



information



formation



recherche



*coopération
internationale*

COMPARAISON DES DÉPÔTS DE MALATHION GÉNÉRÉS PAR LES APPLICATIONS UBV TERRESTRES ET AÉRIENNES AVEC LES ESTIMATIONS D'AGDISP

INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC

COMPARAISON DES DÉPÔTS DE MALATHION
GÉNÉRÉS PAR LES APPLICATIONS UBV TERRESTRES
ET AÉRIENNES AVEC LES ESTIMATIONS D'AGDISP

CENTRE DE TOXICOLOGIE
DIRECTION DES RISQUES BIOLOGIQUES,
ENVIRONNEMENTAUX ET OCCUPATIONNELS

AOÛT 2005



AUTEURS

Robert E. Mickle	REMSpC Spray Consulting
Onil Samuel	Centre de toxicologie, Institut national de santé publique du Québec
Louis St-Laurent	Centre de toxicologie, Institut national de santé publique du Québec
Pierre Dumas	Centre de toxicologie, Institut national de santé publique du Québec
Ghislain Rousseau	Société de protection des forêts contre les insectes et maladies

AVEC LA COLLABORATION DE

Dennis Moore	Pasco County Mosquito Control District
Wayne Daniels	Pasco County Mosquito Control District
Fred Boston	Pasco County Mosquito Control District
Kim Feagley	Pasco County Mosquito Control District
Kevin Hill	Pasco County Mosquito Control District
Mark Latham	Manatee County Mosquito Control District
Lloyd Watts	Manatee County Mosquito Control District
Andrew Tornello	Manatee County Mosquito Control District
Jessica Christianson	Manatee County Mosquito Control District
Stephanie Anderson	Manatee County Mosquito Control District
Jonathan Hornby	Lee County Mosquito Control District
Julie Béliveau	Société de protection des forêts contre les insectes et maladies
Yves Garant	Société de protection des forêts contre les insectes et maladies
Nathalie Morissette	Centre de toxicologie, Institut national de santé publique du Québec
Guy Gingras	Centre de toxicologie, Institut national de santé publique du Québec
Kevin Dorcas	Forest Protection Limited

La réalisation du présent document résulte d'une contribution financière du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec.

Ce document constitue une traduction et une adaptation du rapport publié en février 2005 par les mêmes auteurs sous le titre *Direct comparison of deposit from aerial and ground ULV applications of malathion with AGDISP predictions*. La traduction et l'adaptation ont été réalisées par monsieur Onil Samuel de l'Institut national de santé publique du Québec.

Ce document est disponible en version intégrale sur le site Web de l'Institut national de santé publique du Québec : <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-2006-016

DÉPÔT LÉGAL – 1^{ER} TRIMESTRE 2006
BIBLIOTHÈQUE NATIONALE DU QUÉBEC
BIBLIOTHÈQUE NATIONALE DU CANADA
ISBN 2-550-46468-0 (VERSION IMPRIMÉE)
ISBN 2-550-46469-9 (PDF)

©Institut national de santé publique du Québec (2006)

AVANT-PROPOS

L'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) a été mandaté en septembre 2003 par le ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS) pour réaliser une étude d'impact sur l'environnement du programme de pulvérisations aériennes d'insecticides pour contrer le virus du Nil occidental (VNO) en cas d'épidémie. Dans le cadre de cette étude d'impact, différents projets de recherche ont été réalisés afin d'approfondir et de valider certains éléments de la problématique du VNO, d'évaluer l'efficacité et l'impact des mesures d'intervention ainsi que de développer de nouvelles stratégies, approches et moyens d'intervention préventive ou de protection adaptés au contexte québécois. Le présent projet portant sur la comparaison des dépôts de malathion générés par les applications terrestres et aériennes en mode ultra bas volume avec les données modélisées par AGDISP est un des projets réalisés en vue de l'atteinte de ces objectifs.

RÉSUMÉ

Une série d'essais sur le terrain a été complétée, entre le 4 et le 15 octobre 2004, afin de comparer les dépôts de pesticides générés par des applications terrestres et aériennes en mode ultra bas volume (UBV) de l'adulticide malathion (Fyfanon®) et de comparer ces résultats avec les modélisations du modèle de dispersion AGDISP. Pour les applications terrestres, un générateur d'aérosols à froid (Clarke GRIZZLY) a été utilisé dans des conditions de vent se situant entre 3,6 et 12,4 kilomètres à l'heure (km/h). Des échantillonneurs constitués de matière inerte (filtres de fibre de verre) ont été placés à des intervalles de 10 mètres (m) sur une distance de 500 m dans le sens du vent. Des tiges rotatives à impaction d'une largeur de 3 millimètres (mm) ont été placées en alternance près de certains filtres pour caractériser le nuage de gouttelettes à une hauteur de 1,4 m. Ce dispositif permettait de mesurer la densité et le diamètre des gouttelettes. Les essais aériens ont été réalisés à l'aide de buses à haute pression PJ20 dans des conditions de vent variant entre 17 et 25 km/h à hauteur d'application (60 m). Les dépôts au sol ont été mesurés à des intervalles de 100 m sur une distance totale de 5 km alors que le nuage de gouttelettes fut caractérisé à des intervalles de 200 m.

Selon les conditions météorologiques rencontrées lors de l'étude, les dépôts maximaux des essais terrestres (Diamètre Volumique Médian de 11 μm) et aériens (DVM de 32 μm à 60 m d'altitude) étaient équivalents en dépit d'un taux d'application 4 fois supérieur en mode aérien. Cependant, la densité des gouttelettes pour les applications terrestres était 4 fois plus élevée que pour les applications aériennes. Lors des applications aériennes à une altitude de 60 m, les dépôts maximaux ont été observés à 800 m de la ligne de vol, dans le sens du vent, alors que la densité des gouttelettes a atteint son maximum à près d'un kilomètre plus en aval. Dans le cas des applications terrestres, le dépôt moyen était à sa plus haute valeur à une distance de presque 150 m de la ligne d'application et la densité des gouttelettes à approximativement 100 m plus loin.

Les résultats indiquent que le vent a un impact significatif sur le niveau des dépôts lors des applications terrestres. La récupération du malathion sur 500 m indique qu'entre 10 et 50 % des gouttelettes étaient déposées selon la vitesse du vent. Pour les applications aériennes, de 35 à 50 % du malathion appliqué a été déposé à l'intérieur d'une distance de 5 km pour des vitesses de vent variant de 17 à 25 km/h à la hauteur de vol de 60 m.

Les données empiriques de dépôts au sol ont été prédites avec précision par le logiciel de modélisation AGDISP. Ce modèle de dispersion a par ailleurs prédit des dépôts maximaux équivalents à ceux mesurés lors des essais sur le terrain. Dans le cas des applications terrestres sous forts vents, les dépôts maximaux générés par AGDISP étaient situés à une distance au-delà de celle mesurée lors des essais terrains alors qu'en situation de vents faibles, les résultats estimés et mesurés étaient davantage du même ordre de grandeur. Pour les essais aériens, les valeurs maximales prédites se situaient à des distances légèrement en aval de celles mesurées sur le terrain.

Les moyennes des concentrations maximales dans l'air estimées pour 1 heure étaient significativement plus basses pour les applications aériennes que pour les applications terrestres avec des concentrations inférieures à 2 ng/L comparées à des valeurs de 5 ng/L pour des conditions de vents forts et 20 ng/L pour des conditions de vents faibles.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	VII
LISTE DES FIGURES	IX
LISTE DES SIGLES, ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES	XI
1 INTRODUCTION	1
2 PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS	3
2.1 EFFET DU DIAMÈTRE DES GOUTTELETTES SUR L'EFFICACITÉ D'UN PROGRAMME D'APPLICATION.....	3
2.2 OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.....	9
3 MATÉRIEL ET MÉTHODE	11
3.1 ESSAIS TERRAIN.....	11
3.2 ÉQUIPEMENTS D'APPLICATION.....	11
3.2.1 Équipement terrestre	11
3.2.2 Équipement aérien.....	13
3.3 SITES DES ESSAIS SUR LE TERRAIN	14
3.3.1 Site des applications terrestres.....	14
3.3.2 Site des applications aériennes	16
3.4 PROCÉDURE D'ÉCHANTILLONNAGE ET PROTOCOLES ANALYTIQUES	19
3.4.1 Évaluation des dépôts de résidus de malathion au niveau du sol	19
3.4.2 Protocole d'échantillonnage.....	19
3.4.3 Échantillonneurs du nuage de gouttelettes.....	22
3.5 MODÈLE DE PRÉDICTION AGDISP	24
4 RÉSULTATS ET DISCUSSION	25
4.1 CONSERVATION ET CONTAMINATION DES ÉCHANTILLONS	25
4.2 RÉSULTATS DES ESSAIS SUR LE TERRAIN	25
4.3 MODÈLE DE PRÉDICTION.....	34
4.3.1 Essais terrestres	34
4.3.2 Essais aériens	39
4.3.3 Validité et applicabilité du modèle AGDISP dans le contexte de l'analyse de risque au Québec.....	41
5 CONCLUSION	43
6 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	45
ANNEXE 1 ÉVALUATION DE LA STABILITÉ DU MALATHION SUR DES MATÉRIAUX INERTES	49
ANNEXE 2 MÉTHODE ANALYTIQUE POUR LA DÉTERMINATION DU MALATHION SUR DES FILTRES DE FIBRE DE VERRE PAR GC-MS (E-437)	53

ANNEXE 3	RÉSULTATS DES ESSAIS TERRESTRES.....	57
ANNEXE 4	RÉSULTATS DES ESSAIS AÉRIENS.....	65
ANNEXE 5	PARAMÈTRES DES ESSAIS SUR LE TERRAIN UTILISÉS COMME INTRANTS POUR LES MODÉLISATIONS AVEC AGDISP	77
ANNEXE 6	AGDISP 8.13 – PARAMÈTRES POUR LES MODÉLISATIONS TERRESTRES	81
ANNEXE 7	AGDISP 8.13 – PARAMÈTRES POUR LES MODÉLISATIONS AÉRIENNES	85

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1	Paramètres pour les essais en tunnel aérodynamique	6
Tableau 2.2	Spécifications des brumisateurs au sol.....	7
Tableau 3.1	Résultats des tests en tunnel aérodynamique réalisés avec les 6 buses PJ20 utilisées sur l'avion Aztec.....	14

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1	Relation entre les DL ₅₀ et le diamètre des gouttelettes de malathion	4
Figure 2.2	Efficacité (7-22 µm) des buses pour différents DVM	4
Figure 2.3	DVM des nouveaux pulvérisateurs centrifuges et à haute pression	5
Figure 3.1	Équipement d'application terrestre avec gros plan de la buse Clarke Grizzly	11
Figure 3.2	Réservoir de pesticides et contrôleur de débit lié à l'indicateur de vitesse de façon à ajuster le débit en fonction de la vitesse du véhicule	12
Figure 3.3	Avion Aztec du PCMCD avec buses montées sur l'aile de tribord et gros plan des 6 buses PJ20 HP	13
Figure 3.4	Vue aérienne de la ferme de culture de gazon où ont été réalisés les essais terrestres. Le tracé pointillé indique la ligne d'échantillonnage.....	15
Figure 3.5	Vue en ligne droite de la zone d'échantillonnage à contre vent et en aval du sens du vent près de la route de gravier	15
Figure 3.6	Localisation du site expérimental de Manatee County, Floride.....	16
Figure 3.7	Photo aérienne du site d'échantillonnage planifié en prévision d'un vent d'est. La position du Kitoon est aussi indiquée.	17
Figure 3.8	Vue aérienne du site d'échantillonnage de 5 000 m (vue en direction est)	17
Figure 3.9	Équipements météorologiques pour les essais aériens incluant une tour au sol, un ballon dirigeable équipé d'une station météo (Kitoon) et un système météo monté sur un avion (AIMMS-20).....	18
Figure 3.10	Échantillonneur utilisé pour les dépôts au sol.....	20
Figure 3.11	Station d'échantillonnage composée d'un système rotatif à lames d'impaction et d'un échantillonneur de dépôt au sol	22
Figure 3.12	Efficacité de captage des tiges d'une largeur de 3 mm utilisées lors des essais sur le terrain (gravité spécifique = 1,23)	23
Figure 4.1	Pourcentage du malathion appliqué récupéré sous forme de dépôts au sol sur 500 m (données regroupées)	26
Figure 4.2	Recupération de malathion sur 500 m en fonction de la vitesse du vent.....	26
Figure 4.3	Pourcentage du malathion appliqué récupéré sous forme de dépôt au sol à 5 000 m	28
Figure 4.4	Recupération de malathion sur 5 km en fonction de la vitesse du vent à hauteur de vol (60 m)	28
Figure 4.5	Sommaire des mesures de dépôts au sol pour les essais aériens et terrestres	29
Figure 4.6	Dépôts moyens des applications terrestres et aériennes corrigés pour le NIS	31
Figure 4.7	Comparaison de la densité moyenne des gouttelettes mesurées sur les lames à impaction pour les applications aériennes et terrestres	32

Figure 4.8	Variation des dépôts moyens et de la densité des gouttelettes sur les lames à impaction, en aval et dans le sens du vent de la ligne de vol	33
Figure 4.9	Variation des dépôts au sol et de la densité des gouttelettes sur les lames à impaction pour les applications terrestres	33
Figure 4.10	Comparaison entre le dépôt mesuré sur le terrain et les prédictions d'AGDISP sur 500 m	35
Figure 4.11	Comparaison entre les dépôts modélisés et mesurés sur le terrain pour des conditions de vents légers et élevés	37
Figure 4.12	Modélisation des concentrations dans l'air pour des applications terrestres sous des conditions de vents forts et légers.....	38
Figure 4.13	Comparaison de la densité des gouttelettes sur les lames à impaction ($\#/cm^2$) pour des applications terrestres sous des conditions de vents forts et légers	38
Figure 4.14	Comparaison des dépôts intégrés modélisés par AGDISP et mesurés sur le terrain à 5 km	39
Figure 4.15	Comparaison des dépôts mesurés sur le terrain et modélisés par AGDISP pour des applications aériennes	40
Figure 4.16	Comparaison des dépôts mesurés et modélisés. Les données d'AGDISP ont été déplacées de 400 m.	40
Figure 4.17	Concentration dans l'air à 1,5 m modélisées pour des applications aériennes à des vents de 17,5 et 25,5 km/h	41

LISTE DES SIGLES, ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES

SIGLE, ABRÉVIATION OU ACRONYME	SIGNIFICATION
CDV	Coefficient de variation
DMN	Diamètre médian en nombre
DVM	Diamètre volumique médian (<i>Volume Median Diameter</i> (VMD) en anglais)
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
MMCD	<i>Manatee Mosquito Control District</i>
NIS	Niveau d'intensité à la source
PCMD	<i>Pasco County Mosquito Control District</i>
RPM	Révolutions par minute
SDTF	<i>Spray Drift Task Force</i>
SOPFIM	Société de protection des forêts contre les insectes et maladies
UBV	Ultra bas volume (<i>Ultra Low Volume</i> (ULV) en anglais)
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i>

1 INTRODUCTION

L'application d'adulticides est une des méthodes disponibles pour contrôler le virus du Nil occidental lorsqu'une situation épidémique importante émerge. Toutefois, il est nécessaire d'estimer les impacts de cette stratégie de contrôle sur la santé humaine et l'environnement. Même si les modèles mathématiques de dispersion des gouttelettes (Wallace *et al.*, 1995; Bilanin *et al.*, 1989) constituent des méthodes moins dispendieuses que les études sur le terrain pour estimer les dépôts de pesticides au sol ainsi que les concentrations dans l'air générés lors des applications de ces produits, il demeure nécessaire de réaliser des essais sur le terrain dans des conditions opérationnelles réelles pour valider ces modèles.

AGDISP, un modèle de dispersion des gouttelettes, est couramment utilisé pour évaluer la dérive des pesticides lors des applications aériennes. Cependant, aucun essai terrain n'avait jusqu'à maintenant été réalisé pour évaluer l'efficacité du modèle dans le contexte d'un programme d'application d'adulticides pour le contrôle des moustiques. En raison de l'intégration récente d'un nouveau module de simulation d'applications terrestres à AGDISP et du développement de nouveaux équipements d'application (système à haute pression), il était plus que justifié de valider le modèle de prédiction pour les estimations de dépôts au sol et de concentrations dans l'air. La validation du modèle est d'autant plus nécessaire que celui-ci sera utilisé pour prédire les concentrations environnementales d'adulticides qui seront utilisées dans les analyses de risque effectuées dans le cadre du processus d'évaluation des impacts sur l'environnement et la santé des populations au Québec.

Le présent rapport fait la synthèse des essais sur le terrain qui furent réalisés en Floride pour comparer les dépôts au sol générés par des applications terrestres et aériennes de malathion (Fyfanon®) en mode ultra bas volume (UBV) et pour comparer les données empiriques mesurées avec celles modélisées par AGDISP.

Le présent document constitue une traduction du rapport original rédigé en anglais (Mickle *et al.*, 2005).

2 PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS

2.1 EFFET DU DIAMÈTRE DES GOUTTELETTES SUR L'EFFICACITÉ D'UN PROGRAMME D'APPLICATION

Une récente revue de littérature sur les conditions préalables et la disponibilité des équipements nécessaires à la mise en place d'un programme efficace d'utilisation des adulticides (Mickle, 2004), met en lumière le besoin de générer des gouttelettes contenant une dose létale lors du contact avec les moustiques adultes.

Le diamètre optimal des gouttelettes pour tuer un moustique adulte a été évalué par Mount (1970), et plus récemment par Mount *et al.* (1996). En se basant sur les résultats d'essais en tunnel aérodynamique, Weidhaas *et al.* (1970) ont estimé que la dose létale minimale (DL_{100}) de malathion de grade technique non dilué pour le contrôle des moustiques du genre *Aedes taeniorynchus* était contenue dans une gouttelette de 25 μm . Considérant qu'une gouttelette ne peut entrer en contact qu'avec un seul moustique, celles ayant un diamètre de plus de 25 μm ne seraient pas vraiment utiles et entraîneraient nécessairement des pertes du fait qu'elles contiendraient plus que la dose toxique nécessaire.

Durant les années 70 et le début des années 80, une série d'études en laboratoire ont été réalisées afin de déterminer l'efficacité du contact des gouttelettes sur les moustiques. Lofgren *et al.* (1973) ont utilisé la technique du microscope électronique pour évaluer le diamètre des gouttelettes en aérosol qui entrent en contact avec les moustiques. Les gouttelettes entre 2 et 16 μm atteignaient plus fréquemment les ailes des moustiques que celles plus petites ou plus grosses. Lors d'essais en tunnel aérodynamique avec des gouttelettes de malathion de diamètre uniforme véhiculées à une vitesse de 3,7 km/h, Haile *et al.* (1982) ont précisé la relation entre la mortalité des moustiques adultes et le diamètre des gouttelettes (figure 2.1). Les résultats indiquent que le diamètre optimal d'une gouttelette pour tuer les moustiques se situe entre 10 et 15 μm . Cependant, une faible différence d'efficacité était notée lorsque l'écart était plutôt de 7 à 22 μm .

Lors des essais en tunnel aérodynamique des buses généralement utilisées pour l'application d'adulticides, on utilise maintenant le pourcentage de gouttelettes se situant entre 7 et 22 μm comme indice de classification de l'efficacité relative des différentes buses.

Au cours des traitements aériens, les nuages de pesticide sont constitués de gouttelettes dont le diamètre varie énormément, ce qui reflète l'efficacité relative des buses. Dans le rapport de Mickle (2004), l'effet du diamètre volumique médian (DVM) sur le potentiel à produire des gouttelettes situées dans l'écart optimal a été évalué (figure 2.2).

Pour l'écart de DVM associé à des applications en UBV, les volumes émis dans la classe des 7-22 μm se situent entre moins de 10 % pour des buses produisant un DVM de 80 μm et 60 % pour celles ayant un DVM de 10 μm .

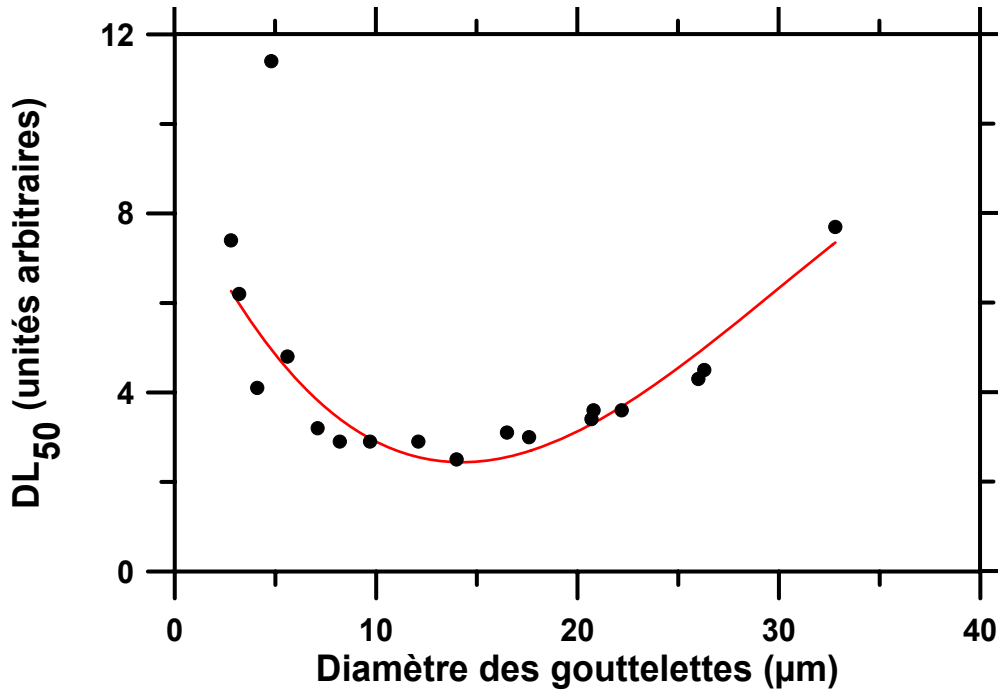


Figure 2.1 Relation entre les DL₅₀ et le diamètre des gouttelettes de malathion

Source : Haile *et al.*, 1982

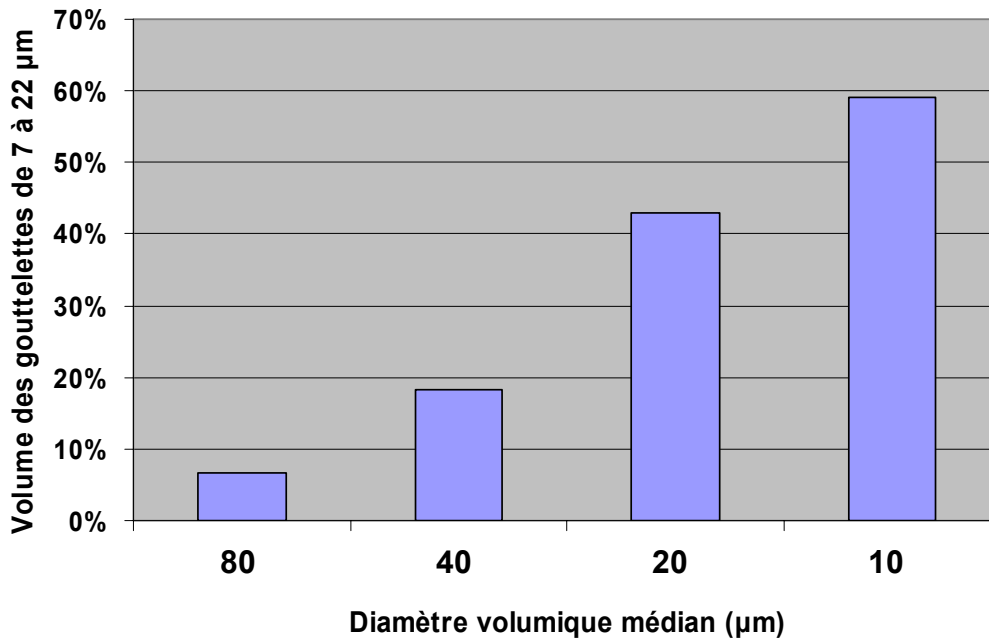


Figure 2.2 Efficacité (7-22 µm) des buses pour différents DVM

Source : Mickle, 2004

Les pulvérisateurs testés en tunnel aérodynamique et ayant la capacité de générer des gouttelettes avec un DVM inférieur à 30 microns peuvent être regroupés en deux principales catégories, les pulvérisateurs à haute pression et les pulvérisateurs centrifuges.

Les buses utilisées en agriculture et en foresterie, même à une pression de 80 psi, ne produisent pas une atomisation adéquate pour les traitements avec des adulticides. La figure 2.3 présente les DVM pour les nouveaux pulvérisateurs centrifuges et à haute pression. Les détails des essais en tunnel aérodynamique sont présentés dans le tableau 2.1.

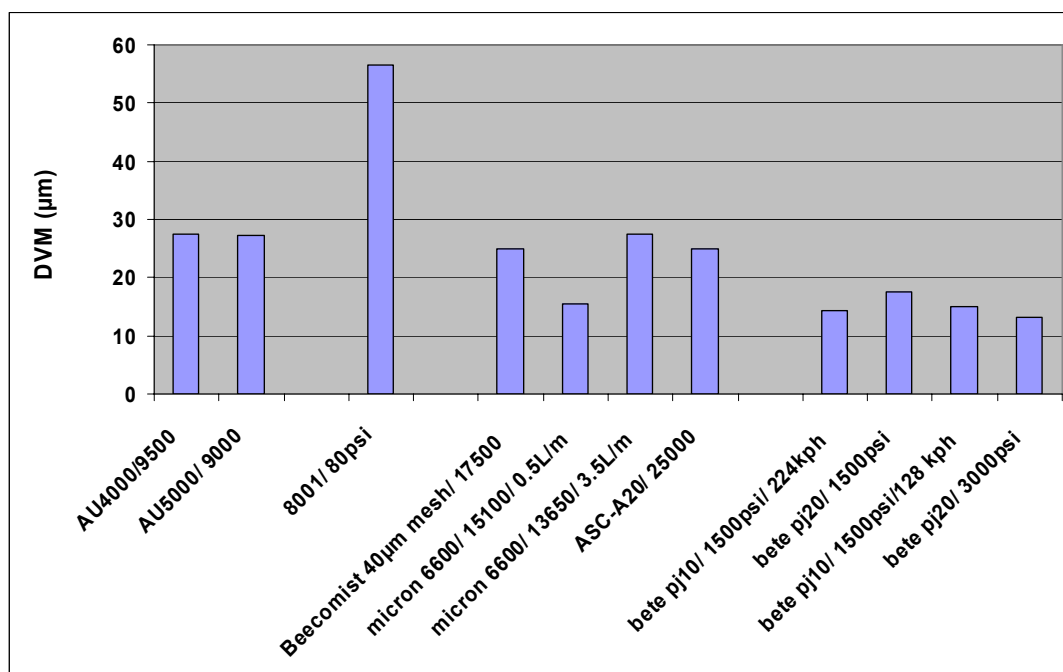


Figure 2.3 DVM des nouveaux pulvérisateurs centrifuges et à haute pression

Note : Le 8001 à 80 psi est inclus à titre de référence.

Toutes les données ont été générées à l'aide d'un système Lazer Malvern. Le malathion n'avait toutefois pas été utilisé pour ces différents essais. Parmi les buses testées, les buses à jet plat, même lorsqu'elles étaient orientées vers l'avant avec un angle de 45 degrés, ne parvenaient pas à produire plus de 10 % du volume émis sous forme de gouttelettes dont le diamètre répondait aux exigences visées. Par ailleurs, avec un DVM approchant 30 µm, les pulvérisateurs centrifuges produisaient presque 30 % du volume émis sous forme de gouttelettes dont le diamètre était optimal. Pour ce type d'équipement, un DVM inférieur à 30 µm a été obtenu en ajustant la grandeur de la grille maillée et en augmentant la vitesse de rotation. Les pulvérisateurs électriques Clarke Beecomist et Micron 6600 peuvent produire des DVM approximatifs de 25 µm peu importe la vitesse de déplacement de l'air.

