

CHAPITRE 5 : ESSAIS D'EXPOSITION EN TUNNEL AERODYNAMIQUE

5.1 INTRODUCTION

Les observations et mesures effectuées sur le terrain et présentées dans le chapitre 4 ont montré que les opérateurs travaillent souvent sans aucune protection, ce qui les expose aux produits qu'ils utilisent. L'objectif de ce chapitre 5 est d'une part de mesurer les dépôts de produits sur les parties corporelles d'un opérateur, de voir quelles sont les parties les plus exposées qu'il convient de protéger et d'autre part, d'obtenir les valeurs de substitution intégrables dans un modèle de calcul d'exposition de l'opérateur dans des conditions similaires à celles du Sahel.

Pour ce faire, des essais sont réalisés en conditions contrôlées, dans un tunnel aérodynamique, permettant la réalisation d'essais de pulvérisation. Les paramètres climatiques sont régulés de manière à être similaires à ceux rencontrés dans les zones d'application au Sénégal. Le produit pulvérisé est généré par des pulvérisateurs de même type que ceux utilisés sur le terrain. Les dépôts sont récupérés sur des patches collés sur les parties du corps de l'opérateur puis quantifiés par fluorimétrie.

5.2 MATERIELS ET METHODES

5.2.1 Présentation du tunnel

Un tunnel aérodynamique construit à l'Unité de Mécanique et Construction de la FUSAGx permet d'étudier la dérive des pesticides (Figure 5.1.). Ce tunnel permet de recréer de manière répétable les conditions atmosphériques similaires à celles rencontrées en milieu réel, en l'occurrence celles du Sénégal. La section de mesure est de 2 m x 2 m, la longueur de collecte des dépôts est de 6 m. Le tunnel comporte un ventilateur dimensionné de manière à obtenir un vent maximal de 5 m/s, un homogénéisateur conçu pour uniformiser le profil des vitesses, un dispositif de chauffage permettant de faire varier la température jusqu'à 26 °C et



Figure 5.2. : Les appareils de traitement utilisés pour les mesures.

5.2.2.1 Le pulvérisateur à dos à pression entretenue

Il comporte quatre principaux éléments présentés à la Figure 5.3.

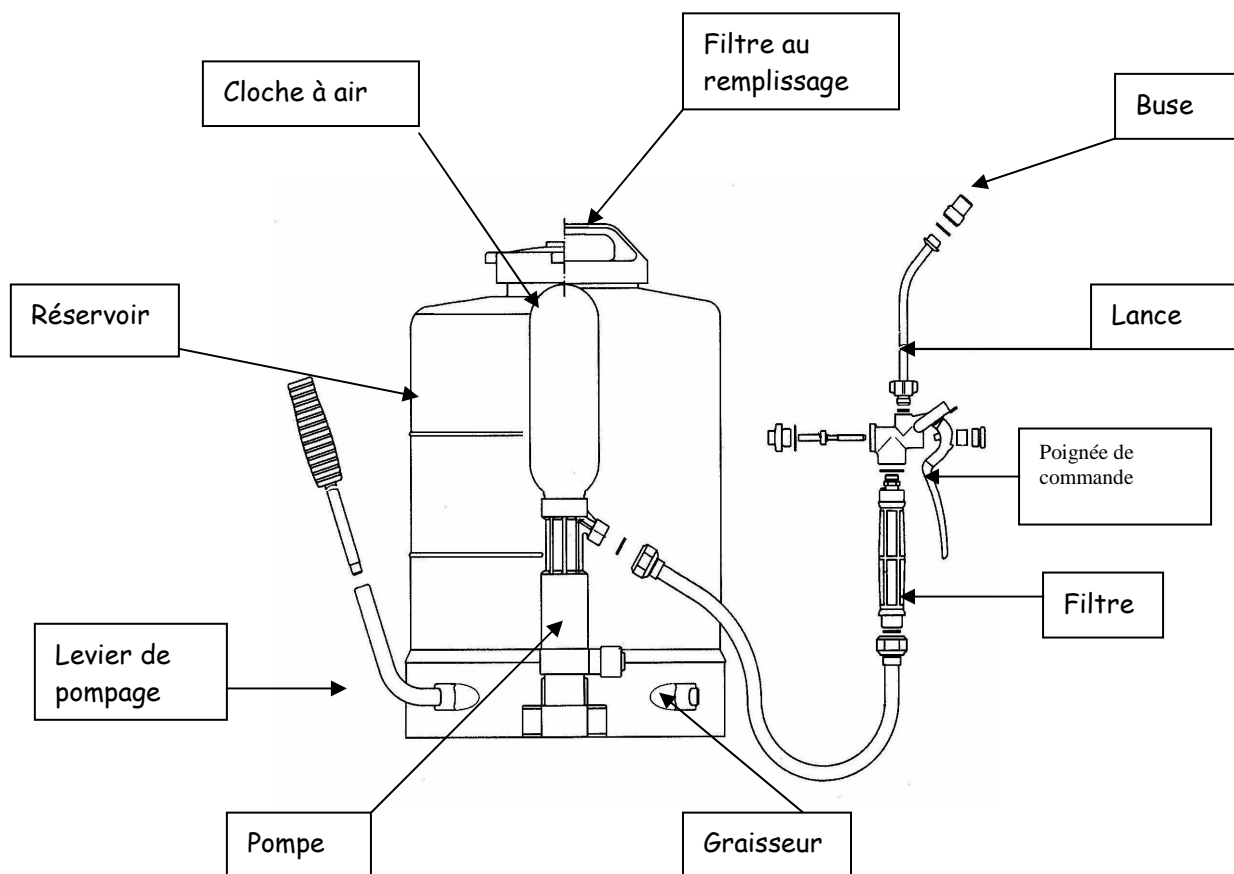


Figure 5.3. : Schéma détaillé d'un pulvérisateur à dos à pression entretenue.

Le circuit liquide : il comporte (1) le réservoir porté sur le dos, construit en matériau léger, résistant aux chocs, aux températures atmosphériques et à la corrosion. Son profil ergonomique et les sangles de portage réglables garantissent le confort de l'utilisateur. (2) La lance de pulvérisation et ses accessoires qui sont dirigés à la main. La lance est reliée à la pompe par un tuyau souple et comprend une poignée contenant un filtre, munie d'une vanne à gâchette bloquée en position ouverte durant les périodes de travail continu. La poignée est prolongée par un tube rigide (dont la longueur peut être doublée par une rallonge rectiligne).

L'organe de mise sous pression : une pompe à piston est actionnée par un levier se trouvant indifféremment sur l'un des côtés de l'appareil. Le mouvement alternatif donné au levier doit garder une cadence stable et suffisante (de l'ordre de 10 à 30 mouvements à la minute) pour maintenir, pendant toute la durée de l'application, une pression relativement constante et conforme à celle choisie.

Les buses de pulvérisation : elles sont vissées directement à l'extrémité de la lance par l'intermédiaire d'une buselure coudée. On utilise différents types de buses pour créer différents schémas de pulvérisation. Dans ce travail, l'appareil est équipé d'une buse à fente XR Teejet 11003VK. Le réglage de la pression est effectué à 3 bars par l'intermédiaire d'un clapet de réglage. La gamme de réglage de la pression du pulvérisateur utilisé va de 2 à 4 bars. La buse présente à 3 bars un débit moyen mesuré de $0,655 \pm 0,058$ litre/min.

5.2.2.2 La canne à pulvérisation centrifuge

Elle comporte 3 organes principaux présentés à la Figure 5.4.

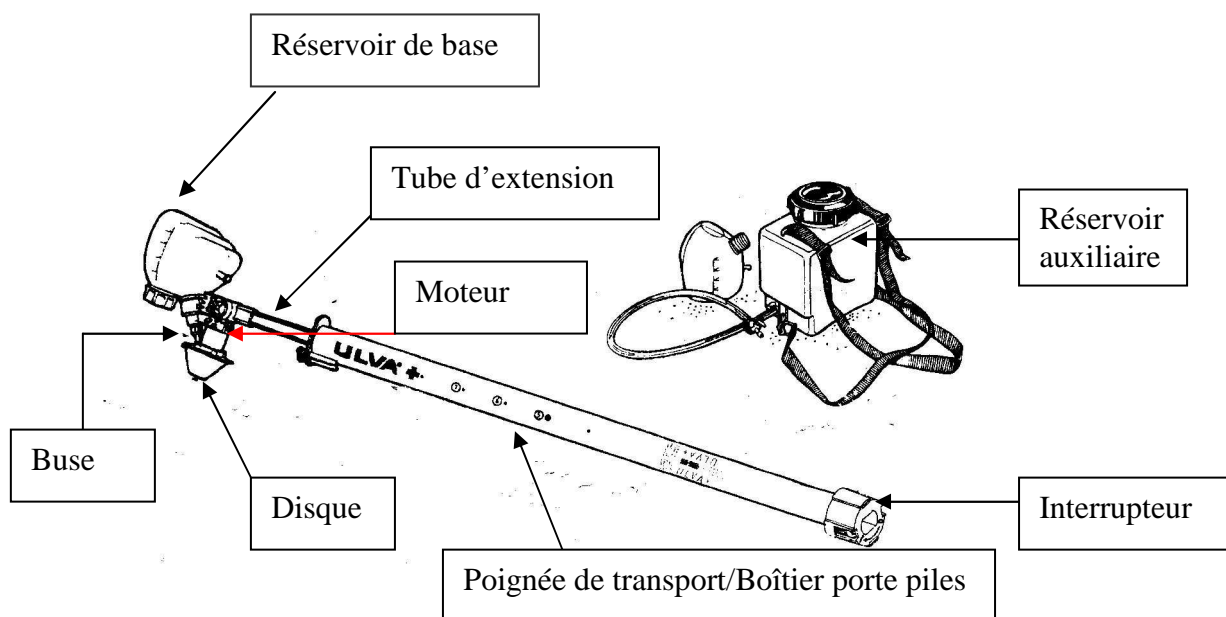


Figure 5.4. : Schéma détaillé de la canne à pulvérisation centrifuge.

La tête de pulvérisation : la pièce centrale comprend un boîtier contenant un moteur électrique, un plateau fixe et un disque mobile de pulvérisation solidaire de l'arbre moteur. Un manchon fileté (destiné à recevoir le réservoir et la buse d'alimentation) est fixé en oblique au-dessus du moteur de telle sorte que les axes forment un angle de 30°. Le réservoir de base en matière plastique translucide a une contenance de 1 litre. Il est gradué et vissé au-dessus du manchon fileté. Il comporte un orifice de remplissage à fermeture hermétique et une buselure de raccordement à un réservoir auxiliaire de 5 litres porté sur le dos de l'opérateur. Il est utilisé principalement pour les applications de bouillies aqueuses et permet d'alimenter le réservoir de base par des remplissages successifs. La bouillie s'écoule par gravité jusqu'au centre du disque rotatif par une buse d'alimentation tubulaire calibrée dont le débit nominal est identifié par coloris. Un orifice percé dans le manchon fileté permet la pénétration continue dans le réservoir d'un volume d'air correspondant au volume de bouillie qui s'écoule et assure la régularité de l'écoulement. L'arrêt de la pulvérisation s'opère par simple retournement de la position du réservoir du haut vers le bas en imprimant à la poignée de l'appareil un mouvement rotatif de 180°.

Le tube d'extension : la tête de pulvérisation est fixée par une pièce articulée (crantée avec vis de serrage) à l'extrémité d'un tube d'extension coulissant dans la poignée de l'appareil.

L'ampleur du mouvement coulissant dépend du nombre de piles utilisées. Lorsque les piles sont retirées pour le transport, ce dispositif réduit sensiblement l'encombrement.

La poignée de transport-boîtier porte piles : la poignée de transport consiste en un tube allongé recevant la partie coulissante du tube d'extension. A son extrémité, il sert de boîtier pouvant accueillir 5 à 8 piles électriques d'un modèle cylindrique, ordinaire de 1,5 volt et du type R20. Un interrupteur commande l'alimentation du moteur. Il est nécessaire d'utiliser 6 à 8 piles pour réaliser une pulvérisation à Ultra Bas Volume à raison de 1 à 3 litres de formulation huileuse et sous un régime de rotation situé entre 7500 et 10000 tours/min. Il n'en faut que 5 pour la pulvérisation à très bas volume (TBV) de 10 à 20 litres de bouillie aqueuse avec un régime de rotation de 4000 à 6000 tours/min. Lorsqu'elles sont en état, les piles peuvent atteindre une autonomie de 20 heures.

5.2.3 Les réactifs utilisés

Le sel sodique de fluorescéine : c'est le produit de pulvérisation ou le traceur utilisé durant cette partie du travail. Il possède une sensibilité élevée pour détecter les microtraces. Il est fourni par la firme SIGMA. Il a les caractéristiques suivantes :

- formule brute : $C_{20}H_{10}Na_2O_5$;
- CAS-N° : 518-47-8 ;
- masse molaire : $376,28 \text{ g.mol}^{-1}$;
- pureté $\geq 98\%$;
- absorption maximale : $490 \text{ nm} < \lambda < 492 \text{ nm}$ (dans du tampon à pH 8-9) ;
- état : solide, poudre orange rouge.

Le stockage de la fluorescéine se fait à la température ambiante à l'abri de la lumière pour éviter sa dégradation.

Le Di-Potassium hydrogénophosphate : c'est le tampon d'extraction utilisé. Il est fourni par VWR International. Sa formule chimique est le K_2HPO_4 . Il a une masse molaire de $174,18 \text{ g.mol}^{-1}$ et d'une pureté $\geq 98\%$. La solution tampon à pH 9 est constituée d'eau distillée additionnée d'environ 17,4 g de K_2HPO_4 dans un ballon de 2000 ml puis le volume est porté au trait de jauge avec l'eau distillée.

5.2.4 Le dispositif de mesure

Pour mener l'étude, un dispositif de collecte de la bouillie a été mis en place. Il est conçu de façon à collecter la bouillie pulvérisée sur toutes les parties du corps d'un opérateur placé dans le tunnel, se déplaçant à l'intérieur à une vitesse similaire à celle rencontrée en milieu réel, en simulant les scénarios de traitement en zones maraîchère et cotonnière.

Les patches sont les supports sur lesquels les gouttelettes sont récoltées. Le patch choisi est le voile de fibre de verre. Selon des tests effectués par Stainier [2004] sur plusieurs supports (laine de verre, ouate, filtre papier, filtre fibre de verre, voile de fibre de verre, gaze, ouatine), le voile de fibre de verre est choisi du fait de ses capacités suivantes : il ne se désagrège pas lors du lavage, ne laisse aucune trace en fluorimétrie, ne retient pas les traceurs, ce qui permet le lavage facile dans peu de mouillant. En plus, il est disponible en rouleau de 1 m x 50 m et peut être découpé aux dimensions requises par le protocole de mesure. La dimension des patches est de 100 cm^2 soit $4 \times (2,5 \text{ cm} \times 10 \text{ cm})$. Les patches au nombre de quatorze sont fixés sur un carton par des attaches puis sur la tenue par une colle adhésive (Figure 5.5.).

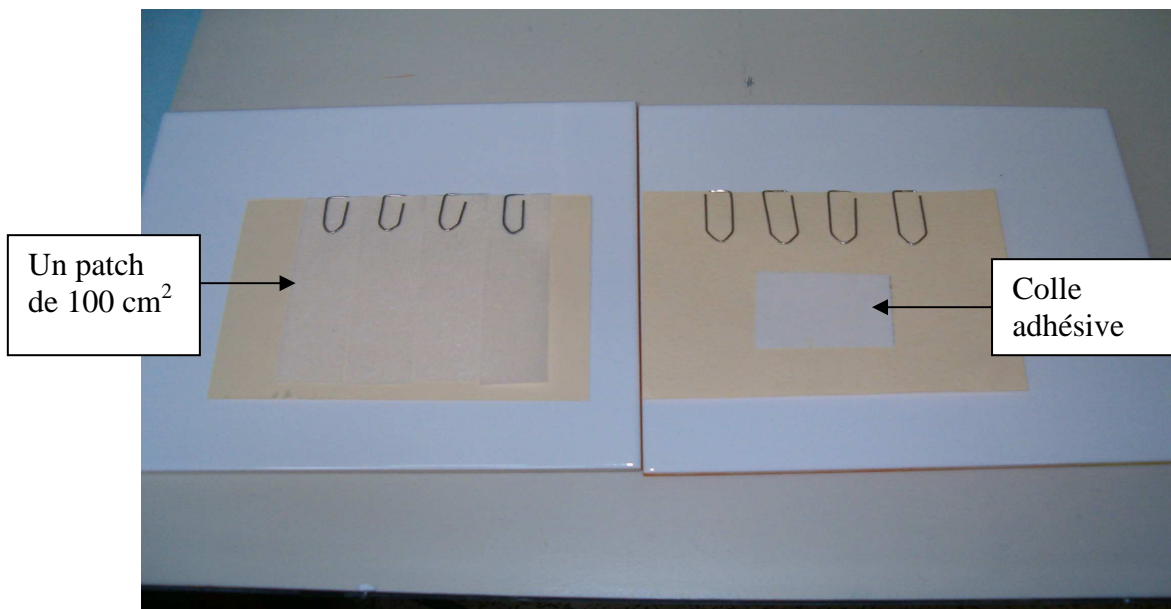


Figure 5.5. : Patches sur support.

Les patches sont collés sur plusieurs parties du corps d'un opérateur [Tête, Cou, Dos, Thorax, Epaules (gauche et droite), Bras (gauche et droit), Avants bras (gauche et droit), Cuisses (gauche et droite), jambes (gauche et droite)] (Figure 5.6.).



Figure 5.6. : Patches collés aux différents endroits du corps de l'opérateur.

5.2.5 Les conditions de réalisation

5.2.5.1 Essais simulant les conditions maraîchères

Les essais sont effectués avec un pulvérisateur à dos à pression entretenue. Les différents traitements sont les positions de l'opérateur par rapport au vent de direction face, dos et latérale (Figure 5.7.).



Figure 5.7. : Tunnel de mesures pour essais sur 2 rangées de pavés aux positions dos, latérale et face à la direction du vent.

Durant les traitements, les conditions climatiques du tunnel de pulvérisation à savoir la vitesse du vent, la température et l'humidité relative sont maintenues constantes et similaires à celles rencontrées dans la zone des Niayes au Sénégal :

- une température moyenne de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ et une humidité relative de près de $50 \pm 1\%$;
- une vitesse moyenne du vent de $2 \pm 0,05$ m/s.

La pression du pulvérisateur est de 3 bars et la pulvérisation se fait à une hauteur de 0 à 50 cm. Elle est réglée à l'aide d'une ficelle de 50 cm terminée par un objet d'un certain poids, accroché sur la lance, comme illustré à la Figure 5.8.



Figure 5.8. : Corde de réglage de la hauteur de pulvérisation dans le tunnel.

Chaque traitement fait l'objet de 3 répétitions. Une répétition est une pulvérisation d'une quantité égale à $6 \pm 0,130$ litres de bouillie. Durant les essais, nous avons préféré traiter en termes de volumes de bouillie que d'unités de temps. Le but est d'une part, d'éviter les variations liées à la cadence de manipulation du levier du pulvérisateur par l'opérateur ; d'autre part, cela permet d'obtenir rapidement la quantité de sel de fluorescéine par unité de surface traitée. Les variations de quantités pulvérisées d'un essai à l'autre sont liées au volume mort qui reste dans la cuve et dans le circuit liquide du pulvérisateur après le traitement.

La bouillie de pulvérisation est une solution de 1 gramme de fluorescéine additionné de 8 litres d'eau de ville, le tout est bien mélangé. Ainsi la solution obtenue est à une concentration de 0,125 g/l.

L'opérateur placé dans le tunnel, portant le pulvérisateur sur le dos, se déplace à l'intérieur en traitant à une vitesse de marche normale de 0,9 à 1 m/s. L'opérateur est droitier, durant les traitements, il manipule le levier par la main droite et tient la lance par la main gauche.

Les essais sont réalisés avec et sans végétation. Pour les essais sans végétation (9 au total, soit 3 traitements x 3 répétitions), l'opérateur pulvérise sur 2 rangées de pavés placées au ras du sol et distantes de 1 m x 1 m l'un de l'autre et sur une longueur de 5 m (Figure 5.9.).



Figure 5.9. : Tunnel de mesures pour essais sur 2 rangées de pavés.

Pour les essais avec végétation (9 au total, soit 3 traitements x 3 répétitions), la pulvérisation se fait sur 2 rangées de végétation artificielle placée aux mêmes emplacements que les pavés utilisés avec l'essai sans végétation (Figure 5.10.).



Figure 5.10. : Tunnel de mesure avec présence d'une végétation artificielle.

5.2.5.2 Essais simulant les conditions cotonnières

Les essais au nombre de 9 sont réalisés avec la canne à disque à pulvérisation centrifuge. Les traitements au nombre de 3 sont les positions de l'opérateur par rapport à la direction du vent (face, dos et latérale). La hauteur de pulvérisation est de 1,5 m. Durant les traitements, les conditions climatiques dans le tunnel de pulvérisation (la vitesse du vent, la température et l'humidité relative) seront réglées constantes et similaires à celles rencontrées dans la zone cotonnière au Sénégal, à savoir :

- une température moyenne de 25 ± 1 °C et une humidité relative de près de 65 ± 1 % ;
- une vitesse moyenne du vent de $1 \pm 0,01$ m/s.

