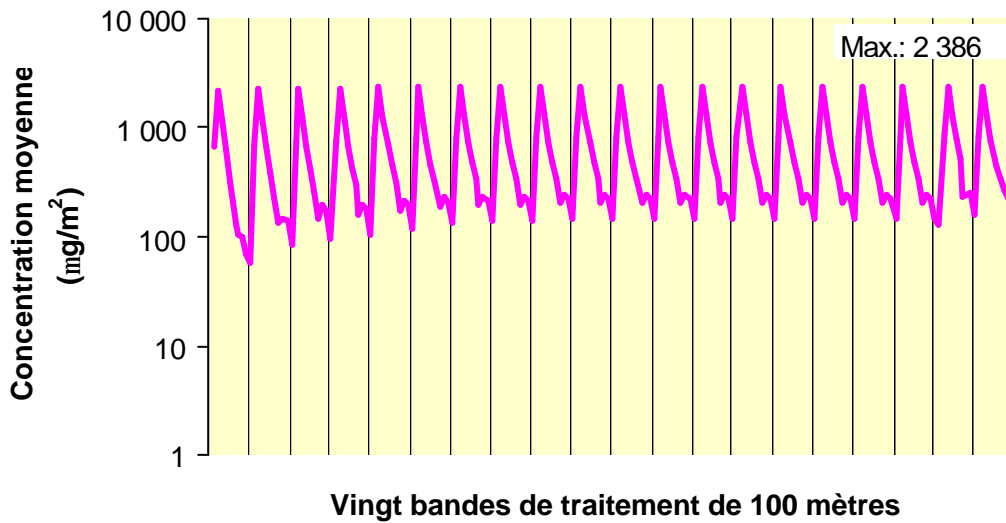


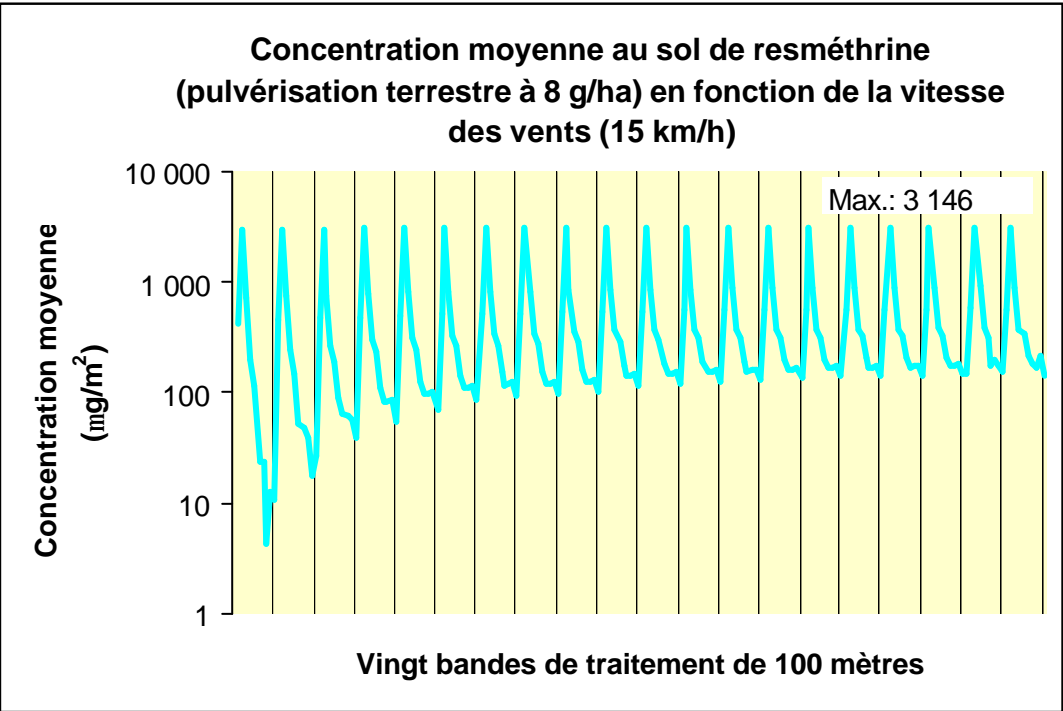
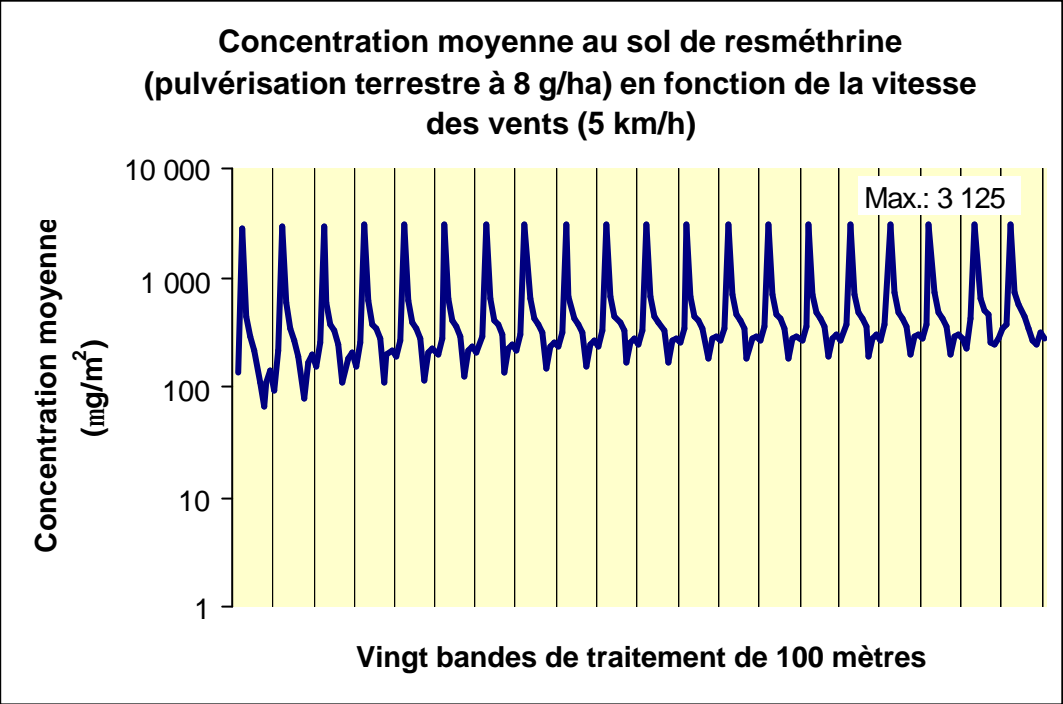


**Concentration moyenne au sol de resméthrine
(pulvérisation terrestre à 8 g/ha) en fonction de la vitesse