Tableau 2.1 Paramètres pour les essais en tunnel aérodynamique

Manufacturier	Atomiseur	DVM (µm)	RPM* Vitesse de l'air (km/h) /Angle (°)	Pression (psi)	Débit (L/min)	Taux d'efficacité (%) (Volume : 7-22 µm)
Micron UK www.micron.co.uk	AU4000	27	9 500		1	< 35
	AU5000	27	9 000		0,3	< 27
	Micron 6600	16	15 100		0,5	44
		27	13 600		3,5	30
Clarke Mosquito Control www.cmosquito.com	Beecomist	25	17 500		0,6	< 44
Spraying Systems Co www.teejet.com	8001	57	224/135	80	0,6	11
Bete Fog Nozzle, Inc. www.bete.com	PJ10	15	128	1 500	0,4	55
		14	224	1 500	0,4	53
	PJ20	18	192	1 500	0,9	44
		13	192	3 000	1,3	55
Curtis Dyna-Fog www.dynafog.com	ASC-A20	25	25 000		0,8	Aucune donnée

* Les valeurs en gras font référence au RPM (révolutions par minute) alors que les autres correspondent à des vitesses.

Source : Jonathan Hornby (Lee County Mosquito Control) et Andrew Hewitt (CPAS, Université de Queensland), communications personnelles, 2004.

Une vitesse de rotation supérieure à 13 000 tours/minute est requise pour générer des gouttelettes suffisamment petites. Des petits DVM ont aussi été obtenus à de faibles débits de pulvérisation (0,5 L/min). Le fait de réduire le DVM en utilisant des buses à haute pression (> 1 000 psi) augmente le pourcentage du volume émis sous forme de gouttelettes au diamètre optimisé à plus de 40 %. Les buses à haute pression (PJ 10 et PJ 20), fonctionnant à des pressions comprises entre 1 500 et 3 000 psi, sont capables de générer des DVM sous les 20 µm (en utilisant une huile Orchex) lorsque le débit se situe entre 0,4 et 1,3 L/min. Mickle (2004) conclut que le DVM des pulvérisateurs doit être maintenu en deçà de la limite d'efficacité de 30 µm pour les programmes aériens d'application d'adulticides.

Aux États-Unis, l'industrie spécialisée dans le contrôle des moustiques a délaissé les pulvérisateurs thermiques générant des gouttelettes inférieures à 10 µm et utilise maintenant les générateurs d'aérosols à froid pour effectuer des traitements d'application terrestre. Au Canada, l'étiquette du malathion spécifie que le DVM ne doit pas dépasser 17 µm, que moins de 3 % des gouttelettes doit excéder 32 µm et qu'aucune gouttelette ne doit mesurer plus de 48 µm. Cette dernière restriction constitue une mesure de précaution visant à éviter les dommages à la peinture des automobiles.

Les différents générateurs d'aérosol utilisés pour les traitements terrestres des moustiques sont présentés au tableau 2.2. Selon les manufacturiers, tous ces équipements rencontrent ou surpassent les exigences de l'étiquette, donc possèdent un DVM inférieur à 17 µm. Aucune étude récente n'a été réalisée en tunnel aérodynamique pour caractériser le diamètre des gouttelettes en raison de la dimension des équipements utilisés. Quelques études sur le terrain mettant à profit les systèmes de lamelles à impaction ou d'un dispositif de type « AIMS hot wire » ont toutefois été effectuées. Les résultats de ces études sont présentés au tableau 2.2. Généralement, une lamelle recouverte de téflon est agitée manuellement devant la sortie des buses pour calibrer l'équipement et s'assurer que le DVM est inférieur à 17 µm.

Tableau 2.2 Spécifications des brumisateurs au sol

Manufacturiers	Équipement	Débit max. (L/min)	Puissance (hp)	Étiquette ¹	Essai terrain DVM (µm)	Notes	
London Foggers, Inc. www.londonfoggers.com	18-20	0,59	18	1	16-18		
	XKE	0,53	8				
Phoenix Fogger www.phoenixfogger.com	500LD	0,59	5,5	2			
	800MD	1,0	8				
	1800HD	1,0	18				
Curtis Dyna-Fog www.dynafog.com	Typhoon I		9	3	15-17		
	Typhoon II	0,53	11				
	Typhoon IIP		9, 11				
	Maxi-Pro 1-45	0,6	18				
	Maxi-Pro 4	0,6	18				
	Maxi-Pro 4P						4 buses d'éjection
	Maxi-Pro 2P	1,18	18				
	Maxi-Pro 2D	3,8	18				À grand débit gouttes de 40 µm
	Maxi-Pro 1800	0,6	18				
Clarke Mosquito Control www.cmosquito.com	Cougar	0,53	8	4	14-16		
	Fox	0,18 siphon	8				
	Grizzly	0,53	18				

¹ Note : 1 Produit la bonne dimension de particules et respecte les exigences de l'étiquette de tous les insecticides lorsque la vitesse du véhicule demeure inférieure à 32 km/h.

2 Respecte ou excède les exigences de l'étiquette des différents produits UBV, incluant le malathion.

3 90 % des gouttelettes inférieures à 20 microns.

4 Respecte toutes les exigences des étiquettes pour l'application terrestre des produits UBV incluant le malathion.

À la lumière des données de littérature, certaines conclusions peuvent être tirées :

1. Un diamètre de gouttelettes contenant une dose équivalente à la DL_{100} est préférable pour les applications aériennes. Pour le malathion, le diamètre maximal approprié est de 25 μm .
2. Le fait de réduire le DVM à près de 25 μm lors des opérations aériennes permet de réduire significativement les dépôts au sol et d'augmenter le taux de mortalité chez les moustiques sur de plus grandes distances.
3. La réduction d'une forte population de moustiques est rendue possible à l'aide de la pulvérisation de fines gouttelettes (DVM de 20 à 25 microns) à condition que la position de l'avion et les tracés de bandes de traitement tiennent compte des données météorologiques locales lors de l'application.

Un dépôt important d'adulticide au sol contribue à la perte d'efficacité en plus de représenter des risques potentiels pour la santé humaine et l'environnement. Mickle (2004) a réalisé une revue des études terrains existantes afin d'estimer les dépôts potentiels qui pourraient être générés par les équipements d'applications aériennes et terrestres d'adulticides dans un contexte opérationnel. Aucune étude ne permet cependant de comparer directement les dépôts générés par ces deux techniques dans le contexte de l'utilisation des équipements d'application optimisés les plus efficaces. Les seules données de comparaison disponibles ont été obtenues en intégrant les données d'essais en tunnel aérodynamique et certains paramètres opérationnels dans les modélisations réalisées à l'aide du modèle de dispersion AGDISP.

Les modélisations initiales effectuées indiquent que :

1. La position des dépôts maximaux peut être prédite avec une assez bonne précision lorsque les données utilisées comme intrants reflètent bien les conditions opérationnelles d'application. Toutefois, des validations sur le terrain des données modélisées doivent être poursuivies.
2. Les dépôts maximaux générés lors d'applications terrestres peuvent excéder ceux produits lors des applications aériennes, et ce, même si le taux d'application pour cette dernière technique est quatre fois plus élevé. Aucune étude sur le terrain n'a directement comparé les dépôts d'applications aériennes (DVM < 30 μm) avec ceux d'applications terrestres. Des études sur le terrain visant à documenter ces différences doivent être complétées.
3. Les applications aériennes peuvent être optimisées de façon à diminuer l'utilisation de pesticides et réduire la contamination environnementale. Des contacts étroits devraient être maintenus avec l'*American Mosquito Control Association* afin d'évaluer les avancées technologiques dans ce domaine.

4. Des études sur le terrain sont nécessaires pour documenter la précision de AGDISP à prédire les dépôts de pesticides lors de l'utilisation des nouvelles techniques optimisées d'application de pesticides développées pour le contrôle des moustiques adultes.

2.2 OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

L'objectif principal de la présente étude consiste à évaluer l'efficacité d'AGDISP à prédire les dépôts terrestres et les concentrations dans l'air de pesticides lors de programme d'application en mode UBV terrestre et aérien. Les objectifs spécifiques sont :

1. Obtenir des données empiriques précises dans des conditions opérationnelles réelles afin de pouvoir comparer les dépôts et la dérive générés lors d'applications terrestres et aériennes de Fyfanon® en mode UBV.
2. Comparer ces données empiriques avec les prédictions d'AGDISP.

Lors de la préparation du projet de recherche, il avait été convenu d'utiliser des techniques d'application permettant l'optimisation des traitements avec des adulticides. Comme l'expertise nécessaire en matière d'application d'adulticides en mode UBV n'était pas disponible au Québec, les travaux ont été réalisés avec l'aide d'équipes américaines qui sont à l'avant-garde des développements technologiques et opérationnels pour ce type de travaux.

Le fait que l'application de pesticide sur de grandes étendues dans un contexte expérimental (les applications aériennes ont été réalisées sur une surface de plus de 35 km²) aurait pu susciter une opposition de la part de certaines personnes ou certains groupes dans la population québécoise qui sont réfractaires à l'utilisation de pesticide, a aussi joué en faveur du choix de l'emplacement des travaux. Par ailleurs, en raison du contexte réglementaire québécois en matière de pesticide, il aurait été difficile de réaliser ces travaux au Québec dans des délais raisonnables. De plus, il aurait été impensable de réaliser une étude d'une telle ampleur et d'une aussi grande qualité, en raison des coûts importants de réalisation, sans la collaboration des professionnels de la Floride.

Le but de l'étude étant de valider le modèle de dispersion AGDISP pour des applications UBV d'adulticides, le fait de réaliser les travaux en Floride au mois d'octobre n'affectait en rien l'utilité des données dans un contexte québécois. En effet, les conditions météorologiques rencontrées lors des essais sur le terrain peuvent fort bien être rencontrées au Québec durant les mois d'août et de septembre. L'important, dans le contexte de l'étude, était de prendre tous les moyens pour s'assurer que les intrants utilisés pour la modélisation correspondaient réellement aux conditions opérationnelles rencontrées lors des essais sur le terrain. À ce titre, les collaborateurs américains et du Nouveau-Brunswick possédaient des équipements de haute technologie nous permettant d'atteindre ces objectifs. Dans le cas où le modèle donne des résultats similaires aux données empiriques mesurées, il est justifié de conclure à l'efficacité du modèle et pour toutes autres conditions potentielles, il suffit de changer les intrants pour obtenir des données de résidus environnementaux très près de la réalité.

Il faut bien comprendre qu'il est impossible de vérifier expérimentalement toutes les conditions potentielles d'applications d'adulticides, ce n'était par ailleurs pas le but de l'étude. Par contre, le fait de démontrer la validité du modèle sous certaines conditions très bien caractérisées assure un assez bon niveau de confiance en l'outil pour des évaluations subséquentes pour d'autres produits ou conditions d'application. Cet état de fait a par ailleurs été démontré dans le contexte des utilisations agricoles d'AGDISP.

Il va de soi que les applications d'adulticides dans un contexte épidémique devraient se faire principalement dans un milieu urbain et que dans ce contexte, la présence d'édifices peut affecter le transport aérien et les dépôts de pesticides. Comme il était pratiquement impossible de reproduire expérimentalement ces conditions, des vérifications ont été faites de façon à s'assurer que les conditions expérimentales pouvaient être représentatives d'un scénario du pire cas réaliste dans une ville comme Montréal. Dans les faits, il est effectivement possible d'observer des couloirs de transport de pesticides correspondant à la distance des lignes d'échantillonnage utilisées lors de l'étude. Ces couloirs correspondent à plusieurs grandes artères de circulation automobile traversant des quartiers habités de la ville. Il est donc logique de considérer que si les applications sont faites perpendiculairement à celles-ci, les adulticides pourront voyager sur des distances équivalentes à celles mesurées lors des essais sur le terrain et que les dépôts seront théoriquement similaires. Dans le contexte des applications terrestres, le site d'échantillonnage retenu peut avantageusement se comparer à un grand parc public présentant de grands espaces à découvert. Dans un contexte d'analyse de risque, il apparaît préférable de fournir des efforts pour obtenir des données relatives à la pire situation probable lorsqu'il est impossible de documenter l'ensemble des scénarios, qui par ailleurs sont difficiles à prévoir à l'avance.

Par conséquent, le choix de réaliser les travaux de validation en Floride offrait un cadre de travail regroupant les avantages d'une collaboration avec des organisations ayant un grand niveau d'expertise, des équipements à la fine pointe de la technologie et des installations terrain qu'il aurait été difficile de trouver au Québec. Tous ces avantages pouvaient être additionnés à des économies de coûts importantes et à la présence d'un cadre réglementaire et d'un niveau d'acceptabilité sociale plus souple face à l'utilisation des pesticides.

3 MATÉRIEL ET MÉTHODE

3.1 ESSAIS TERRAIN

Avec l'assistance du *Pasco County Mosquito Control District* (PCMCD) et du *Manatee Mosquito Control District* (MMCD), une série d'essais sur le terrain a été réalisée en Floride entre le 4 et le 15 octobre 2004 afin de comparer les dépôts au sol lors d'applications aériennes et terrestres de *Fyfanon*[®] en mode UBV (malathion pur à 96,5 %). Les équipements d'application, fournis par le PCMCD, étaient des atomiseurs qui génèrent des gouttelettes d'un diamètre qui assure l'optimisation du contrôle des moustiques adultes.

3.2 ÉQUIPEMENTS D'APPLICATION

3.2.1 Équipement terrestre

Les applications terrestres ont été réalisées avec un brumisateuseur Clarke Grizzly (figure 3.1) monté à 1,85 m au-dessus du sol et à angle de 45 degrés. Le *Fyfanon*[®] UBV était injecté dans la buse à une pression de 6 psi et dispersé à l'aide d'un pulvérisateur Roots. L'équipement était muni d'un système de contrôle qui permettait de maintenir le débit (figure 3.2) à 0,127 L/min pour une vitesse de 16 km/h. Par ailleurs, le débit était automatiquement ajusté lorsque la vitesse du véhicule variait. Tel que précisé par l'étiquette, au taux d'application recommandé de 60,8 g i.a. malathion/ha, ce débit permet d'appliquer suffisamment de pesticide pour une bande équivalente de 93,3 m. En utilisant une technique qui consiste à agiter manuellement une lamelle à impaction à la sortie des buses (waved-slide technique), les résultats indiquent une distribution de gouttelettes ayant un DVM approximatif de 11 µm.



Figure 3.1 Équipement d'application terrestre avec gros plan de la buse Clarke Grizzly



Figure 3.2 Réservoir de pesticides et contrôleur de débit lié à l'indicateur de vitesse de façon à ajuster le débit en fonction de la vitesse du véhicule

3.2.2 Équipement aérien

L'avion Piper Aztec du PCMCD (figure 3.3) était équipé de 6 buses PJ20 montées au bout de l'aile tribord. Le débit des buses installées sur la rampe d'application était ajusté à un débit de 8,18 L/min alors que la pression était maintenue à 1 520 psi. Des essais en tunnel aérodynamique (Jonathan Hornby, Lee County Mosquito Control, communication personnelle) sur les 6 buses PJ20 utilisées sur l'avion Aztec pour l'application de Fyfanon® indiquent que celles-ci produisent un nuage de gouttelettes avec des DVM ($D_{v0.5}$) approximatifs de 32 μm (tableau 3.1). Lorsqu'on compare les résultats de tests d'efficacité des buses obtenus avec des pulvérisations d'huile (tableau 2.2) avec ceux générés avec le Fyfanon®, on constate que les DVM sont beaucoup plus importants avec l'utilisation de l'adulticide.

Pour une vitesse de 240 km/h, une bande de traitement de seulement 93,3 m (semblable à l'application terrestre) peut être traitée si on respecte le taux d'application de l'étiquette de 260 g i.a. malathion/ha (c.-à-d. 4 fois le taux d'application). La hauteur de vol a été maintenue à 60 m au-dessus du niveau du sol.



Figure 3.3 Avion Aztec du PCMCD avec buses montées sur l'aile de tribord et gros plan des 6 buses PJ20 HP

Tableau 3.1 Résultats des tests en tunnel aérodynamique réalisés avec les 6 buses PJ20 utilisées sur l'avion Aztec

N° buse	Diamètre des gouttelettes pour différents % de volume émis (μm)		
	$D_{v0.1}$ (μm)	$D_{v0.5}$ (μm)	$D_{v0.9}$ (μm)
1	15	32	85
2	16	32	79
3	15	32	80
4	16	33	88
5	16	34	93
6	15	32	84

Note : Le diamètre des gouttelettes (μm) correspondant à 10 %, 50 % et 90 % du volume émis est présenté.

Source : Jonathan Hornby (Lee County Mosquito Control), communication personnelle.

3.3 SITES DES ESSAIS SUR LE TERRAIN

3.3.1 Site des applications terrestres

Les essais terrestres ont été effectués sur une ferme vacante de culture de gazon dans le comté de Manatee en Floride (figure 3.4). Ce site offrait une surface gazonnée d'une longueur de plus de 500 m et a été choisi pour les vents prédominants en direction de l'est qu'on y observait en début de soirée (figure 3.5). Les échantillonneurs terrestres ont été placés à des intervalles de 10 m de la ligne d'application (route de gravier) sur une distance de 500 m dans le sens du vent. À toutes les deux stations d'échantillonnage, un système rotatif de lames à impaction d'une largeur de 3 mm, monté sur une tige de 1,4 m, a été placé à proximité de l'échantillonneur terrestre afin de mesurer la densité et le diamètre des gouttelettes dans le nuage de pesticides à la dérive. Le premier échantillonneur a été placé à 10 m de la ligne d'application dans le sens du vent. Une tour météorologique de 3 m a été placée sur le côté de cette ligne afin de recueillir les données météorologiques spécifiques à chaque essai.

Chaque essai consistait en un passage unique sur la ligne d'application d'une longueur de 700 m. Tout au long du trajet, la vitesse du camion était maintenue à 15 km/h. En cas de variation de la vitesse, le débit était ajusté automatiquement. La collecte des échantillons commençait entre 20 et 30 minutes après la fin de l'application, ce qui laissait amplement le temps au nuage de gouttelettes pour dépasser l'emplacement du dernier échantillonneur.



Figure 3.4 Vue aérienne de la ferme de culture de gazon où ont été réalisés les essais terrestres. Le tracé pointillé indique la ligne d'échantillonnage.



Figure 3.5 Vue en ligne droite de la zone d'échantillonnage à contre vent et en aval du sens du vent près de la route de gravier

3.3.2 Site des applications aériennes

Les essais aériens ont été réalisés dans une région rurale du comté de Manatee, située au sud-est de la ferme de gazon où se sont déroulés les essais terrestres (figure 3.6). Des routes locales pavées et permettant un accès facile ont été utilisées pour établir plusieurs lignes d'échantillonnage afin de pouvoir travailler sous différentes directions de vent. Les échantillonneurs au sol ont été placés à des intervalles de 100 m sur un côté de la route (figures 3.7 et 3.8) jusqu'à une distance de 5 000 m de la ligne de vol. Une très faible circulation automobile a été observée sur le site au cours de l'étude. Par ailleurs, la végétation située au pourtour des échantillonneurs a été coupée afin d'éliminer la perte de dépôt sur les échantillonneurs. La caractérisation du nuage de pesticides a été effectuée à des intervalles de 200 m à partir de la ligne de vol, et ce, à l'aide d'un système rotatif de lames à impaction.

À chaque essai, l'avion effectuait 4 passages dans des directions opposées sur la même ligne de vol de 10 km. Cette distance fut déterminée de façon à assurer un dépôt représentatif et optimal sur toute la longueur de la ligne d'échantillonnage, et ce, même en considérant des modifications potentielles de la direction du vent en cours d'essai. Ce scénario de « passages multiples » fut retenu afin d'éliminer les variations qui auraient pu être observées au niveau du comportement du vortex en raison de la position des buses sur un seul côté de l'avion. Par ailleurs, cette stratégie permettait des dépôts additionnels sur la ligne d'échantillonnage de 5 km et de ce fait, assurait une sensibilité analytique suffisante. Les échantillons ont été récoltés entre 45 et 60 minutes après l'application selon la vitesse du vent qui prévalait lors des essais.

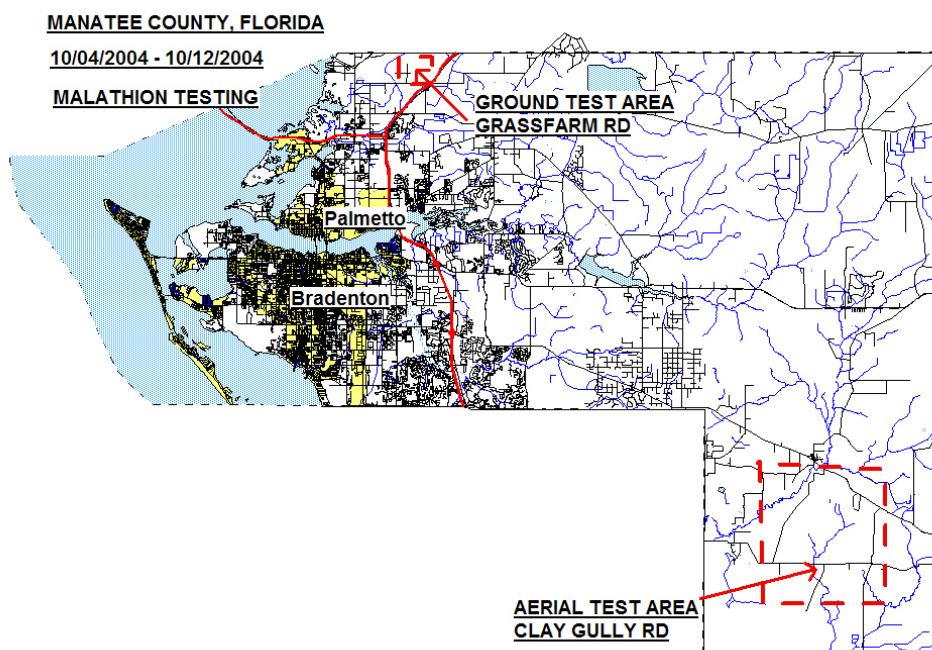


Figure 3.6 Localisation du site expérimental de Manatee County, Floride

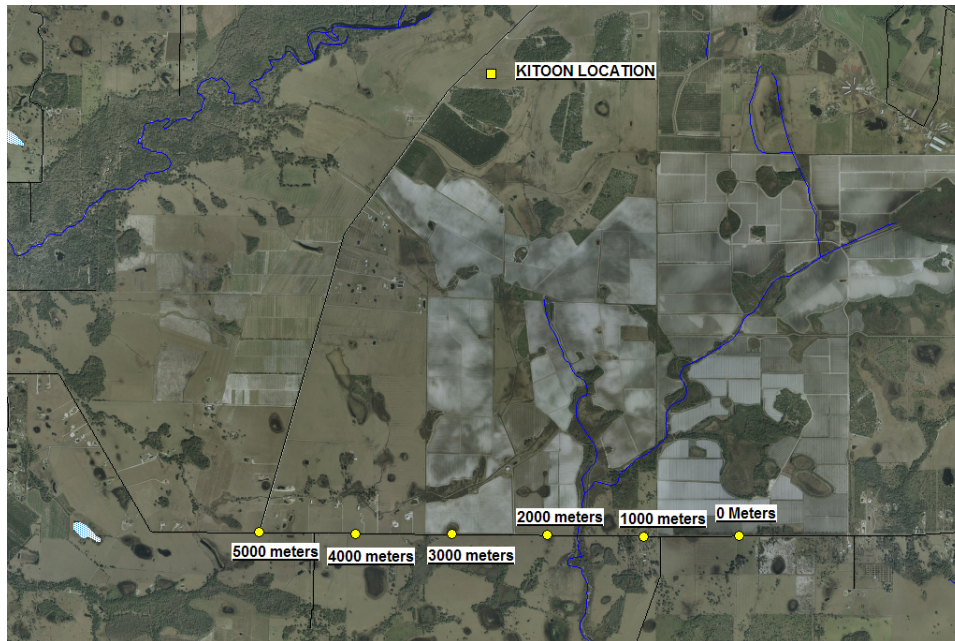


Figure 3.7 Photo aérienne du site d'échantillonnage planifié en prévision d'un vent d'est. La position du Kitoon est aussi indiquée.



Figure 3.8 Vue aérienne du site d'échantillonnage de 5 000 m (vue en direction est)

Lors des essais aériens, des données météorologiques ont été recueillies à l'aide de différents dispositifs. Les données au sol ont été obtenues à l'aide d'une tour alors que celles à hauteur de vol ont été générées à l'aide d'équipements montés sur un ballon dirigeable (Kitoon). Pour ce qui est des données au-dessus de la hauteur d'application, elles ont été recueillies à l'aide du système AIMMS-20 (figure 3.9) monté sur un second avion. Ces derniers équipements de haute technologie ont été fournis par le *Forest Protection Limited* de Fredericton au Nouveau-Brunswick. Une évaluation récente du AIMMS-20 (Mickle, 2005) indique qu'une précision de 2 km/h et de 5 degrés pouvait être attendue pour la vitesse et la direction du vent respectivement.

Des données de température, d'humidité relative, de direction et de vitesse du vent ont été obtenues pour chaque essai.



Figure 3.9 Équipements météorologiques pour les essais aériens incluant une tour au sol, un ballon dirigeable équipé d'une station météo (Kitoon) et un système météo monté sur un avion (AIMMS-20)

3.4 PROCÉDURE D'ÉCHANTILLONNAGE ET PROTOCOLES ANALYTIQUES

3.4.1 Évaluation des dépôts de résidus de malathion au niveau du sol

Choix du matériel d'échantillonnage

Afin de connaître les valeurs de dépôt optimales dans un environnement réel, les concentrations de malathion ont été mesurées sur des pièces réceptrices inertes (filtres de fibre de verre). L'utilisation de ces filtres permet de faire une évaluation optimisée des dépôts dans des conditions opérationnelles réelles, car ce médium ne possède aucune caractéristique favorisant la dégradation du produit. Des essais réalisés par le Centre de toxicologie de l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) et la Société de protection des forêts contre les insectes et maladies (SOPFIM) à Murdochville, à l'été 2003, ont démontré que le malathion pouvait être très instable selon le pH du sol, ce qui pourrait expliquer la grande variabilité observée dans les données de la littérature scientifique en matière de persistance du malathion dans cette matrice. Lors de ces essais, il a fallu reconstruire les concentrations de malathion dans le sol à partir de l'analyse de tous les métabolites de l'insecticide, ce qui peut représenter des coûts importants sur un grand nombre d'échantillons. Pour ces raisons, le recours à un substrat inerte seulement est justifié.

Plusieurs chercheurs ont utilisé des filtres ou tout simplement du papier pour évaluer les dépôts résiduels de pesticide (Dukes *et al.*, 2004; Knepper *et al.*, 2003; Hester *et al.*, 2001; Tietze *et al.*, 1996 et 1994; Moore *et al.*, 1993; CDFA, 1991). Cette technique est aussi utilisée pour l'évaluation de dépôts lors d'études sur l'exposition cutanée (Samuel *et al.*, 1996; Marty *et al.*, 1994; Brouwer *et al.*, 1992; Fenske, 1989; Turnbull, 1985). La plupart des auteurs notent l'importance du respect de certaines caractéristiques du médium qui devrait être utilisé. Celui-ci devrait posséder des propriétés absorbantes pour retenir le produit déposé en plus d'être suffisamment inerte pour ne pas favoriser la dégradation du pesticide. Par ailleurs, il faut être en mesure d'extraire facilement le pesticide sans que le filtre ou le papier utilisé ne se brise de façon importante. Certains auteurs ont utilisé des filtres d'alpha cellulose, des filtres de fibre de verre ou tout simplement des pièces de papier essuie-tout. À l'été 2003, des filtres de fibre de verre ont été utilisés avec succès pour mesurer des dépôts de malathion dans le cadre d'un projet réalisé à Murdochville. Des essais de stabilité réalisés par le laboratoire de toxicologie de l'INSPQ ont démontré que le malathion était légèrement plus stable sur des filtres de fibre de verre que sur ceux d'alpha cellulose. Cependant, les filtres de fibre de verre sont plus fragiles et doivent être manipulés avec délicatesse.