Chaque traitement comporte 3 répétitions. Une répétition est une pulvérisation d'une quantité de bouillie de $1 \pm 0,015$ litres. La bouillie traitée est à une concentration de 0,125 g/l soit 1 gramme de fluorescéine dans 8 litres d'eau de ville. L'opérateur placé dans l'axe du tunnel portant le pulvérisateur se déplace sur 5 m à l'intérieur en traitant à une vitesse de marche normale de 1 m/s.

5.2.6 Collecte des échantillons et analyse au laboratoire

5.2.6.1 Collecte des échantillons

Au moment de la collecte des patches, on prépare en même temps le témoin (blanco) qui consiste en quatre bandelettes n'ayant subi aucune manipulation que l'on place dans un tube Falcon. A la fin de la pulvérisation, les patches fixés sur la tenue de l'opérateur sont collectés à l'aide d'une pince que l'on rince chaque fois avant sa réutilisation sur un autre patch, et placés dans un tube Falcon à l'abri de la lumière, pour ensuite être lavés avec la solution de tampon afin de récupérer la fluorescéine.

Ensuite, les flacons contenant les échantillons collectés sont à la fois dilués et lavés avec la solution de K_2HPO_4 pendant une quinzaine de minutes environ. La solution obtenue est versée dans des cellules de verre qui sont placées dans le spectrofluorophotomètre RF-1501 Shimadzu pour lecture. Enfin, les lectures du spectrophotomètre sont extrapolées par les droites de calibrage ou les références.

5.2.6.2 Méthode d'analyse

La méthode utilisée pour évaluer les résidus de dépôt du produit de pulvérisation sur les différentes parties du corps d'un opérateur est la spectrophotométrie. La spectrophotométrie est une méthode luminescente basée sur l'absorption de la radiation lumineuse provenant d'une source qui amène la molécule de la fluorescéine dans un état excité. Ainsi, la molécule excitée est soumise à des collisions avec les molécules voisines et, au fur et à mesure qu'elle cède de l'énergie (sans émettre de radiation), elle descend l'échelon des niveaux d'excitation jusqu'au niveau le plus bas de l'état excité de la molécule. La molécule excitée subit alors une émission spontanée et émet l'énergie excédentaire résiduelle sous la forme d'une radiation $h\nu_{\text{émis}}$ tel que $\nu_{\text{émis}} < \nu_{\text{exc}}$.

Le spectrophotomètre du Laboratoire de Phytopharmacie est l'appareil utilisé pour lire les résultats, son principe est relativement simple. Le principe de fonctionnement est illustré par la Figure 5.11.

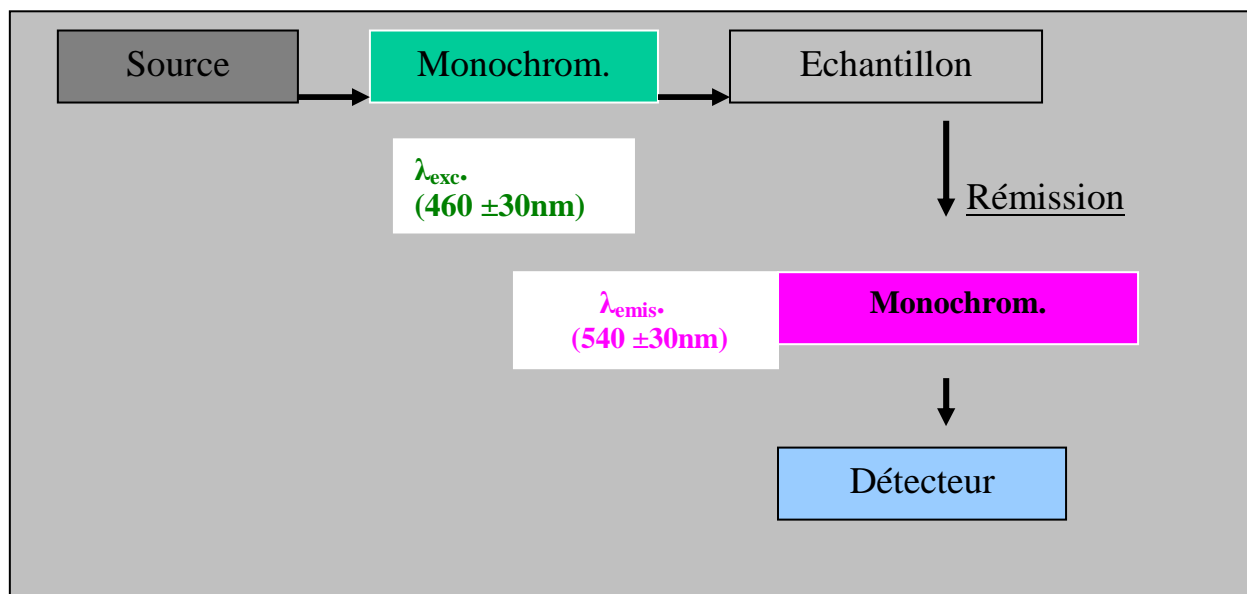


Figure 5.11. : Principe de fonctionnement du spectrophotomètre et longueurs d'ondes d'excitation et d'émission de la fluorescéine.

L'appareil se compose d'une source polychromatique, et d'un monochromateur placé après la source qui va sélectionner les longueurs d'ondes d'excitation ($460 \pm 30 \text{ nm}$) dans le cas de la fluorescéine. Une fois que l'échantillon a été irradié, on récupère grâce à un nouveau monochromateur les longueurs d'onde d'émission de l'échantillon ($540 \pm 30 \text{ nm}$). Les valeurs lues sont des intensités en fluorescéine (FI). La Figure 5.12 ci-dessous donne les résultats de calibration qui montrent des réponses linéaires avec des coefficients de corrélation très élevés ($R^2 = 0,999$).

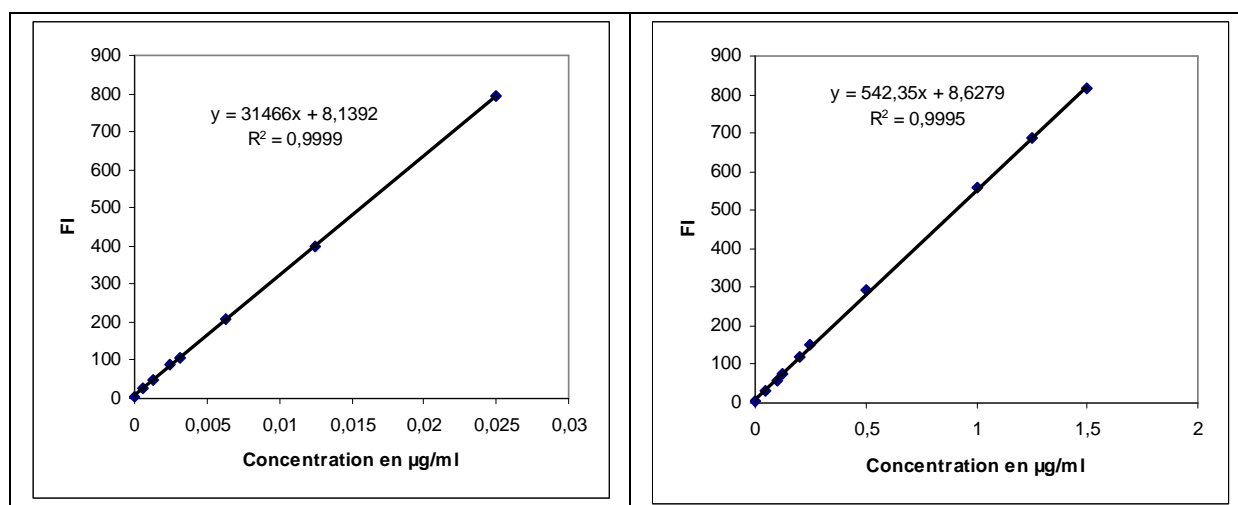


Figure 5.12. : Droites de calibration du spectrofluorophotomètre sur la plage de 0 à $2 \mu\text{g/ml}$.

5.2.6.3 Préparation des solutions de référence

Il s'agit de solutions préparées à différentes concentrations, permettant d'extrapoler les concentrations en fluorescéine des échantillons inconnus collectés sur les patchs utilisés lors des mesures. Le procédé consiste.

- à peser 0,1 g de fluorescéine au moyen d'une balance Mettler de précision de lecture 0,1mg et le rincer totalement dans un ballon jaugé de 1000 ml avec la solution tampon avant de le compléter jusqu'au trait, ce qui donne une solution (F1).
- partant de cette solution (F1), plusieurs solutions de référence contenant chacune une concentration connue C_i ($\mu\text{g/ml}$) de sel de fluorescéine sont préparées puis lues directement dans le spectrophotomètre. Les lectures notées LC_i sont exprimées en Fluorescéine Intensity.
- enfin, connaissant les intensités d'émission en fluorescéine des nos références respectives, on peut calculer la ou les concentrations (C) de nos extraits nets d'échantillons de patchs de 100 cm^2 . Les extraits nets (ΔFI) sont les valeurs brutes lues sur les échantillons des patchs mais retranchées de la moyenne des blancs ou échantillons de patch non traités (FI_0).

$$\Delta FI = FI - FI_0$$

La concentration C exprimée en ($\mu\text{g/ml}/100\text{cm}^2$ de patch) est obtenue par la formule suivante :

$$C = \frac{\Delta FI}{LC_i} \times C_i$$

La limite objective de quantification (LOQ) est obtenue sur la base du rapport entre l'écart-type des mesures obtenues sur des patchs non traités et la pente de la droite de calibration (Castro Cano *et al.*, 2000) et est égale à $0,78 \text{ ng/cm}^2$. L'écart-type obtenu sur une série de mesures de neuf échantillons (3 répétitions pour chaque traitement face, latéral et dos par rapport au vent) de patchs non traités est de $2,468 \cdot 10^{-5}$.

5.3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

5.3.1 Quantités de sel de fluorescéine collecté par unité de surface corporelle

5.3.1.1 Essai avec pulvérisateur à dos sans végétation

Les quantités moyennes de sel de fluorescéine collectées par unité de surface corporelle pour chaque position de l'opérateur par rapport à la direction du vent ainsi que les écarts-types autour de ces moyennes sont présentés au Tableau 5.1.

Tableau 5.1. : Quantités moyennes de sel de fluorescéine collectées en pulvérisation à dos sur traitements sans de la végétation ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$).

Quantités de sel de fluorescéine en $\mu\text{g}/\text{cm}^2$									
Parties du corps	Face			Latéral			Dos		
	Quantité	E-type	%	Quantité	E-type	%	Quantité	E-type	%
Tête	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.
Cou	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.
Thorax	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.
Dos	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.
Epaule gauche	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.
Epaule droit	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.
Bras gauche	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.
Bras droit	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.
Av. bras gauche	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.
Av. bras droit	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.
Cuisse gauche	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.	0,00198	0,00208	1,05
Cuisse droite	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.	0,00080	0,00051	0,44
Tibia gauche	0,59510	0,24375	45,94	0,02496	0,04281	64,86	0,09255	0,09874	51,11
Tibia droit	0,70061	0,58850	54,07	0,01376	0,02277	35,13	0,08548	0,12430	47,22

A la lecture de ce tableau, nous constatons que la fluorescéine est essentiellement collectée, durant la pulvérisation à dos, sur les membres inférieurs de l'opérateur. Plus particulièrement, les tibias totalisent les pourcentages respectifs de 100 % pour les positions face, latérale et 98,3 % pour la position dos au vent. De faibles quantités proportionnelles à 1,5 % sont collectées sur les cuisses pour les vents de direction dos à l'opérateur.

Un zoom effectué sur les tibias, qui concentrent au moins 98 % de la collecte de bouillie pour chaque traitement (Figure 5.13.), montre que la position face au vent présente des quantités de collecte supérieure par rapport aux autres traitements. Les valeurs sont 6 à 8 fois supérieures par rapport aux situations où l'on est dos au vent et 25 à 50 fois supérieures par rapport aux pulvérisations latérales par rapport au vent.

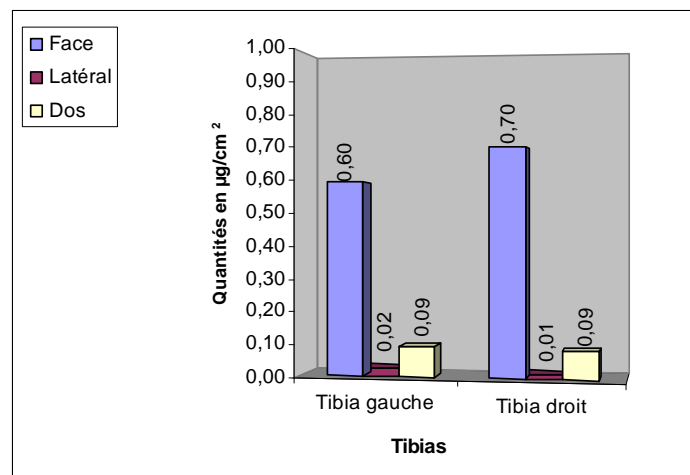


Figure 5.13. : Répartition de la fluorescéine sur tibias en pulvérisation à dos avec traitement sans végétation.

5.3.1.2 Essai avec pulvérisateur à dos avec végétation

Les résultats relatifs aux quantités moyennes de sel de fluorescéine par unité de surface corporelle collectée durant les expériences sur de la végétation, pour chaque position de l'opérateur par rapport à la direction du vent et les écarts-types autour de ces moyennes sont présentés au Tableau 5.2.

Tableau 5.2. : Quantités moyennes de sel de fluorescéine collectées en pulvérisation à dos sur traitements en présence de la végétation.

Quantités en fluorescéine en µg/cm ²									
Parties du corps	Face			Latéral			Dos		
	Quantité	E-type	%	Quantité	E-type	%	Quantité	E-type	%
Tête	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.
Cou	0,00122	0,00130	0,04	< LOQ	.	.	0,00084	0,00095	0,74
Thorax	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.	0,00130	0,00123	1,15
Dos	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.
Epaule gauche	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.
Epaule droit	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.
Bras gauche	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.
Bras droit	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.
Av. bras gauche	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.	0,00241	0,00143	2,13
Av. bras droit	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.	0,00164	0,00196	1,45
Cuisse gauche	0,00413	0,00352	0,14	< LOQ	.	.	0,01349	0,02043	11,95
Cuisse droite	0,00261	0,00308	0,09	< LOQ	.	.	0,01522	0,02282	13,49
Tibia gauche	1,43619	0,18638	50,68	0,04889	0,20974	58,37	0,05337	0,04907	47,31
Tibia droit	1,38898	0,25185	49,02	0,03480	0,16601	41,63	0,02456	0,03105	21,77

A la lecture du Tableau 5.2, nous remarquons que le sel de fluorescéine est essentiellement collecté, durant ce scénario de pulvérisation, sur les membres inférieurs de l'opérateur notamment sur les tibias qui totalisent les 99,7 %, 100 % et 69 % de la quantité collectée, pour les positions face, latérale et dos au vent. Avec la position dos au vent, nous décelons la présence de fluorescéine sur les parties du corps de l'opérateur autres que les membres inférieurs, avec des pourcentages de collectes plus importantes sur les tibias et les cuisses, respectivement de 69 % et 25,4 %. Sur les autres membres, nous avons les proportions suivantes : 3,6 % aux avant-bras, 1,1 % sur le thorax et 0,7 % au cou.

Au vu de ces résultats, la position face au vent est la position la plus défavorable, elle est suivie par les positions latérales ou dos au vent qui semblent présenter les mêmes niveaux de collecte sur les tibias. Cependant, compte tenu de la contamination des autres parties corporelles constatée avec le traitement dos au vent, qui éventuellement pourrait être due aux tourbillons engendrés, on peut dire que la position latérale est plus favorable que celle de dos. Les quantités de sel de fluorescéine sur les tibias présentées à la Figure 5.14 montrent des quantités plus importantes pour le traitement face au vent. Les mesures sont de l'ordre de

40 fois supérieures à celle de la position latérale et 50 fois supérieures à celle de la position dos.

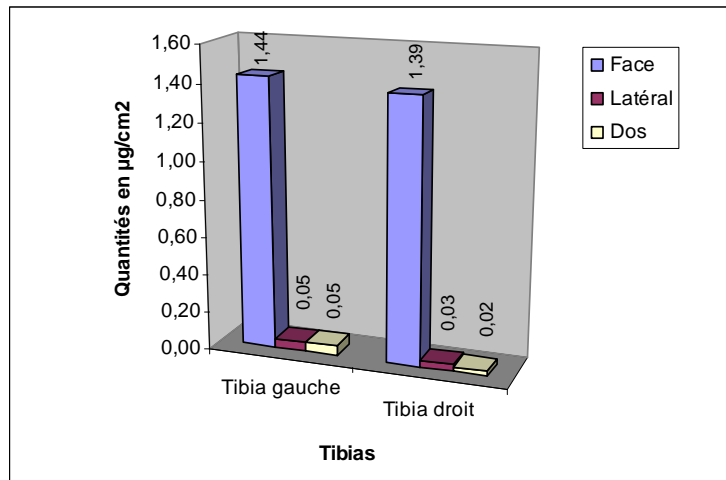


Figure 5.14. : Répartition de la fluorescéine sur tibia en pulvérisation à dos sur de la végétation.

5.3.1.3 Essai avec la canne à pulvérisation centrifuge

Les résultats relatifs aux quantités moyennes de sel de fluorescéine par unité de surface corporelle mesurées dans des expériences avec une canne centrifuge, pour chaque position de l'opérateur par rapport à la direction du vent et les écarts-types autour de ces moyennes sont présentés au Tableau 5.3.

Tableau 5.3. : Quantités moyennes de sel de fluorescéine collectées en pulvérisation à la canne centrifuge.

Quantités en fluorescéine en $\mu\text{g}/\text{cm}^2$									
Parties du corps	Face			Latéral			Dos		
	Quantité	E-type	%	Quantité	E-type	%	Quantité	E-type	%
Tête	< LOQ	.	.	< LOQ	.	.	0,00086	0,00031	0,07
Cou	< LOQ	.	.	0,00142	0,00121	0,42	0,00211	0,00117	0,18
Thorax	0,00110	0,00073	0,30	0,00103	0,00026	0,30	0,00551	0,00759	0,48
Dos	0,00144	0,00002	0,40	0,00101	0,00047	0,30	0,00125	0,00036	0,11
Epaule gauche	0,00123	0,00090	0,34	< LOQ	.	.	0,00297	0,00210	0,26
Epaule droit	0,00085	0,00026	0,24	0,00081	0,00024	0,24	0,00207	0,00111	0,18
Bras gauche	0,13076	0,10517	36,69	0,19883	0,18550	59,17	0,24619	0,33259	21,25
Bras droit	0,03989	0,06451	11,19	0,00144	0,00070	0,42	0,00258	0,00206	0,22
Av. bras gauche	0,02209	0,01949	6,19	0,11113	0,14958	33,07	0,37641	0,49792	32,49
Av. bras droit	0,00135	0,00042	0,37	0,00131	0,00091	0,38	0,00166	0,00073	0,14
Cuisse gauche	0,07786	0,03832	21,84	0,01529	0,01637	4,87	0,17935	0,06420	15,48
Cuisse droite	0,01002	0,00633	2,81	0,00089	0,00042	0,26	0,14415	0,06673	12,44
Tibia gauche	0,04913	0,01049	13,78	0,00169	0,00037	0,50	0,12933	0,06594	11,16
Tibia droit	0,02062	0,00549	5,78	0,00116	0,00060	0,34	0,06409	0,01226	5,53

A la lecture du Tableau 5.3, nous remarquons la présence de sel de fluorescéine sur toutes les parties du corps de l'opérateur. Les quantités les plus importantes sont trouvées au niveau des membres supérieurs (bras et avant-bras) et plus précisément sur les parties gauches qui totalisent des pourcentages en sels de fluorescéine de 42,9 %, 92,2 % et 53,7 %, respectivement aux positions face, latérale et dos au vent. Il importe de souligner que pendant les expériences, le disque de fragmentation se situe du côté gauche de l'opérateur où le brouillard est généré car l'opérateur est droitier, il tient la poignée de transport à sa droite. Ce qui explique les quantités importantes du côté gauche.

La position de l'appareil et le mode de manipulation expliquent également la répartition du produit plus importante sur certaines parties corporelles que d'autres. En effet, la canne centrifuge est maintenue horizontalement au-dessus de la culture traitée avec les poignées des mains. Et, suivant les recommandations d'usage, pour assurer une bonne répartition du brouillard généré à travers le disque de fragmentation lors de la pulvérisation, on le maintient à une hauteur de 1 m au-dessus de la culture à traiter. Ce que nous avons essayé de reproduire durant ces essais, en imaginant une hauteur fictive de plantation de 0,5 m

qui implique une hauteur de traitement de 1,5 m. Ainsi, l'appareil est suspendu à hauteur des épaules d'où la contamination plus élevée des bras et avant-bras. Néanmoins, le sel de fluorescéine est aussi collecté sur les autres parties du corps: les cuisses pour 24,6 %, 5,1 % et 27,9 % aux positions face latérale et dos au vent. Les tibias pour les pourcentages de 19,1 %, 0,8 % et 16,7 % dans l'ordre respectif des positions citées ci-dessus. Les bras et avant-bras droits ont des pourcentages de 11,6 %, 0,8 % et 0,4 %.