des vents pour une bande de traitement**

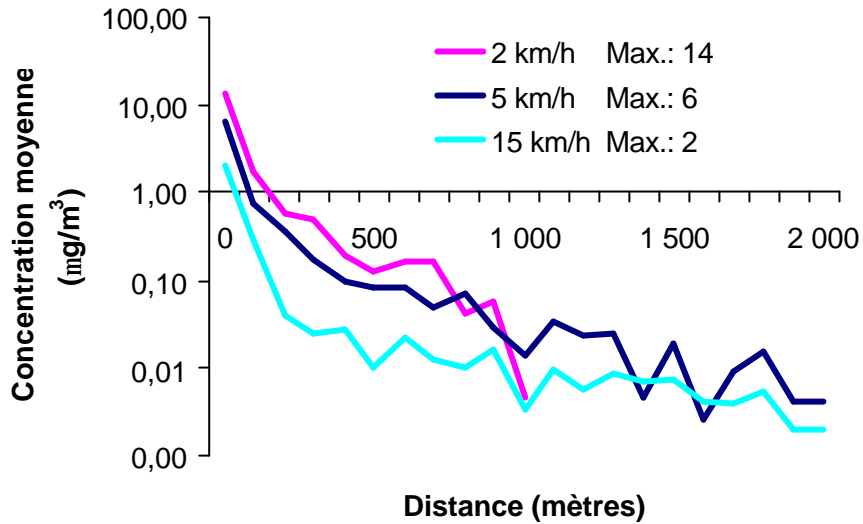


**Concentration moyenne au sol de resméthrine
(pulvérisation terrestre à 8 g/ha) en fonction de la vitesse
des vents (2 km/h)**