3.4.2 Protocole d'échantillonnage

Le protocole suivant a été scrupuleusement suivi pour les essais terrestres et aériens :

1. Des filtres de fibre de verre d'un diamètre de 9 cm déposés sur des supports permettant d'effectuer les prélèvements directement au niveau du sol ont été utilisés. Les filtres ont été fixés à l'aide de 2 trombones sur une pièce en métal circulaire d'un diamètre approximatif de 10 cm préalablement numéroté (couvercle de boîte de

jonction électrique). Lors des tests, les échantillonneurs étaient déposés sur une feuille de papier rigide de 15 X 15 cm dont l'endos était recouvert d'un fini métallisé. Cette dernière était déposée directement sur le sol et changée à chaque nouvel échantillonnage afin de ne pas contaminer le filtre et son support. La figure 3.10 illustre le dispositif utilisé. Des filtres témoins ont été placés à différents endroits sélectionnés où ils furent recueillis avant l'application dans le but d'évaluer une éventuelle contamination avec du malathion lors de la manipulation.

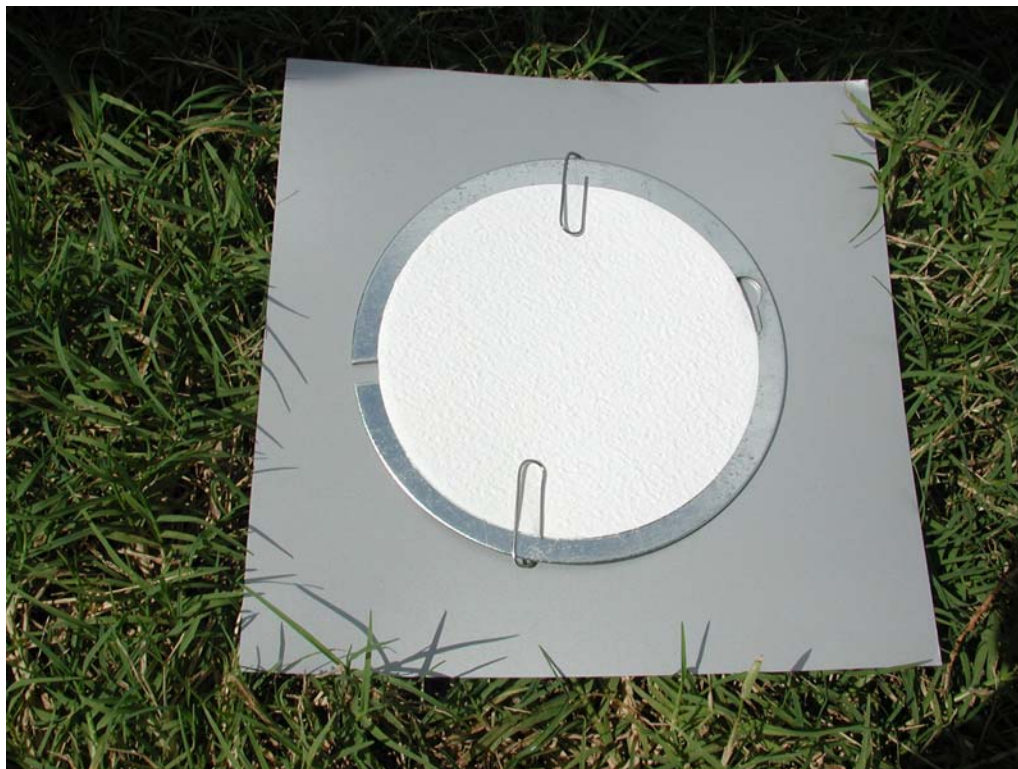


Figure 3.10 Échantillonneur utilisé pour les dépôts au sol

2. Après la fin des applications, le délai nécessaire pour que le nuage de pesticides traverse le terrain expérimental fut estimé sur la base de la direction et la vitesse du vent au sol. À l'expiration de ce délai, les filtres et leurs supports ont été prélevés immédiatement et déposés dans un plat de pétri (150 X 15 mm) identifié au même numéro que l'échantillonneur. Les filtres ont été recueillis à l'aide d'une pince à bec allongé et très fin. L'outil entraînait en contact uniquement avec le rebord du support de métal afin de ne pas contaminer le filtre. Enfin, les échantillonneurs ont été rangés rapidement dans un contenant assurant une température optimale de conservation et l'absence de lumière.

3. Comme l'échantillonnage devait se faire très rapidement sur le terrain, les filtres ont été transférés dans des tubes de verre prélavés de 22 ml (Supelco cat. 27343) uniquement après la fin de la séance d'échantillonnage. Pour ce faire, les trombones étaient enlevés à l'aide de micro-pinces et le filtre était replié en deux en s'assurant que seule la partie non exposée touche à la surface de travail. Lors de cette étape, les pinces entraient en contact uniquement avec une infime portion des rebords du filtre. Une fois replié, le filtre était enroulé sur toute sa longueur et déposé dans la bouteille de verre préalablement étiquetée au même numéro que l'échantillon. Au cours de toute l'opération de transfert, la surface exposée du filtre n'était jamais touchée et la partie non exposée était toujours manipulée avec des gants de latex. Par ailleurs, la personne en charge de ces manipulations devait toujours porter des gants et nettoyer les pinces avec un solvant à chaque changement de filtre.
4. Bien qu'une étude de stabilité par ajouts du pesticide sur des pièces de vêtements et des gants en coton indique que le malathion devrait être stable pour au moins quelques mois si les échantillons sont gardés à la noirceur à 4 °C, ce qui laisse supposer une stabilité au moins similaire sur les filtres (Castro Cano *et al.*, 2001), le laboratoire du Centre de toxicologie de l'INSPQ a effectué des tests de persistance afin de vérifier différents paramètres qui pourraient affecter la stabilité des échantillons. Les résultats de ces tests ont servi à finaliser la stratégie de conservation et de transport des échantillons. Le protocole et les résultats des essais de stabilité sont présentés à l'annexe 1. Par ailleurs, lors des essais sur le terrain, des ajouts de malathion marqué avec du deutérium et du malathion d'une grande pureté ont été faits sur quelques filtres afin de s'assurer de l'absence de dégradation lors de l'entreposage et du transport.
5. Les filtres ont été conservés dans des conditions optimales jusqu'à leur arrivée au laboratoire. Au cours du séjour en Floride, les échantillons ont été gardés à -20 °C dans un congélateur. Lors du transport entre la Floride et le Québec, les échantillons ont été gardés dans le même congélateur dans lequel une quantité appréciable de contenants de plastique hermétiques renfermant de la glace a été ajoutée. Tout au long du trajet, le contenu en réfrigérant a été assuré et vérifié.
6. Une fois arrivés au laboratoire de toxicologie, les filtres ont été lavés selon une procédure d'extraction reconnue et validée à l'été 2003. Finalement, les extraits ont été analysés selon la méthode E-437 développée au même laboratoire (annexe 2).
7. Les résultats des extraits ont été divisés par la surface de l'échantillon (63,6 cm²) afin de connaître la concentration pour un cm², puis exprimés en g/ha (en considérant qu'il y a 10 000 m² dans un hectare) de façon à pouvoir être comparés sur la base des taux d'application.

3.4.3 Échantillonneurs du nuage de gouttelettes

Un système rotatif de tiges à impaction de 3 mm, monté sur une tige de 1,5 m équivalant à une hauteur moyenne de la zone respiratoire enfant-adulte (figure 3.11), a été placé en alternance à proximité de certains échantillonneurs au sol afin de mesurer la densité et le diamètre des gouttelettes dans le nuage de pesticides circulant dans l'air. La tige de 3 mm était fixée à une distance de 8,9 cm de l'axe de rotation et tournait à une vitesse constante de 640 tours par minute. Un ruban de téflon appliqué sur la surface principale de la tige rotative permettait d'obtenir une surface stable facilitant l'adhésion des gouttelettes en mouvement. Des études préalables menées en Floride ont démontré qu'il était possible d'observer un brouillard de gouttelettes en bruit de fond et que celles-ci possédaient un diamètre souvent identique à celles produites lors des applications d'adulticides. C'est pour cette raison qu'un marqueur fluorescent (150 g Uvitex OB) fut dissous dans 3 L de toluène et ajouté au 113 L de Fyfanon[®] contenus dans le réservoir. Des tests préliminaires ont été réalisés par le laboratoire du Centre de toxicologie de l'INSPQ pour déterminer la quantité optimale de marqueur à utiliser afin de s'assurer de l'absence d'interférence lors des analyses de malathion.



Figure 3.11 Station d'échantillonnage composée d'un système rotatif à lames d'impaction et d'un échantillonneur de dépôt au sol

La lecture en balayage des gouttelettes ayant adhéré aux tiges a été effectuée sous lumière ultraviolette à l'aide d'un microscope afin de distinguer les petites gouttes produites lors des applications de celles qui génèrent le bruit de fond. Le diamètre des gouttelettes et la superficie balayée ont été documentés dans le but de déterminer les variations observées du diamètre et de la densité des gouttelettes tout au long du tracé d'échantillonnage. Le compte des gouttelettes sur les tiges a été corrigé en fonction de l'efficacité de captage selon la méthode de May et Clifford (1966) avec des rubans. Lors de l'utilisation d'une tige de 3 mm en rotation à 640 tours par minute, l'efficacité de captage varie de 10 % pour des gouttelettes de moins de 6 μm à plus de 80 % pour des gouttelettes dont le diamètre est supérieur à 25 μm (figure 3.12).

Le DVM et la densité des gouttelettes de chaque échantillon ont été calculés à l'aide du logiciel « Slide Analysis », développé par REMSpC Consulting.

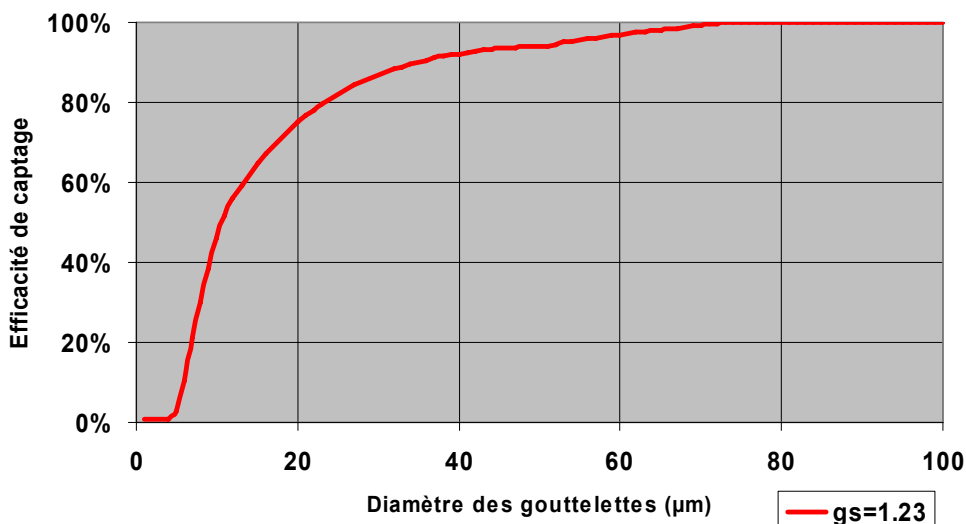


Figure 3.12 Efficacité de captage des tiges d'une largeur de 3 mm utilisées lors des essais sur le terrain (gravité spécifique = 1,23)

3.5 MODÈLE DE PRÉDICTION AGDISP

AGDISP est un modèle mathématique développé par le Service forestier du *United States Department of Agriculture* (USDA) et est reconnu par la communauté scientifique et les autorités de réglementation comme un des meilleurs modèles de simulation de la dispersion d'un nuage de gouttelettes pour les applications aériennes de pesticides. Au début des années 90, les modélisations réalisées avec AGDISP furent abondamment comparées aux données générées lors d'essais opérationnels sur le terrain menés par le *Spray Drift Task Force* (SDTF). Principalement testé dans le cadre d'applications agricoles de pesticides, le modèle utilise entre autres certains paramètres opérationnels comme la hauteur d'application, la distribution de la grosseur des gouttelettes et les conditions météorologiques pour calculer le déplacement des gouttelettes à partir de l'avion jusqu'à leur dépôt au sol. Quoique le modèle puisse potentiellement être utilisé pour des modélisations relatives à des hauteurs d'application élevées et à de très petits diamètres de gouttelettes, aucune donnée détaillée n'est cependant disponible pour évaluer l'efficacité du modèle sous ces conditions extrêmes.

Dans le cadre du présent projet, la version 8.13 du logiciel AGDISP est l'outil de simulation qui fut utilisé pour déterminer les concentrations dans l'air et les dépôts au sol à la suite de simulation de pulvérisations aériennes et terrestres. Depuis la première version du logiciel développé par la NASA durant les années 1980 (Bilanin et Teske, 1984), des progrès significatifs ont été apportés par les experts de l'USDA. Plusieurs paramètres affectant la dispersion d'un nuage d'insecticide peuvent maintenant être intégrés dans ce logiciel, tels que le vortex selon le type d'aéronef, l'évaporation, les caractéristiques physiques des gouttelettes émises, etc. Par ailleurs, les algorithmes qu'utilise la technologie AGDISP sont intégrés dans plusieurs programmes utilisés par les agences de réglementation telles que *AgDrift* (Canada, USA) et *Spray Safe Manager* (Nouvelle-Zélande), ce qui en fait un logiciel de choix dans le cadre des modélisations pour le présent projet.

La version publique d'AGDISP permet habituellement de faire des calculs sur une distance de 1 500 m seulement, soit une distance beaucoup plus petite que celle qui fut échantillonnée dans le cadre de l'étude terrain. Pour la présente étude, le *REMSPC Consulting* a cependant obtenu une version spéciale permettant d'effectuer des estimations jusqu'à 5 km.

Un module terrestre a par ailleurs été ajouté à la version 8.13 d'AGDISP utilisée pour ce rapport. Le modèle terrestre a spécialement été développé pour des applications agricoles sur des cultures en rangée pour lesquelles les buses sont orientées vers le bas en direction des cultures et dont l'effet de déplacement de l'air favorise le cheminement des très petites gouttelettes dans le couvert de végétation. Pour les simulations terrestres avec des adjuvants réalisées dans le cadre du présent projet, la pression à la sortie des buses fut réduite de façon à inactiver le paramètre de déplacement de l'air.

4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 CONSERVATION ET CONTAMINATION DES ÉCHANTILLONS

L'analyse des échantillons contenant du malathion deutéré n'a pas démontré de dégradation lors du transport entre les sites expérimentaux et le laboratoire. Pour les deux tests effectués, le recouvrement fut de $100 \pm 2\%$. Par ailleurs, l'analyse des échantillons témoins pour chacun des essais n'a démontré aucune contamination préalable des échantillons avec du malathion.

4.2 RÉSULTATS DES ESSAIS SUR LE TERRAIN

Les détails de chacun des essais individuels sont présentés aux annexes 3 et 4. Les conditions météorologiques, les dépôts mesurés ainsi que les caractéristiques des nuages de gouttelettes pour chaque essai y sont présentés sous forme de graphique.

Les essais terrestres ont été réalisés sous des conditions de vent très variées allant de moins de 6 km/h à approximativement 12 km/h. De façon générale, les niveaux de dépôt maximaux observés aux vitesses de vent les plus élevées étaient inférieurs à la valeur de 20 g/ha atteinte lorsque les conditions de vent étaient inférieures à 6 km/h. La densité des gouttelettes sur les tiges rotatives a atteint son maximum entre 50 et 150 m plus loin que l'endroit du dépôt maximal. Des valeurs maximales de densité entre 300 et 500 gouttelettes/cm² ont été mesurées. Le DVM des gouttelettes dans le nuage à la dérive était d'environ 10 µm quoiqu'une faible diminution du diamètre des gouttelettes fut observée avec l'éloignement de la ligne d'application. Le diamètre médian en fonction du nombre (DMN = 50 % des gouttelettes mesurées avec un diamètre inférieur à cette valeur) était inférieur à 4 µm, ce qui démontre que la majorité des gouttelettes mesurées étaient très petites. La caractérisation du nuage de gouttelettes à la sortie des buses Grizzly indique un DVM approximatif de 11 µm, ce qui est consistant avec les résultats obtenus à l'aide du système rotatif à lames d'impaction.

L'intégration des données de dépôt obtenues sur 500 m démontrent une fourchette de récupération de malathion située entre moins de 10 % à près de 50 % (figure 4.1) du produit appliqué par pulvérisation. Les quantités de malathion récupérées sur 500 m dans le sens du vent décroissent lorsque la vitesse du vent augmente (figure 4.2). Ordinairement, des conditions de vent très faible sont rencontrées lorsque les applications UBV sont réalisées en soirée. Dans ces conditions, les résultats des essais sur le terrain suggèrent que 30 à 50 % du nuage de gouttelettes qui circule dans le sens du vent se déposerait à l'intérieur d'une distance de 500 m.

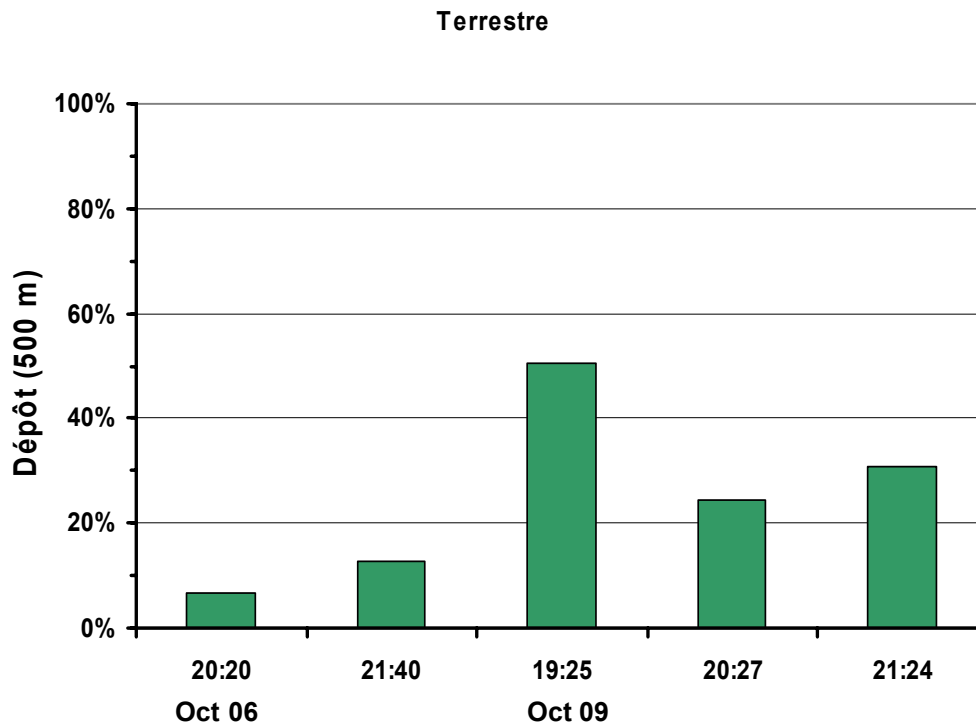


Figure 4.1 Pourcentage du malathion appliqué récupéré sous forme de dépôts au sol sur 500 m (données regroupées)

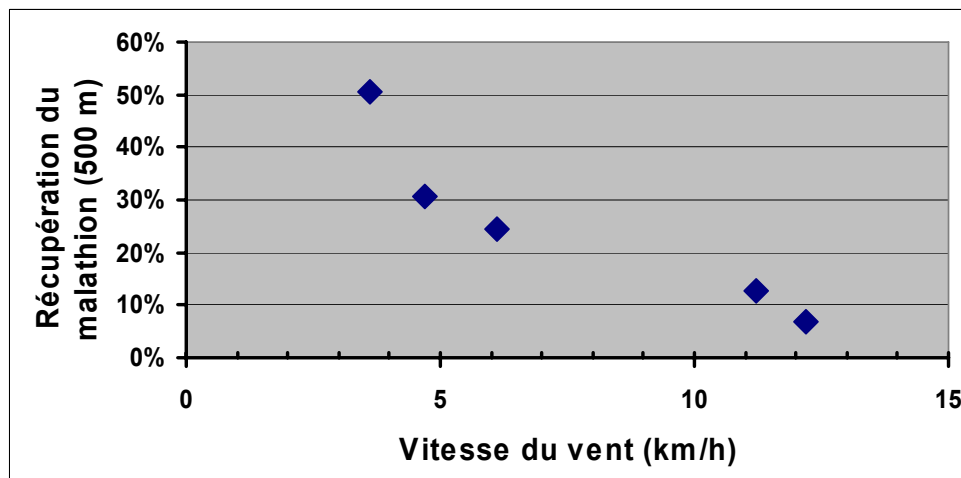


Figure 4.2 Récupération de malathion sur 500 m en fonction de la vitesse du vent

Les résultats des essais aériens sont présentés à l'annexe 4. Toutes les données ont été normalisées pour une ligne de vol unique. À hauteur d'application de 60 m, les vents étaient relativement constants avec une vitesse se situant entre 18 et 24 km/h alors que les vitesses des vents au sol étaient généralement inférieures à 4 km/h. Les profils météorologiques obtenus de la combinaison d'appareils (tour-kitoon-AIMMS-20) indiquent une forte augmentation du vent avec la hauteur lors de la période d'inversion thermique nocturne. Au-dessus de cette strate, la direction du vent est demeurée relativement constante. Les déviations de vent notées au niveau de la couche de surface étaient dues à la topographie locale qui agit sur la direction des vents légers. Les dépôts maximaux de malathion se situaient dans un écart de 6 à 20 g/ha, ce qui est comparable aux résultats pour des pulvérisations terrestres en dépit d'un taux d'application 4 fois plus élevé (260 g i.a./ha pour les applications aériennes comparativement à 60,8 g i.a./ha pour celles réalisées au sol). Les dépôts maximaux ont été mesurés entre 500 et 1 000 m de la ligne de vol dans le sens du vent. Les densités des gouttelettes sur les tiges étaient de 10 à 20 % de celles mesurées pour les applications terrestres. Généralement, la densité la plus élevée des gouttelettes a été mesurée à 1 km, dans le sens du vent, du dépôt maximal. Les gouttelettes mesurées ont produit des DVM de 10 à 15 μm alors que le DMN se situait autour de 5 μm . L'effet de séparation (winnowing effect) du diamètre des gouttelettes avec la distance était plus particulièrement observable sur quelques essais où le DVM et, à un niveau moindre, le DMN diminuaient avec la distance d'éloignement de la ligne de vol.

L'intégration des données de dépôt sur 5 km indique une récupération de 30 à 55 % du malathion pulvérisé (figure 4.3). La récupération du malathion diminue avec l'augmentation de la vitesse du vent à hauteur de vol (figure 4.4). Lorsque les données météorologiques, principalement la direction du vent, sont utilisées pour orienter la trajectoire du nuage de fines gouttelettes d'adulticide, il est préférable de tenir compte du vent à hauteur de vol de l'avion car celui-ci diffère significativement du vent de surface en terme de vitesse et probablement de direction.

La figure 4.5 résume les données de dépôts au sol (g malathion/ha) pour les cinq applications terrestres et aériennes. Le graphique présente les dépôts maximaux, minimaux et moyens pour chaque emplacement échantillonné. Pour les essais terrestres réalisés en mode UBV, le dépôt moyen le plus élevé a été mesuré à une distance approximative de 150 m du camion, dans le sens du vent. Le dépôt moyen mesuré dans les premiers 93 m est inférieur à 40 % du dépôt maximal. Puisque le nuage de gouttelettes est éjecté de la buse avec un angle de 45 degrés, et ce, à une hauteur de 1,85 m, un dépôt négligeable a été mesuré dans les 10 à 30 m en aval du camion, dans le sens du vent. Pour ce qui est des applications aériennes, le dépôt maximal de malathion a été mesuré à une distance approximative de 800 m en aval de la ligne de vol au-delà de laquelle les dépôts diminuent en suivant une courbe de type gaussienne. Des dépôts négligeables ont été mesurés dans la bande des premiers 93 m. Des différences mineures ont été observées entre les dépôts maximaux pour les deux techniques d'application en dépit d'un taux d'application quatre fois plus important lors des essais aériens. La variabilité des dépôts était significativement plus grande pour les applications terrestres que pour celles réalisées avec un aéronef.