Une comparaison des moyennes des traitements illustrée à la Figure 5.15 montre que le traitement à la position dos au vent est très défavorable comparé à celui de la position latérale ou face au vent. Le traitement à la position latérale comparé à celui de dos présente une contamination localisée au niveau des bras et avant-bras tandis que le traitement face au vent contamine les membres supérieurs et les autres parties corporelles. Signalons qu'avec ce type d'appareil, le traitement se fait toujours latéralement au vent. Le traitement sur de la végétation n'a pas été effectué, car avec ce type d'appareil, le traitement se fait au-dessus de la végétation (0,5 à 1 m).

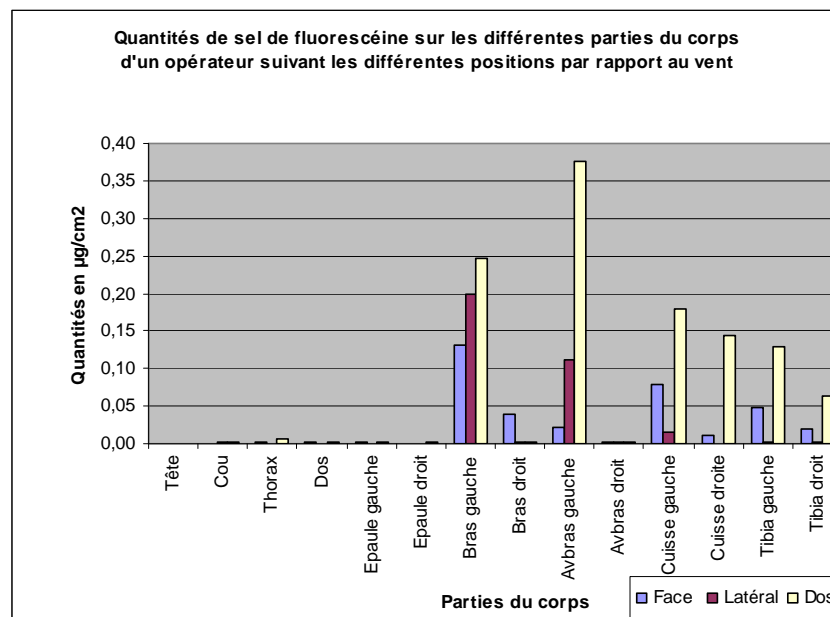


Figure 5.15. : Répartition de la fluorescéine sur les parties corporelles en pulvérisation à la canne centrifuge.

5.3.2 Comparaison des essais pulvérisateurs à dos

La Figure 5.16 présente la répartition moyenne du sel sur les différentes parties du corps de l'opérateur avec les scénarios de pulvérisation à dos avec et sans végétation. Elle montre que, dans tous les cas, la collecte se fait essentiellement au niveau des tibias lors de la pulvérisation en culture basse avec le pulvérisateur manuel à dos. La position face au vent qui a été toujours la position la plus défavorable devient beaucoup plus critique avec la présence de végétation, les quantités mesurées sur les tibias doublent (Figure 5.17.). Ceci s'explique vraisemblablement par des phénomènes de turbulence dus au feuillage. Pour les autres traitements, la présence de végétation entraîne une légère diminution sur les tibias pour la position de dos. Pour la position latérale, les quantités sont égales.

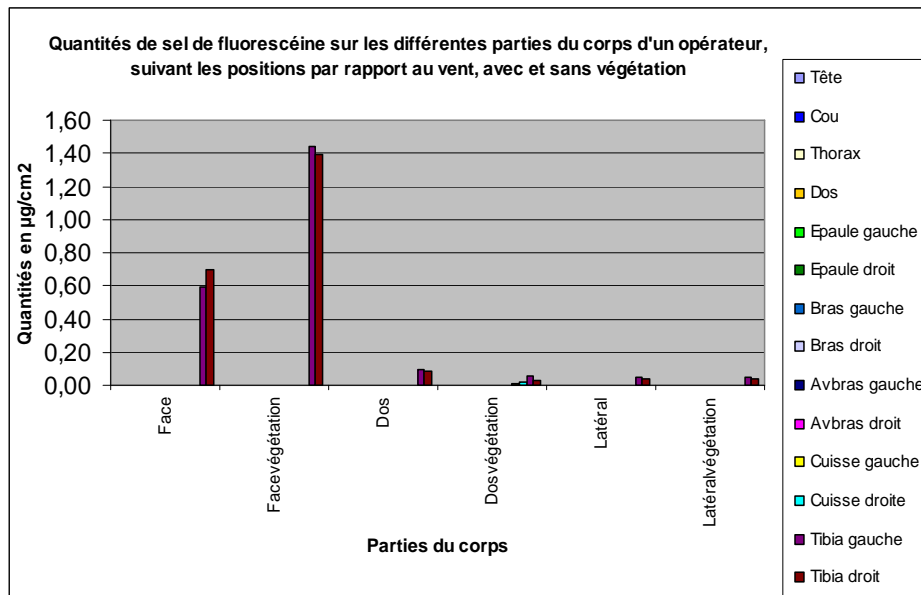


Figure 5. 16. : Comparaison de la répartition de la fluorescéine sur les parties corporelles en pulvérisation à dos avec et sans végétation.

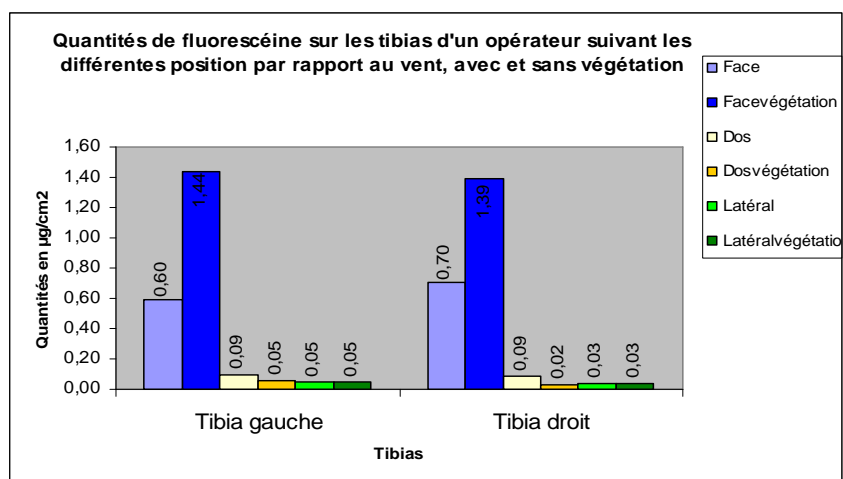


Figure 5.17. : Répartition de la fluorescéine sur les tibias en pulvérisation à dos avec et sans végétation.

5.3.3 Comparaison entre les deux types d'appareil de traitement

La Figure 5.18 présente la répartition moyenne du sel de fluorescéine sur les différentes parties du corps de l'opérateur générée par les 2 types d'appareils pour les différents traitements. Les profils de répartition du sel sur le corps présentés par ces 2 appareils sont différents. Avec le pulvérisateur à dos, nous remarquons que la collecte du produit est localisée sur les tibias, tandis qu'avec la canne centrifuge, la collecte est plus ou moins répartie sur toutes les parties corporelles. Cette différence résulte du mode de fonctionnement de ces 2 appareils. Le pulvérisateur à dos, le jet est réparti autour de la cible, tandis qu'avec la canne, la propagation est un brouillard.

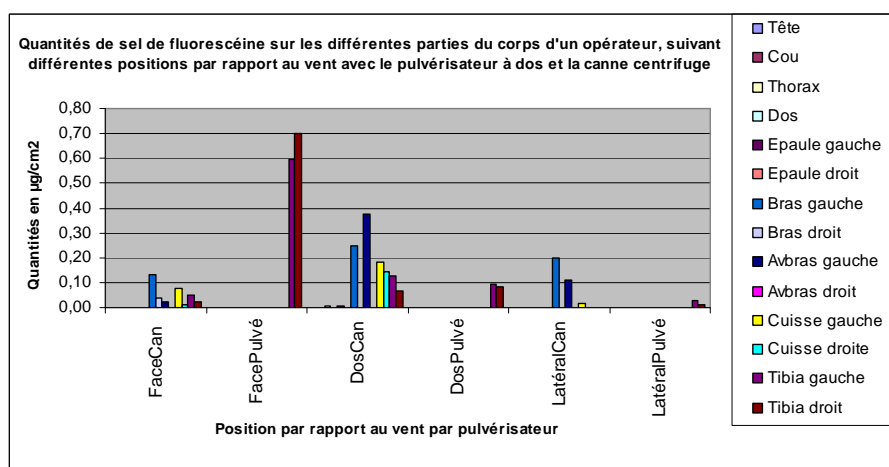


Figure 5.18. : Comparaison de la répartition de la fluorescéine sur les parties corporelles obtenue avec les traitements au pulvérisateur à dos et à la canne centrifuge.

5.3.4 Estimation de l'exposition théorique par voie cutanée

Pour estimer l'exposition par voie cutanée, on se base sur le découpage du corps proposé par l'OCDE (1997) et présenté au Tableau 2.1. D'après ce découpage, chaque partie du corps a sa correspondance en cm². Ainsi, les quantités de produit collecté ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$ /membre) sont extrapolées au niveau de chaque partie corporelle. La somme de la quantité de fluorescéine sur toutes les parties donne l'exposition théorique corporelle par voie dermique de l'opérateur. Le Tableau 5.4 présente les quantités de sel de fluorescéine collectées en μg par gramme de traceur appliqué, après extrapolation dans les différentes parties du corps de l'opérateur pour les différents scénarios de traitement suivis.

Tableau 5.4. : Quantités de sels de fluorescéine estimées sur les parties corporelles en $\mu\text{g}/\text{g}$ de traceur.

	Pulvérisateur à dos sans végétation			Pulvérisateur à dos avec végétation			Canne à pulvérisation centrifuge		
	Face	Latéral	Dos	Face	Latéral	Dos	Face	Latéral	Dos
Tête	0	0	0	0	0	0	0	0	1,2
Cou	0	0	0	0	0	0,13	0	0,21	0,31
Thorax	0	0	0	0	0	4,61	3,90	3,65	19,56
Dos	0	0	0	0	0	0	5,11	3,58	4,43
Bras	0	0	0	0	0	0	496,59	582,78	723,92
Avant-bras	0	0	0	0	0	4,90	28,36	136,05	457,46
Cuisses	0	0	10,61	25,74	0	109,67	335,70	61,8	1235,77
Tibias	3083,78	92,15	423,71	6723,66	199,18	185,47	166,00	6,78	460,39
TOTAL	3083,78	92,15	434,33	6749,59	199,18	304,78	1035,67	794,87	2902,92
% de la quantité de sel pulvérisée	0,41	0,01	0,06	0,89	0,02	0,04	0,82	0,63	2,32

Après extrapolation, les résultats montrent qu'avec la pulvérisation à dos, la contamination a lieu principalement sur les membres inférieurs de l'opérateur et plus particulièrement les tibias. Quant à la canne centrifuge, la contamination est généralisée sur l'ensemble du corps de l'opérateur. On remarque toujours que la position de l'opérateur face à la direction du vent expose le plus, et la direction latérale du vent est la meilleure.

5.4 CONCLUSION

Avec le pulvérisateur à dos, en l'absence de végétation, la contamination est localisée sur les tibias qui concentrent plus de 99 % du sel de fluorescéine. La position la plus favorable à conseiller aux opérateurs est la position latérale par rapport à la direction du vent. La présence de végétation de 50 cm de hauteur comparée à la pulvérisation sans végétation augmente l'exposition aux positions face et latérale à la direction du vent. Quand on compare la contamination en présence de végétation par rapport à la pulvérisation sur sol nu, la contamination est respectivement multipliée par 2,19 et 2,4 dans les positions face et latérale par rapport à la direction du vent. Par contre dans la position dos à la direction du vent, on observe une légère réduction de la contamination en présence de végétation.

Pour la canne à pulvérisation centrifuge, en tenant compte du principe de fonctionnement de l'appareil, la position latérale est la position la plus favorable qu'il convient d'adopter. La situation théorique présentant le plus de risque pour l'opérateur est la position face au vent. La contamination induite par cet appareil se généralise sur toutes les parties corporelles :

- les bras et avant-bras avec les pourcentages de 54,5 % ; 93 % ; 54,1 % respectivement aux positions face, latérale et dos au vent ;
- les cuisses avec 24,6 % ; 5,1 % et 27,9 % respectivement aux positions face, latérale et dos au vent ;
- les tibias avec 19,1 % ; 0,8 % ; 16,7 % aux positions face, latérale et dos au vent ;
- le reste, avec des valeurs avoisinantes de zéro est réparti entre le thorax, la tête et le cou.

Une comparaison entre les 2 types d'appareils de traitement indique que la canne à pulvérisation centrifuge, malgré une moindre quantité de bouillie pulvérisée (durant les expériences en tunnel, 1 litre contre 6 litres pour le pulvérisateur à dos), expose plus l'opérateur. Ceci est lié à la spécificité de fonctionnement de cet appareil qui est destiné à des applications à bas ou très bas volume de bouillie/ha. En cultures cotonnières, le volume moyen est de 10 litres par hectare. Le film liquide tombe par gravité sur un disque rotatif et, du fait de la force centrifuge, se disloque dans l'atmosphère en fins filaments liquides donnant

naissance à un ensemble de très fines gouttelettes homogènes (brouillard) qui, par la suite, sont transportées sur la cible par le vent. Elles peuvent se déposer sur toutes les parties du corps de l'opérateur en cas de changement de direction du vent en cours de travail. Par ailleurs, le risque d'exposition par inhalation, qui n'a pas été étudié dans ce travail, est également vraisemblablement important.

Les quantités de sel collectées durant les essais montrent que l'opérateur est toujours exposé, quelle que soit sa position par rapport au vent. C'est ainsi qu'une place importante doit être accordée aux EPI afin de réduire au maximum le contact avec les pesticides. Toutefois, il y a lieu de noter que les mesures en matière d'EPI doivent répondre à certaines exigences, tout au moins aux trois exigences essentielles pour l'opérateur : la qualité, le confort et le coût.

Il est donc très important de connaître le fonctionnement des appareils de traitement utilisés, surtout la répartition du jet ou du brouillard sur la cible à traiter mais également la partie qui retourne sur l'opérateur lors de l'application et qui permet d'établir le profil d'exposition. Ce profil permet de dégager des recommandations précises sur les parties à protéger tout en prenant en compte l'environnement de travail de l'opérateur.

CHAPITRE 6 : LES BASES D'UN MODELE DE CALCUL D'EXPOSITION ADAPTE AUX CONDITIONS D'APPLICATION AU SENEGAL

6.1 INTRODUCTION

Afin de venir en appui aux prises de décision dans le cadre de l'homologation des produits phytosanitaires, certains pays ont mis au point des modèles d'estimation des risques d'exposition des opérateurs. La Grande-Bretagne, l'Allemagne et les Pays-Bas proposent respectivement les modèles UK POEM, GERMAN Model, DUTCH Model. Un modèle harmonisé européen appelé EUROPOEM est en cours de développement.

L'objectif de ce chapitre est d'abord de présenter les modèles de calculs européens et de les comparer afin d'appréhender leurs atouts et limites, puis de s'inspirer de ces modèles pour fournir une estimation de l'exposition des applicateurs des produits phytosanitaires pour des cultures, scénarios de traitements et conditions de travail rencontrés au Sénégal et correspondant aux données présentées aux Chapitres 4 et 5.

6.2 PRESENTATION DES MODELES D'EXPOSITION EUROPEENS

6.2.1 Principes de base

Le principe des modèles d'exposition consiste à calculer une *exposition potentielle*, en considérant l'*exposition spécifique* (ou exposition déterminée expérimentalement, exprimée en mg/kg de substance active manipulée ou appliquée), et la quantité de substance active appliquée (en kg s.a./jour), pour la comparer à une *exposition journalière admissible (AOEL)*. L'exposition potentielle¹ est la quantité totale de pesticide qui serait inhalée ou ingérée en l'absence de toute protection ou qui arriverait sur le corps s'il était

¹ En anglais : 'potential exposure'

nu. La fraction de pesticide arrivant sur le corps compte tenu de la pénétration au travers des vêtements de protection est *l'exposition effective*².

Les principes de base de ces modèles donnés ci-après sont extraits de Lundehn et al. [1992].

6.2.1.1. Détermination de l'exposition potentielle

Il y a trois voies d'exposition :

- l'exposition par voie dermique (D), via la région de la tête (index 'C'), les mains (index 'H') et le corps (index 'B') ;
- l'exposition par inhalation (I) ;
- l'exposition par voie orale (O).

Compte tenu des différentes phases de travail, à savoir la préparation du produit (index 'M') et son application (index 'A'), chacune des trois expositions D, I et O comporte les expositions partielles suivantes :

$$D = D_{M(C)} + D_{M(H)} + D_{M(B)} + D_{A(C)} + D_{A(H)} + D_{A(B)}$$

$$I = I_M + I_A$$

$$O = O_M + O_A$$

Pour une phase de travail déterminée, les expositions potentielles, qu'elles soient cutanée (D), par inhalation (I) et orale (O), dépendent de trois facteurs, à savoir :

- les expositions spécifiques déterminées expérimentalement et notées D*, I* et O*. Il s'agit des expositions relatives à la manipulation de 1 kg de s.a., exprimées en mg/(personne x kg s.a.) ;
- la superficie traitée par jour (A) (ha/jour) ;
- la quantité de matière active utilisée (R) (kg s.a./ha).

Partant de ces trois facteurs, les expositions potentielles, exprimées en mg s.a./(personne x jour) sont calculées de la manière suivante :

$$D = D^* \times R \times A$$

$$I = I^* \times R \times A$$

$$O = O^* \times R \times A$$

ou, en différenciant, pour obtenir les expositions effectives partielles :

² En anglais : 'actual dermal exposure'

$$D_{M(H)} = D_{M(H)}^* \times R \times A$$

$$D_{M(B)} = D_{M(B)}^* \times R \times A$$

etc.

$$O_A = O_A^* \times R \times A$$

Considérant d'une part que l'exposition cutanée concerne surtout les mains ($D_{M(H)}$) durant la préparation de la bouillie et qu'elle concerne le corps ($D_{A(B)}$), les mains ($D_{A(H)}$), la tête ($D_{A(C)}$) durant l'application et d'autre part négligeant l'exposition orale (O), on considère que l'exposition potentielle peut être déterminée sur base des expressions suivantes :

$$D_{M(H)} = D_{M(H)}^* \times R \times A$$

$$D_{A(B)} = D_{A(B)}^* \times R \times A$$

$$D_{A(H)} = D_{A(H)}^* \times R \times A$$

$$D_{A(C)} = D_{A(C)}^* \times R \times A$$

$$I_M = I_M^* \times R \times A$$

$$I_A = I_A^* \times R \times A$$

Lors de la préparation de la bouillie et le remplissage de la cuve, il existe donc un risque d'exposition cutanée des mains et d'inhalation. Lors de l'application, le risque concerne à la fois l'exposition des mains, de la tête et du corps et l'inhalation. Les valeurs d'exposition spécifiques sur lesquelles se basent Lundehn et *al.* [1992] sont données aux Tableaux 6.1 et 6.2.

L'exposition spécifique inhalatoire est déterminée par mesure respiratoire à l'aide d'un échantillonneur d'air individuel. Il s'agit d'un masque à cartouche qui collecte les particules et les vapeurs inspirées. L'expression utilisée pour quantifier l'exposition spécifique inhalatoire est la suivante :

$$I^* = \frac{1740 \times C \times T}{m}$$

I^* : exposition spécifique inhalatoire (mg / (personne x kg s.a.)) ;

1740 : volume moyen d'air inhalé par heure (litre/heure) ;

T : temps d'exposition en heures ;

C : concentration de substance active par litre d'air (mg s.a./l) ;

m : quantité de substance active manipulée (kg s.a.).

La concentration de substance active par litre d'air est le rapport de quantité de substance active absorbée par le masque (mg) sur le volume d'air aspiré (litre). Le volume d'air est fonction du temps et de la capacité de la pompe d'absorption du masque.

L'exposition spécifique cutanée sur les mains est mesurée par lavage des gants ou des mains avec un solvant approprié qui permet de récupérer les résidus déposés sur la peau. L'exposition est formulée par :

$$Dm^* = \frac{q}{m}$$

Dm^* : exposition spécifique cutanée-main (mg/(personne x kg s.a.)) ;

q : quantité collectée sur gants (mg) ;

m : quantité de matière manipulée (kg s.a.).

L'exposition spécifique cutanée sur le corps est déterminée par des mesures sur des patches, la méthode a été décrite dans le Chapitre 5 de ce travail. La valeur d'exposition sur l'ensemble du corps est obtenue à l'aide de la formule suivante :

$$Dc^* = \frac{\sum Patches}{m}$$

Dc^* : exposition spécifique cutanée sur le corps (mg/(personne x kg s.a.)) ;

Patches : quantités collectées sur les patches collées sur les différentes parties du corps et extrapolées à la partie corporelle correspondante (mg) ;

m : quantité de substance manipulée (kg s.a.).