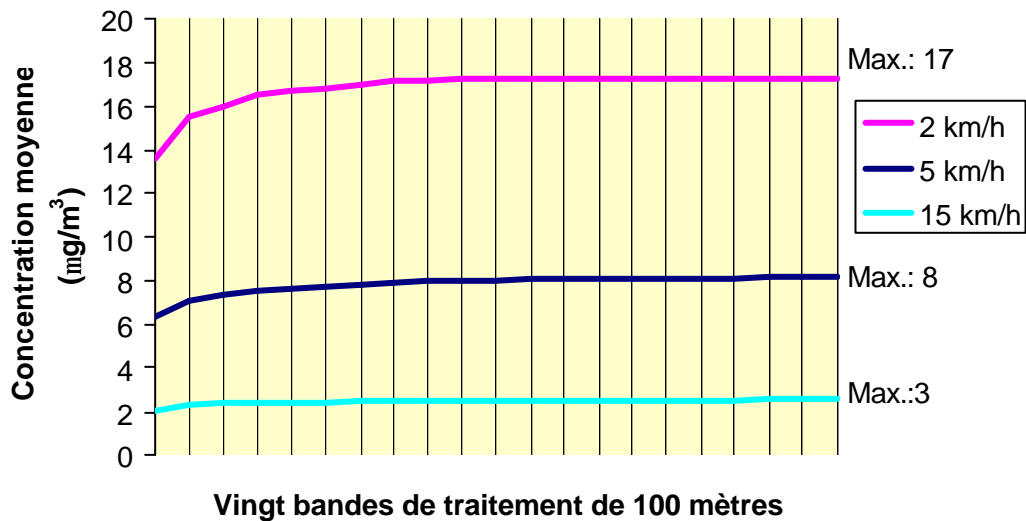




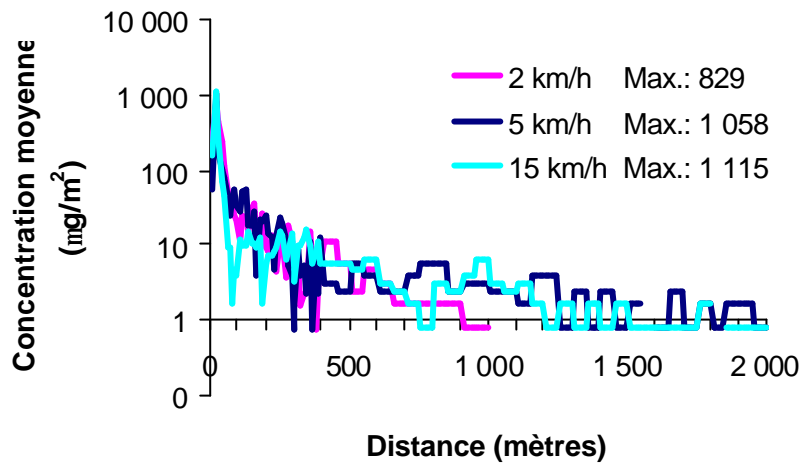
**Concentration moyenne dans l'air de resméthrine
(pulvérisation terrestre à 3 g/ha) en fonction de la vitesse
des vents pour une bande de traitement**



**Concentration moyenne dans l'air de resméthrine
(pulvérisation terrestre à 3 g/ha) en fonction de la vitesse
des vents**



**Concentration moyenne au sol de resméthrine
(pulvérisation terrestre à 3 g/ha) en fonction de la vitesse
des vents pour une bande de traitement**



**Concentration moyenne au sol de resméthrine
(pulvérisation terrestre à 3 g/ha) en fonction de la vitesse
des vents (2 km/h)**