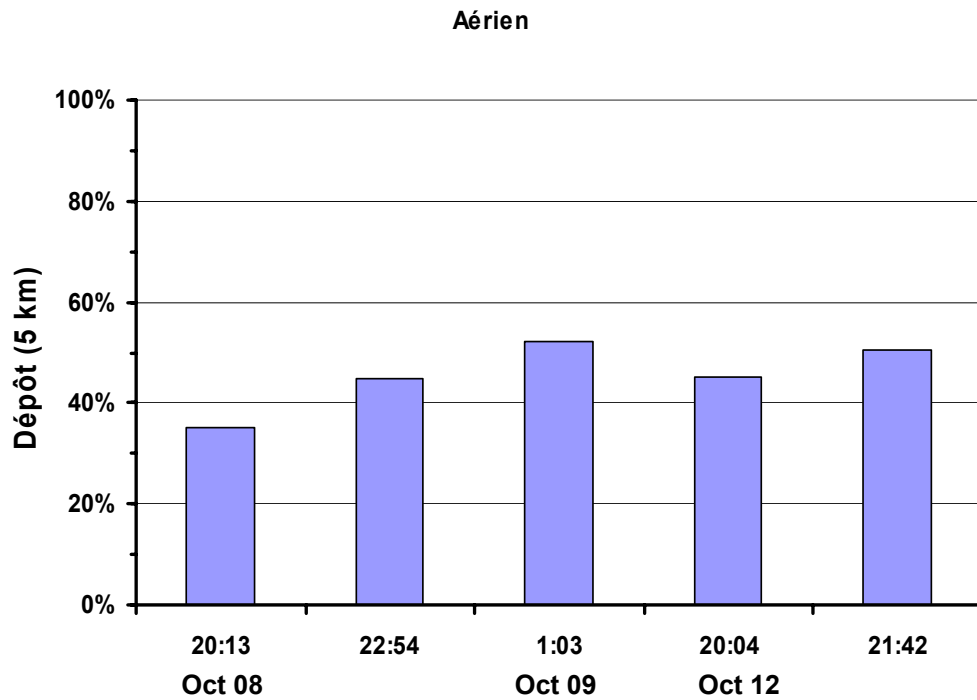


Figure 4.3 Pourcentage du malathion appliqué récupéré sous forme de dépôt au sol à 5 000 m

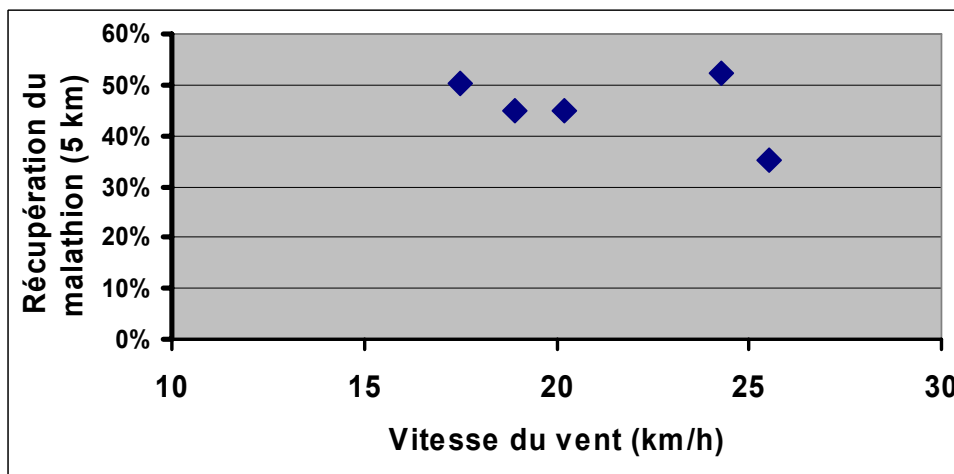


Figure 4.4 Récupération de malathion sur 5 km en fonction de la vitesse du vent à hauteur de vol (60 m)

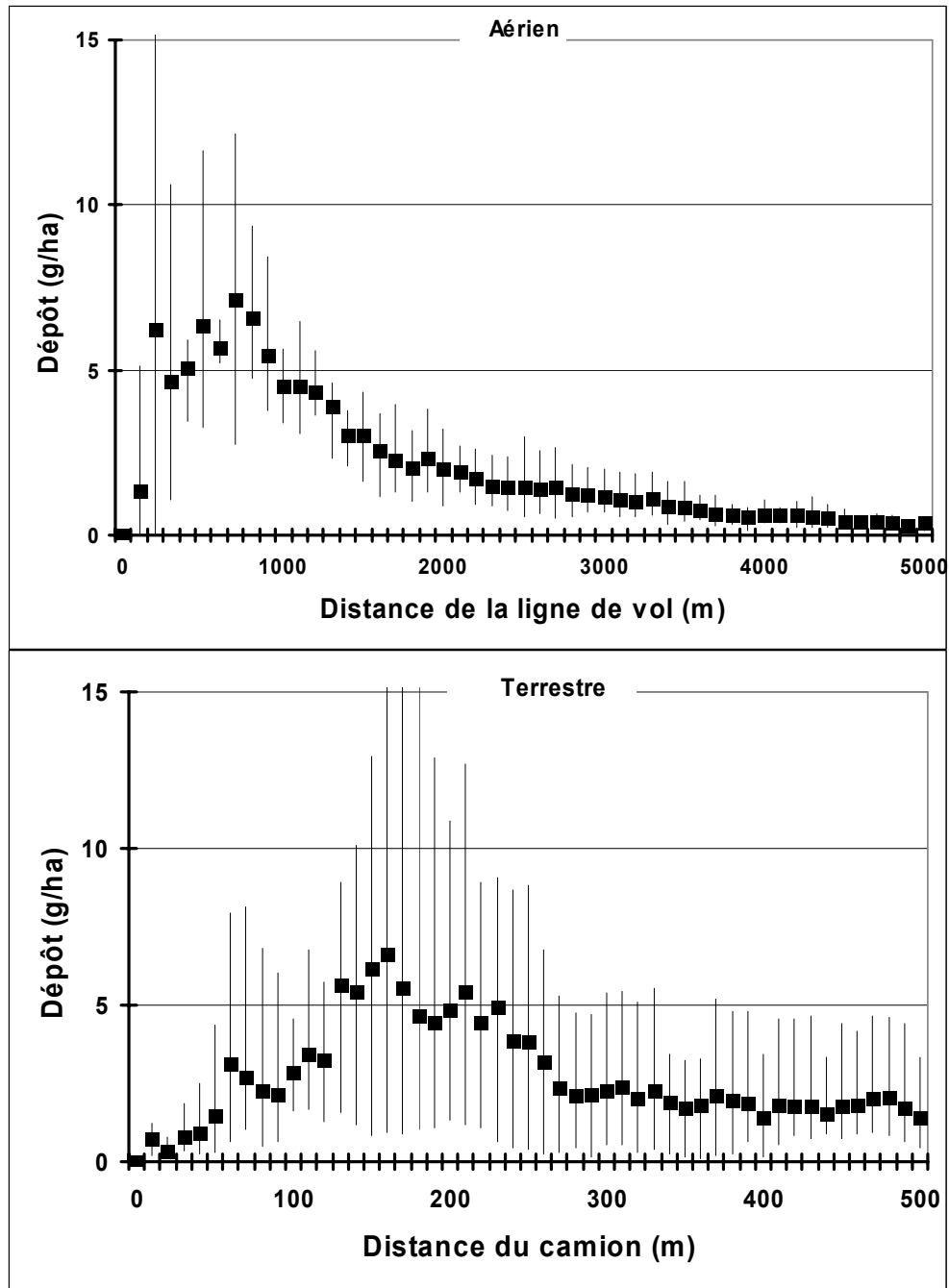


Figure 4.5 Sommaire des mesures de dépôts au sol pour les essais aériens et terrestres

Le niveau d'intensité à la source (NIS) est une mesure de la quantité de malathion relâché par unité de longueur de la ligne d'application, qui tient compte non seulement de la vitesse du véhicule mais aussi du débit. Pour les applications aériennes, le débit était limité par la capacité de la pompe à haute pression, ce qui fait qu'à 4,3 fois le taux de l'étiquette pour les pulvérisations terrestres, la bande opérationnelle de traitement était identique à celle des pulvérisations terrestres. Il en résulte un NIS aérien 4,3 fois plus élevé que celui des applications terrestres. Le fait de corriger les résultats de dépôt à l'aide du NIS élimine les différences attribuables au taux d'application de sorte que l'influence des paramètres d'application (hauteur d'application, distribution de la grosseur des gouttelettes et paramètres météorologiques) peut être évaluée (figure 4.6). Lorsqu'on observe les dépôts corrigés pour les deux stratégies d'application, on constate que dans les faits, le dépôt moyen maximal pour les applications terrestres était 3,4 fois plus élevé que celui des applications aériennes ayant un même NIS. La plus grande partie de cette différence peut être attribuée à la hauteur d'application. La densité des gouttelettes sur les tiges rotatives indique par ailleurs un nuage de petites gouttes significativement plus dense pour les applications terrestres (figure 4.7). Alors que la densité des gouttelettes atteignait un maximum de près de 70 gouttelettes/cm² pour les pulvérisations aériennes, les applications terrestres ont produit une densité de gouttelettes qui était près de 4 fois plus élevée. Pour réussir à obtenir un nuage de gouttelettes avec des densités équivalentes à celles obtenues pour les applications terrestres, de 3 à 4 passages sont nécessaires. Cependant, les données relatives au nombre de gouttelettes sur les tiges recouvertes de téflon suggèrent que la densité du nuage pourrait être maintenue au-delà d'une distance d'au moins 2 km. En effet, la densité maximale de gouttelettes pour les applications aériennes a été obtenue à une distance approximative de 2 km, dans le sens du vent, alors que dans le cas des applications terrestres, elle fut notée à 230 m. Pour les applications aériennes, le nuage d'adulticide formé de petites gouttelettes permettrait de traiter efficacement une bande atteignant près de 2 km. Il est intéressant de constater que pour les applications terrestres, la bande de traitement est de 93 m alors que la densité de gouttelettes maximale était 2 fois plus loin dans le sens du vent.

Alors que les dépôts moyens tendent à atteindre une valeur maximale à approximativement 800 m de la ligne de vol pour les applications aériennes, la densité des gouttelettes atteint son plus haut niveau près de 1 km plus loin dans le sens du vent (figure 4.8). Le diamètre des gouttelettes tend à diminuer avec la distance d'échantillonnage (annexe 4) en raison de l'effet de séparation (*winnowing*) qui amène les gouttelettes de plus grand diamètre à se déposer plus près de la ligne d'application.

En général, le DVM du nuage aéroporté était inférieur à 15 µm à une distance au-delà de 800 m, les petites gouttelettes étant capables de prolonger leur dérive sur de longues distances. Un effet similaire fut noté lors de l'examen des données relatives aux applications terrestres (figure 4.9). Quoique moins prononcé, le déplacement du plus haut niveau de densité des gouttelettes était de 100 m dans le sens du vent.

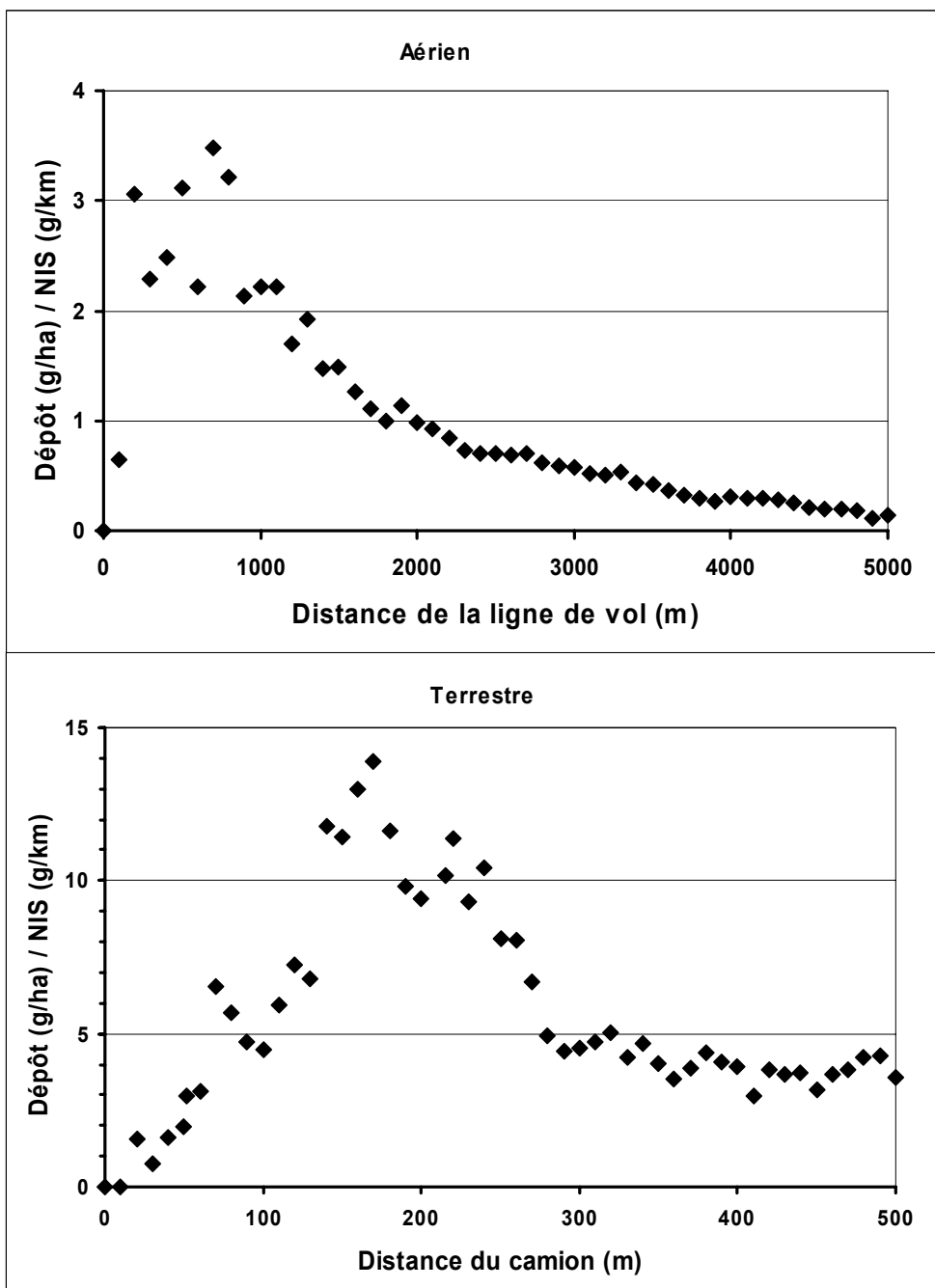


Figure 4.6 Dépôts moyens des applications terrestres et aériennes corrigés pour le NIS

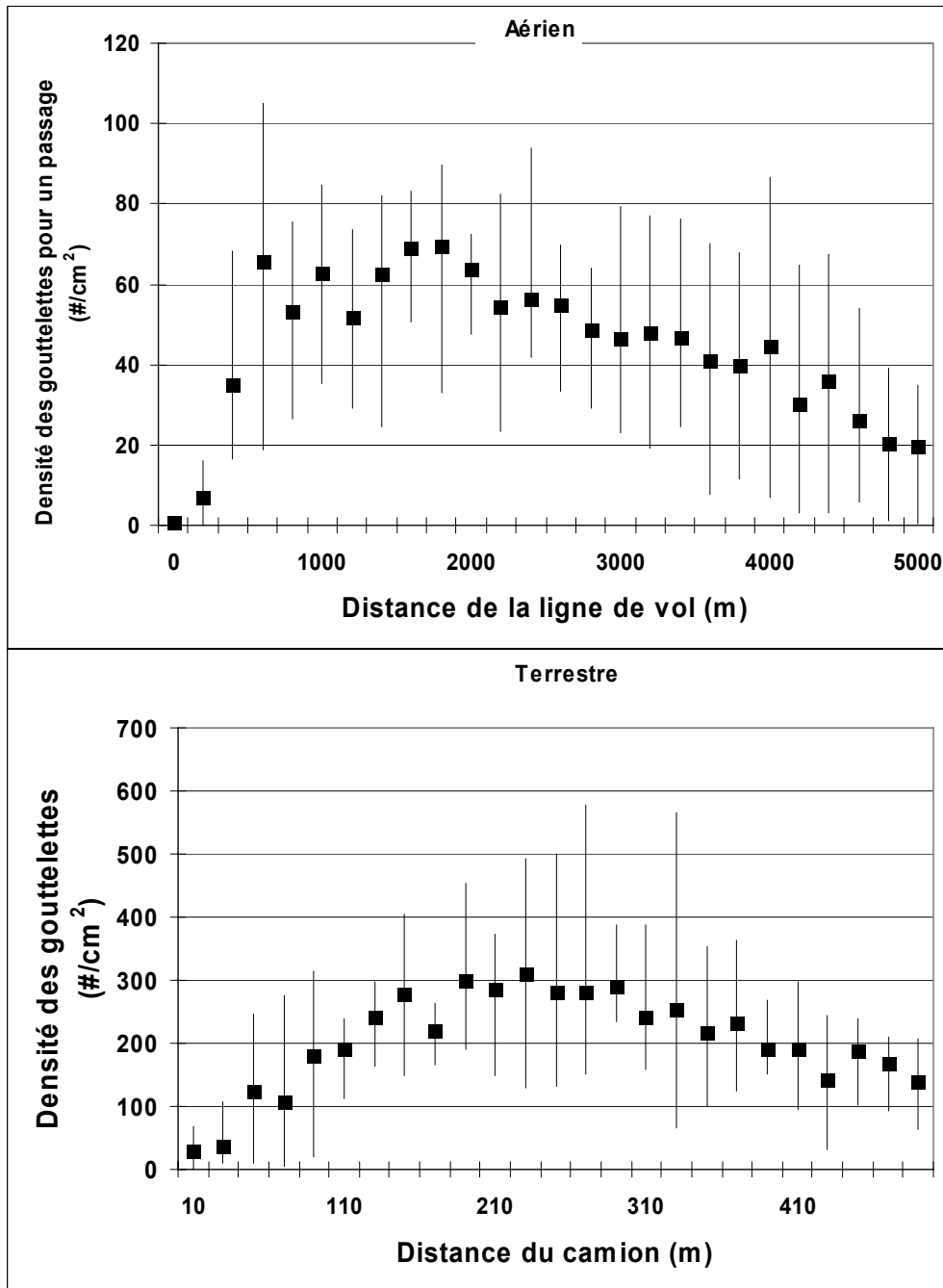


Figure 4.7 Comparaison de la densité moyenne des gouttelettes mesurées sur les lames à impaction pour les applications aériennes et terrestres

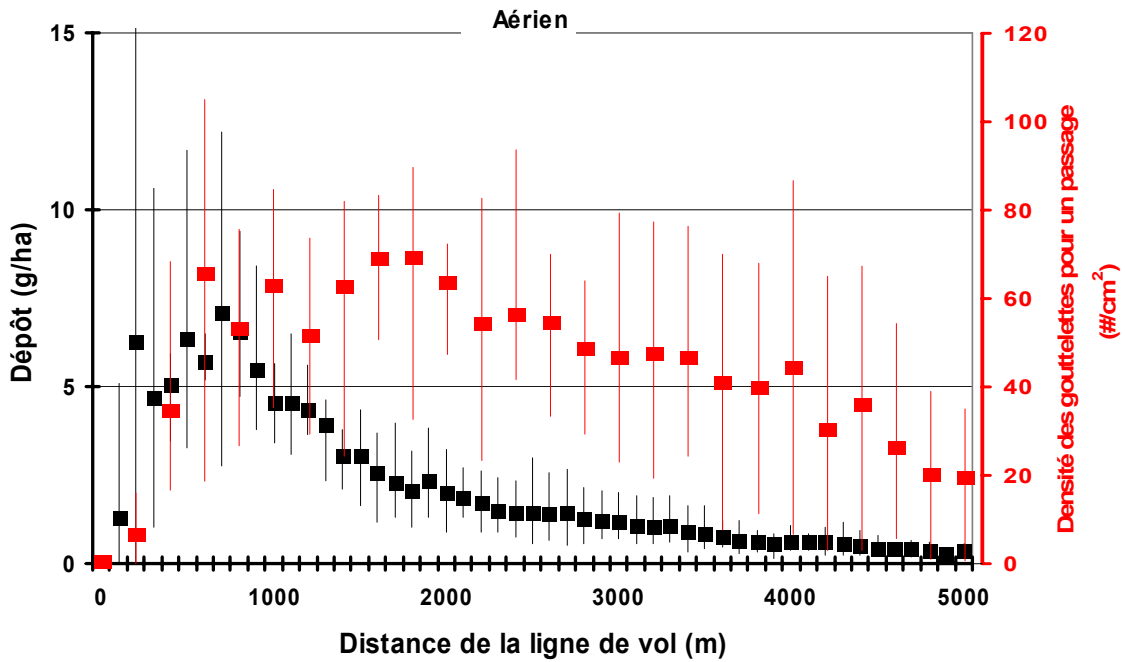


Figure 4.8 Variation des dépôts moyens et de la densité des gouttelettes sur les lames à impaction, en aval et dans le sens du vent de la ligne de vol

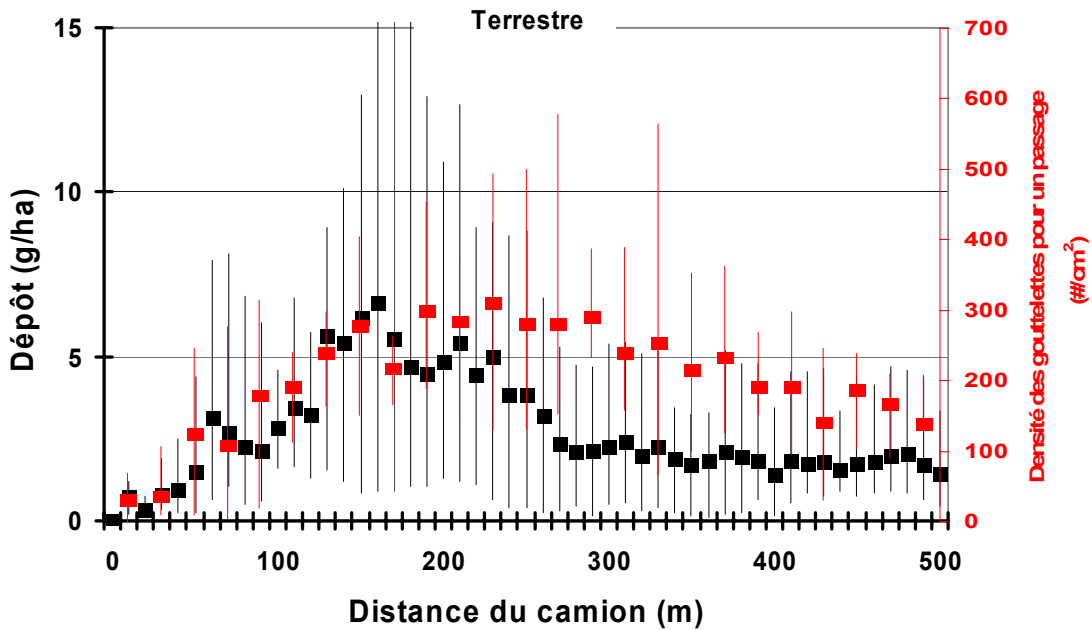


Figure 4.9 Variation des dépôts au sol et de la densité des gouttelettes sur les lames à impaction pour les applications terrestres

L'analyse de la densité des gouttelettes pour une bande de traitement (figure 4.7) démontre que celle-ci pourrait être prolongée à 3,6 km avec un coefficient de variation (CDV) de 0,3. Cependant, le débit de pompage pour le système à haute pression ne permet de traiter qu'une bande de 93 m en situation opérationnelle, et ce, afin de maintenir le taux d'application de l'étiquette fixé à 260 g i.a. malathion/ha. En utilisant le débit maximal et une ligne d'espacement de 1 km, il est possible d'obtenir un nuage de gouttelettes uniforme qui atteint sa densité maximale de 260 gouttelettes/cm² à 4 km dans le sens du vent avec un CDV de seulement 0,1. Le dépôt maximal estimé serait de 14 g i.a. malathion/ha au niveau où la densité maximale est atteinte. Au-delà de cette zone, le maintien d'une bande de traitement opérationnelle de 100 m entraînerait un niveau de dépôt maximal de près de 100 g i.a./ha et la densité des gouttelettes excéderait 1 100 gouttelettes/cm², ce qui créerait un nuage beaucoup plus dense que pour les applications terrestres. En mettant à profit les données de dépôt et de dérive générées lors de l'étude sur le terrain, il est possible d'optimiser les scénarios d'application d'adulticide de façon à minimiser la charge environnementale en pesticide et à augmenter l'efficacité du nuage de gouttelettes en terme de densité.

4.3 MODÈLE DE PRÉDICTION

Les intrants utilisés dans AGDISP v8.13 pour les simulations aériennes et terrestres sont présentés aux annexes 6 et 7. Pour les essais aériens, les buses ont été placées sur le bout de chacune des ailes (sur l'avion Aztec, les buses sont placées sur le bout de l'aile tribord seulement) de façon à adoucir les différences au niveau du vortex entre l'aile placée dans le sens du vent et celle à contre vent. Lors des essais sur le terrain, l'avion se déplaçait dans les deux directions afin de dissiper ces différences. La caractérisation des buses PJ20 lors d'essais aérodynamiques a permis de définir les paramètres de distribution de la grosseur des gouttelettes à partir de l'avion. Les conditions météorologiques à hauteur de vol, déterminées à partir des données générées par le Kitoon, ont servi à évaluer les effets du vent sur le déplacement du nuage de gouttelettes et les dépôts au sol. La hauteur de l'avion a été établie à 60 m. Pour les modélisations terrestres, la hauteur de la buse Grizzly a servi de valeur de référence comme point de largage de la pulvérisation. La distribution des grosseurs de gouttelettes mesurées directement derrière le camion à l'aide de lames à impaction a été utilisée pour caractériser le nuage initial. Les données météorologiques générées par la tour de 3 m ont été utilisées pour évaluer les différences de dépôts.

4.3.1 Essais terrestres

Les modélisations ont été complétées en considérant des vitesses de vent entre 3,6 et 12,2 km/h. L'intégration des données de dépôt générées par AGDISP pour une distance allant jusqu'à 500 m se comparent favorablement aux données empiriques mesurées sur le terrain (figure 4.10). Au cours des applications effectuées dans les conditions de vent les plus élevées, la plus grande partie du nuage de gouttelettes émis (> 80 %) était aéroportée au-delà de 500 m. Dans le cas des traitements adulticides sous des conditions de vents légers (caractéristique d'un programme opérationnel dans une zone urbaine), près de 50 % du nuage émis se dépose à l'intérieur d'une distance de 500 m (équivalent de 5 bandes de traitement) du camion d'application, dans le sens du vent.

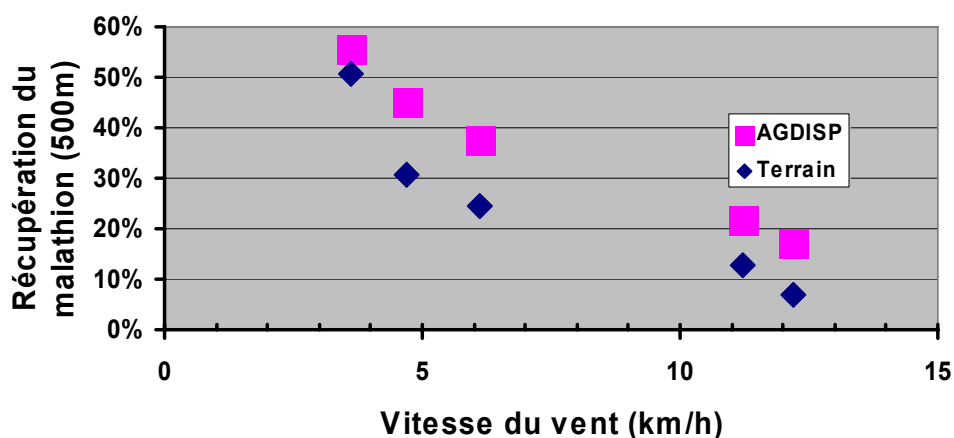


Figure 4.10 Comparaison entre le dépôt mesuré sur le terrain et les prédictions d'AGDISP sur 500 m

Les essais sur le terrain ont été divisés en deux groupes : les conditions de vents légers (< 6 km/h) et les conditions de vents élevés (> 11 km/h). Des données relatives de vents moyens (4,8 km/h, 11,7 km/h) ont été considérées pour les modélisations avec AGDISP. Les dépôts au sol pour les conditions de vents élevés étaient significativement plus bas (2-3 fois) tant pour les données empiriques mesurées sur le terrain que pour les données modélisées (figure 4.11). Pour les conditions de vents élevés, les données de dépôts prédites par AGDISP sont déplacées en aval, dans le sens du vent, comparativement aux données mesurées sur le terrain. Toutefois, les valeurs maximales mesurées et prédites sont exactement du même ordre de grandeur. Pour les conditions de vents faibles, AGDISP estime que le dépôt maximal se fera à une distance approximative de 100 m alors que les données sur le terrain proposent plutôt une distance plus près de 180 m. Une fois de plus, les données de dépôts maximaux modélisées sont proches des moyennes de valeurs maximales mesurées lors de l'étude sur le terrain. Au-delà des valeurs supérieures de dépôts, les prédictions d'AGDISP se situent aussi à l'intérieur des variations observées sur le terrain.

Les valeurs de concentrations dans l'air modélisées par AGDISP (moyenne pour 1 heure) à une hauteur de 1,4 m démontrent un patron semblable aux différences de dépôts observées pour des situations de vents légers ou forts (figure 4.12). Les concentrations dans l'air sont quatre fois plus élevées pour un vent léger que pour un vent plus fort. Alors que les concentrations dans l'air pour un vent fort demeurent presque constantes au-delà d'une distance de 200 m, elles tendent à diminuer de près de 25 % à partir de la même distance dans les situations de vents plus faibles, et ce, en raison du dépôt.

En comparant les densités des gouttelettes mesurées à l'aide des lames à impaction pour des vents légers et forts, la différence est de seulement 60 à 70 % (figure 4.13), ce qui ne correspond pas à un facteur multiplicatif de 4. La vitesse du vent a peu d'effet sur la position de la densité maximale des gouttelettes. Pour les vents les plus forts, les densités de gouttelettes au-delà de 200 m étaient invariablement plus faibles que pour les situations de vents faibles.