Tableau 6.1. : Expositions spécifiques pendant la préparation (mg/(personne x kg s.a.)) [Lundehn et al., 1992].

	Formulation liquide		Formulations solides			
			WP		WG	
	Pulvérisateur monté sur tracteur	Pulvérisateur manuel	Pulvérisateur monté sur tracteur	Pulvérisateur manuel	Pulvérisateur monté sur tracteur	Pulvérisateur manuel
I^*_M	0,0006	0,05	0,07	0,8	0,008	0,02
$D^*_{M(H)}$	2,4	205	6,0	50	2,0	21

WP = poudre mouillable

WG = granulés dispersables

Tableau 6.2. : Expositions spécifiques pendant l'application (mg/(personne x kg s.a.)) [Lundehn et al., 1992].

	Cultures hautes (viticulture, vergers)		Cultures basses (agriculture, cultures maraîchères)
	Pulvérisateur monté sur tracteur	Pulvérisateur manuel	
I^*_A	0,018	0,3	0,001
$D^*_{A(C)}$	1,2	4,8	0,06
$D^*_{A(H)}$	0,7	10,6	0,38
$D^*_{A(B)}$	9,6	25,0	1,6

En ce qui concerne la pulvérisation manuelle qui nous intéresse plus particulièrement ici, on voit que, lors de la phase de préparation, l'exposition spécifique des mains est plus importante que l'exposition spécifique inhalatoire et que les risques sont plus importants pour la formulation liquide que pour la formulation solide. Au cours de la phase d'application (les données concernent uniquement les cultures hautes), on observe à nouveau que les expositions cutanées sont plus importantes que les expositions inhalatoires.

6.2.1.2 Détermination de l'exposition admissible pour l'opérateur

Pour le calcul de l'exposition admissible, les experts se basent généralement sur l'AOEL systémique qui est obtenue à l'aide d'études par voie orale. Toutefois, si des études d'exposition répétées par voie dermique ou par voie inhalatoire sont disponibles, il est possible d'établir un AOEL dermique et un AOEL inhalatoire.

L'établissement de l'AOEL systémique) en (mg s.a./kg de poids corporel x jour)) se base sur le NOAEL critique par la formule suivante [Castelain et Vleminckx, 2004] :

$$AOEL_{systémique} = \frac{NOAEL_{critique} \times f}{10 \times 10} \quad (\text{mg s.a./kg poids} \times \text{jour})$$

f : facteur de correction (en %) lié à l'absorption orale ;

10 x 10 : valeur par défaut correspondant à la variabilité interspécifique et inter-individuelle (une autre valeur peut être choisie mais doit alors être justifiée).

Le NOAEL critique (niveau de concentration pour lequel on n'observe aucun effet dommageable, mg s.a./kg de poids corporel x jour) correspond généralement au NOAEL d'une étude à court terme ; étude subchronique sur l'espèce animale la plus sensible ou étude de toxicité pour le développement.

Lundehn *et al.* [1992] ont proposé, le calcul de l'exposition admissible cutanée basé sur le concept de NOEL_D défini comme la dose cutanée admissible déterminée dans une étude portant sur les animaux (mg s.a./kg de poids corporel x jour)). La NOEL_I est la concentration inhalée admissible déterminée dans une étude portant sur les animaux (mg/l).

Pour déterminer l'exposition admissible cutanée D^{ad}, un facteur de sécurité de 25 et un poids moyen de 70 kg sont pris en considération. Par conséquent, l'exposition cutanée admissible est :

$$D^{ad} = \frac{NOEL_D \times 70}{25} \quad (\text{mg}/(\text{personne} \times \text{jour}))$$

L'exposition admissible par inhalation I^{ad} est calculée en considérant un volume respiratoire de 45 l/(kg de poids corporel x h) pendant 6 h. Ceci correspond à un facteur multiplicatif de 270 :

$$I^{ad} = \frac{NOEL_I \times 70 \times 270}{25}$$

6.2.1.3 Comparaison de l'exposition potentielle et de l'exposition admissible

L'étude de risque repose sur la comparaison de l'exposition potentielle et de l'exposition admissible ($AOEL$, D^{ad} , I^{ad}), via le calcul d'un degré d'exposition E :

$$E = \frac{D}{D^{ad}} + \frac{I}{I^{ad}}$$

ou sous forme plus détaillée :

$$E = \frac{D_{M(H)}}{D^{ad}} + \frac{D_{A(B)}}{D^{ad}} + \frac{D_{A(H)}}{D^{ad}} + \frac{D_{A(C)}}{D^{ad}} + \frac{I_M}{I^{ad}} + \frac{I_A}{I^{ad}}$$

Dans la démarche de Lundehn *et al.* [1992], si le degré d'exposition dépasse 1, des mesures de protection doivent être prises pour réduire l'exposition.

6.2.2 Les modèles européens

Les modèles hollandais, allemand, anglais et EUROPOEM suivent globalement la démarche de Lundehn *et al.* [1992]. Ils sont présentés sous forme de feuilles de calcul Excel et calculent l'exposition pendant les phases de préparation/chargement et d'application. Ils reposent sur des bases de données différentes et des paramètres statistiques différents. Les données de départ sont soit issues des pays concernés (GERMAN Model et UK-POEM), soit présentent un caractère européen (EUROPOEM) ou international (DUTCH Model).

Les expositions dermale et inhalatoire aux matières actives sont estimées pour différentes techniques d'application. D'une manière générale, les scénarios retenus sont les

suivants : pulvérisateurs à jet projeté portés ou traînés par un tracteur, pulvérisation à jet projeté, pulvérisateur manuel à pression ou canne centrifuge. Les modèles tiennent compte de la concentration de la matière active dans la bouillie. Les durées de préparation et d'application peuvent soit être introduites dans le modèle, soit être prises comme valeurs par défaut. Par exemple, le temps de préparation est d'une heure/jour dans les modèles hollandais et britannique mais le modèle hollandais offre la possibilité de le modifier. Le temps de pulvérisation par défaut est de 6 heures par jour mais ce paramètre peut être modifié sur les modèles britannique et hollandais. La surface traitée est par défaut égale à 1 ha/jour en application manuelle pour tous les modèles. Elle est également modifiable dans les modèles allemand et britannique.

Les valeurs de substitution, qui synthétisent sous forme de paramètres statistiques les expositions spécifiques, sont également appréciées différemment suivant les modèles, en fonction du nombre de données disponibles et de la loi de distribution statistique observée. D'une manière générale, lorsque la base de données est suffisamment large et/ou que la variabilité est suffisamment faible, on se trouve en présence d'une faible incertitude et la valeur de substitution choisie est la moyenne géométrique. Si l'incertitude est plus importante, on utilise le 90^{ème} percentile. Par exemple, le modèle allemand, dans sa première version, utilise comme valeur de substitution la moyenne géométrique des données expérimentales. Dans une deuxième version, le 75^{ème} percentile est utilisé. Le modèle anglais utilise comme valeur de substitution le 75^{ème} percentile des valeurs expérimentales, tandis que le modèle hollandais utilise le 90^{ème} percentile. Le modèle hollandais calcule l'exposition de l'opérateur travaillant sans EPI.

Le modèle EUROPOEM est le résultat d'un travail entrepris pour produire un modèle européen harmonisé capable de prédire l'exposition des opérateurs aux pesticides. Un premier modèle de type déterministe a été publié en tant que résultat d'une Action de recherche Concertée (Anon, 1997). Une seconde Action de recherche Concertée (EUROPOEM II) est en cours pour affiner les résultats de la première et notamment élargir la base de données pendant les phases de préparation et d'application.

Globalement, les modèles présentent les avantages suivants : ils requièrent peu de données d'entrée, rendent bien compte des situations d'exposition rencontrées dans les pays pour lesquels ils ont été mis au point et offrent dans ce cas la possibilité d'établir un lien entre

les expositions spécifiques et les doses absorbées. Ils comportent un certain nombre d'inconvénients, à savoir qu'ils comportent un certain nombre de valeurs par défaut, ils sont valables pour une gamme de situations limitées (par exemple, 95 % des données de la base de données EUROPOEM II concerne des tracteurs équipés d'une cabine) et ne permettent pas d'évaluer les effets d'expositions cumulées aux pesticides. En outre, se basant sur des valeurs de substitution, ces modèles déterministes ne tiennent pas compte de la grande variabilité observée dans les expositions spécifiques, notamment due aux variations de conditions climatiques.

Le Tableau 6.3 fait la synthèse des modèles hollandais, allemand, britannique et européen (non encore achevé) d'exposition des opérateurs.

Tableau 6.3. : Synthèse des caractéristiques des modèles d'exposition des opérateurs (selon Castelain et Vleminckx, 2004).

DESCRIPTION		MODELES			
		DUTCH MODEL	GERMAN MODEL	UK POEM	EUROPOEM
Données	Origine des données expérimentales	Littérature, études menées par les universités et autorités	Industrie	Industrie et autorités nationales	Industries
	Région de collecte des données	International et Pays-Bas	Allemagne	Royaume-Uni	Union Européenne
Valeurs par défaut	Durée de préparation (heures)	1	Période courte	1	Pas de valeurs par défaut
	Durée de l'application (heures)	6	6	6	
	Surface traitée (hectares/jour)	Au sol : 10 Hauteur : 5 Manuel : 1	Au sol : 20 Hauteur : 8 Manuel : 1	Au sol : 50 Hauteur : 30 Manuel : 1	
Valeur de substitution des données expérimentales		90 ^{ème} percentile	Moyenne géométrique	75 ^{ème} percentile	En fonction du nombre de données
Exposition	Préparation (mixing/loading)	Par inhalation et cutanée (mains)	Par inhalation et cutanée (mains)	Cutanée (mains)	Par inhalation et cutanée (mains)
	Application	Par inhalation et cutanée (mains, corps)	Par inhalation et cutanée (mains, tête, corps)	Par inhalation et cutanée (mains, corps, jambes)	Par inhalation et cutanée (mains, corps)
Expression de l'exposition	Préparation (mixing/loading)	Quantité de matière active (mg ou ml) manipulée par jour	Quantité de matière active (mg ou ml) manipulée par jour	Quantité de matière active (mg ou ml) manipulée par jour	Quantité de matière active (mg ou ml) manipulée par jour
	Application				

6.3 APPLICATION DES MODELES HOLLANDAIS, BRITANNIQUE ET ALLEMANDS AUX DONNEES DU SENEGAL

6.3.1 COMPARAISON DES MODELES

Dans ce paragraphe, les doses absorbées/jour sont calculées entre elles en utilisant les modèles hollandais, britannique et allemand, et comparées à partir des éléments suivants :

1. Pour chaque simulation, le scénario 1 (pulvérisation manuelle avec pulvérisateur à dos, en culture basse) a été choisi et deux types de formulation ont été retenus : liquide (EC) et solide (WP). Le port d'équipement de protection (EPI) n'est pas pris en compte.

2. Les valeurs attribuées aux variables d'entrée sont les moyennes arithmétiques³ des données collectées sur le terrain avec la pulvérisation à dos et présentées au Chapitre 4, à savoir le temps de préparation (0,11 h), le temps d'application (1,66 h), le volume appliqué (329,89 l/ha) et la surface journalière traitée (0,30 ha). La substance active utilisée est la deltaméthrine, fréquemment rencontrée en cultures maraîchères, la dose de produit agréée est souvent de 0,5 l/ha (ex : Deltaméthrine 25 EC à 25 g s.a./l). La simulation est menée en faisant varier de part et d'autre les doses de produit appliqué par hectare, ensuite les concentrations en substance active de la formulation (mg/ml ou en mg/g), tout en maintenant les autres variables fixes. Les doses absorbées⁴ d'un opérateur (mg s.a./jour) sont présentées aux Figures 6.1a, 6.1b, 6.1c et 6.1d ci-dessous.

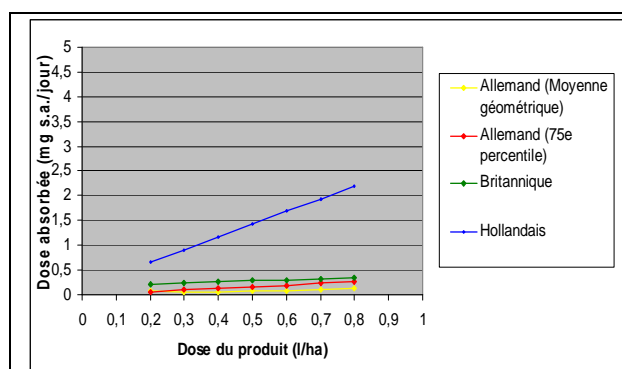


Fig. 6.1a. : Doses absorbées totales calculées par les modèles d'estimation européens pour une formulation liquide en application manuelle.

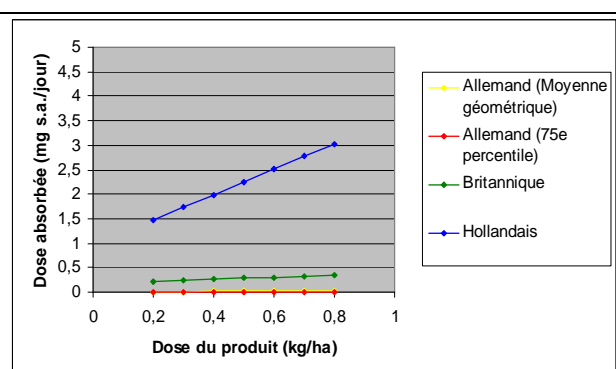


Fig.6.1b. : Doses absorbées totales calculées par les modèles européens pour une formulation solide en application manuelle.

³ Moyenne arithmétique pour répartir équitablement l'effet total entre toutes les unités d'observation

⁴ Doses absorbées = exposition potentielle compte tenu de l'absorption

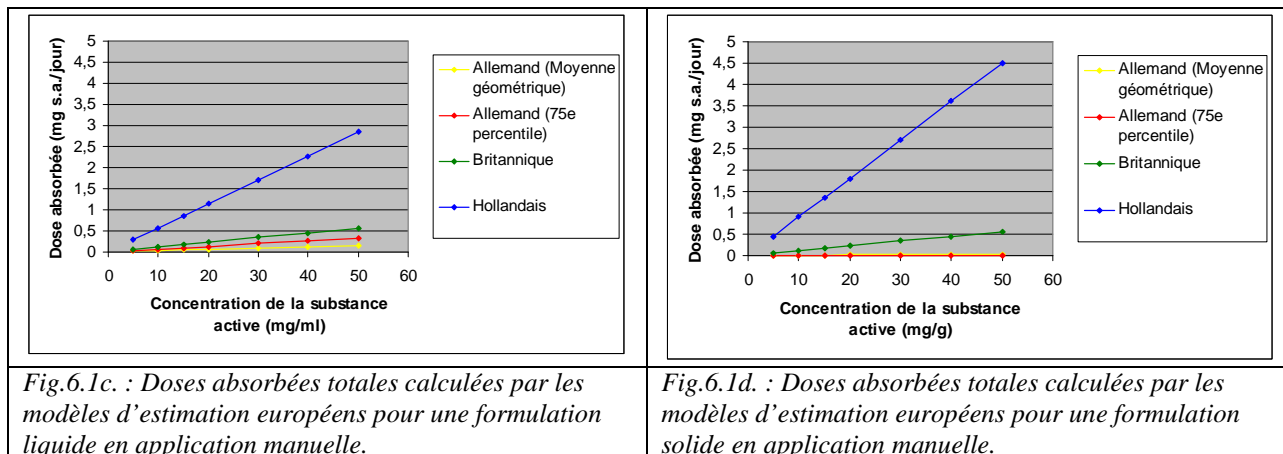


Figure 6.1. : Doses totales calculées par les modèles d'estimation européens pour les formulations liquide et solide en application manuelle.

Les Figures 6.1 montrent que les modèles européens sont linéaires. Les modèles allemands et britannique peuvent parfois présenter des divergences. Cette divergence est très faible entre le modèle allemand moyenne géométrique et le modèle allemand 75^{ème} percentile pour la formulation solide. La divergence entre les modèles allemands et britannique est plus marquée pour la formulation solide. Le modèle hollandais, comparé aux modèles allemands et britannique, donne des estimations plus élevées.

6.3.2 Sensibilité des modèles européens aux variables d'entrée

La sensibilité est la relation entre la sortie du modèle et l'entrée. Une analyse de sensibilité peut aider à prédire l'effet de chaque variable sur les résultats du modèle et à les classer suivant leur influence. Généralement, une analyse de sensibilité s'effectue en faisant varier certaines variables d'entrée d'un modèle autour d'une valeur déterminée au laboratoire ou sur le terrain, tout en maintenant fixes les autres variables au cours de la simulation.

6.3.2.1 Les méthodes d'analyse de sensibilité

Il existe plusieurs méthodes pour effectuer une analyse de sensibilité, les trois principales utilisées étant le « Screening Design (SD) », le « Local Sensitivity Analysis (LSA) » et le « Global Sensitivity Analysis (GSA) » [Rody *et al.* 2005].

Le « Screening Design (SD) » a pour objectif d'isoler les facteurs les plus importants pouvant affecter une sortie particulière d'un modèle donné. Trois types de techniques peuvent être utilisés pour réaliser une analyse avec cette méthode : le «One-Factor-At-A-Time », le « Fractional Experimentation » et le « Fractional Factorial Experiment ».

Le « Local Sensitivity Analysis » consiste à calculer les dérivées partielles des fonctions de sortie par rapport aux variables d'entrées. Les calculs sont numériques et se font en variant les entrées du modèle dans un intervalle très restreint autour de la valeur nominale tout en maintenant les autres constantes. La méthode est considérée comme un cas particulier de l'approche One-Factor-At-A-Time.

Le «Global Sensitivity Analysis (GSA)» est basé sur l'estimation de la contribution de chaque variable d'entrée d'un modèle à la variance observée dans les sorties. La méthode étudie également l'interaction entre les différentes variables d'entrée. Les trois principales techniques couramment utilisées sont : la technique de Monte Carlo, la «Response Surface Methodology» et le «Fourier Amplitude Sensitivity Test».

6.3.2.2 Méthodologie

L'idée est d'identifier les paramètres dont l'incertitude a une influence sur les prédictions des modèles européens (allemands, britannique et hollandais) et plus exactement sur leur sensibilité aux variations de ces paramètres. La méthode adoptée pour effectuer l'analyse est la méthode One-Factor-At-A-Time, elle consiste à faire varier légèrement une entrée du modèle autour de sa valeur de base. Dans ce travail, nous avons choisi de modifier chaque entrée de -10 % et +10 % par rapport à sa valeur initiale en supposant que ce pourcentage était acceptable par rapport aux imprécisions probables liées aux paramètres d'entrée. Pour chaque paramètre, un pourcentage de variation est calculé. La modification de chaque variable d'entrée de -10 % et +10 % donne deux valeurs à la sortie. De ces deux valeurs d'entrée, celle produisant la plus grande variation au niveau d'une sortie est retenue. Les pourcentages de variation sont obtenus par la formule suivante [Favis-Mortlock *et al.*, 1990] ; [Jolicoeur, 2002] cités par [Rody, 2006].

$$\% \text{ variation} = \left| \frac{S_2 - S_1}{S_1} \right| \times 100$$

- S₁ : sortie correspondante à E1 ;
- S₂ : sortie correspondante à E2 ;
- E₁ : variable d'entrée de base ;
- E₂ : valeur testée (-10 % ou +10 %).

Sur la base de cette méthode d'analyse de sensibilité, le scénario 1 de la pulvérisation manuelle a été testé sur les modèles allemand (avec moyenne géométrique), anglais et hollandais.

Le produit choisi est la Deltaméthrine 25 EC et la dose agréée est de 0,5 l/ha. Les autres valeurs attribuées aux variables d'entrée de base sont les moyennes arithmétiques des valeurs obtenues sur le terrain (au Sénégal) pour la pulvérisation à dos :

- temps de préparation : 0,11 heure ;
- temps d'application : 1,66 heure ;
- volume appliqué : 329,89 l/ha ;
- surface journalière : 0,30 ha.

Chaque simulation effectuée ne prend en compte que la modification d'une seule entrée par rapport à la globalité des variables d'entrée du modèle. L'effet de chaque modification est analysé au niveau de la sortie du modèle correspondant. Cette sortie est la dose absorbée en absence d'EPI. Elle est exprimée en mg s.a./jour.

6.3.2.3 Résultats

- Formulation liquide

Les caractéristiques liées au produit, surtout la concentration de la substance active, présentent le plus de variation à la sortie. Les pourcentages de variation (Figure 6.2.) obtenus sont de 10,38 %, 10,24 % et 10,06 % respectivement pour les modèles allemand, britannique et hollandais. Ensuite, interviennent le volume appliqué et la superficie traitée et enfin, les temps d'application et de préparation. Le volume appliqué n'est pas pris en compte dans le

modèle allemand, de même que les temps de travail. Pour le modèle hollandais, la superficie traitée est le paramètre le plus influent avec un pourcentage de variation de 12,25 %. Le temps de mélange n'est pris en compte que dans le modèle hollandais et ce paramètre est le moins sensible avec une variation de 0,58 %.