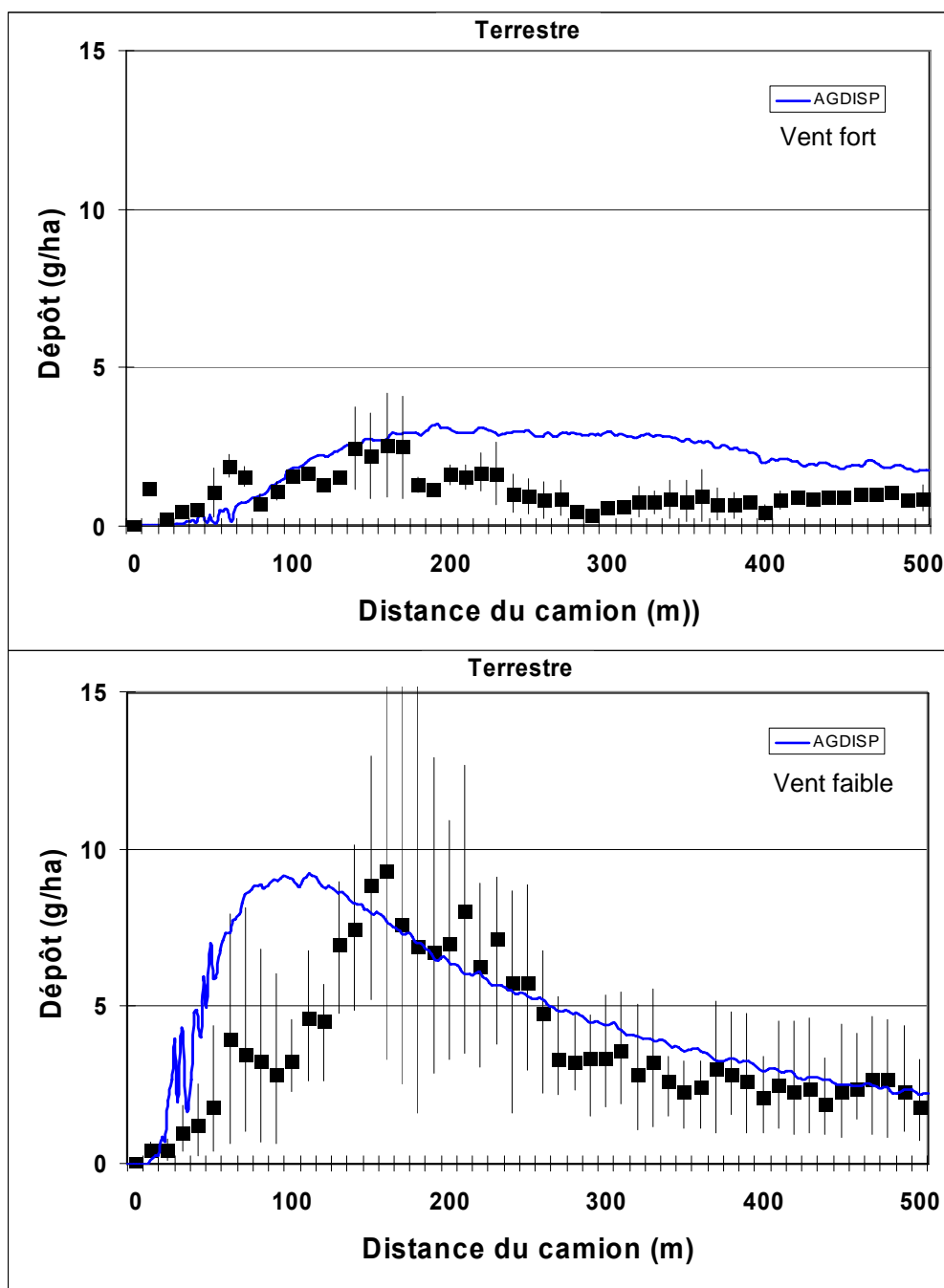


Figure 4.11 Comparaison entre les dépôts modélisés et mesurés sur le terrain pour des conditions de vents légers et élevés

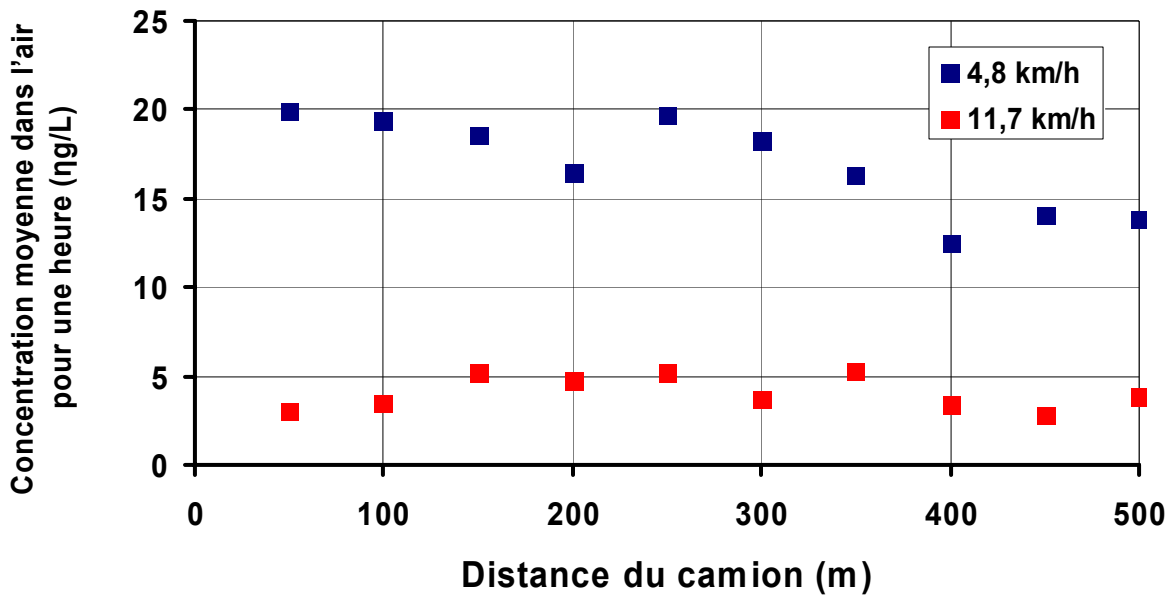


Figure 4.12 Modélisation des concentrations dans l'air pour des applications terrestres sous des conditions de vents forts et légers

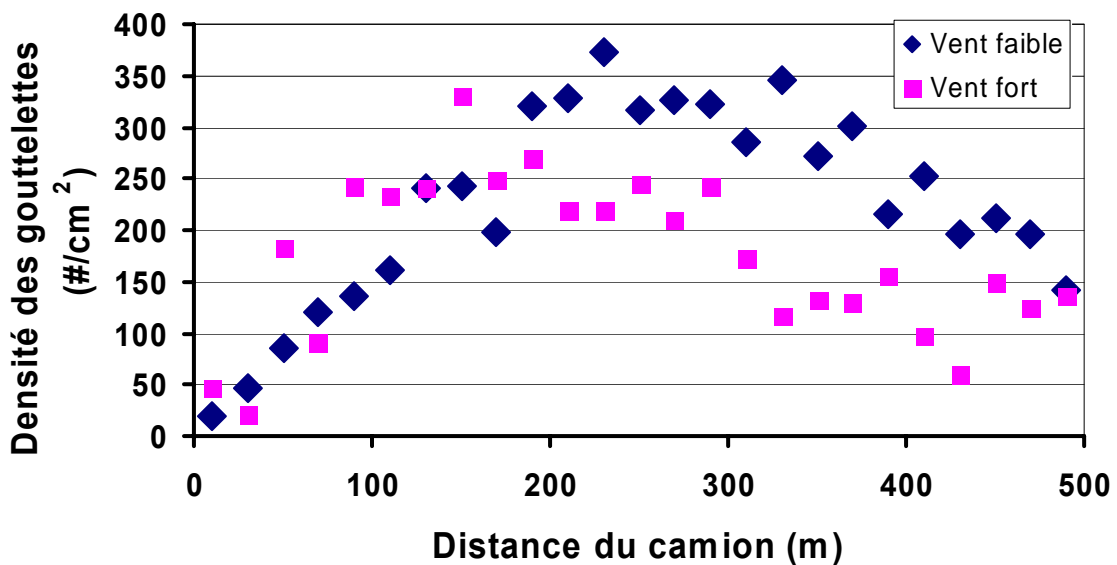


Figure 4.13 Comparaison de la densité des gouttelettes sur les lames à impaction ($\#/cm^2$) pour des applications terrestres sous des conditions de vents forts et légers

4.3.2 Essais aériens

En ce qui concerne les essais aériens, les données intégrées de dépôts mesurés sur le terrain et modélisés par AGDISP, pour une distance de 5 km, étaient très similaires (figure 4.14). Les vitesses du vent à la hauteur de l'application se situaient entre 17,5 et 25,5 km/h pour donner une diminution de 16 % des dépôts intégrés (57 % à 41 %).

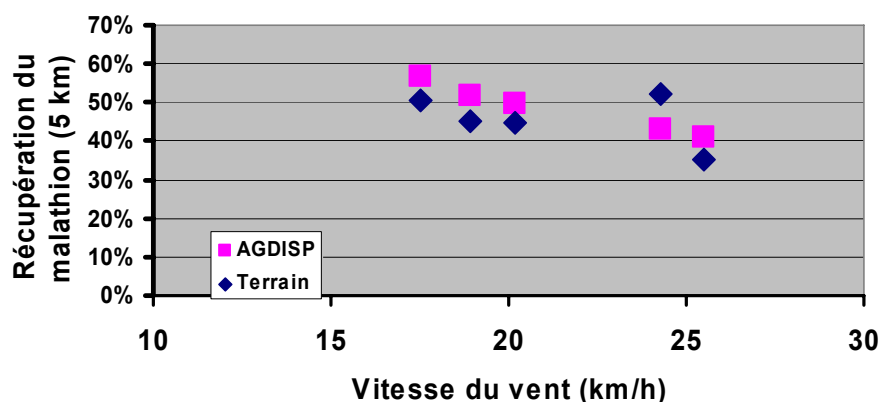


Figure 4.14 Comparaison des dépôts intégrés modélisés par AGDISP et mesurés sur le terrain à 5 km

Même si les courbes de dépôts intégrés étaient similaires, les estimations effectuées avec AGDISP tendent à déplacer les dépôts maximaux de 300 à 400 m plus loin en aval de la direction du vent (figure 4.15). Les dépôts maximaux modélisés pour des situations de vents légers étaient équivalents aux dépôts moyens mesurés sur le terrain. Outre les valeurs maximales, le taux et la forme de la courbe des dépôts étaient très semblables (figure 4.16). Lorsqu'on déplace latéralement les données générées par AGDISP de 400 m de façon à superposer les emplacements des valeurs de dépôts maximaux, les résultats modélisés et mesurés sur le terrain sont pratiquement identiques jusqu'à 3,5 km, distance à partir de laquelle les données commencent à diverger légèrement.

Les concentrations moyennes dans l'air (figure 4.17) sont significativement plus faibles que pour les applications terrestres principalement parce que le nuage de gouttelettes voyage sur une distance plus importante à partir d'un avion. Avec le temps et la distance, le nuage de gouttelettes se disperse verticalement en ne laissant que de faibles concentrations aériennes d'adulticide près de la surface du sol. Les concentrations aériennes maximales modélisées par AGDISP se retrouvent significativement plus loin en aval du sens du vent que les dépôts maximaux (figure 4.15) de la même façon que les différences mesurées entre les dépôts au sol et les données des lames à impaction (figure 4.8). La concentration dans l'air baisse plus lentement en lien avec la distance que les dépôts au sol, ce qui démontre que les gouttelettes de petits diamètres peuvent voyager sur de longues distances avant de se déposer. Au-delà d'une distance de 4 km en aval du sens du vent, les effets de la vitesse du vent à hauteur de l'avion sont négligeables.

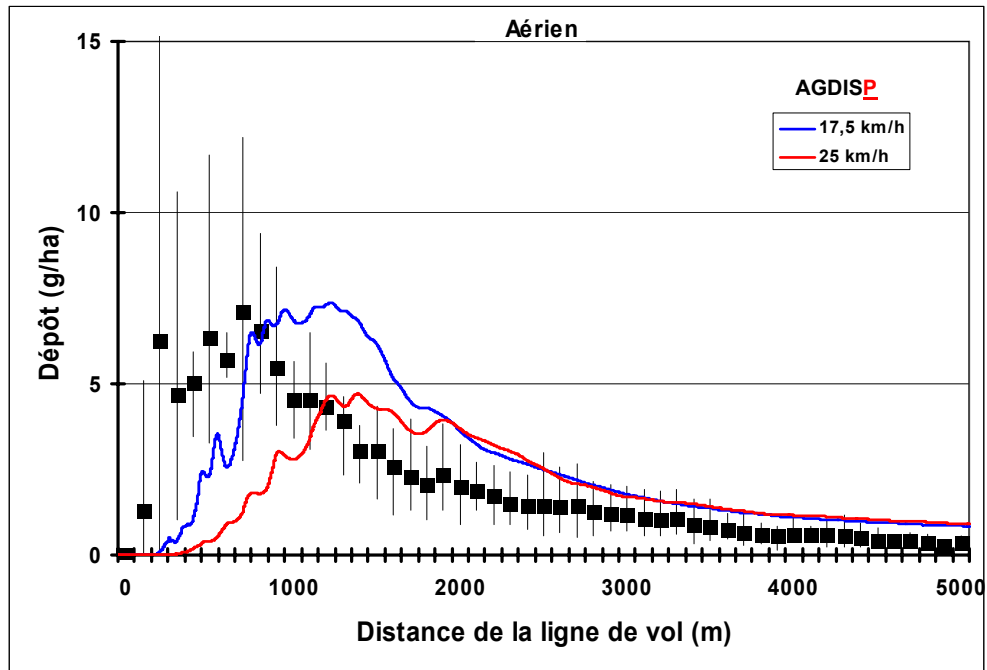


Figure 4.15 Comparaison des dépôts mesurés sur le terrain et modélisés par AGDISP pour des applications aériennes

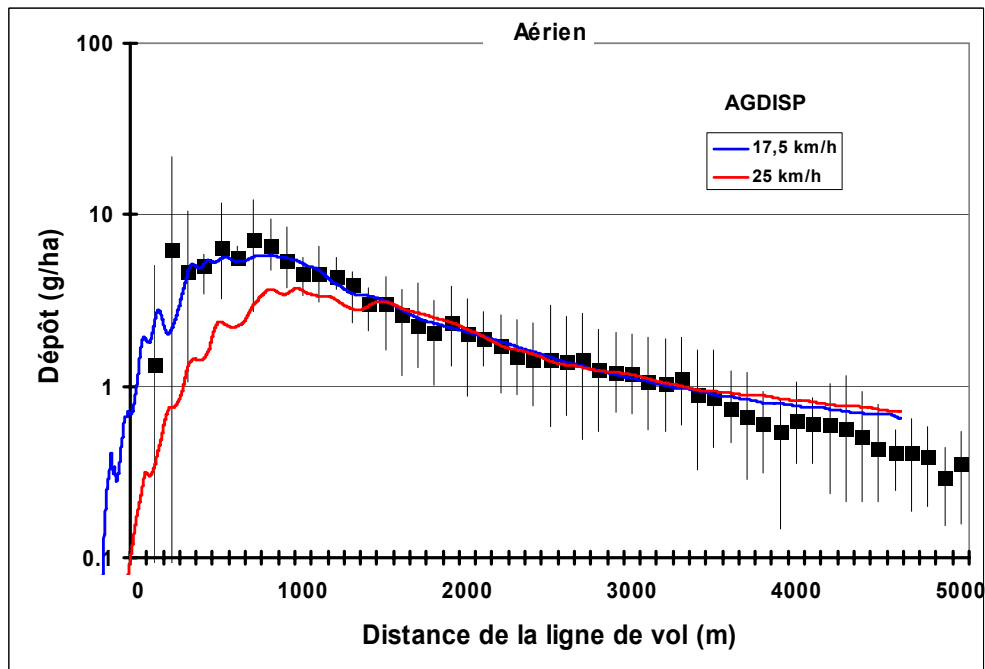


Figure 4.16 Comparaison des dépôts mesurés et modélisés. Les données d'AGDISP ont été déplacées de 400 m

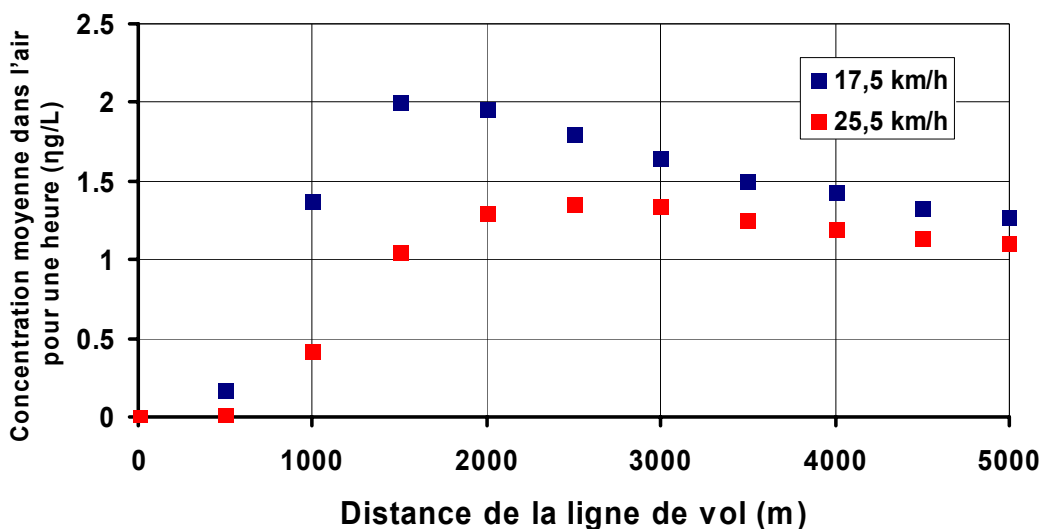


Figure 4.17 Concentration dans l'air à 1,5 m modélisées pour des applications aériennes à des vents de 17,5 et 25,5 km/h

4.3.3 Validité et applicabilité du modèle AGDISP dans le contexte de l'analyse de risque au Québec

L'ensemble des comparaisons entre les données modélisées et les données empiriques mesurées sur le terrain permettent de conclure que le logiciel AGDISP prédit avec une assez grande exactitude les concentrations dans l'air et les dépôts au sol générés lors d'une application UVB terrestre ou aérienne d'adulticide en terrain découvert.

Il va de soi que le logiciel possède certaines limites et ne permet pas de générer des données spécifiques à toutes les situations d'application. Par exemple, les milieux urbains présentent de nombreuses caractéristiques qui varient énormément en fonction du type d'habitation, de la densité de la végétation qu'on y retrouve et de l'organisation spatiale des différents quartiers. Cependant, comme les concentrations de pesticides dans l'air et les dépôts au sol risquent d'être à leur maximum en milieux découverts et sans obstacle au déploiement du nuage de pesticides, il est possible d'affirmer avec un assez grand niveau de certitude que le logiciel de dispersion AGDISP permet de modéliser adéquatement les résidus de pesticides qui seraient générés dans un scénario du pire cas réaliste. Tel que déjà précisé, l'application aérienne perpendiculaire à de grands axes routiers en milieu urbain ou l'application terrestre dans un grand parc sont représentatives des essais réalisés et peuvent facilement être identifiées à des scénarios du pire cas réaliste.

Les données qui ont été obtenues lors de l'étude sont les plus précises à ce jour et ont été générées dans des conditions expérimentales optimales. De plus, tel que déjà précisé, les conditions météorologiques rencontrées en Floride en cours de projet sont représentatives

des conditions qu'on peut retrouver au Québec en période potentielle de traitement avec des adulticides. Les données générées lors de l'étude démontrent que AGDISP peut avantageusement être utilisé pour modéliser les données environnementales nécessaires tant pour l'évaluation des risques toxicologiques pour les humains que pour les risques écotoxicologiques.

5 CONCLUSION

Ce travail constitue la première étude complète visant à comparer les dépôts au sol générés par des applications aériennes et terrestres de malathion lors de l'utilisation des nouvelles techniques optimales d'application en mode UBV. Tous les essais aériens et terrestres (cinq de chaque) ont été complétés sous des conditions représentatives de celles qui auraient prévalu lors d'opérations réelles. Les expérimentations ont été réalisées dans des conditions de terrains sans obstacle.

L'analyse des échantillons contenant du malathion deutéré a démontré qu'aucune dégradation n'était survenue lors du transport entre les sites expérimentaux et le laboratoire. Les essais préalables visant à déterminer les conditions optimales de conservation des dépôts de malathion sur des matières inertes ont révélé que le pesticide était très stable lorsqu'il était gardé à -20 ou 4 °C. Ces conditions ont toujours été respectées durant l'étude. Par ailleurs, l'analyse des échantillons témoins n'a pas démontré de contamination appréciable avec du malathion.

Aux conditions météorologiques ayant prévalu durant les essais sur le terrain, les dépôts maximaux au sol étaient équivalents pour les applications terrestres (DVM de 11 µm) et aériennes (VMD de 32 µm à une hauteur de 60 m) en dépit d'un taux d'application quatre fois plus élevé pour les pulvérisations aériennes. Cependant, les densités des gouttelettes pour les applications terrestres étaient quatre fois plus grandes que pour les applications aériennes. À la hauteur d'application de 60 m, le dépôt maximal était observé à une distance de 800 m en aval de la ligne de vol, dans le sens du vent, alors que la densité des gouttelettes atteignait sa plus grande valeur à près de 1 km plus loin en aval. Pour les applications terrestres, le dépôt moyen était à son maximum à près de 150 m de la ligne d'application et la densité des gouttelettes approximativement à 100 m plus en aval. La vitesse du vent avait un effet significatif sur le niveau de dépôt au sol lors des applications terrestres. La récupération de malathion sur 500 m indiquait qu'entre 10 et 50 % du produit appliqué était déposé dépendamment de la vitesse du vent. Pour les applications aériennes, de 35 à 50 % du malathion émis était déposé à l'intérieur d'une distance de 5 km lorsque le vent à hauteur d'application se situait entre 17 et 25 km/h.

Les dépôts totaux pour les lignes d'échantillonnage terrestres et aériennes ont été prédits avec exactitude par AGDISP. Le modèle de dispersion a aussi estimé des valeurs de dépôts maximaux équivalentes à celles qui furent mesurées sur le terrain. Pour les essais terrestres réalisés sous des conditions de vents élevés, la valeur de dépôt la plus élevée prédite par AGDISP se situait au-delà de l'emplacement des données mesurées sur le terrain alors que pour les vents faibles, elle était plus rapprochée. Pour les essais aériens, la valeur maximale modélisée se situait au-delà de l'emplacement mesuré sur le terrain. Les concentrations les plus élevées modélisées dans l'air (durée moyenne de 1 heure) pour des applications aériennes étaient significativement plus faibles que pour les applications terrestres, soit moins de 2 ng/L comparativement à 5 ng/L pour les applications terrestres sous forts vents et 20 ng/L pour les applications terrestres effectuées sous vents faibles.

L'ensemble des données obtenues indique que tout comme pour les applications en milieu agricole, AGDISP peut efficacement prédire les niveaux de résidus générés pour des applications en mode UBV d'adulticides en milieux découverts. Ces données corroborent l'hypothèse de base voulant que ce logiciel soit l'outil à préconiser pour modéliser les résidus environnementaux dans un contexte d'analyse de risque. Ce constat permettra d'attribuer un niveau de confiance relativement élevé aux analyses de risque qui seront réalisées sur la base de résidus environnementaux modélisés.

Si l'étude a permis de valider l'efficacité du modèle AGDISP à prédire les dépôts au sol et les concentrations aériennes générées par des applications UBV terrestres et aériennes d'adulticides, elle laisse aussi entrevoir la possibilité d'optimiser les scénarios d'application de façon à diminuer les quantités de pesticide nécessaire pour un contrôle optimum des insectes. En effet, les données obtenues ont permis de mieux préciser les distances sur lesquelles les traitements pouvaient être efficaces et elles pourraient ainsi permettre des ajustements par rapport aux scénarios traditionnels d'application aérienne. Par exemple, les multiples passages effectués en mode aérien ont démontré une efficacité de traitement sur de très longues distances, ce qui laisse entrevoir la possibilité d'augmenter de façon importante la distance à respecter entre les bandes de traitement et conséquemment diminuer de façon appréciable la quantité totale de pesticide tout en obtenant une efficacité accrue. Des travaux ultérieurs de modélisation devraient permettre, tout au moins pour les applications aériennes de malathion, de proposer des scénarios optimaux d'application qui devraient répondre aux objectifs de diminution de l'exposition des populations humaines et de la contamination de l'environnement.

6 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BILANIN, A.J., TESKE, M.E., BARRY, J.W., EKBLAD, R.B. (1989). AGDISP : The Aircraft Spray Dispersion Model, Code Development and Experimental Validation. *Transactions of the ASAE*, 32 : 327-334.
- BILANIN, A.J., TESKE, M.E. (1984). *Numerical studies of the deposition of material released from fixed and rotary wing aircraft*. NASD CR-3779; Langley, VA.
- BROUWER, R., BROUWER, D.H., TIJSSEN, S. CHA., VAN HEMMEN, J.J. (1992). Pesticides in the Cultivation of Carnation in Greenhouse: Part II - Relationship between Foliar Residues and Exposure. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J*, Vol. 53. no. 9, p. 582- 587.
- CFDA (California Department of Food and Agriculture) (1991). *Environmental monitoring of malathion aerial applications used to eradicate Mediterranean fruit flies in southern California. 1990*. Environment hazards assessment program. EH 91-3.
- CASTRO CANO, M.L., MARTÍNEZ, VIDAL J.L., EGEA GONZÁLEZ, F.J., MARTÍNEZ GALERA, M. (2001). Gas chromatographic method for assessing the dermal exposure of greenhouse applicators to dimethoate and malathion. *J Chromatographic Science*, Vol. 39, no. 8, p. 345-350.
- DUKES, J., ZHONG, H., GREER, M., HESTER, P., HOGAN, D. BARBER, J.A.S. (2004). A comparison of two spray nozzle systems used to aerially apply the ultra low-volume adulticide fenthion. *J. Am. Mosq. Control Assoc*, Vol. 20, no. 1, p. 27-35.
- FENSKE, R.A. (1989). *Validation of environmental monitoring by biological monitoring: fluorescent tracer technique and patch technique*, In Biological monitoring for pesticides exposure: measurement, estimation and risk reduction, Eds. Wang G.M., Franklin C.A., Honeycutt R.C. and Reinert J.C., Washington, D.C. American Chemical Society. p. 70-84.
- HAILE, D.G., MOUNT, G.A., PIERCE, N.W. (1982). Effect of droplet size of malathion aerosols on kill of caged adult mosquitoes. *Mosquito News*, Vol. 42, no. 4, p. 576-583.
- HESTER, P.G., SHAFFER, K.R., TIETZE, N.S., ZHONG, H., GRIGGS Jr, N.L. (2001). Efficacy of ground-applied ultra-low-volume malathion on honey bee survival and productivity in open and forest areas. *J Am. Mosq. Control Assoc*, Vol. 17, no. 1, p. 2-7.
- HEWITT, A. (2004). Center for Pesticides Application and Safety (CPAS). School of agronomy and horticulture. Université de Queensland, Australie. Communication personnelle.

- HORNBY, J. (2004). Lee County Mosquito Control District. Applied Science & Technology, Ft Myers, Floride. Communication personnelle.
- KNEPPER, R.G., WALKER, E.D., KAMRIN, M.A., VANDERVOORT, C.A. (2003). ULV studies of permethrin in Sagina, Michigan. *Wing Beats of the Florida Mosquito Control Association*, Vol. 14, no. 4, p. 22-33.
- LOFGREN, C.S., ANTHONY, D.W., MOUNT, G.A. (1973). Size of Aerosol Droplets Impinging on Mosquitoes as Determined with a Scanning Electron Microscope. *J Economic Entomology*, Vol. 66, no. 5, p. 1085-1088.
- MARTY, M.A., DAWSON, S.V., BRADMAN, M.A., HARNLY, M.E., DIBARTOLOMEIS, M.J. (1994). Assessment of exposure to malathion and malaoxon due to aerial application over urban areas of southern california. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, Vol. 4, no. 1, p. 65-81.
- MAY, K.R., CLIFFORD, R. (1966). The impaction of aerosol particles on cylinders, spheres, ribbons and discs. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 10, p. 83-93.
- MICKLE, R.E., SAMUEL, O., ST-LAURENT, L., DUMAS, P., ROUSSEAU, G. (2005). *Direct comparison of deposit from aerial and ground ULV applications of malathion with AGDISP predictions*. REMSpC Spray Consulting, Institut national de santé publique du Québec, Société de protection des forêts contre les insectes et maladies. Rapport présenté à l'Institut national de santé publique du Québec dans le cadre de l'étude d'impact sur l'environnement du programme de pulvérisations aériennes d'insecticides pour contrer le virus du Nil occidental en cas d'épidémie. REMSpC report 2005-02, 87 p.
- MICKLE, R.E. (2005). *Evaluation of the AIMMS-20 Airborne Meteorological Package*. REMSpC Spray Consulting, REMSpC Report 2005-01. 21 p.
- MICKLE, R.E. (2004). *Prerequisites and Equipment Availability for an Efficient Adulticide Treatment Program for Mosquito Control*. REMSpC Spray Consulting, Document préparé pour la Société de protection des forêts contre les insectes et maladies dans le cadre de l'étude d'impact sur l'environnement du programme de pulvérisations aériennes d'insecticides pour contrer le virus du Nil occidental en cas d'épidémie. REMSpC Report 2004-03, 32 p.
- MOORE, J.C., DUKES, J.C., CLARK, J.R., MALONE, J., HALLMON, C.F., HESTER, P.G. (1993). Downwin drift and deposition of malathion on human target from ground ultra-low volume mosquito sprays. *J Am Mosq Control Assoc.*, Vol. 9, no. 2, p. 138-142.
- MOUNT, G.A. (1970). Optimum droplet size for adult mosquito control with space sprays or aerosols of insecticides. *Mosquito News*, Vol. 30, no. 1, p. 70-75.

- MOUNT, G.A., BIERY, T.L., HAILE, D.G. (1996). A review of ultralow-volume aerial sprays of insecticide for mosquito control. *J. Am. Mosq. Control Assoc.*, 12(4) : 601-618.
- SAMUEL, O., FERRON, L. ST-LAURENT, L. (1996). *Évaluation de l'exposition cutanée et estimation d'un coefficient de transfert des résidus foliaires délogeables pour la population exposée au glyphosate*. Centre de toxicologie du Québec pour le ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de l'environnement forestier, Sainte-Foy,. 56 p., annexes.
- TIETZE, N.S., HESTER, P.G., SHAFFER, K.R., WAKEFIELD, F.T. (1996). Peridomestic deposition of ultra-low volume malathion applied as a mosquito adulticide. *Bull Environ Contam Toxicol.*, Vol. 56, no. 2, p. 210-218.
- TIETZE, N.S., HESTER, P.G., SHAFFER, K.R. (1994). Mass recovery of malathion in simulated open field mosquito adulticides tests. *Arch Environ Contam Toxicol.* Vol. 26, p. 473-477.
- TURNBULL, G.J. (1985). *World Health Organisation Field Surveys of Exposure to Pesticides : Standard Protocol*. In Occupational Hazard of Pesticides Use. Ed. Taylor and Francis Inc. London and Philadelphia. Appendix 2. p. 169-179.
- WALLACE, D.J., PICOT, J.J.C., CHAPMAN, T.J. (1995). A numerical model for forestry aerial spraying. *Agric. For. Meteorol.*, 76, p. 19-40.
- WEIDHAAS, DE., BOWMAN, M.C., MOUNT, G.A., LOFGREN, C.S., FORD, H.R. (1970). Relationship of minimal lethal dose to the optimum size of droplets of insecticides for mosquito control. *Mosquito News*, Vol. 30, no. 2, p. 195-200.

ANNEXE 1

ÉVALUATION DE LA STABILITÉ DU MALATHION SUR DES MATÉRIAUX INERTES

Annexe 1 Évaluation de la stabilité du malathion sur des matériaux inertes

But : Afin de déterminer les conditions optimales de conservation des dépôts de malathion sur des composés inertes, une évaluation de la stabilité de l'insecticide a été réalisée sur des filtres de fibre de verre Whatman 934AH de 9 cm de diamètre (cat. no. 1827090) en tenant compte de paramètres variés tels le temps de conservation, la température et l'exposition à la lumière. Une série de tests additionnels a été réalisée sur des filtres d'alpha cellulose Whatman N° 1 d'un diamètre de 9 cm (cat. no. 1001090) afin de comparer l'efficacité de différents types de filtres à une température de 4 °C.

Préparation : L'étude a été effectuée sur des filtres enrichis avec 200 ng de malathion, l'enrichissement ayant été fait avec une solution à 1 mg/L de malathion dans l'hexane. Deux cents µL de cette solution ont été appliqués sur chacun des 40 filtres suspendus dans les airs afin de permettre au solvant de s'évaporer rapidement.

Analyse des filtres : Une fois préparés, les filtres ont été introduits dans des tubes Sarstedt de 50 ml et conservés en respectant différents paramètres présentés dans le tableau suivant. Les filtres ont été analysés à l'aide de la méthode E437A.

Tableau 1 Paramètres expérimentaux retenus pour l'évaluation de la stabilité du malathion

Type de filtre	Température de conservation	Durée de conservation (heure)							
		0	12	24	48	72	168	336	504
FV - Normal	-20 °C	---	*	*	*	*	*	*	*
AC - Normal	-20 °C	---	*	*	*	*	*	*	*
FV - Normal	4 °C	*	*	*	*	*	*	*	*
FV - Exposé à la lumière ¹	23 °C	*	*	*	*	*	*	---	---
FV - Non exposé à la lumière ²	23 °C	---	*	*	*	*	*	*	---
FV - Normal	37 °C	---	*	*	*	---	---	---	---

¹ L'exposition à la lumière a été réalisée en plaçant les filtres sur un comptoir du laboratoire près d'une fenêtre.

² Les filtres ont été protégés de la lumière en les recouvrant d'une feuille d'aluminium et en les plaçant dans un tiroir.

FV = Fibre de verre
AC = Alpha cellulose

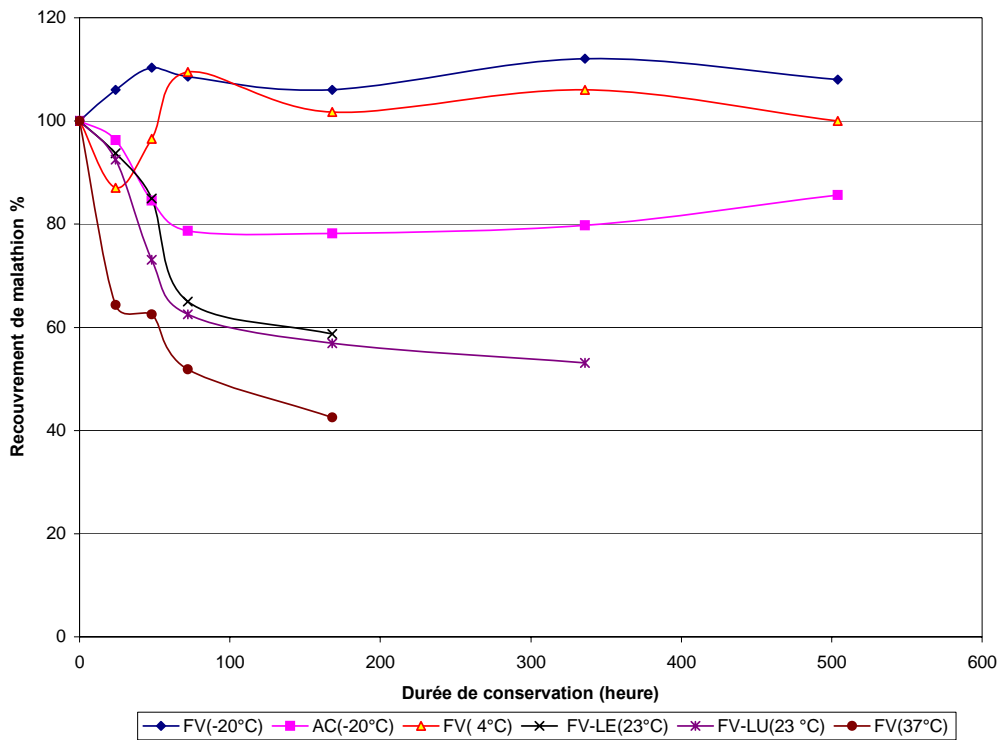


Figure 1 Résultats des tests de stabilité du malathion sur des matières inertes

ANNEXE 2

MÉTHODE ANALYTIQUE POUR LA DÉTERMINATION DU MALATHION SUR DES FILTRES DE FIBRE DE VERRE PAR GC-MS (E-437)

MÉTHODE D'ANALYSE POUR DOSER LE MALATHION SUR DES FILTRES PAR GC-MS (E-437)

1. Type de méthode

- Chromatographie en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse (GC-MS).

2. Domaine d'application

- 1 ng/filtre à 2 000 ng/filtre.
- Des concentrations plus importantes peuvent être quantifiées en diluant l'extrait du filtre de façon appropriée.

3. Instrument

- Chromatograph 5890 de Agilent avec un détecteur de masse 5989B.

4. Description

- Le filtre est d'abord enrichi avec 100 ng de malathion deutéré et extrait avec de l'éthyl acétate. L'extrait est par la suite centrifugé de façon à séparer les fibres provenant du filtre avant l'évaporation à sec. Finalement, l'extrait est reconstitué par l'ajout de 1 ml d'un mélange d'isooctane et de dichlorométhane. Le malathion est analysé en chromatographie en phase gazeuse couplé à un spectromètre de masse (GC-MS). La mesure des ions générés après ionisation chimique négative est réalisée en mode d'ions sélectifs. Les concentrations sont corrigées sur la base du malathion deutéré présent dans chacun des échantillons.

5. Éléments de performance

Analyte(s)	Limite de détection (ng/filtre)	Limite de quantification (ng/filtre)	Linéarité (ng/filtre)	Biais (%)	Reproductibilité le même jour (%)	Reproductibilité d'un jour à l'autre (%)	Récupération (%)
Malathion	1	3	1 – 2000	N.D.	3.5 (n = 10)	5.1 (n = 10)	80 (n = 3)

- Des vérifications de routine de la performance et de la précision sont effectuées en incluant un filtre enrichi avec 100 ng de malathion, de source différente de celle ayant servi à la calibration, dans chaque série analytique.

6. Valeur cible et niveaux d'exposition professionnelle

- Non disponible

<i>Approuvé par</i>	Date	Date de révision	<i>Page</i>
	2005/01/20		

MÉTHODE D'ANALYSE POUR DOSER LE MALATHION SUR DES FILTRES PAR GC-MS (E-437)

7. Programme de comparaison interlaboratoire

- Non disponible

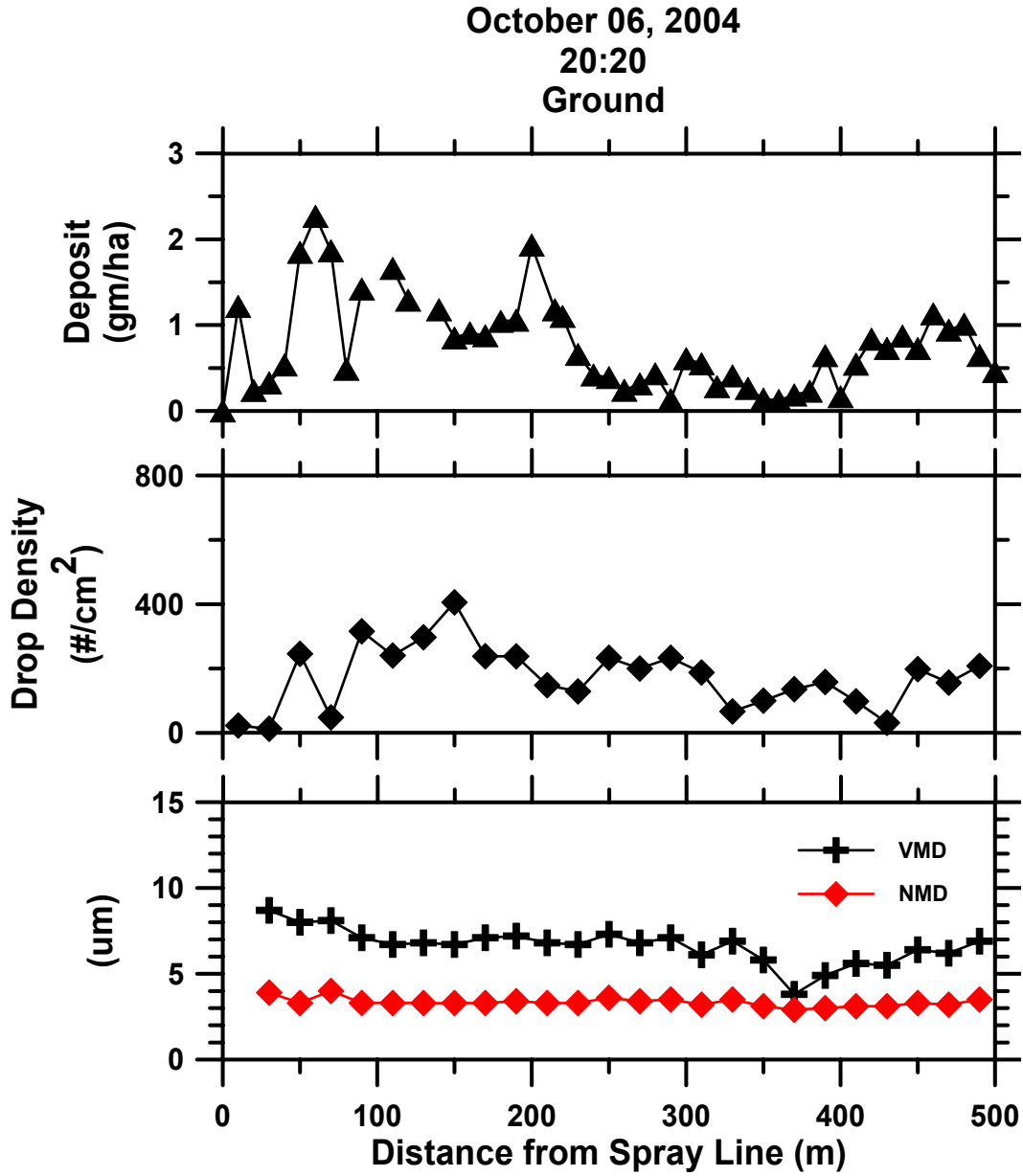
8. Références

- Beeson MD, Driskell WJ, Barr DB. Isotope Dilution High-Performance Liquid Chromatography/Tandem Mass Spectrometry Method for quantifying Urinary Metabolites of Atrazine, Malathion, and 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid. 1999; Anal. Chem. 71:3526-3530.
- Lioy PJ, Edwards RD, Freeman N, Gurunathan S, Pellizzari E, Adgate JL, Quackenboss J, Sexton K. House dust levels of selected insecticides and an herbicide measured by the EL and LWW samplers and comparisons to hand rinses and urine metabolites. J. Exposure Anal. And Env. Epidemiology. 2000;10 :327-340.
- AOAC Official Method 979.05 Malathion in Pesticide Formulations. Gas Chromatographic Method.

<i>Approuvé par</i>	Date	Date de révision	<i>Page</i>
	2005/01/20		

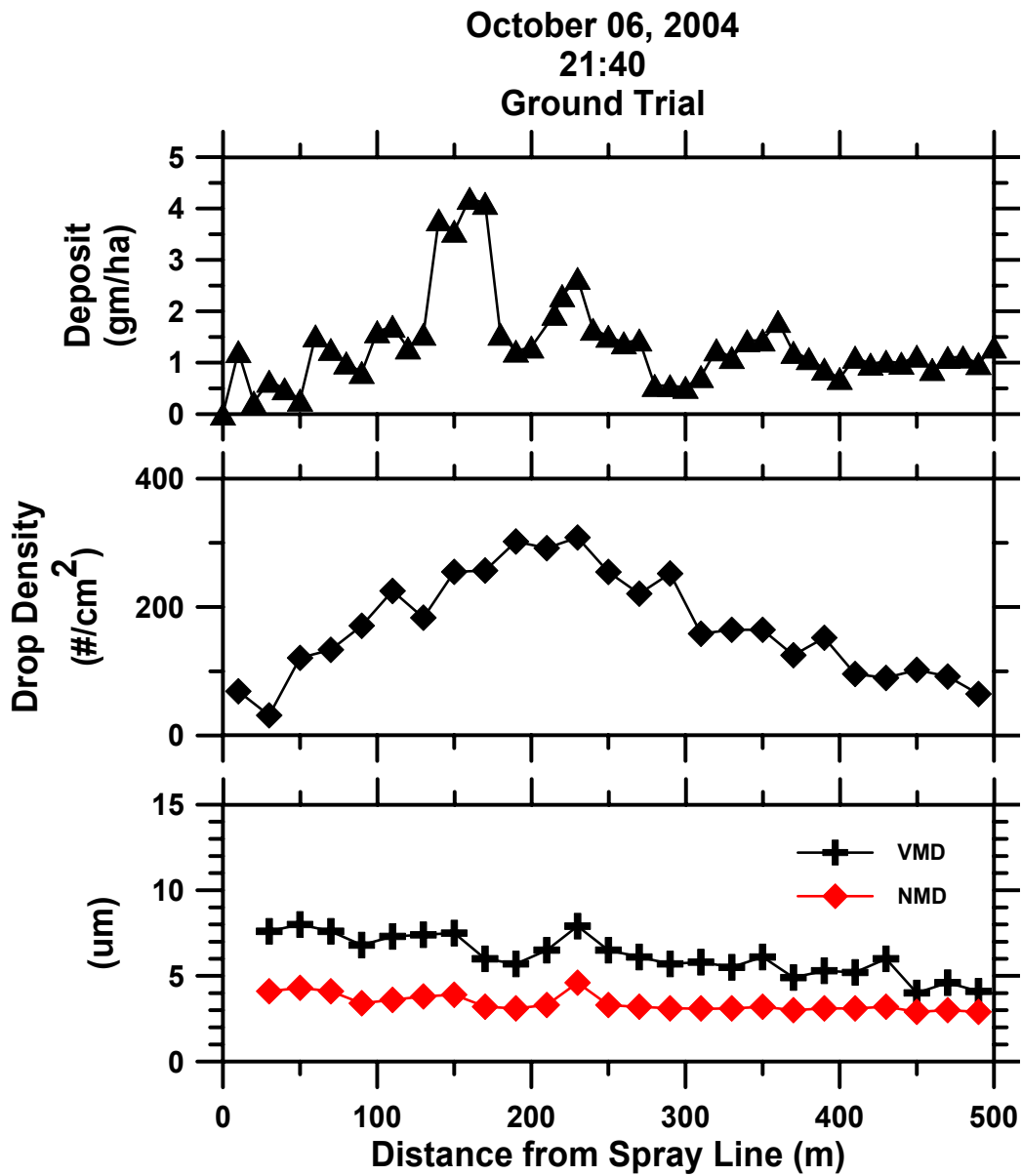
ANNEXE 3

RÉSULTATS DES ESSAIS TERRESTRES



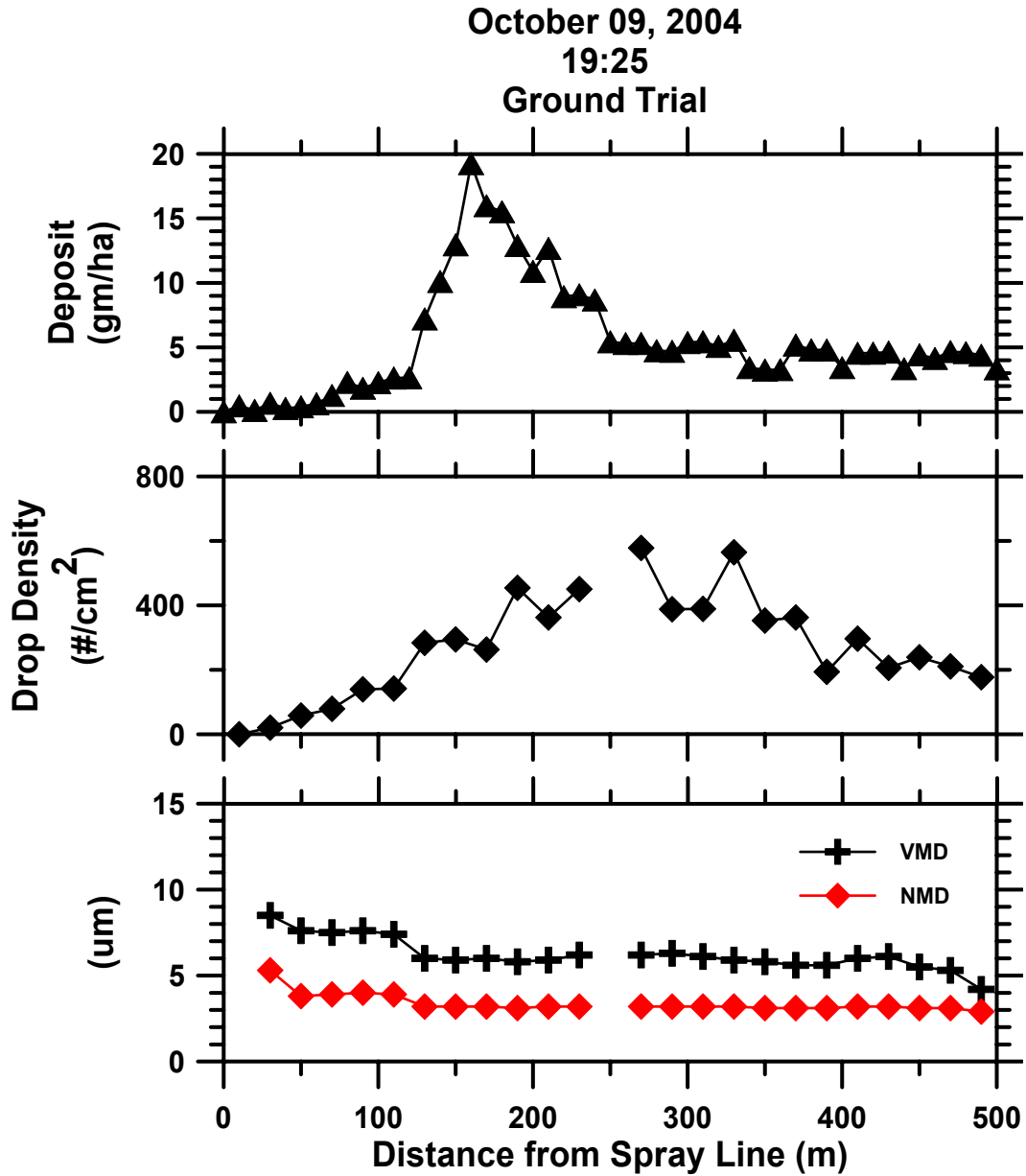
Winds 12.2kph
 86°
Ta 25.7C
RH 79 %
Spray Line 90°

Figure 1 Résultats de l'essai terrestre numéro 1 réalisé le 06/10/04



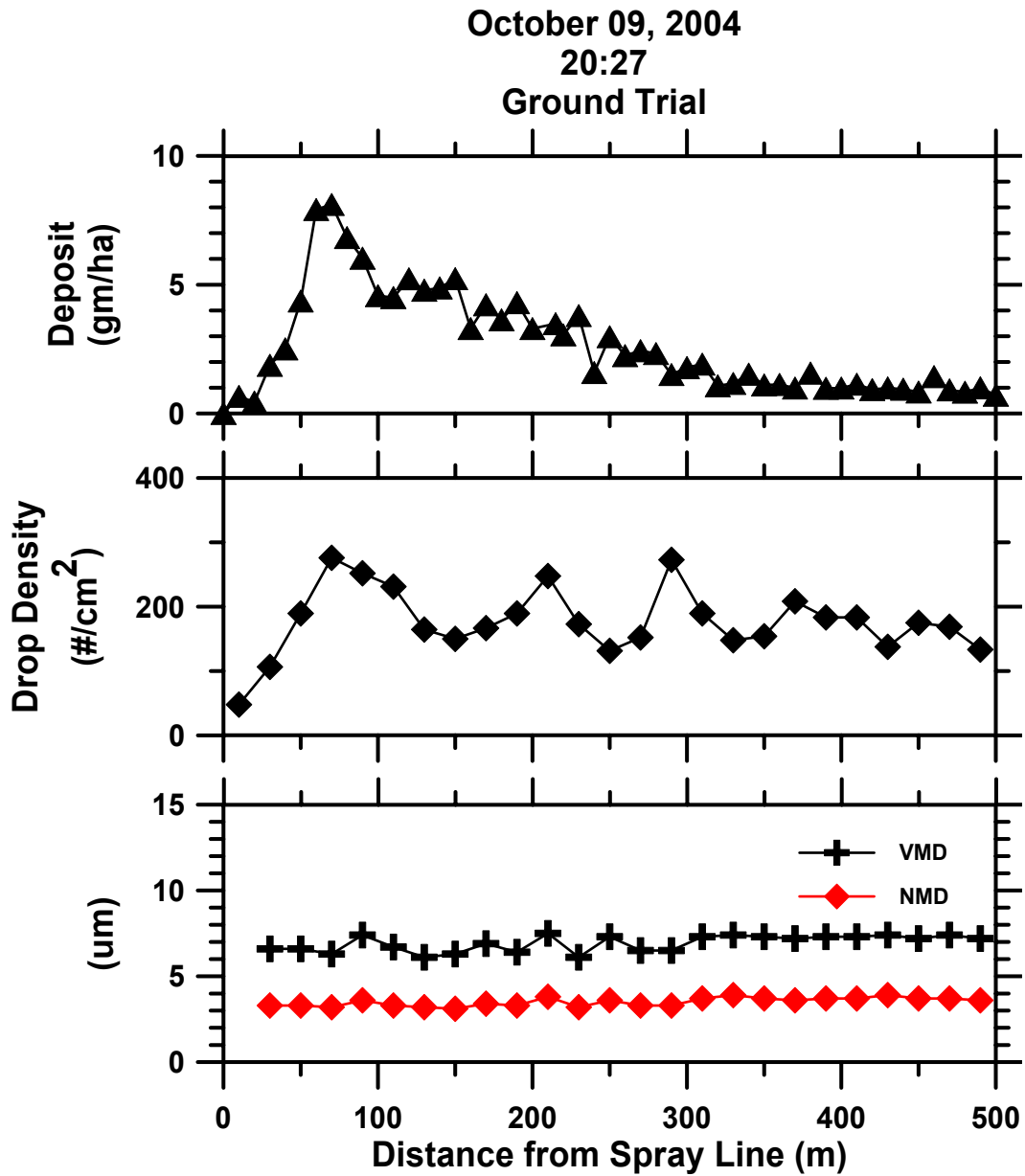
Winds 11.2kph
 73°
 Ta 24.4C
 RH 85 %
 Spray Line 90°