- Formulation solide

Les variations dues à la concentration de la substance active sont plus importantes que celles obtenues avec la formulation liquide : les pourcentages de variation obtenus sont de 10,6 %, 10 % et 9,52 % pour les modèles britanniques, hollandais et allemands (Figure 6.3.). Ensuite arrivent les paramètres surface traitée et volume de bouillie appliquée. Enfin, viennent en dernier les temps d'application et de préparation du mélange.

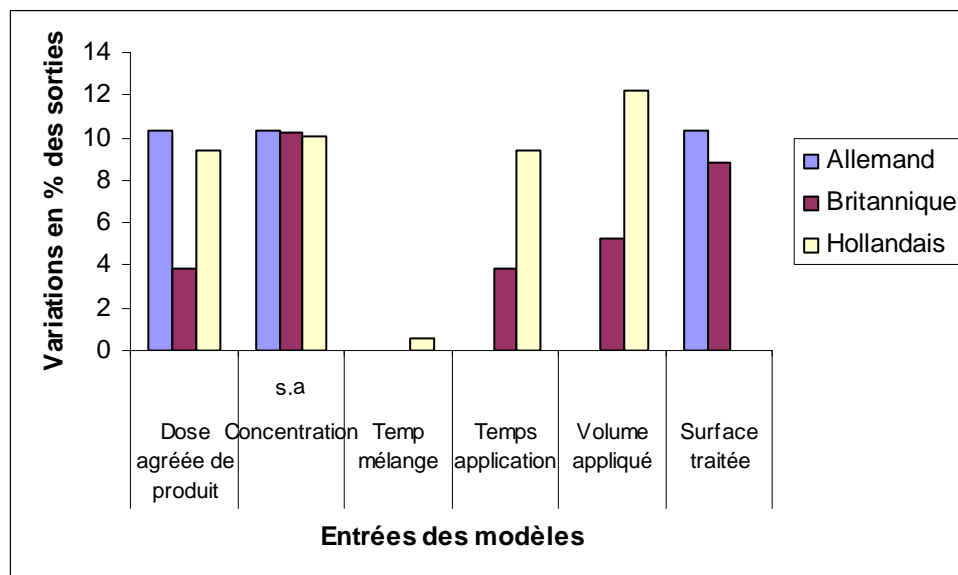


Figure 6.2. : Pourcentage de variation de la « dose absorbée » pour une formulation liquide en fonction de différentes entrées des modèles européens.

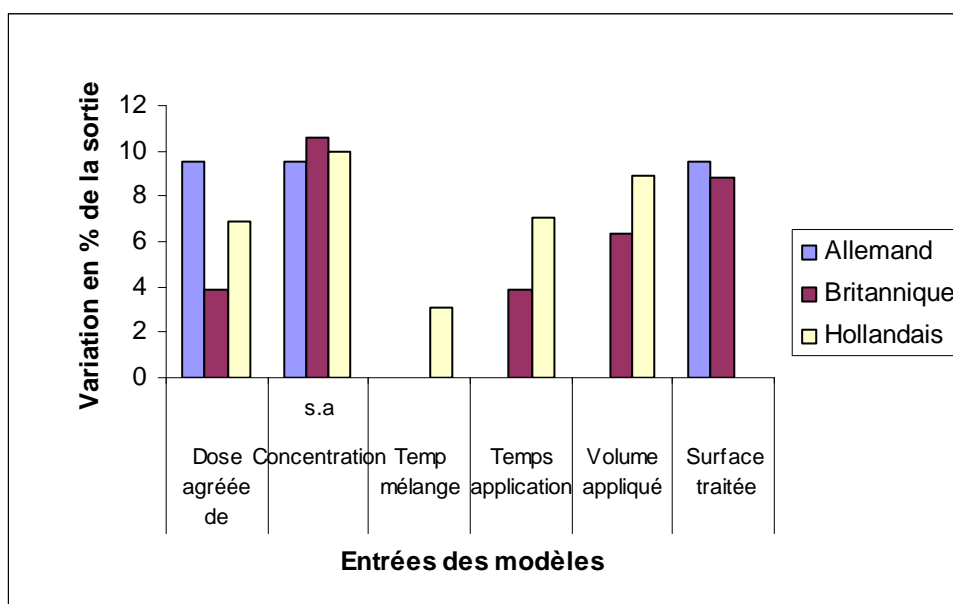


Figure 6.3. : Pourcentage de variation de la « dose absorbée » pour une formulation solide en fonction de différentes entrées des modèles européens.

Cette analyse montre que les caractéristiques des produits sont très influentes sur l'exposition. Cette information pourrait être prise en compte par les firmes et les autorités d'homologation avant la mise à disposition du produit sur le marché. Par ailleurs, les paramètres d'application, superficies traitées et volume de bouillie appliqué, sont également très importants. Le volume appliqué peut, dans une certaine mesure, être ajusté sur le terrain au moment du travail.

6.4 MISE AU POINT D'UN MODELE D'EXPOSITION ADAPTE AUX CONDITIONS DU SENEGAL

6.4.1 Principes généraux

L'objectif est de développer un outil pour améliorer la prise de décision concernant l'usage des pesticides à l'attention des agriculteurs mais aussi des organismes d'aide à la décision et des pouvoirs publics. Le modèle aura les caractéristiques suivantes :

- tenir compte des scénarios de pulvérisation rencontrés sur le terrain. Il est très probable que l'opérateur travaille sans EPI ; toutefois, il serait très utile d'intégrer le scénario avec EPI qui devrait permettre de diminuer le risque ;
- offrir la possibilité d'intégrer toutes les contraintes socio-économiques, agronomiques et environnementales auxquelles les agriculteurs ont à faire face. Les paramètres

temps de travail (préparation, application et rinçage), doses appliquées, surface traitée, volume appliqué... obtenus par les enquêtes, observations et mesures obtenues sur le terrain seront intégrés ;

- intégrer les principales voies d'exposition possibles, à savoir la voie cutanée et inhalatoire ;
- prendre en compte l'absorption. En effet, la voie de pénétration la plus importante est la peau (mains ou corps). Par ailleurs, le pesticide est formulé pour adhérer aux feuillages même en cas de pluie ou pour y pénétrer, il aura tendance à rester sur la peau et à y pénétrer malgré les lavages répétés. Le modèle prendra donc en compte différents pourcentages possibles d'absorption.

Tous les paramètres, constantes et variables d'entrée seront insérés dans une feuille de calcul Excel. Celle-ci offrira deux possibilités selon l'expression des valeurs d'exposition spécifiques, soit en mg/(personne x kg s.a.) comme le cas des modèles allemands, soit en ml/(personne x heure) à l'exemple des modèles britannique et hollandais.

Les symboles utilisés et les opérations à effectuer sont expliqués dans les feuilles de calcul présentées sous format Excel (Tableaux 6.4 et 6.5). Les cellules jaunes sont des paramètres (expositions spécifiques) et constantes, tandis que les cellules grises sont des variables d'entrée.

6.4.2 Les paramètres et constantes

Les valeurs de substitution des expositions spécifiques correspondant à ces scénarios sont obtenues expérimentalement en conditions contrôlées, dans le tunnel aérodynamique, selon la procédure présentée au Chapitre 5. Comme nous l'avons indiqué, les mesures d'exposition de l'opérateur sont effectuées avec un traceur, la fluorescéine. L'extrême sensibilité de ce sel ne permet pas de mesurer de manière satisfaisante les dépôts durant la préparation. Il n'est pas non plus possible avec ce sel de déterminer l'exposition spécifique inhalatoire. Ainsi, les mesures effectuées dans ce travail concernent uniquement les dépôts cutanés pendant l'application.

L'exposition spécifique étant fonction du type de scénario, les deux scénarios de traitement les plus répandus au Sénégal ont été analysés :

- *scénario 1* : traitement manuel en culture basse (pulvérisateur à dos) ;
- *scénario 2* : traitement manuel en culture haute (canne à pulvérisation centrifuge).

En outre, par mesure de sécurité, pour un modèle d'exposition destiné à l'homologation de produits vendus sur le marché sénégalais, il est plus indiqué de s'orienter vers des scénarios défavorables. En effet, comme le montrent les travaux de terrain décrits au Chapitre 4, il est très probable que l'opérateur travaille à des positions défavorables par rapport à la direction de vent et sans EPI. Ainsi, pour augmenter le réalisme au niveau de nos estimations, les situations suivantes ont été choisies :

- pour le traitement au pulvérisateur à dos en culture basse, la position dos par rapport à la direction du vent. Cette position défavorable est la plus fréquemment rencontrée sur le terrain (33,3 %) ;
- pour le traitement à la canne centrifuge en culture haute, la position latérale par rapport à la direction du vent, qui est toujours la position adoptée durant les applications, a été choisie.

Pour les deux scénarios, la valeur de substitution est la moyenne arithmétique des mesures effectuées sur chaque partie du corps de l'opérateur durant les expériences en tunnel. Le choix de ce paramètre statistique est justifié par le fait que les mesures sont effectuées en nombre relativement réduit mais en conditions contrôlées.

Pour ces deux scénarios testés en tunnel, les quantités de sel de fluorescéine obtenues après extrapolation des collectes de patches sur toute la surface du corps de l'opérateur par rapport à la quantité pulvérisée sont respectivement de l'ordre de 304,78 $\mu\text{g/g}$ ou mg/kg de traceur avec le pulvérisateur à dos en présence de végétation à la position dos au vent et 794,87 $\mu\text{g/g}$ ou mg/kg de traceur avec la canne centrifuge à la position latérale au vent (Tableau 5.4). Ces deux valeurs correspondent aux valeurs d'exposition spécifiques cutanées durant les applications prises en compte dans le modèle proposé. Ces dernières sont consignées dans les cellules des Tableaux 6.4 et 6.5 par le symbole ES4.

L'absorption dermique est une valeur qui permet de convertir une exposition externe en exposition interne. Elle est déterminée à l'aide d'études d'absorption dermique. L'absorption du produit par la peau humaine est estimée comme suit [Vleminckx, 2006] :

$$H = R \times (h / r) \quad \text{où} \quad H = h$$

H (%) : absorption dermique par la peau humaine in-vivo ;

R (%) : absorption dermique par la peau de rat in-vivo ;

r (%) : absorption dermique par la peau de rat in-vitro ;

h (%) : absorption dermique par la peau humaine in-vitro.

Toutefois, comme nous ne disposons pas d'études d'absorption, les valeurs considérées par défaut sont les suivantes :

- si la masse moléculaire est supérieure à 500 et si le coefficient de partage octanol-eau est inférieur à -1 ou supérieur à 4, alors $H = 10 \%$;
- sinon, $H = 100 \%$.

A titre illustratif, dans le modèle proposé, nous avons travaillé avec la valeur d'absorption cutanée de 10 %.

Par ailleurs, le port d'EPI permet d'apporter une réduction à l'exposition potentielle quand on passe de l'exposition potentielle à l'exposition effective. Les coefficients de réduction utilisés pour ce travail sont de l'ordre de 2 % au niveau inhalatoire pour un demi-masque A1P2, 1 % avec des gants [Van Hemmen *et al.*, 2005 ; Lundein *et al.*, 1992] et 10 % avec l'habillement [EUROPOEM]. L'utilisation d'un EPI adapté aux conditions locales, à l'image de celui de SYNGENTA dont les caractéristiques de forme et de confort ont été testées sur le terrain, pourrait être introduite.

6.4.3 Les variables d'entrée

Les variables d'entrée représentent les facteurs externes du système et définissent son environnement. Elles correspondent aux données mesurées sur le terrain (cellules de couleur grise des Tableaux 6.4 et 6.5), à savoir la concentration de substance active, la dose

du produit, la surface journalière traitée, le volume de bouillie appliquée à l'hectare et les temps de mélange, d'application et de rinçage.

6.4.4 Présentation du modèle

Le modèle propose successivement le calcul des expositions potentielles, les expositions effectives (avec EPI), les doses absorbées. Le calcul est fait pour l'application, mais des données relatives à la préparation et au rinçage peuvent être introduites. Les symboles utilisés dans le modèle sénégalais aux Tableaux 6.4 et 6.5 sont les suivants :

LES EXPOSITIONS POTENTIELLES:

- Pendant la préparation
EP1 : Exposition potentielle inhalatoire
EP2 : Exposition potentielle cutanée-main

- Pendant l'application
EP3 : Exposition potentielle inhalatoire
EP4 : Exposition potentielle cutanée – corps

- Pendant le rinçage
EP5 : Exposition potentielle inhalatoire
EP6 : Exposition potentielle cutanée-main

LES EXPOSITIONS EFFECTIVES

- Pendant la préparation
EF1 : Exposition effective inhalatoire
EF2 : Exposition effective cutanée- main

- Pendant l'application
EF3 : Exposition effective inhalatoire
EF4 : Exposition effective cutanée-corps

- Pendant le rinçage

EF5 : Exposition effective inhalatoire

EF6 : Exposition effective cutanée-main

LES EXPOSITIONS TOTALES

DPTP : Dermique potentielle totale pendant la préparation

DETP : Dermique effective totale pendant la préparation

DPTA : Dermique potentielle totale pendant l'application

DETA : Dermique effective totale pendant l'application

DPTR : Dermique potentielle totale pendant le rinçage

DETR : Dermique effective totale pendant le rinçage

IPT : Inhalation potentielle totale

IET : Inhalation effective totale

LES DOSES TOTALES

DPT : Dose potentielle totale absorbée

DET : Dose effective totale absorbée

Tableau 6.4. : Modèle de feuille de calcul d'exposition (expositions spécifiques en mg/kg s.a.).

Entrées									
Produit		Substance active		Nom		Temps mélange		T1 heures	
Formulation		Concentration		C		mg/ml ou mg/g		Temps application	
Scénario de traitement		Dose		D		litres/ha ou kg/ha		T2 heures	
Scénario 1 ou 2		Surface traitée		S		ha		Temps rinçage	
		Quantité manipulée		Q=S*D*C/1000		kg s.a./jour		T3 heures	
		Volume appliqué		V		litres/ha			
Exposition - Préparation mg/kg s.a.									
		Exposition spécifique		Précision		Exposition potentielle estimée		Exposition effective estimée (EPI)	
Inhalation		ES1 mg/kg s.a.		Moyenne arith		EP1 = ES1 * Q mg s.a./jour		EF1=EP1*0,02 mg s.a./jour	
Dermique-main		ES2 mg/kg s.a.		Moyenne arith		EP2 = ES2 * Q mg s.a./jour		EF2=EP2*0,01 mg s.a./jour	
Dermique totale						DPTP = EP2 mg s.a./jour			
Exposition - application mg/kg s.a.									
		Exposition spécifique		Précision		Exposition potentielle estimée		Exposition effective estimée (EPI)	
Inhalation		ES3 mg/kg s.a.		Moyenne arith		EP3 = ES3 * Q mg s.a./jour		EF3 = EP3*0,02 mg s.a./jour	
Dermique-corps		ES4 mg/kg s.a.		Moyenne arith		EP4 = ES4 * Q mg s.a./jour		EF4 = EP5*0,1 mg s.a./jour	
Dermique totale						DPTA = EP4 mg s.a./jour			
Exposition - rinçage mg/kg s.a.									
		Exposition spécifique		Précision		Exposition potentielle estimée		Exposition effective estimée (EPI)	
Inhalation		ES5 mg/kg s.a.		Moyenne arith		EP5 = ES5 * Q mg s.a./jour		EF5 = EP5*0,02 mg s.a./jour	
Dermique-main		ES6 mg/kg s.a.		Moyenne arith		EP6 = ES6 * Q mg s.a./jour		EF6 = EP6*0,01 mg s.a./jour	
Dermique totale						DPTR = EP6 mg s.a./jour			
Exposition total estimée et dose absorbée mg/kg s.a.									
		Exposition estimée (sans EPI)		EPI		Exposition effective (EPI)			
Inhalation-préparation		EP1 mg s.a./jour		Masque/visière		EF1 mg s.a./jour			
Inhalation-application		EP3 mg s.a./jour		Masque/visière		EF3 mg s.a./jour			
Inhalation-rinçage		EP5 mg s.a./jour		Masque/visière		EF5 mg s.a./jour			
Inhalation totale estimée		IPT = EP1+EP3+EP5 mg s.a./jour		Pourcentage absorbé				IET = EF1+EF3+EF5 mg s.a./jour	
				100%				100%	
Dermique-mains -préparation		EP2 mg s.a./jour		Gants		EF2 mg s.a./jour			
Dermique totale estimée-préparation		DPTP = EP2 mg s.a./jour		10%		DETP = EF2 mg s.a./jour		10%	
Dermique corps-application		EP4 mg s.a./jour		Botte+Pantalon/Combinaison		EF4 mg s.a./jour			
Dermique totale estimée-application		DPTA = EP4 mg s.a./jour		10%		DETA = EF4 mg s.a./jour		10%	
Dermique main-rinçage		EP6 mg s.a./jour		Gants		EF6 mg s.a./jour			
Dermique totale estimée-rinçage		DPTR = EP6 mg s.a./jour		10%		DETR = EF6 mg s.a./jour		10%	
Dermique totale en mg s.a./personne/jour		DPT = (DPTP+DPTA+DPTR) mg s.a./jour				DET = DETP+DETA+DETR mg s.a./jour			
Poids opérateur		60 kg				60 kg			
Inhalation totale mg/kg personne/jour		IPT/60 mg s.a./kg person/jour				IET/60 mg s.a./kg person/jour			
Dermique totale mg/kg personne/jour		DPT/60 mg s.a./kg person/jour				DET*0,1/60 mg s.a./kg person/jour			
Dose totale absorbée mg/kg personne/jour		IPT/60 + DPT/60 mg s.a./kg person/jour				IET/60 + DET*0,1/60 mg s.a./kg person/jour			

Tableau 6.5. : Modèle de feuille de calcul d'exposition (expositions spécifiques en ml/heures).

Entrées						
Produit	Nom du produit	Substance active	Nom	Temps mélange	T1	heures
Formulation	Liquide ou Solide	Concentration	C	mg/ml ou mg/g	Temps application	T2 heures
Scénario de traitement	Scénario 1 ou 2	Dose	D	litres/ha ou kg/ha	Temps rinçage	T3 heures
		Surface traitée	S	ha		
		Quantité manipulée	Q	kg s.a./jour		
		Volume appliqué	V	litres/ha		

Exposition - Préparation ml/heure						
	Exposition spécifique	Précision	Exposition potentielle estimée		Exposition effective estimée (EPI)	
Inhalation	ES1	m/h	Moyenne arith	EP1 = ES1 * T1*C / V	mg s.a./jour	EF1=EP1*0,02
Dermique-main	ES2	m/h	Moyenne arith	EP2 = ES2 * T1*C*/ V	mg s.a./jour	EF2=EP2*0,01
Dermique totale					DPTP = EP2	mg s.a./jour

Exposition - application ml/h						
	Exposition spécifique	Précision	Exposition potentielle estimée		Exposition effective estimée (EPI)	
Inhalation	ES3	m/h	Moyenne arith	EP3 = ES3 * T2*C*D/ V	mg s.a./jour	EF3 = EP3*0,02
Dermique-corps	ES4	m/h	Moyenne arith	EP4 = ES4 * T2*C*D/ V	mg s.a./jour	EF4 = EP4*0,1
Dermique totale					DPTA = EP4	mg s.a./jour

Exposition - rinçage ml/h						
	Exposition spécifique	Précision	Exposition potentielle estimée		Exposition effective estimée (EPI)	
Inhalation	ES5	m/h	Moyenne arith	EP5 = ES5 * T3*C*D/ V	mg s.a./jour	EF5 = EP5*0,02
Dermique-main	ES6	m/h	Moyenne arith	EP6 = ES6 * T3*C*D/ V	mg s.a./jour	EF6 = EP6*0,01
Dermique totale					DPTR = EP7	mg s.a./jour

Exposition total estimée et dose absorbée mg/kg s.a						
	Exposition estimée (sans EPI)		EPI		Exposition effective (EPI)	
Inhalation-préparation	EP1	mg s.a./jour		Masque/visière	EF1	mg s.a./jour
Inhalation-application	EP3	mg s.a./jour		Masque/visière	EF3	mg s.a./jour
Inhalation-rinçage	EP5	mg s.a./jour		Masque/visière	EF5	mg s.a./jour
Inhalation totale estimée			IPT = EP1+EP3+EP5	Pourcentage absorbé	IET = EF1+EF3+EF5	mg s.a./jour
		mg s.a./jour		100%		100%
Dermique-mains -préparation	EP2	mg s.a./jour		Gants	EF2	mg s.a./jour
Dermique totale estimée-préparation			DPTP = EP2		DETP = EF2	mg s.a./jour
		mg s.a./jour		10%		10%
Dermique corps-application	EP4	mg s.a./jour		Botte+Pantalon/Combinaison	EF4	mg s.a./jour
Dermique totale estimée-application			DPTA = EP4		DETA = EF4	mg s.a./jour
		mg s.a./jour		10%		10%
Dermique main-rinçage	EP6	mg s.a./jour		Gants	EF6	mg s.a./jour
Dermique estimée-rinçage			DPTR = EP6		DETR = EF6	mg s.a./jour
		mg s.a./jour		10%		10%
Dermique totale en mg s.a./personne/jour					DET =DETP+DETA+DETR	mg s.a./jour
Poids opérateur		60	kg		60	kg
Inhalation totale mg s.a./kg personne/jour					IET/60	mg s.a./kg person/jour
Dermique totale mg s.a./kg personne/jour					DET*0,1/60	mg s.a./kg person/jour
Dose totale absorbée mg/kg personne/jour					IET/60 + DET*0,1/60	mg s.a./kg person/jour

6.4.5 Application des données de terrain aux modèles d'estimation de l'exposition

6.4.5.1 Les variables d'entrée

Les données utilisées proviennent des mesures prises durant l'application des produits phytosanitaires au Sénégal dans les zones maraîchère et cotonnière. Les mesures sont effectuées sur tous les applicateurs observés et les variables mesurées ou variables d'entrée qui ont servi d'application aux modèles sont les temps de travail (préparation, application), les surfaces journalières traitées, les volumes appliqués, les doses agréées de produit et les concentrations des substances actives. Pour toutes ces variables citées et qui ont été mesurées sur chaque applicateur, 109 simulations (une simulation par applicateur) sont effectuées, soit 47⁵ en zone maraîchère (*scénario 1*), et 62 en zone cotonnière (*scénario 2*). Les simulations sont effectuées au niveau de l'exposition dermale pendant l'application avec les modèles allemands, britannique (en présence et en absence d'EPI), sur le modèle hollandais (qui ne prend pas en compte d'EPI) et sur le modèle sénégalais que nous avons proposé en présence et en absence d'EPI.