Figure 2 Résultats de l'essai terrestre numéro 2 réalisé le 06/10/04



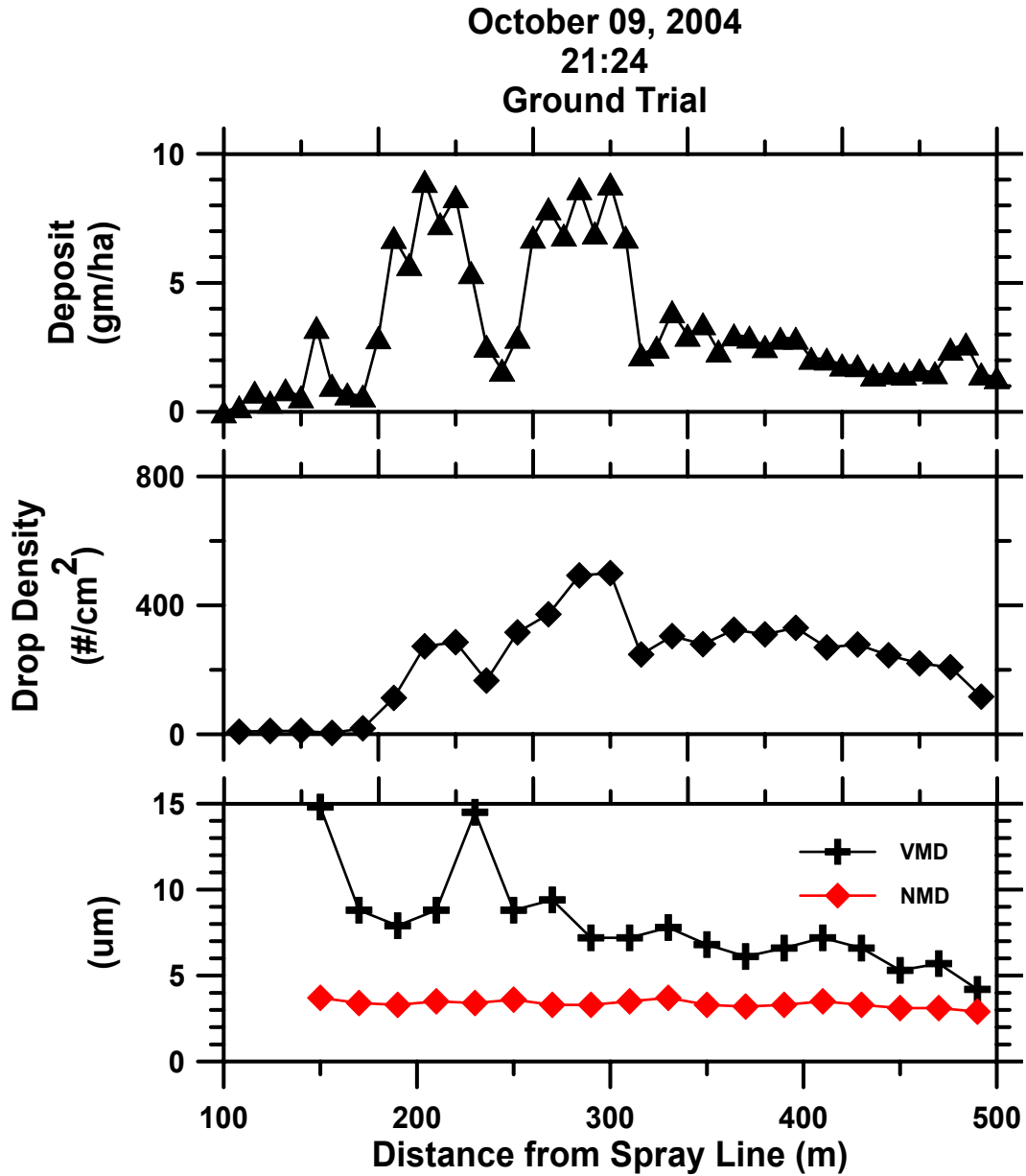
Winds	3.6kph
	86°
Ta	25.2C
RH	79 %
Spray Line	90°

Figure 3 Résultats de l'essai terrestre numéro 3 réalisé le 09/10/04



Winds 6.1kph
 96°
Ta 24.6C
RH 78 %
Spray Line 90°

Figure 4 Résultats de l'essai terrestre numéro 4 réalisé le 09/10/04



Winds	4.7kph
	86°
Ta	23.6C
RH	83 %
Spray Line	90°

Figure 5 Résultats de l'essai terrestre numéro 5 réalisé le 09/10/04

ANNEXE 4
RÉSULTATS DES ESSAIS AÉRIENS

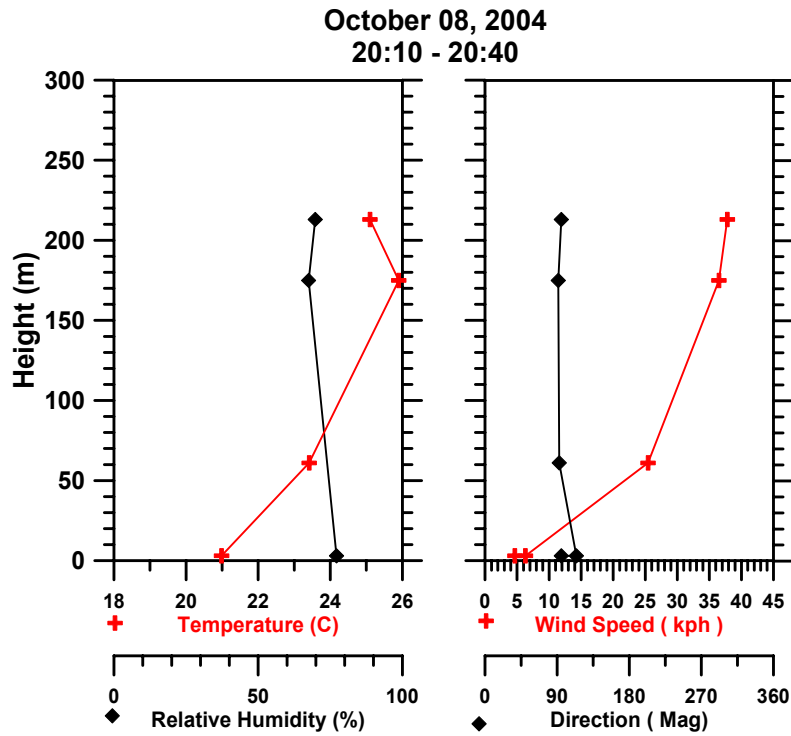
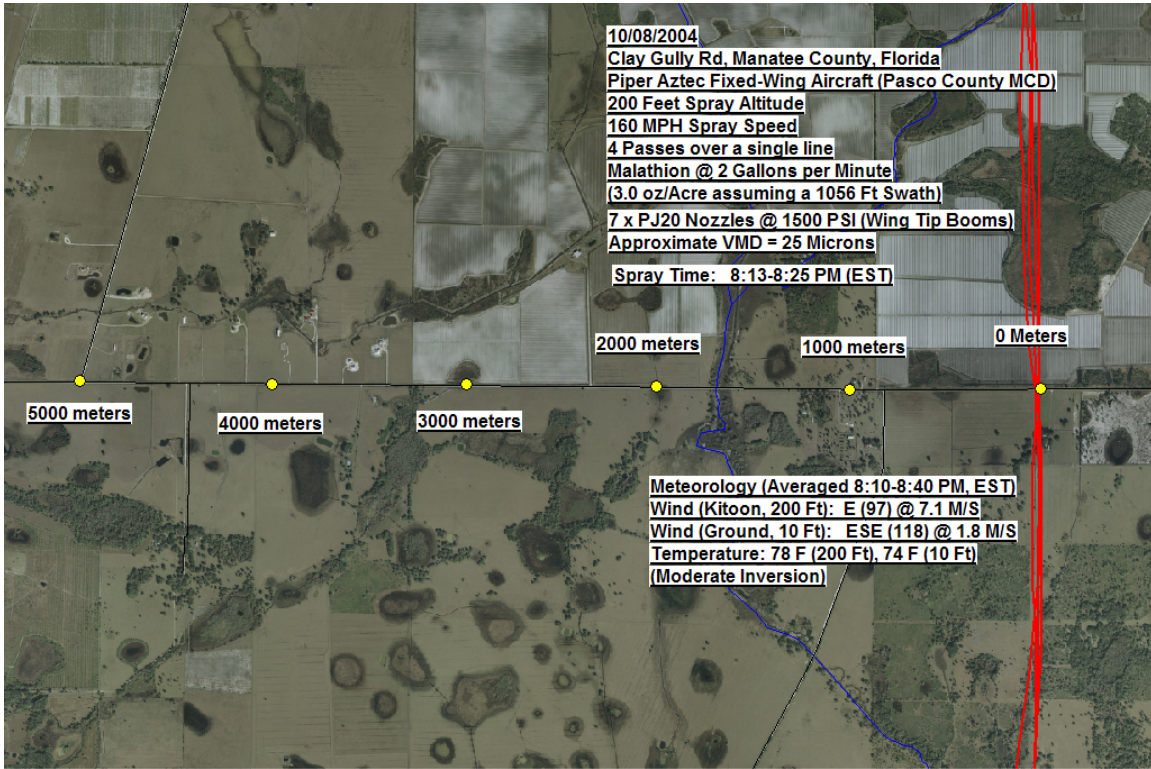


Figure 1 Paramètres de l'essai aérien numéro 1 réalisé le 08/10/04

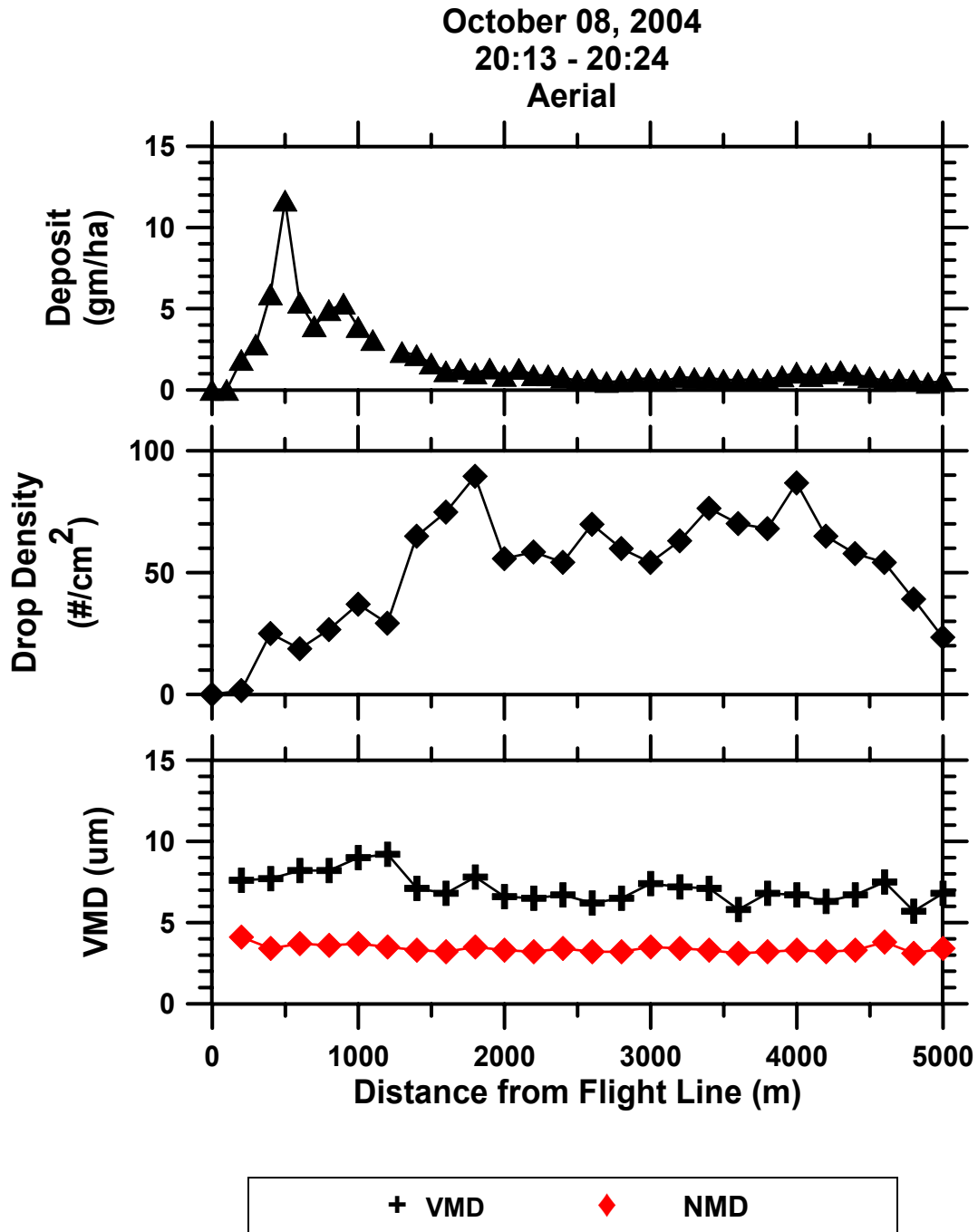


Figure 2 Résultats de l'essai aérien numéro 1 réalisé le 08/10/04

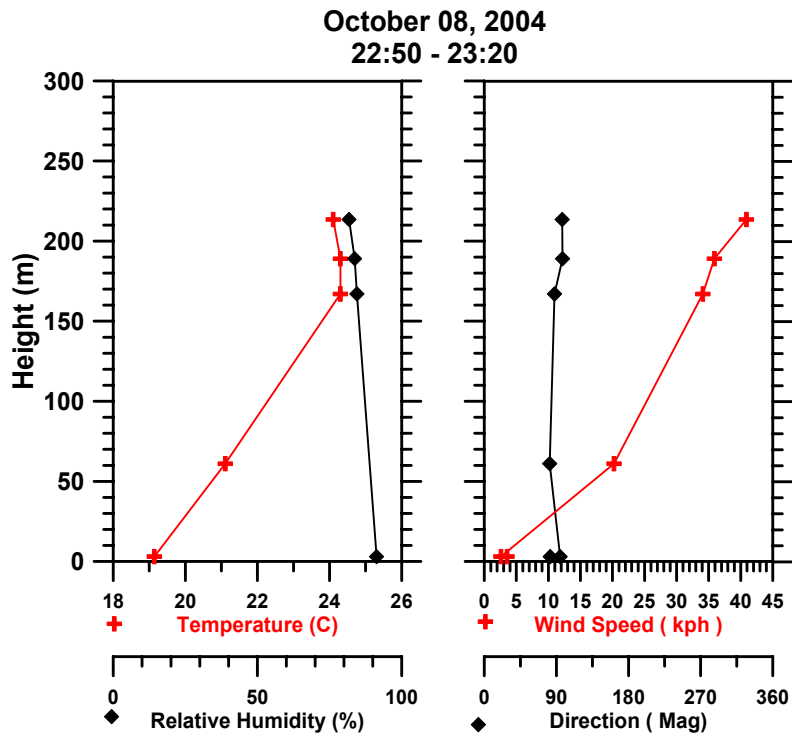
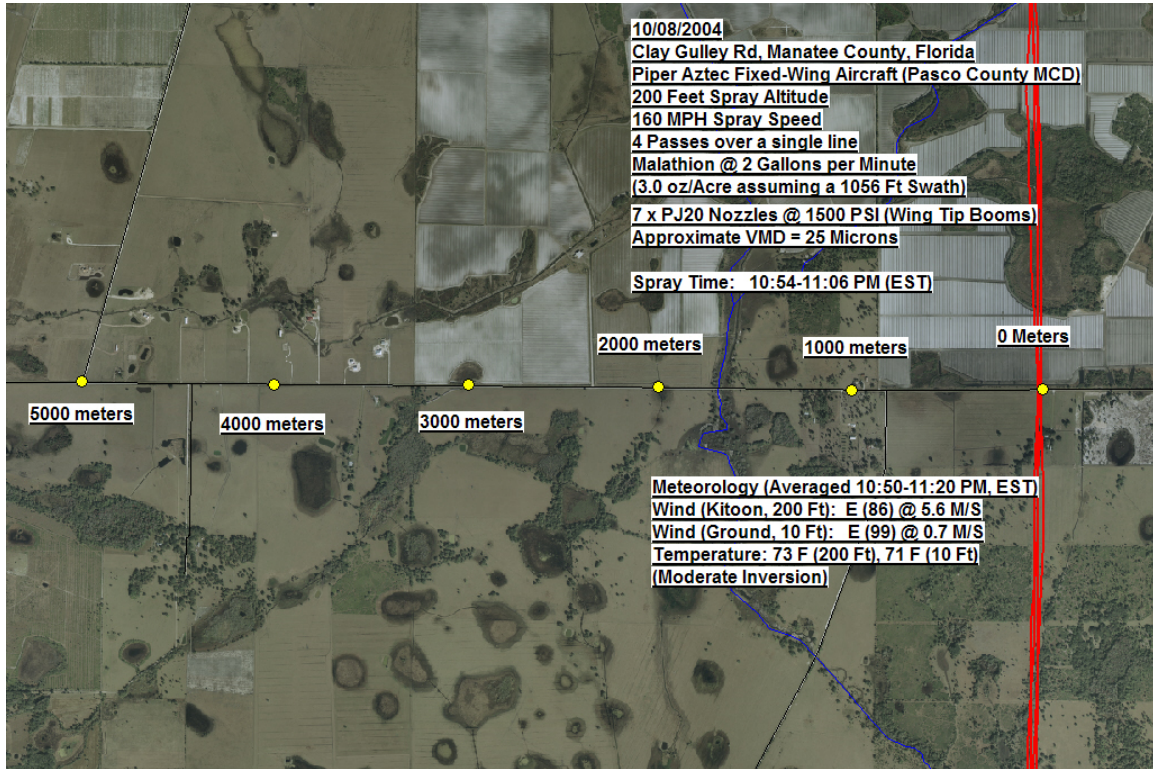


Figure 3 Paramètres de l'essai aérien numéro 2 réalisé le 08/10/04

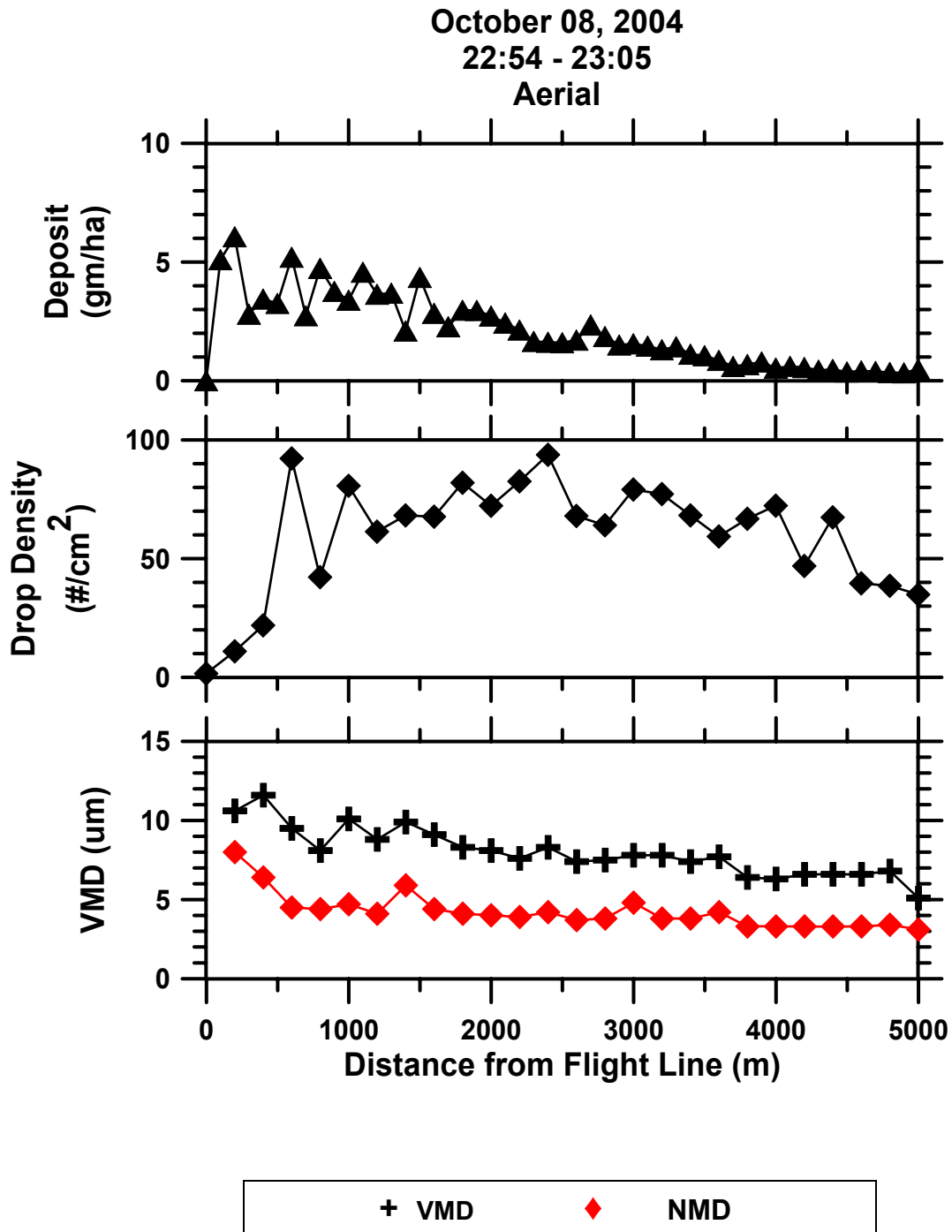


Figure 4 Résultats de l'essai aérien numéro 2 réalisé le 08/10/04

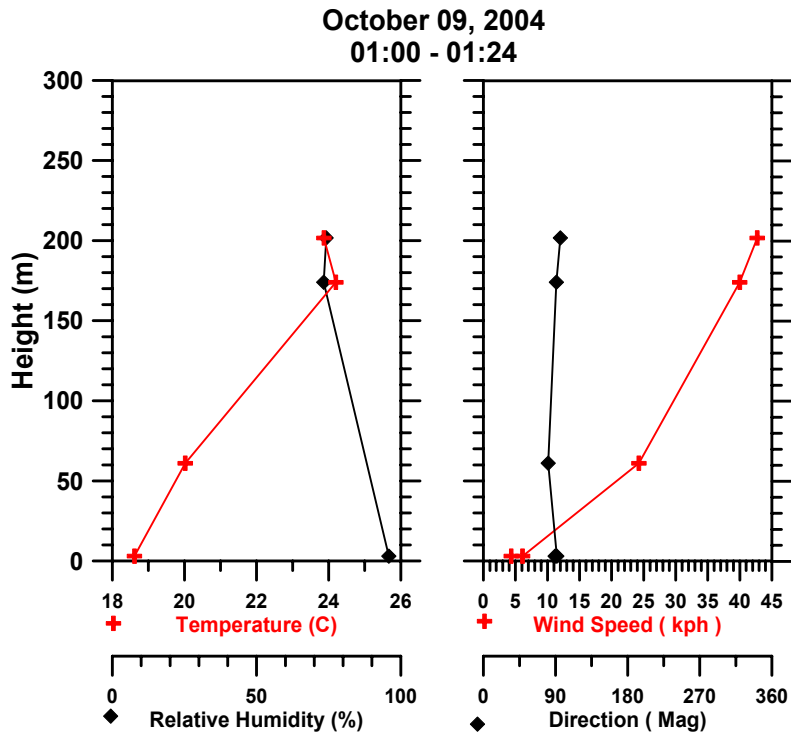
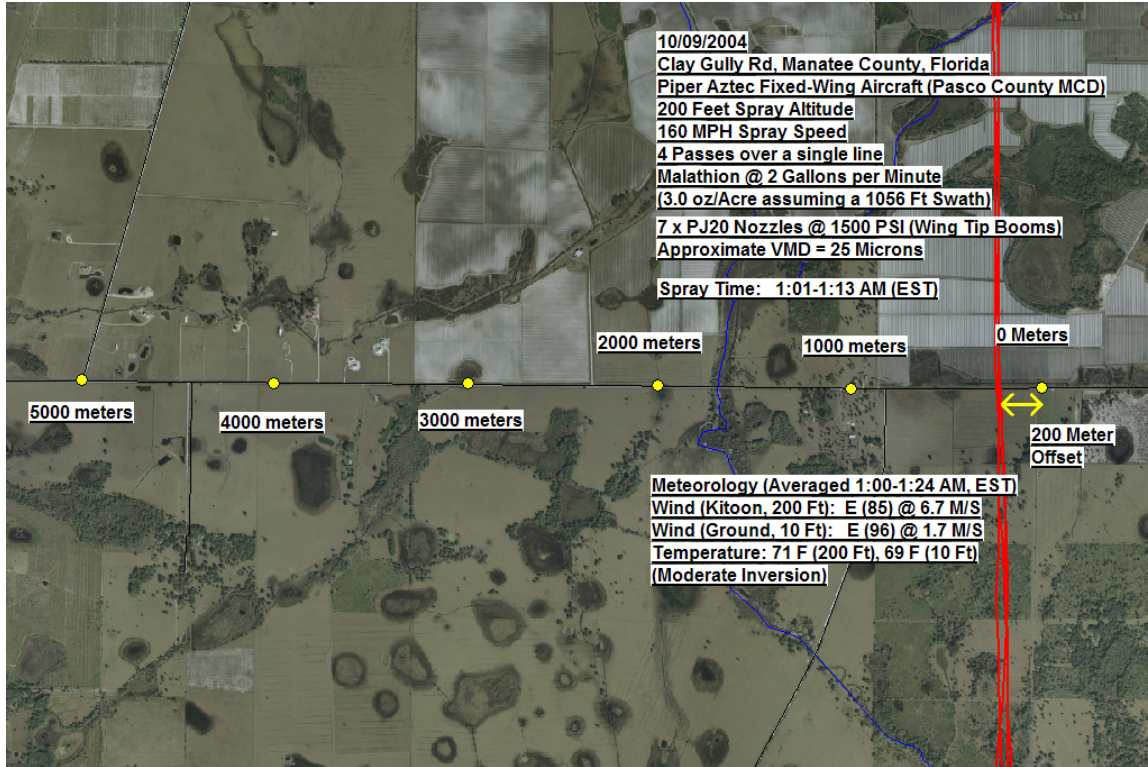


Figure 5 Paramètres de l'essai aérien numéro 3 réalisé le 09/10/04

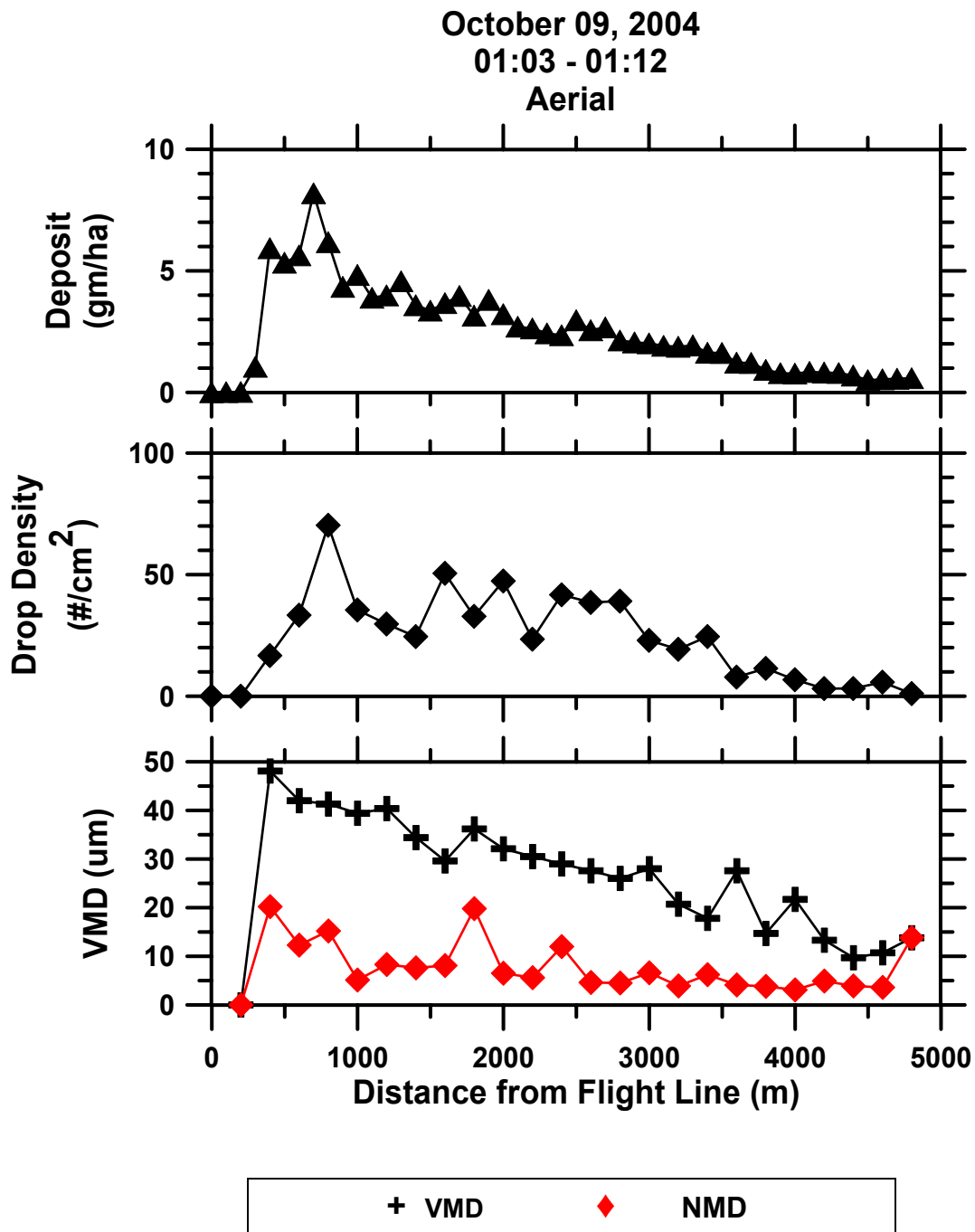


Figure 6 Résultats de l'essai aérien numéro 3 réalisé le 09/10/04

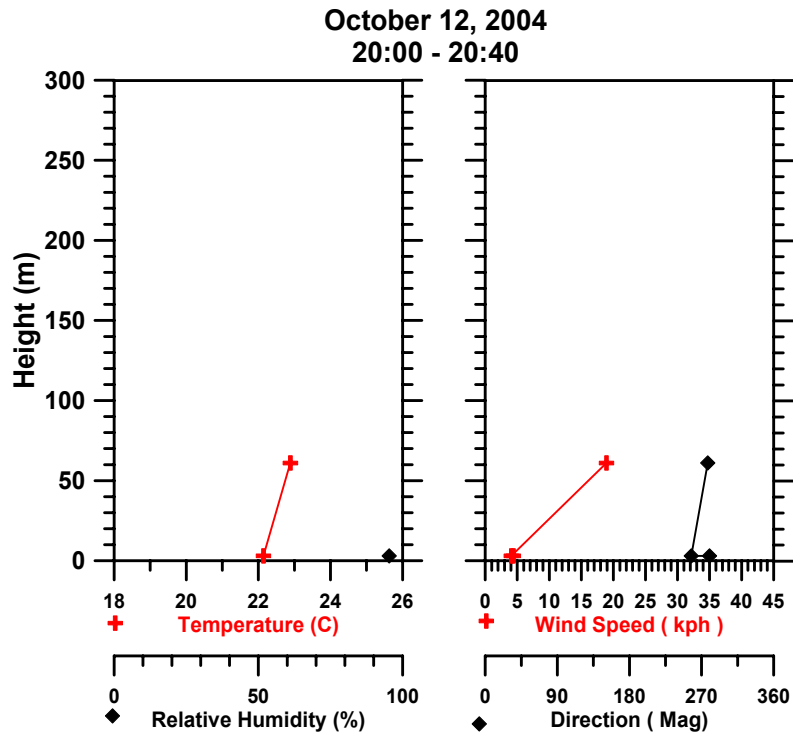
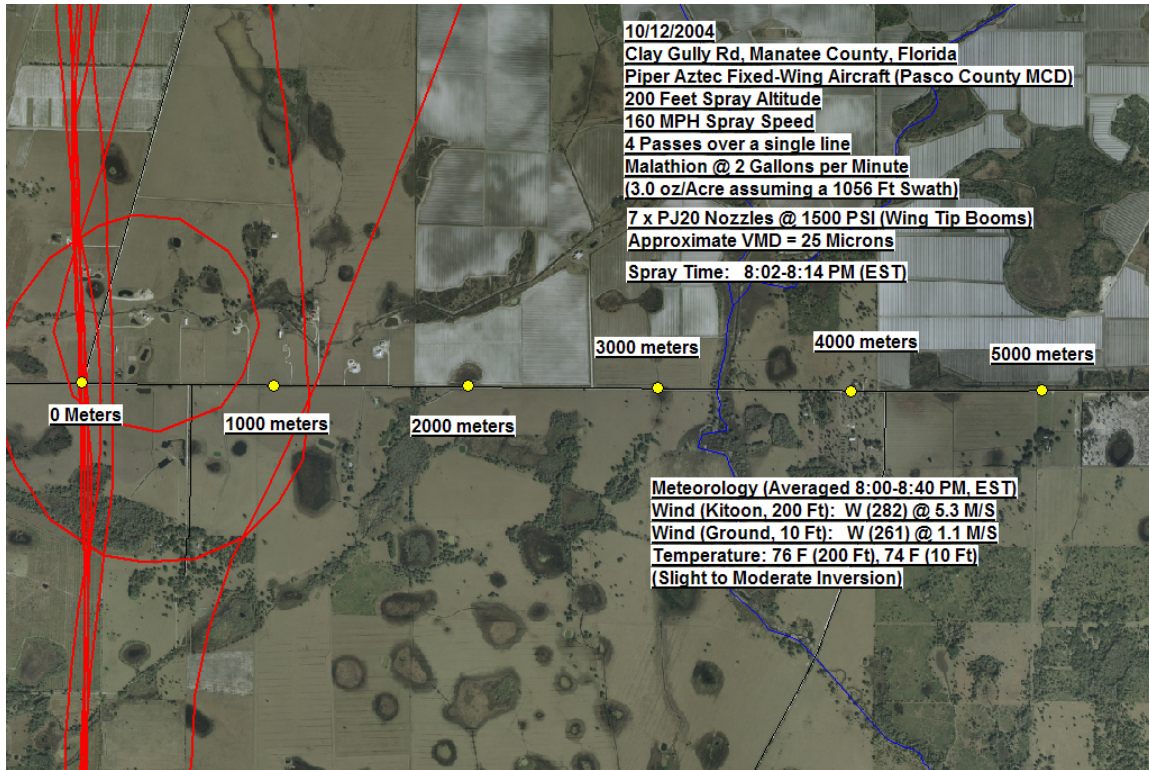


Figure 7 Paramètres de l'essai aérien numéro 4 réalisé le 12/10/04

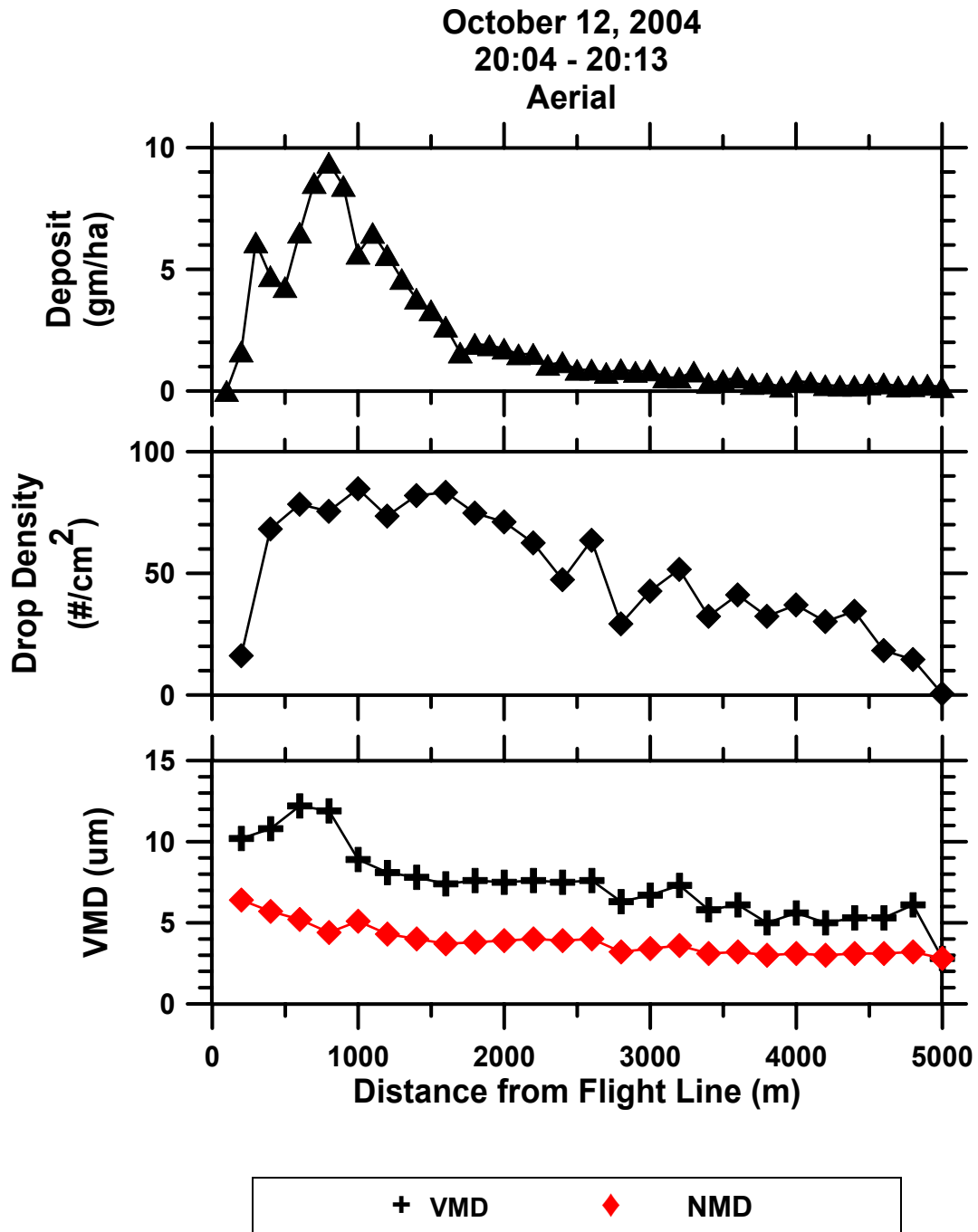


Figure 8 Résultats de l'essai aérien numéro 4 réalisé le 12/10/04

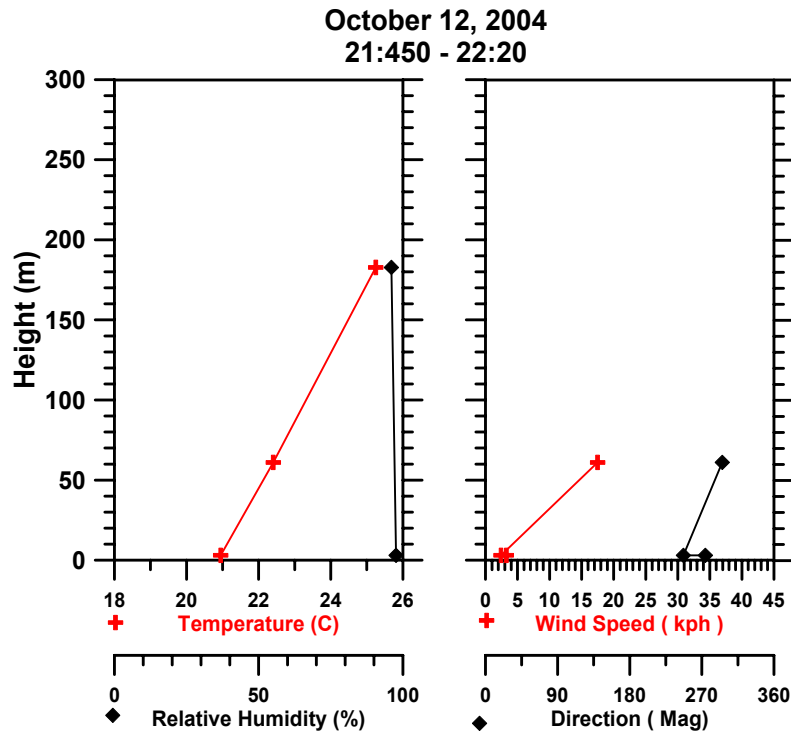
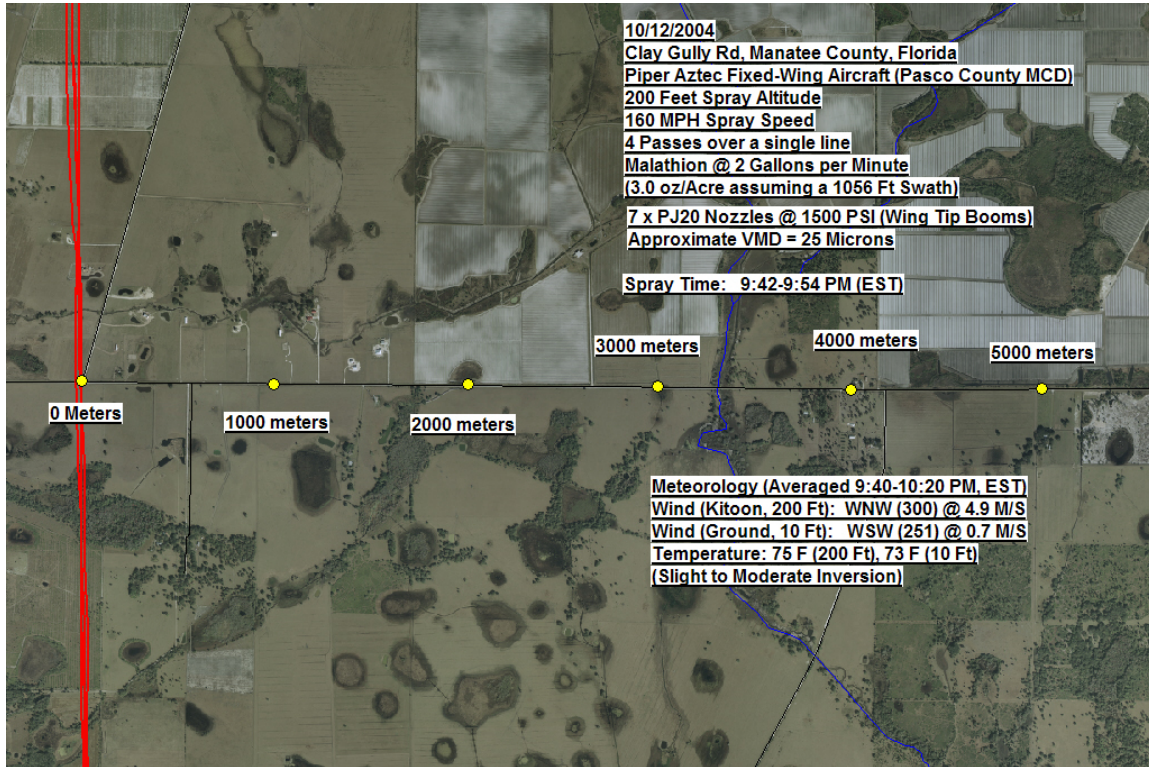


Figure 9 Paramètres de l'essai aérien numéro 5 réalisé le 12/10/04

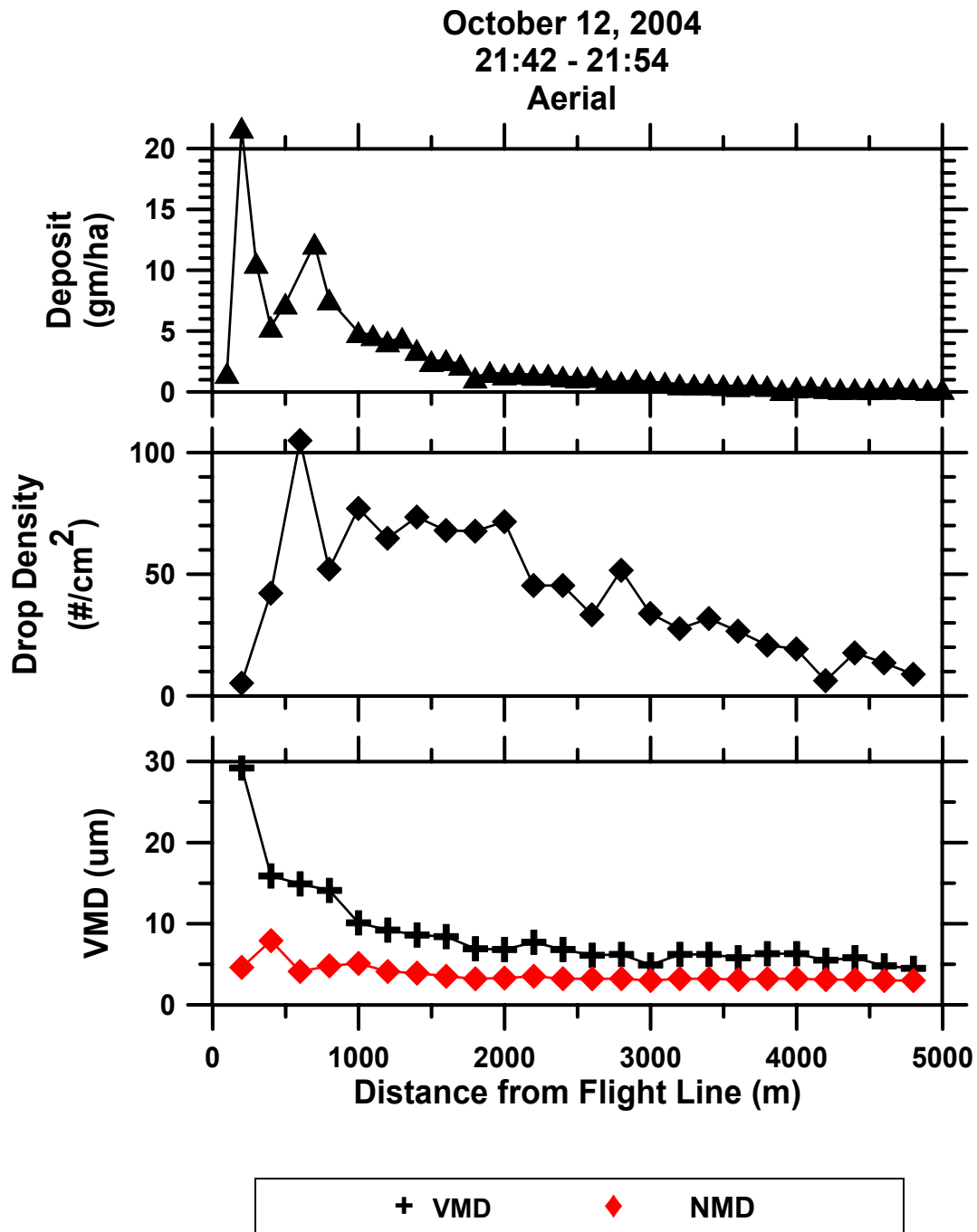


Figure 10 Résultats de l'essai aérien numéro 5 réalisé le 12/10/04

ANNEXE 5

**PARAMÈTRES DES ESSAIS SUR LE TERRAIN UTILISÉS COMME
INTRANTS POUR LES MODÉLISATIONS AVEC AGDISP**

Document de référence = PMRA Re-evaluation of Malathion (PARC2003-10)

Décisions réglementaires = Taux maximum

Application terrestre UBV = 60.8 g i.a./ha

Application aérienne = 260 g i.a./ha

Application aérienne avec l'avion Aztec

Taux maximum prévu par l'étiquette canadienne = 260 g i.a./ha

Produit

Produit utilisé pour les essais sur le terrain = Fyfanon US contenant
9,9 lb malathion/gal ou 1,18627 kg/L à 96,5 % (étiquette Fyfanon US)

Taux d'application = 0,2191 L/ha (Fyfanon US)

Gravité spécifique (gs) du malathion = 1,23

Paramètres de vol

Vitesse = 150 m/h (240 km/h)

Débit = 2,16 gal/min (276,48 oz/min ou 8,1756 L/min)

Niveau d'intensité à la source (NIS) = 2,0439 L/km

Bande de traitement = 93,3 m

Application terrestre UBV

Taux maximum prévu par l'étiquette canadienne = 60,8 g i.a./ha

Taux d'application = 0,05125 L/ha (Fyfanon US)

Vitesse au sol = 15 km/h

Paramètres des applications terrestres UBV

Débit réglé à 4,3 oz/min à 10m/h = 16 km/h

Débit = 4,3 oz/min = 0,12715 L/min (1oz US = 0,02957 L)

Niveau d'intensité à la source (NIS) = 0,4768 L/km

Bande de traitement = 93,0 m

Notes :

$NIS_{Aztec} = 4,28 \times NIS_{sol}$

ANNEXE 6

AGDISP 8.13 – PARAMÈTRES POUR LES MODÉLISATIONS TERRESTRES

AGDISP Input Data Summary

--General--

Title: PCMCD Ground Trials

Notes:

Calculations Done: Yes

Run ID: AGDISP PCMCD Grnd.ag 8.13 02-19-2005 20:51:26

--Aircraft--

Name	Clarke Grizzly	
Type	Library	
Boom Height (m)	0	
Spray Lines	1	
Optimize Spray Lines	No	
Spray Line Reps	#	Reps
	1	1

--Ground Application Type--

Ground Application Type	Liquid
--------------------------------	--------

--Drop Size Distribution--

Name	PCMCD Waved Slide
Type	User-defined

Drop Categories	#	Diam (um)	Frac
	1	1.01	0.0181
	2	1.30	0.0061
	3	1.61	0.0078
	4	1.97	0.0099
	5	2.37	0.0125
	6	2.82	0.0157
	7	3.32	0.0197
	8	3.89	0.0244
	9	4.52	0.0298
	10	5.24	0.0362
	11	6.04	0.0433
	12	6.94	0.0510
	13	7.94	0.0592
	14	9.08	0.0672
	15	10.35	0.0738
	16	11.77	0.0779
	17	13.37	0.0806
	18	15.17	0.0787
	19	17.19	0.0729
	20	19.45	0.0638
	21	21.99	0.0524
	22	24.84	0.0396
	23	28.04	0.0271
	24	31.64	0.0165
	25	35.67	0.0089
	26	40.20	0.0042
	27	45.28	0.0018
	28	50.99	0.0010

```

--Nozzle Distribution--
Boom Length (%)          0
Nozzle Locations        #           Hor(m)   Ver(m)   Fwd(m)
                        1             0       -0.1     0

--Swath--
Swath Width              93.0 m
Swath Displacement       0 m

--Spray Material--
Name                     Fyfanon
Type                     Reference
Nonvolatile Fraction     1
Active Fraction          0.965
Spray Volume Rate (L/ha) 0.0513

--Meteorology--
Wind Speed (m/s)         1.32
Wind Direction (deg)     -90
Temperature (deg C)      18.33
Relative Humidity (%)    50

--Atmospheric Stability--
Atmospheric Stability    Less Than 3/8ths Overcast

--Transport--
Flux Plane Distance (m)  0

--Canopy--
Type                     None

--Advanced--
Wind Speed Height (m)    2
Max Compute Time (sec)   6000
Max Downwind Dist (m)    502
Ambient Pressure (mb)    1013
Save Trajectory Files    No
Half Boom                No
Default Swath Offset     0 Swath
Specific Gravity (Carrier) 1.23
Specific Gravity (Nonvolatile) 1.23
Evaporation Rate (µm²/deg C/sec) 84.76

```

ANNEXE 7

AGDISP 8.13 – PARAMÈTRES POUR LES MODÉLISATIONS AÉRIENNES

AGDISP Input Data Summary

--General--

Title: PCMCD Aztec with PJ20 Nozzles

Notes:

Calculations Done: No

Run ID: AGDISP PCMCD Aztec.ag 8.13 00-00-0000 00:00:00

--Aircraft--

Name	Piper Aztec E	
Type	Library	
Boom Height (m)	60	
Spray Lines	1	
Optimize Spray Lines	No	
Spray Line Reps	#	Reps
	1	1
Wing Type	Fixed-Wing	
Semispan (m)	5.67	
Typical Speed (m/s)	66.7	
Biplane Separation (m)	0	
Weight (kg)	1912.02	
Planform Area (m ²)	32.89	
Propeller RPM	2575	
Propeller Radius (m)	1.1	
Engine Vert Distance (m)	0	
Engine Fwd Distance (m)	3.6	

--Aerial Application Type--

Aerial Application Type	Liquid
-------------------------	--------

--Drop Size Distribution--

Name	LCMCD Wind Tunnel
Type	User-defined

Drop Categories	#	Diam (um)	Frac
	1	1.11	0.0250
	2	1.61	0.0057
	3	2.17	0.0066
	4	2.82	0.0078
	5	3.58	0.0093
	6	4.44	0.0111
	7	5.44	0.0132
	8	6.60	0.0159
	9	7.93	0.0190
	10	9.46	0.0228
	11	11.23	0.0272
	12	13.27	0.0324
	13	15.63	0.0383
	14	18.34	0.0450
	15	21.47	0.0522
	16	25.08	0.0598
	17	29.24	0.0668
	18	34.04	0.0719
	19	39.57	0.0764
	20	45.95	0.0774

Drop Categories (cont'd)	#	Diam (um)	Frac
	21	53.31	0.0743
	22	61.80	0.0676
	23	71.58	0.0577
	24	82.86	0.0454
	25	95.88	0.0322
	26	110.88	0.0201
	27	128.18	0.0109
	28	148.14	0.0050
	29	171.15	0.0020
	30	197.68	0.0010

--Nozzle Distribution--

Boom Length (%)	-----			
	#	Hor(m)	Ver(m)	Fwd(m)
Nozzle Locations	98.59			
	1	-5.59	0.0035	0
	2	-5.39	0.0035	0
	3	-5.19	0.0035	0
	4	-4.99	0.0035	0
	5	-4.79	0.0035	0
	6	-4.59	0.0035	0
	7	4.59	0.0035	0
	8	4.79	0.0035	0
	9	4.99	0.0035	0
	10	5.19	0.0035	0
	11	5.39	0.0035	0
	12	5.59	0.0035	0

--Swath--

Swath Width	93.3 m
Swath Displacement	0 m

--Spray Material--

Name	Fyfanon
Type	Reference
Nonvolatile Fraction	1
Active Fraction	0.965
Spray Volume Rate (L/ha)	0.2191

--Meteorology--

Wind Speed (m/s)	4.85
Wind Direction (deg)	-90
Temperature (deg C)	18.33
Relative Humidity (%)	90

--Atmospheric Stability--

Atmospheric Stability	Less Than 3/8ths Overcast

--Transport--

Flux Plane Distance (m)	1000

--Canopy--

Type	None

--Terrain--	
Surface Roughness (m)	0.0075
Upslope Angle (deg)	0
Sideslope angle (deg)	0
--Advanced--	
Wind Speed Height (m)	60
Max Compute Time (sec)	60000
Max Downwind Dist (m)	5000
Vortex Decay Rate (IGE) (m/s)	0.56
Vortex Decay Rate (OGE) (m/s)	0.15
Aircraft Drag Coeff	0.1
Propeller Efficiency	0.8
Ambient Pressure (mb)	1013
Save Trajectory Files	No
Half Boom	No
Default Swath Offset	0 Swath
Specific Gravity (Carrier)	1.23
Specific Gravity (Nonvolatile)	1.23
Evaporation Rate ($\mu\text{m}^2/\text{deg C}/\text{sec}$)	84.76