Les résultats obtenus par ces modèles sont exprimés en doses journalières absorbées par voie dermique durant l'application en absence et en présence d'EPI.

- Modèle allemand

Scénario 1 (application manuelle en hauteur).

Scénario 2 (application manuelle en hauteur).

L'EPI est constitué d'une combinaison, bottes, gants, capuche et visière.

- Modèle britannique

Scénario 1 (application manuelle au pulvérisateur à dos manuel (15 l)).

Scénario 2 (traitement relatif à la canne centrifuge).

La protection EPI se limite au port de gants.

⁵ 47 au lieu de 54 car on a travaillé avec les formulations EC

- Modèle hollandais

Scénario 1 (application manuelle).

Scénario 2 (application manuelle).

La protection n'est pas prise en compte dans ce modèle.

- Modèle sénégalais

Scénario 1 (application manuelle au pulvérisateur à dos).

Scénario 2 (application avec la canne centrifuge).

La protection est prise en compte avec l'utilisation d'EPI similaire à celui de la firme Syngenta (capuche et visière, gants, combinaison, bottes) présenté au Chapitre 4.

Dans les scénarios choisis, nous n'avons utilisé que la formulation liquide (EC) qui a été principalement rencontrée durant les mesures de terrain. En zone cotonnière, deux produits sont appliqués en alternance pour cette campagne 2006 : il s'agit du Lambdacall à concentration de 265 g/l et du Callisulfan à 500 g/l. Ils sont appliqués aux doses respectives de 1 litre et 1,5 litre/ha. En culture maraîchère, plusieurs produits sont rencontrés, et principalement des formulations liquides EC et SC. Le produit le plus fréquemment utilisé est la Deltaméthrine 25 EC ou 12 EC, soit 48 % des opérateurs. Il est appliqué aux doses respectives de 0,5 et 1 litre/ha.

6.4.5.2 Résultats

Les diagrammes de dispersion des logarithmes des doses absorbées sont présentés aux Figures 6.4, 6.5, 6.6 et 6.7. Une telle transformation (logarithmique) a l'avantage de maintenir une constance au sein des variations résiduelles. La variance résiduelle apparaît comme un indice global de dispersion des points observés autour de la droite de régression de Y en X.

Les Figures 6.4 et 6.5 et 6.7 montrent que le modèle sénégalais donne des doses absorbées supérieures à celles obtenues avec les modèles allemand moyenne géométrique ou 75^{ème} percentile et inférieures à celles fournies par le modèle hollandais. Ceci est valable pour la pulvérisation à dos et pour la canne centrifuge, en présence ou en absence d'EPI.

Par contre, la Figure 6.6 montre que les doses calculées par le modèle sénégalais sont très proches du modèle britannique. Cette proximité est beaucoup plus importante en l'absence d'EPI, comme le montrent les Figure 6.6A et 6.6C où les valeurs forment un nuage de points aux alentours des bissectrices. Toutefois, la prise en compte des EPI tend à augmenter l'écart entre les expositions fournies par les deux modèles et le modèle sénégalais donne des estimations inférieures.

Les graphiques de dispersion montrent donc que les estimations obtenues par le modèle sénégalais sont supérieures à celles des modèles allemands et inférieures au modèle hollandais d'une part. D'autre part, on remarque une proximité entre les estimations des modèles sénégalais et britannique en l'absence de protection de l'opérateur. Avec la prise en compte de l'EPI, le modèle sénégalais donne des estimations inférieures à celles du modèle britannique.

Les statistiques descriptives des doses absorbées obtenues avec les différents modèles sont présentées aux Tableaux 6.6 et 6.7. Elles montrent d'une part que les contaminations sont plus importantes avec la canne centrifuge qu'avec le pulvérisateur à dos et que la variabilité est élevée ce qui traduit le fait que des opérateurs sont plus exposés que la moyenne à la contamination. Ceci confirme les résultats des observations et mesures de terrain présentés au Chapitre 4.

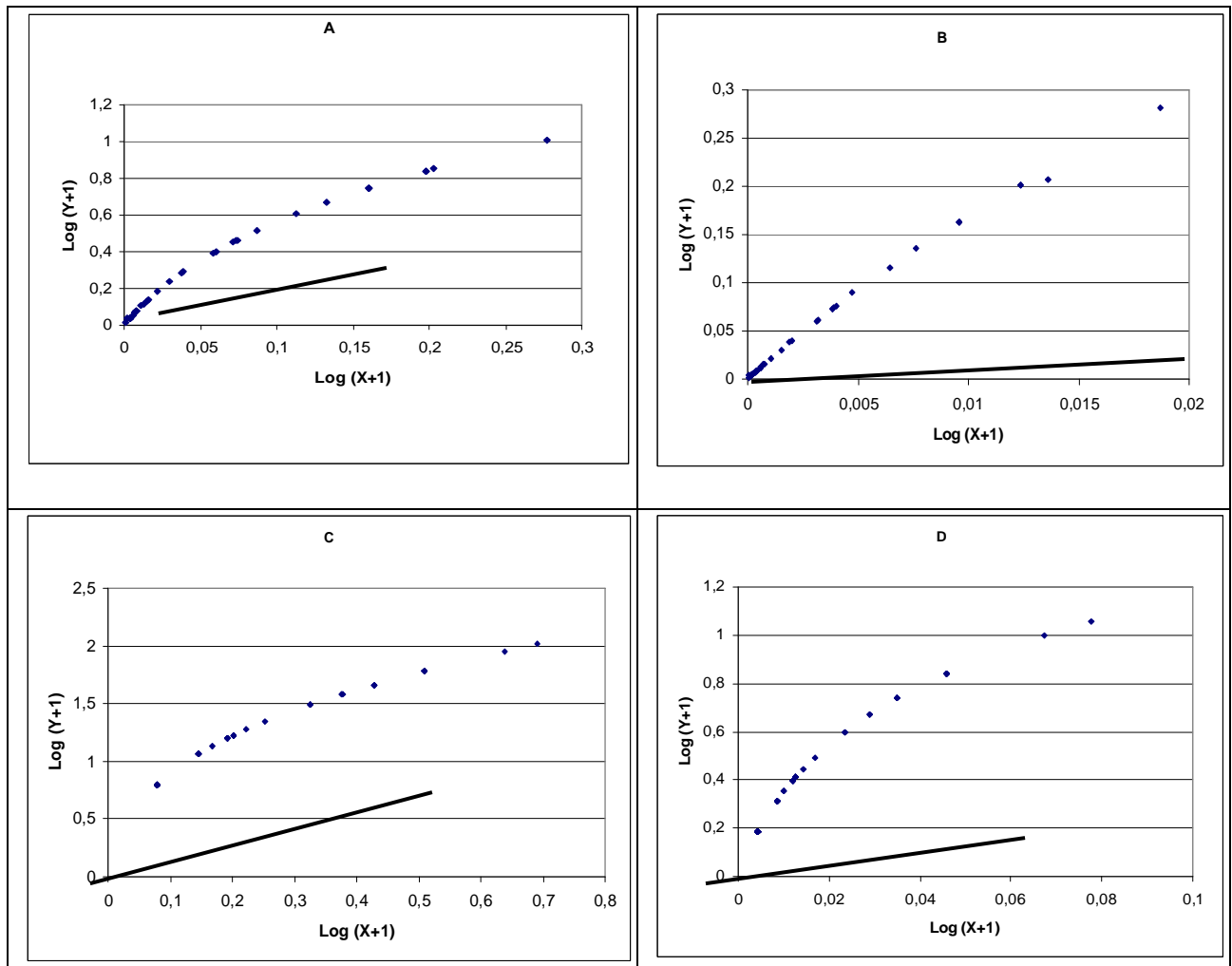


Figure 6.4. : Diagramme de dispersion des doses absorbées obtenues avec le modèle sénégalais (Y) en fonction des doses absorbées obtenues avec le modèle allemand moyenne géométrique (X) en mg s.a./ (personne x jour) ; A : pulvérisation à dos sans EPI ; B : pulvérisation à dos en présence d'EPI ; C : canne à pulvérisation centrifuge sans EPI ; D : canne à pulvérisation centrifuge en présence d' EPI.

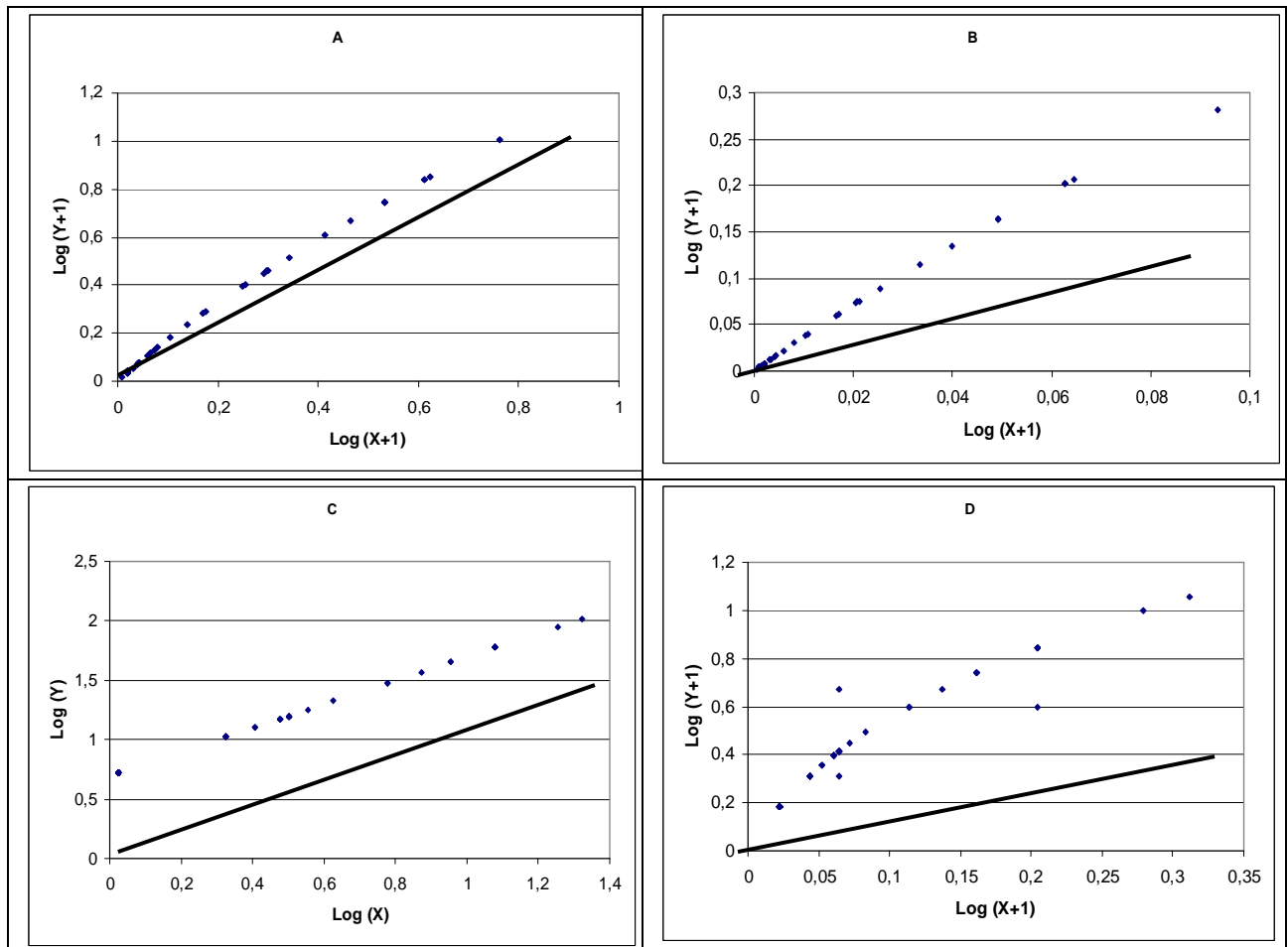


Figure 6.5. : Diagramme de dispersion des doses absorbées obtenues avec le modèle sénégalais (Y) en fonction des doses absorbées obtenues avec le modèle allemand 75^{ème} percentile (X) en mg s.a./ (personne x jour) ; A : pulvérisation à dos sans EPI ; B : pulvérisation à dos en présence d'EPI; C : canne à pulvérisation centrifuge sans EPI ; D : canne à pulvérisation centrifuge en présence d'EPI.

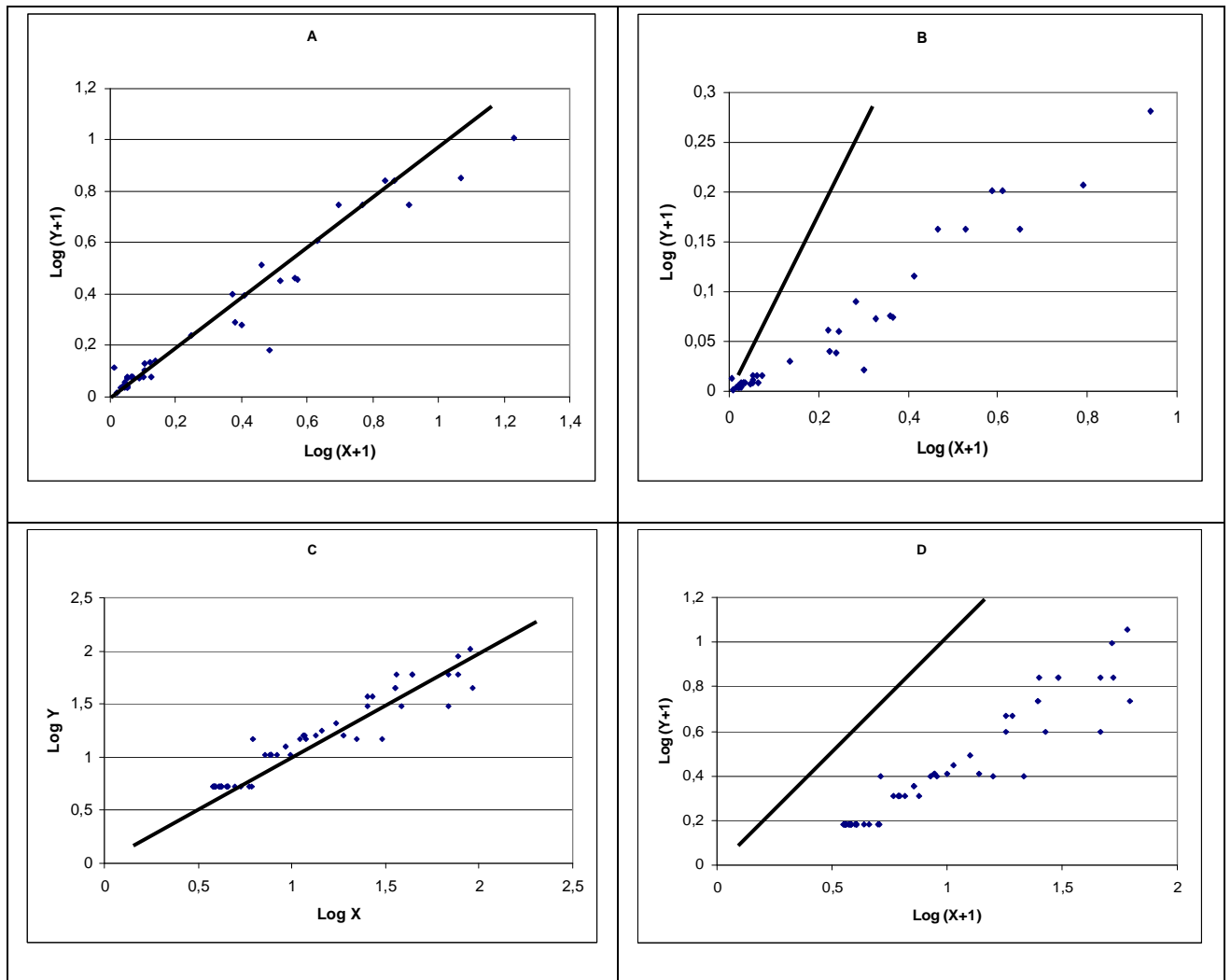


Figure 6.6. : Diagramme de dispersion des doses absorbées obtenues avec le modèle sénégalais (Y) en fonction des doses absorbées obtenues avec le modèle britannique (X) en mg s.a./personne x jour ; A : pulvérisation à dos sans EPI ; B : pulvérisation à dos en présence d'EPI ; C : canne à pulvérisation centrifuge sans EPI ; D : canne à pulvérisation centrifuge en présence d'EPI.

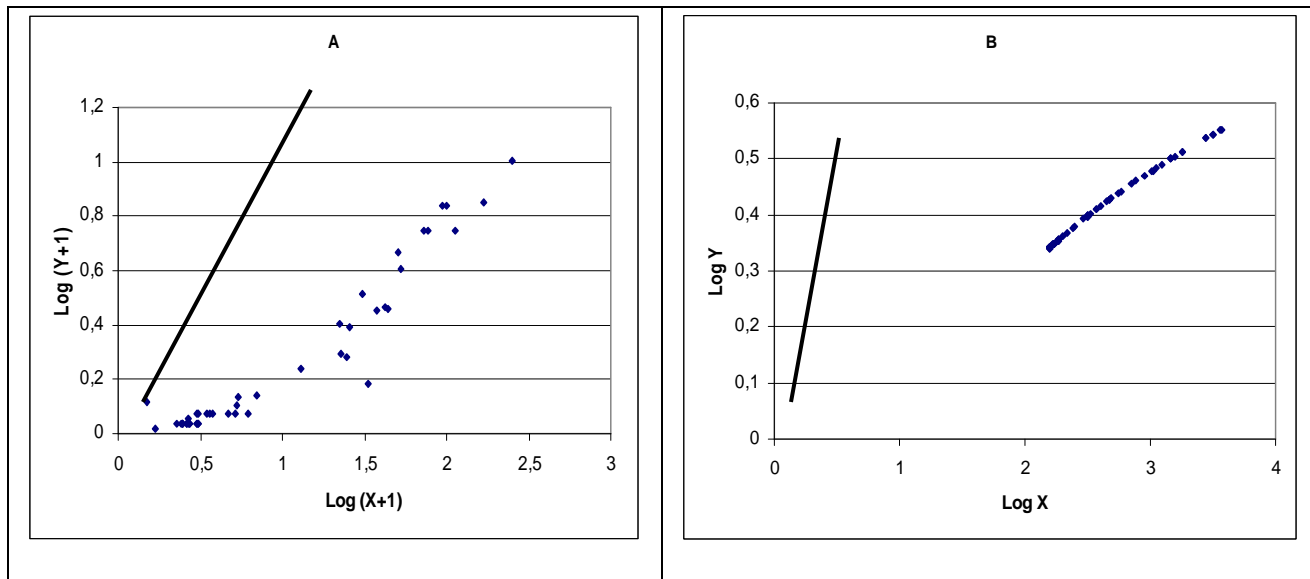


Figure 6.7. : Diagramme de dispersion des doses absorbées obtenues avec le modèle sénégalais (Y) en fonction des doses absorbées obtenues avec le modèle hollandais (X) en mg s.a./personne x jour ; A : pulvérisation à dos sans EPI ; B : canne à pulvérisation centrifuge sans EPI.

Tableau 6.6. : Doses absorbées (mg s.a./(personne x jour)) obtenues avec le pulvérisateur à dos pour les différents modèles.

Modèles	N	Moyenne	E-Type	Médiane	Min	Max	75 ^{ème} percentile	90 ^{ème} percentile
Allemand moyenne géométrique sans EPI	47	0,136	0,207	0,018	0,003	0,894	0,180	0,447
Allemand moyenne géométrique avec EPI	47	0,006	0,010	0,000	0,000	0,044	0,009	0,022
Allemand 75 ^{ème} percentile sans EPI	47	0,735	1,115	0,100	0,020	4,799	0,971	2,4
Allemand 75 ^{ème} percentile avec EPI	47	0,036	0,055	0,005	0,001	0,240	0,048	0,120
Britannique sans EPI	47	1,721	3,104	0,265	0,030	15,971	1,971	5,294
Britannique avec EPI	47	0,835	1,507	0,128	0,014	7,751	0,956	2,569
Hollandais	47	28,150	48,860	4,160	0,483	250,530	34,246	83,055
Sénégalais sans EPI	47	1,400	2,124	0,190	0,038	9,143	1,851	4,571
Sénégalais EPI	47	0,140	0,212	0,02	0,019	0,914	0,185	0,451

Tableau 6.7. : Doses absorbées (mg s.a./(personne x jour)) obtenues avec la canne centrifuge pour les différents modèles.

Modèles	N	Moyenne	E-Type	Médiane	Min	Max	75 ^{ème} percentile	90 ^{ème} percentile
Allemand moyenne géométrique sans EPI	62	0,736	0,818	0,395	0,197	3,911	0,760	2,179
Allemand moyenne géométrique avec EPI	62	0,036	0,040	0,019	0,009	0,195	0,037	0,106
Allemand 75 ^{ème} percentile sans EPI	62	3,980	4,482	2,110	1,060	20,999	0,971	2,400
Allemand 75 ^{ème} percentile avec EPI	62	0,199	0,223	0,106	0,053	1,049	0,048	0,120
Britannique sans EPI	62	18,570	22,760	7,760	3,820	91,760	24,519	43,903
Britannique avec EPI	62	12,430	15,250	5,200	2,560	61,450	16,421	29,403
Hollandais	62	758	928	317	156	3741	999,785	1790,19
Sénégalais sans EPI	62	19,640	21,830	10,530	5,270	104,330	20,274	58,124
Sénégalais avec EPI	62	1,964	2,183	1,053	0,527	10,433	2,027	5,663

6.5 CONCLUSION

Les modèles britannique UK POEM, allemands GERMAN Model et hollandais DUTCH Model permettent de calculer la dose journalière absorbée par un opérateur appliquant des produits phytosanitaires. Globalement, ces modèles présentent les avantages suivants : ils requièrent peu de données d'entrée, rendent bien compte des situations d'exposition rencontrées dans les pays pour lesquels ils ont été mis au point et offrent dans ce cas la possibilité d'établir un lien entre les expositions spécifiques et les doses absorbées. Ils ont un certain nombre d'inconvénients, à savoir qu'ils comportent un certain nombre de valeurs par défaut, ils sont valables pour une gamme de situations limitées (par exemple, 95 % des données de la base de données EUROPOEM II concerne des tracteurs équipés d'une cabine) et ne permettent pas d'évaluer les effets d'expositions cumulées aux pesticides. En outre, se basant sur des valeurs de substitution, ces modèles déterministes ne tiennent pas compte de la grande variabilité observée dans les expositions spécifiques, notamment due aux variations de conditions climatiques.

Une analyse de sensibilité est effectuée sur les modèles européens afin de déterminer les entrées les plus importantes sur la dose absorbée par l'opérateur. Les résultats montrent que toutes les entrées n'ont pas la même influence sur les sorties d'un modèle. Pour certaines d'entre elles, une petite variation peut provoquer de changements importants sur la sortie. En effet, quel que soit le modèle, la concentration de la substance active est la variable la plus influente, les changements obtenus à la sortie dépassent plus de 10 %. Elle est suivie par les paramètres d'application relatifs à la superficie traitée et au volume de bouillie appliqué (variable selon le modèle). Le volume de bouillie appliquée apparaît plus sensible avec le modèle hollandais avec des variations à la sortie de 12,5 % en formulation liquide et 8,93 % en formulation solide. Le modèle allemand ne prend pas en compte cette entrée. La surface traitée est légèrement plus sensible au niveau du modèle allemand qu'au modèle britannique. Les changements occasionnés à la sortie sont respectivement de 10,38 % et 8,88 % en formulation liquide et de 9,52 % et 8,33 % en formulation solide. Le modèle hollandais n'inclut pas cette variable. Enfin viennent les temps de travail : le temps de préparation induit un changement assez faible.

Si la méthode One-Factor-At-A-time utilisée pour réaliser ces analyses de sensibilité paraît simple, elle présente des limites (le changement d'un seul paramètre à la fois

implique que la modification opérée n'a aucune influence sur d'autres paramètres maintenus fixes). Toutefois, une telle analyse peut aider à réduire le risque d'exposition des opérateurs lors de l'utilisation des produits sur le terrain, en agissant sur les paramètres d'application les plus sensibles par une réduction du volume appliqué grâce à un contrôle de l'homogénéité de la répartition des buses et/ou par une modulation des vitesses de traitement des opérateurs.

Comme les conditions d'application européennes ne reflètent pas les conditions d'application rencontrées au Sénégal, une feuille de calcul Excel mieux adaptée aux conditions locales est proposée. Elle tient compte d'une part de données expérimentales obtenues au Sénégal comme les paramètres liés au temps de travail effectif, aux doses appliquées, à la surface traitée, au volume appliqué... et aux appareils de traitement couramment utilisés : le pulvérisateur à dos en zone maraîchère et la canne centrifuge en zone cotonnière. D'autre part, pour déterminer les valeurs d'exposition spécifique, elle se base sur des mesures effectuées en conditions contrôlées, en tunnel aérodynamique. Les quantités de sel de fluorescéine collectées sur un opérateur sont de 304,78 mg/(personne x kg traceur) pour la pulvérisation à dos et 794,87 mg/(personne x kg traceur) pour la canne centrifuge. La feuille Excel calcule la dose sur la base de la voie majeure d'absorption, à savoir la voie cutanée.

Par ailleurs, une cartographie de la contamination de l'opérateur permet de proposer des EPI adaptés comme, par exemple, celui proposé par la firme SYNGENTA. Ainsi, les équipements proposés seraient respectivement pour la zone maraîchère un équipement constitué de bottes, pantalon, gants et masque/visière et pour la zone cotonnière un équipement plus complet composé d'une combinaison, de gants, de bottes et d'un masque/visière).

Partant des données de terrain, les moyennes des doses absorbées par voie dermique sur le corps de l'opérateur pendant l'application (mg s.a./ (personne x jour) estimées par les différents modèles sont respectivement les suivantes :

- pour les modèles allemand moyenne géométrique, allemand 75^{ème} percentile, sénégalais, britannique et hollandais : 0,136 ; 0,735 ; **1,400** ; 1,721 ; 28,150 avec le pulvérisateur à dos sans EPI ;

- pour les modèles allemand moyenne géométrique, allemand 75^{ème} percentile, britannique, sénégalais moyenne arithmétique et hollandais : 0,736 ; 3,980 ; 18,570 ; **19,640** et 758 avec la canne centrifuge sans EPI.

Avec la prise en compte des EPI, nous avons respectivement les doses absorbées suivantes (mg s.a./(personne x jour) pour le modèle allemand moyenne géométrique, allemand 75^{ème} percentile, sénégalais moyenne arithmétique et britannique :

- avec le pulvérisateur à dos : 0,006 ; 0,036 ; **0,140** ; 0,835 ;
- avec la canne : 0,036 ; 0,199 ; **1,964** ; 12,430.

On voit qu'avec les appareils utilisés sur le terrain, qu'il s'agisse du pulvérisateur à dos ou de la canne centrifuge, le modèle sénégalais moyenne arithmétique donne des valeurs d'exposition supérieures à celles obtenues par les modèles allemands et inférieures à celles calculées à celles du modèle hollandais. Quant au modèle britannique, les estimations de celui-ci semble beaucoup proches du modèle sénégalais et surtout en l'absence de protection de l'opérateur.

Toutefois, il faut relativiser les résultats fournis par le modèle sénégalais, car les essais d'exposition spécifique sont réalisés en tunnel où les conditions du milieu sont maîtrisées. Des essais complémentaires d'exposition des opérateurs devraient être poursuivis sur le terrain.

CHAPITRE 7 : CONCLUSION

Les pesticides ou produits phytosanitaires sont développés afin de lutter contre les ennemis des cultures. L'absence de protection phytosanitaire a des conséquences néfastes car elle entraîne une baisse des rendements, peut être à l'origine de toxines libérées par des champignons ou de présence d'insectes dans les aliments,... Cependant, un usage inapproprié des pesticides risque d'être à l'origine de la contamination des différents compartiments de l'environnement et d'induire des résidus sur les produits alimentaires. Par ailleurs, des méthodes d'application inadéquates peuvent provoquer des problèmes de santé au niveau des opérateurs, en engendrant une toxicité aiguë ou à long terme.

Au Sénégal, les aspects sanitaires et environnementaux liés à l'utilisation des pesticides sont pris en compte via une adhésion aux conventions et accords internationaux. Dans le cadre de l'exportation des produits agricoles, les normes fixées par l'OMC et l'UE obligent le gouvernement à prendre d'importantes mesures au plan institutionnel. D'autre part, dans la sous-région du Sahel, une prise de conscience des risques encourus par les populations et l'environnement a entraîné l'harmonisation de la législation phytosanitaire. Cependant, malgré l'importance du dispositif réglementaire dont dispose le Sénégal, il n'existe pas de dispositions claires et pratiques visant l'octroi d'autorisation préalable à l'importation des produits phytosanitaires. Les dispositions liées à la vente et à la distribution ne sont pas appliquées. Par ailleurs, des produits classés extrêmement toxiques par l'OMS sont quasiment passés sous silence par la législation phytosanitaire en vigueur (par exemple, des matières actives comme les organochlorés sont toujours utilisés dans le pays). Enfin, les structures chargées de l'application de la réglementation ne disposent pas de moyens pour remplir correctement leurs fonctions.

Dans les zones maraîchère (zone des « Niayes ») et cotonnière, le traitement des cultures se fait respectivement avec des pulvérisateurs à dos et avec des cannes centrifuges. Des enquêtes ont été réalisées sur le terrain et divers paramètres ont été mesurés pour analyser les facteurs de risque encourus par les opérateurs. L'analyse statistique des résultats montre que les risques de contamination des opérateurs sont importants. En effet, en se référant à la classification établie par l'OMS, plusieurs produits utilisés sont classés hautement dangereux. Le faible niveau de formation des opérateurs ne leur permet pas de prendre connaissance des

informations concernant l'utilisation correcte des produits. Les techniques d'application sont insuffisamment maîtrisées et les opérateurs travaillent souvent sans aucune protection.

Pour estimer la contamination d'un opérateur, des mesures simulant les conditions rencontrées en région maraîchère et cotonnière ont été effectuées dans un tunnel aérodynamique, dans des conditions de température, humidité et vitesse de vent similaires à celles qui sont rencontrées sur le terrain. Elles ont permis de déterminer les parties du corps les plus exposées. Qu'il s'agisse du pulvérisateur à dos ou de la canne centrifuge, la position qui expose le moins l'opérateur est la position latérale par rapport au vent. Avec le pulvérisateur à dos, la contamination se produit essentiellement au niveau des tibias, tandis qu'avec la canne centrifuge, la contamination est généralisée à l'ensemble des parties corporelles. La présence de végétation augmente l'exposition par rapport à la pulvérisation sur sol nu. Par ailleurs, une cartographie de la contamination de l'opérateur permet de proposer des équipements de protection individuelle (EPI) adaptés. Ainsi, les EPI proposés seraient respectivement pour la zone maraîchère un équipement constitué de bottes, pantalon et pour la zone cotonnière un équipement plus complet composé d'une combinaison qui couvre toutes les parties du corps.

En Europe, différents modèles déterministes, comme UK POEM, GERMAN Model, DUTCH Model et EUROPOEM, permettent d'obtenir la dose journalière absorbée (mg s.a./personne x jour) par un opérateur appliquant des produits phytosanitaires. Suivant le modèle, la dose absorbée est calculée en tenant compte de variables d'entrée comme le type de produit et la dose, la concentration en substance active, le scénario de traitement, le type de formulation, la surface journalière traitée ou le temps de travail et le volume appliqué à l'hectare. Les valeurs de substitution, qui synthétisent sous forme de paramètres statistiques les expositions spécifiques déterminées expérimentalement, sont appréciées différemment suivant les modèles, en fonction du nombre de données disponibles et de la loi de distribution statistique observée. D'une manière générale, lorsque la base de données est suffisamment large et/ou que la variabilité est suffisamment faible, on se trouve en présence d'une faible incertitude et la valeur de substitution choisie est le 75^{ème} percentile. Si l'incertitude est plus importante, on utilise le 90^{ème} percentile.

Une analyse de sensibilité a été effectuée sur ces modèles européens afin de déterminer les entrées les plus importantes sur la dose absorbée par l'opérateur. Les résultats

montrent que, quel que soit le modèle, la concentration de la substance active est la variable la plus influente. Elle est suivie par les paramètres d'application relatifs à la superficie traitée et au volume de bouillie appliqué.

Comme les modèles européens ne reflètent pas les conditions d'application rencontrées au Sénégal, un modèle mieux adapté aux conditions locales est proposé, sous forme de feuille de calcul Excel. Il tient compte d'une part de données expérimentales mesurées au Sénégal comme le temps de travail effectif, la dose appliquée, la surface traitée, le volume appliqué, les appareils de traitement couramment utilisés, à savoir le pulvérisateur à dos en zone maraîchère et la canne centrifuge en zone cotonnière. D'autre part, il utilise comme valeurs d'exposition spécifique la moyenne arithmétique de mesures réalisées en tunnel aérodynamique, dans des conditions climatiques similaires à celles rencontrées sur le terrain au Sénégal. L'exposition spécifique est évaluée à partir de la quantité de sel de fluorescéine (en mg/kg de sel appliqué) contaminant un opérateur par voie dermique lors de la phase d'application.

Sans équipement de protection individuelle, les doses journalières moyennes absorbées par voie dermique et calculées avec les différents modèles pendant la phase d'application sont les suivantes :

- avec un pulvérisateur à dos, pour les modèles allemand moyenne géométrique, allemand 75^{ème} percentile, sénégalais, britannique et hollandais, les doses absorbées moyennes sont respectivement de 0,136 ; 0,735 ; **1,400** ; 1,721 et 28,150 mg s.a./ (personne x jour) ;
- avec une canne centrifuge, pour les modèles allemand moyenne géométrique, allemand 75^{ème} percentile, britannique, sénégalais et hollandais, les doses absorbées moyennes sont respectivement de 0,736 ; 3,980 ; 18,570 ; **19,640** et 758 mg s.a./ (personne x jour).

Quel que soit le modèle, les doses absorbées pendant l'application et par voie dermique sont nettement plus importantes avec la canne centrifuge qu'avec le pulvérisateur à dos. Qu'il s'agisse du pulvérisateur à dos ou de la canne centrifuge, le modèle sénégalais donne des valeurs d'exposition supérieures à celles obtenues par les modèles allemands et inférieures à celles calculées avec le modèle hollandais. Les valeurs du modèle sénégalais sont relativement proches des estimations du modèle britannique.

En prenant en compte des EPI, les doses journalières absorbées par voie dermique et calculées avec les modèles allemand moyenne géométrique, allemand 75^{ème} percentile, sénégalais et britannique prennent en moyenne les valeurs suivantes :

- avec le pulvérisateur à dos : 0,006 ; 0,036 ; **0,140** ; 0,835 mg s.a./(personne x jour) ;
- avec la canne centrifuge : 0,036 ; 0,199 ; **1,964** ; 12,430 mg s.a./(personne x jour).

Dans les deux cas, les valeurs du modèle sénégalais se situent entre celles estimées par les modèles allemand d'une part et anglais d'autre part.

Les résultats fournis par le modèle sénégalais doivent être relativisés d'une part parce que le modèle n'intègre pas l'exposition durant la préparation de la bouillie, ni les expositions des mains et inhalatoire durant l'application et d'autre part parce que les essais d'exposition ont été réalisés en tunnel aérodynamique avec un traceur et dans des conditions de milieu maîtrisées. Le modèle pourrait toutefois apporter une aide significative dans les procédés d'homologation et les stratégies de réduction des risques d'exposition des opérateurs au niveau parcellaire.

Pour que ce modèle puisse être pleinement utilisé en tant qu'outil d'aide à la décision dans l'ensemble des pays du Sahel, il conviendrait de réaliser des essais complémentaires sur le terrain afin de quantifier l'exposition des opérateurs dans une plus large gamme de conditions environnementales. Pour cela, il conviendrait de mener les étapes suivantes.

- Effectuer des études d'exposition spécifique en plein champ incluant l'exposition dermique et inhalatoire pendant toutes les phases du travail sur des produits autorisés et fréquemment utilisés dans la zone. Ces études devraient intégrer des paramètres très précis tels que le type de matériel de traitement utilisé, le cycle de développement végétatif de la culture, ...
- Réaliser des études de perméation sur les équipements de protection individuelle.
- Elargir la méthodologie dans les autres pays du Sahel.

Pour réduire significativement la contamination des opérateurs et de l'environnement, à côté de l'introduction de pratiques alternatives de protection des végétaux telles que la lutte biologique et la lutte intégrée, les mesures d'accompagnement suivantes sont proposées.

- Apporter un appui aux producteurs dans le processus de choix de la méthode de protection des cultures, des matériels d'application et des produits à utiliser.
- S'assurer que les intermédiaires impliqués dans la distribution des pesticides ont un niveau de formation adéquat pour mener à bien leur mission et que les services de vulgarisation et d'encadrement ont une compétence suffisante pour informer les producteurs sur la nature des produits utilisés.
- Mettre en place une organisation structurelle appropriée et un renforcement des mécanismes nationaux de contrôle et d'utilisation des pesticides. Des mesures concrètes devraient être prises d'une manière générale afin d'assurer une application efficiente de la législation et de la réglementation des pesticides.
- Etablir un plan à moyen terme de retrait des pesticides identifiés comme dangereux pour la santé et l'environnement.
- Faciliter l'accès des producteurs aux équipements de protection individuelle appropriés, prenant en compte l'efficacité de la réduction de l'exposition.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anon. (2001). Risques sanitaires liés à l'utilisation des produits phytosanitaires. *Comité de la prévention et de la précaution*. <http://.environ.gou.fr/ministère/comitesconseils/fiche-descriptive.htm>
- Arbuckle T.E., Sever L.E. (1998). Pesticide exposure and foetal death : a review of the epidemiologic literature. *Crit Rev in Toxicol.* **28**, 229-270
- Beard J. (2006). DDT and human health. *Science of the Total Environment.* **355**, 78-79
- Bélamie R., Calvet R., Chassin P. (1997). Les transferts sol-eau des produits phytosanitaires. Edition INRA, l'eau dans l'espace rural, Production végétale et qualité de l'eau, p. 231-248.
- Ben Abdallah M.A. (2004). Les techniques de pulvérisation anti-dérive ne présentent pas toutes le même intérêt technico-environnemental. Thèse annexe de doctorat, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, Belgique. 29 p
- Bidleman T. (1999). Atmospheric transport and air-surface exchange of pesticides. *Water, Air, and Soil pollution.* **115**, 115-166
- Bierman E.P.B., Brouwer D.H., Van Hemmen J.J. (1998). Implementation and Evaluation of the Fluorescent Tracer Technique in Greenhouse Exposure Studies. *Ann. Occ. Hyg.* **42** (7), 467-475
- BCPC. (2003). The Pesticide Manual. Thirteenth edition. 1343 p
- Brouwer H.D., Boeniger F.M., Van Hemmen J. (2000a). Hand Wash and Manual Skin Wipes. *Ann. Occup. Hyg.* **44** (7), 501-510
- Brouwer H.D., Lansink C.M., Cherrie W.J, Van Hemmen J.J. (2000b). Assesment of Dermal Exposure During Airless Spray Painting using a Quantitative Visualisation. *Ann. Occ. Hyg.* **44** (7), 543-549
- Cai S.S., Stark J.D. (1997). Evaluation of five fluorescent dyes and triethyl phosphate as atmospheric tracers of agricultural sprays. *Journal of Environmental Sciences and Health Part B- Pesticides Contaminants and Agricultural Wastes.* **32**, 969-983
- Calvet R (2004). Définition des risques et principes généraux d'estimation. Estimation des risques environnementaux des pesticides. Editions INRA, 117 p
- Castelain et Vleminckx. (2004). Safe use of agricultural pesticides : Risk Assessment and Risk Management. *Scientific Institute of Public Health. Belgium*, presentation power-point, 46 diapositives

Castro Cano M.L., Martinez Vidal J.L., Egea Gonzalez F.J., Martinez Galera M., Cruz Marquez M. (2000). Gas chromatographic method and whole body dosimetry for assessing dermal exposure of greenhouse applicators to chlorpyrifos-methyl and fenitrothion. *Analytica Chimica Acta*. **423**, 127-136

CEE. (1991). Directive du conseil du 15 juillet 1991 concernant la mise sur la marché des produits phytopharmaceutiques (91/414/CEE). Office de publications officielles des communautés européennes. 207 p

Chester G. (1993). *Ann. Occup. Hyg.* **37**, p 509

Cissé I., Fall S.T., Akinbamij O.O., Diop Y.Mb., Adediran S.A. (2001). L'Agriculture urbaine intensive et santé publique : l'utilisation des pesticides et leurs incidences sur la contamination des nappes phréatiques et les risques sur la santé des populations dans la zone des Niayes au Sénégal. Séminaire Atelier. Savana –Saly Portudal. 5-8 Août 2001

Coch H., Weiber P., Landfried M. (2003). Effect of drift potential on exposure in terrestrial habitats. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* **55** (9),181-188

Cohn W., Boylan J.J., Blanke R.V. (1978). Treatment of dieldrin (Kepone) toxicity with cholestyramine. Results of controlled chemical trial. *N.Eng.J.med.* **298**, 243-248

Dagnélie P. (1998). Statistiques théoriques et appliquées. Bibliothèque des Universités, 657 p

Dési I., Nagymajtényi L., Schulz H., Nehéz M. (1998). Epidemiological investigations and experimental model studies on exposure of pesticides. *Toxicology Letters*. **96-97**, 351-359

Delannoy C (2004). Caractérisation des risques d'exposition aux produits phytosanitaires des opérateurs en espaces verts. Mémoire de fin d'études, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, Belgique. 78 p

De Cock J., Westveer K., Heederic D., Te Velde E., Van Kooij R. (1995). Time to pregnancy and occupational exposure to pesticide in fruit growers in the Netherlands. *Occup. Environ Med.* **51**, 693-699

Durham W.F., Wolfe H.R. (1962). *Bull. World Health Org.* **26**. 79 p

Dubus I.G (2004). Méthodes probabilistes dans l'évaluation de l'exposition in Estimation des risques environnementaux des pesticides. Editions INRA. 123 p

Duncan G., Pollard J.T.S., Spence L., Smith R., Gronow R.J. (2005). Spray irrigation of landfill leachate: estimating potential exposures to workers and bystanders using a modified air box model and generalised source term. *Environmental Pollution*. **133**, 587-599

EPA (1996). Occupational and residential exposure test guidelines. Background for application exposure monitoring test guidelines. Office of prevention, Pesticides and Toxic substances, US. *Environmental Protection Agency*, OPPTS 875. 1000, Washington D.C

Environmental Protection Agency. (1987). Pesticide Assessment Guidelines, Subdivision U, Applicator Exposure Monitoring.

Even I., Berta J.L., Volatier J.L. (2002). Evaluation de l'exposition théorique des nourrisson et des enfants en bas age aux résidus de pesticides apportés par les aliments courants et infantiles. Agence Française de sécurité sanitaire des aliments. [http.Doc.html](http://Doc.html). 116p

Fall Touré.S., Fall A.S. (2000). Cités horticoles en sursis? l'agriculture urbaine dans les grandes Niayes au Sénégal. 119 p

Feng L., Xiao Haiqing., Xiao He., Li Z., Liu N., Zhao Y., Huang Y., Zhang Z., Chai Z.(2006). Neurotoxicological consequence of long-term exposure to lanthanum. *Toxicology Letters*. **165** (2), 112-120

Gauvrit C. (1994). Les huiles en phytosanitaire: le cas des herbicides. *Phytoma* **458**, 37-42

Gauvrit C., Jouy L. (1995-1). Adjuvants, quatre conseils pour bien les utiliser. *Perspectives agricoles* **208**, 74-75

Gauvrit C. (1995-2). Les adjuvants : mirifiques, illusoire ou dangereux ?. *Phytoma* **470**, 17-22

Gil Y., Sinfort C. (2005). Emission of pesticides to the air during sprayer application: A bibliographic review. *Atmospheric Environment*. **39**, 5183-5193

Glynn P. (2006). A mechanism for organophosphate-induced delayed neuropathy. *Toxicology Letters*. **162** (1), 94-97

Gorell M.J., Peterson L.E., Rybicki A.B., Johnson C.C. (2004). *Journal of the Neurological Sciences*. **217**, 169-174

Groeneveld C.N., Van Hemmen. (2001). Toxicology studies should be relevant for worker risk assessment. Summary of discussions. *Ann. Occup. Hyg.* **45** (1001), 155-157

Hamey P.Y. (2001a). An example to illustrate the potential use of probabilistic modelling to estimate operator exposure to pesticide. *Ann. Occup. Hyg.* **45** (1001), 55-64

Hapeman C.J., McConnell L.L., Rice C.P. (2003). Current United States Department of agriculture- agricultural research service research on understanding agrochemical fate and transport to prevent and mitigate adverse environmental impacts. *Pest Management Science*. **59**, 681-690

HARDI International A/S. Low drift nozzles- the solution to all problems ? 6 p

Institut National de Santé Publique (2004). Caractérisation de l'exposition aux pesticides utilisés en milieu résidentiel chez des enfants Québécois âgés de 3 à 7 ans. Direction Risques Biologiques Environnementaux et Occupationnels et Direction Toxicologique Humaine, 63p

Jean S et al. (2004). Quantification de l'exposition aux produits phytosanitaires au cours d'un traitement expérimental sur la vigne. AFPP- Colloque Mieux traiter. Orleans, 10 -11 Mars 2004

Kangas J., Sihvonen S.(1996). Comparaison of Predictive Models for Pesticide Operator Exposure. Nordic council of Ministers, Copenhagen, Danmark

Koch, H., Weiber, P., Landfried, M. (2003). Effect of drift potential on drift exposure in terrestrial habitat. *Nachrichtebl.Deut. Pflanzenschutz* **55** (9), 181-188

Konté M *et al.*(1995). Zone agro-écologique des Niayes, ISRA technical report, avril 1995, 125 p

Krieger R.I., Bernard C.E., Dinoff T.M., Ross J.H., Williams R.L. (2001). Biomonitoring of Person Exposed to Insecticides Used in Residences. *Ann. Occup. Hyg.* **45** (1001), 143-153

Kumar S.H. M ., Kunabenchi R.S., Biradar J.S., Math N.N., Kadadevarmath R.S., Inamdar S.R. (2006). Analysis of fluorescence quenching of new indole derivative by aniline using Stern-Volmer plots. *Journal of Luminescence.* **116**, 35-42

Kumar Y. (2001). Pesticides in Ambient Air in Alberta. *Science and Standard Division. Alberta Environment.* Canada, 30 p

Lebeau F. (2003). Modélisation de la répartition dynamique des produits phytopharmaceutiques sous une rampe de pulvérisation. Thèse de doctorat, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, Belgique.197 p

Lecoeur S., Videmann B., Mazallon M. (2005). Effect of organophosphate pesticide diazinon on expression and activity of intestinal P-glycoprotein. *Toxicology Letters.* **161** (3), 200-209

Lerda D., Rizzi R. (1991). Study of reproductive function in persons occupationally exposed to 2, 4- dichlorophenoxyacetic acid. *Mutat.Res.* **262**, 47-50.

Lunchick C. (2001). Probabilistic Exposure Assessment of operator and Residential Non-Dietary Exposure. *Ann Occ Hyg.* **45** (1001), 29-42

Lundehn R.J., Westphal D., Kieczka H., Krebs B., Löcher-Bolz H., Massfeld W., Dietter-Pick E. (1992). Uniform Principles for Safeguarding the Health of Applicators of Plant Protection Products (Uniform Principles for Operator Protection). *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land-und Forstwirtschaft.* Berlin-Dahlem. 112 p

Machera K., Egea Gonzales F.J., Kapetanakis E., Castro Cano M.L., Glass C.R. (1998). In: proceedings of the Ninth International Congress on Pesticide Chemistry, London

Majewski M.S., Foreman W.T., Goolsby D.A., Nakagak N. (1998). Airborne pesticide residues along the Mississippi River. *Environmental Science and Technology.* **32**, 3689-3698

Mäkinen M. (2003). Dermal Exposure Assessment of Chemicals- an Essential part of total Exposure Assesment at workplaces. Thèse de doctorat of the University of Kuopio. 86 p

Matthews G .A. (1992). Pesticide application methods. Longmans UK . 2nd Edition. 404 p

MDRGF. (2005). L'insecticide Galecron suspecté dans la recrudescence du cancer de la vessie dans le canton de Vaud. *Pesticides et Alternatives.* n°24. 1^{er} trimestre 2005. p20

- MEF/DPS. (1996-2006). Annuaire des statistiques du commerce extérieur du Sénégal
- Médecine d'Afrique Noire (2003). Présentation de trois épidémies par intoxication aux pesticides en casamance. Tome 50-N°11, 473-474
- Miao Y., Liu J., Hou F., Jiang C. (2006). Determination of adenosine disodium triphosphate (ATP) using norfloxacin-Tb³⁺ as fluorescence probe by spectrofluorimetry. *Journal of Luminescence*. **116**, 67-72
- Miller P.C.H., Butler Ellis, M.C. (2000). Effects of formulation on spray nozzle performance for applications from ground-based boom sprayer. *Crop Protection*. **19**, 609-615.
- Miller P.C.H., Hadfield D. (1989). A simulation model of the spray drift from hydraulic nozzles. *Journal of Agricultural Engineering Research*. **42**, 135-147
- Ministère de l'Agriculture, Ministère de la Santé, Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature (non daté). Projet de loi relatif à la gestion des pesticides et des produits chimiques dangereux. République du Sénégal
- Ministère de la Jeunesse, de l'Environnement et de l'Hygiène Publique (2001). Code de l'Environnement. Loi n°2001-01 du 15 janvier 2001. Décret n° 2001-282 du 12 avril 2001. République du Sénégal.
- Ministère de la Jeunesse, de l'Environnement et de l'Hygiène Publique. Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés. (2002). Charte de Coordination Interministérielle Durable pour la Gestion Rationnelle des Produits Chimiques. Programme UNITAR/IOMC/Gouvernement du Sénégal «Développer et Soutenir un Programme National Intégré de Gestion Rationnelle des Produits Chimiques. République du Sénégal
- Mitchell M., Campbell C. (2001). Probabilistic Exposure Assessment of Operator and Residential Exposure; a Canadian Regulatory Perspective. *Ann. Occup. Hyg.* **45** (1001), 43-47
- Ndoye A F.N., Ba C.O., Dieng A., Diop O., Badji Y., Dieng T.(2004). Caractérisation socio-économique des exploitations horticoles dans la zone des Niayes, Sénégal. Projet collaboratif ISRA/BAME-PPMEH. 76 p
- Niassy A., Ndiaye Diop R. (2002). In Rapport de synthèse de l'atelier national sur la gestion des pesticides au Sénégal et la mise en place de la commission nationale. Dakar, 28-29 octobre
- Nicolas J. Outils et statistiques et mathématiques pour le traitement des données environnementales. 116 p.
- Ning B., Graham N., Zhang YP., Nakoneching M., El Din MG.(2007). Degradation of endocrine disrupting chemical by ozone/AOPS. *Ozone –Sciences and Engineering*. **29** (3), 153-176
- OCDE . (1997). Guidance document for the conduct of studies of occupational exposure to pesticides during agricultural application. Series on Testing and Assessment. *Environmental Health and Safety Publication*, n° 9

- Ozkan (1991). Reducing spray drift. *The Ohio State University*. Bulletin n° 816, 22 p
- PAN/AFRICA.(2003). Pesticides et Pauvreté. Document d'information sur la gestion des pesticides au Sénégal
- Pochet B. (2006). Méthodologie documentaire. Rechercher, consulter, rédiger à l'heure d'Internet. 2^e éd. De boeck
- PR02/113. Pesticide, le code de conduite révisée à réduire les risques dans les pays en développement. Pesticide/FAO/HTML/Intenet
- Price S.P., Young S.J., Chaisson F.C. (2001). Assessing Aggregate and Cumulative Pesticide Risks Using a Probabilistic Model. *Ann. Occup. Hyg.* **45** (1001), 131-142
- Rahimi R., Abdallahi M. (2007). A review on the mechanisms involved in hyperglycemia induced by organophosphorus pesticides. *Pesticide Biochemistry and physiology.* **88** (2), 115-121
- Rangoonwala SP., Kazim M., Pandey AK. (2005). Effects of diazoin on serum calcium and inorganic phosphate levels as well as ultrastructure of parathyroid and calcitonin cells of *Rattus norvegicus*. *Journal of Environmental Biology.* **26** (2), 217-221
- Rody F. (2006). Dynamique et Modélisation de l'Azote sous Cultures Maraîchères de Plein Champ. Thèse de Doctorat, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, Belgique. 240p
- Rody.F.; Xanthoulis.D. (2005). Analyse de sensibilité du modèle mathématique "Erosion Productivity Impact Calculator" (EPIC) par l'approche One-Factor-At-A-Time (OAT). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **9** (3), 179-190
- Salyani M., Whitney J.D. (1988). Evaluation of methodologies for field studies of spray deposition. *Transactions of the ASAE.* **31**, 390-395
- Scharder S.M., Turner T.W., Ratchiffe J.M. (1998). The Effects of Ethylene dibromide on semen quality: a comparison of short-term and chronic exposure. *Reprod. Toxicol.* **24**, 191-198
- Schneider T., Cherrie J.W., Vermeulen R., Kromhout H. (2000). Dermal exposure assessment. *Ann.Occup.Hyg.* **44** (7), 493-499
- Schiffers B., Copin A., Roland L. (1992). Nouvelle méthode de lutte. *Revue de l'agriculture.* **45**, numéro hors serie, 221-228
- Schiffers B., Galoux M. (1991). Le point sur l'évolution dans le domaine des formulations. *Parasitica.* **47** (2-3), 137-146
- Siati M. (2005). Etude de quelques paramètres permettant une évaluation et une réduction des risques de dérive lors de l'application des traitements phytosanitaires (cas du pulvérisateur à dos). TFE, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, Belgique. 87 p

- Siebers J., Binner R., Wittich K.P. (2003). Investigation on downwind short-range transport of pesticides after application in agricultural crops. *Chemosphere*. **51**, 397-407
- Slutsky M., Levin J.L., Levy B.S. (1999). Azoospermia and Oligospermia among a large cohort of DBCP applicators in 12 countries. *Envir. Health*. **5**, 116-122
- Speelman L. (1971). A fluorescent Tracer Technique for Determination of the Liquid Distribution of Field Crop Sprayers. *J. agric. Engng Res.* **16**(3), 301-306
- Sow M., Marone M., Ndiaye S. (2004). Etude socio-économique de l'utilisation des pesticides au Sénégal. Fondation Ceres Locustox. 143 p
- Stainier C., Destain MF., Schiffers B., Lebeau F. (2006). Droplet size spectra and drift effect of two phenmedipham formulations and four adjuvants mixtures. *Crop Protection*. **25** (12), 1238-1243
- Stainier C. (2004). Influence des propriétés de mélanges phytosanitaires sur la dérive générale par trois types de buse de pulvérisation. TFE, Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux, Belgique. 62 p
- Stainier C *et al.* (2004). Rapport d'activité de la première biennale du projet RW-1025
- Stallones L., Beseler Ch. (2002). Pesticide Poisoning and Depressive Symptoms among Farm Residents. *Annal Epidemiologic*. **12**, 389-394
- Sturbaut W., Garreyn F. (2006). Occupational Indicators for Pesticide Risk (W10). International Center for Pesticides and Health. Seminar on Harmonised Environmental Indicators for Pesticide Risk. OCDE Working Group on Pesticides/EU Hair steering committee. Projection power point. 22 diapositives
- Thielen F. (2002). Confrontation des paramètres retenus dans les modèles européens d'estimation d'exposition de l'opérateur à la pratique phytosanitaire en milieu agricole. TFE, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux, Belgique. 111 p
- Thistle H.W.Jr., Teske M.E., Reardon R.C. (1998). Weather effects on drift: Meteorological factors on spray drift: an overview, Proceedings of the North American Conference on Pesticide Spray Drift Management, March 29-April 1st, Donna Buckley Ed. 64-74
- Thornhill E.W., Matthews G.A. (1999). Matériel d'application des pesticides à usage agricole. *Bulletin des services agricoles de la FAO*. Vol.112/2, 146 p
- Unsworth J.B., Wauchope R.D., Klein A.W., Dorn E., Zech B., Yeh S.M., Akerblom M., Racke K.D., Rubin B. (1999). Significance of the long-range transport of pesticides in the atmosphere: technical report. *Pure and applied chemistry*. **71**, 1359-1383
- Van den Berg . F., Kubiak R., Benjey W.G. (1999). Emission of pesticides into the air. *Water, Air, and Soil pollution*. **115**, 195-218

Vandeschrick C., Wautelet J.M. (1990). De la statistique descriptive aux mesures des inégalités. Collection Population et Développement n°11, 242 p.

Van Drooge H.L., Van Haelst A.G. (2001). Probabilistic Exposure Assessment is Essential for Assessing Risks- Summary of Discussions. *Ann. Occup. Hyg.* **45** (1001), 159-162

Van Hemmen J.J., Katinka E. Van der Jagt. (2005). Generic Operator Databases. In Occupation and Residential Exposure Assessment for Pesticides. Eds : Claire A. Franklin and John P.Worgan. 421p.

Van Hemmen J.J., Groeneveld N.C., Van Drooge H., Van Haelst N.C., Schipper H J.A., Van DER Jagt E.K. (2001). Risk Assessment of Worker and Residential Exposure to Pesticides: Conclusions and Recommendations. *Ann. Hyg.Occ.* **45** (1001), 171-174

Van Hemmen. (1999). Biocides steering group on human exposure assessment: a preliminary report. *Toxicology letters.***107**, 95-102

Van Hemmen. J.J., Brouwer .H. D. (1995). Assessment of dermal exposure to chemicals. *The Science of the total environment.* **168**, 131-141

Van Pul W.A.J., Bidleman T.F., Brorstrom-Lunden, E. (1999). Atmospheric transport and deposition of pesticides: an assesment of current knowledge. *Water and Soil Pollution* .**115**, 245-256

Vleminckx C. (2006). Training Session Registration Reports-Toxicological Part. *Scientific Institute of Public Health. Belgium*, Présentation power-point, 34 diapositives

Vidal Martinez J.L., Egea Gonzales F.J., Delgado Cobos P., Machera K., Capri E., Tuomainen A., Glass C.R. (1998). In: Proceedings of the Second European Pesticide Residue Workshop, Almeria

Wim J.A. M., Franssen. A.Ch., Brouwers. H.D., Van Hemmen .J.J. (1997). The influence of skin moisture on the dermal absorption of propoxur in human volunteers: a consideration for biological monitoring practices. *The Science of the total environment.* **199** (1997) 165-172

World Health Organization. (2004). The WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard and Guidelines to Classification. ISBN 92 41546638. 56 p

World Health Organization. (1986). *Toxicology letter.***33**. 223 p

World Health Organization. (1975). VBC/75 .9, Geneva

Wyrobek A.J., Watchmaker G., Gordol . (1981). Sperm shape abnormalities in carbaryl-exposed employees. *Envir. Health Perspect.* **40**, 255-265

Yates W.E., Akenson N.B., Bayer D. (1976). Effects of spray adjuvant on drift hazards. *Transactions of the ASAE.* **19**, 41-46

Zahm *et al.* (1998). Pesticides and childhood cancer. *Environ Health Perspective.* **106**, 893-908

Zhang G., Suling F., Dingxi C. (1996). Catalytic Fluorimetric Determination of Trace Cobalt in Vitamin B12. *Microchemical Journal*.**53**, 308-315

Annexe 1

Tableau 1. : Présentation sur feuille Excel du modèle britannique UK POEM 2.0. Chaque scénario possède sa propre feuille. La feuille pour la pulvérisation de culture basse est représentée ici. Les zones en jaunes sont les données à modifier.

INPUT DATA

Product	Allie Express	Active substance	carfentrazone-ethyl
Formulation type (EC/SC/WP/WDG)	WDG	Active substance conc.	400 mg/g
Dermal abs. of a.s from product	10 %	Dermal abs. of a.s. from spray	10 %
Container size	0,1 kg	Contamination/op.	0,01 g
Gloves during mix/loading	yes	Gloves during appln.	no
Dose	0,05 kg product/ha	Work rate/day	50 ha
Application volume	100 l/ha	Duration of spraying	6 h

Tractor mounted hydraulic boom and nozzles model

PRODUCT DATA

Product	Allie Express
Active substance	carfentrazone-ethyl
Concentration	400 mg/g
Formulation type	WDG
Main solvent	
Concentration of solvent	w/w
Maximum in-use a.s. concentration	0,2 mg/ml

EXPOSURE DURING MIXING AND LOADING

Container size	0,1 kg
Hand contamination/operation	0,01 ml
Application dose	0,05 kg product/ha
Work rate	50 ha/day
Number of operations	25 /day
Hand contamination	0,25 g/day
Protective clothing	gloves
Transmission to skin	1 %
Dermal exposure to formulation	0,0025 g/day

EXPOSURE DURING SPRAY APPLICATION

Application technique - tractor, hydraulic boom and nozzles			
Application volume	100 spray/ha		
Volume of surface contamination	10 ml/h		
Distribution	Hands	Trunk	Legs
	65	10	25 %
Clothing	none	permeable	permeable
Penetration	100	5	15 %
Dermal exposure	6,5	0,05	0,375 ml/h
Duration of exposure	6 h		
Total dermal exposure to spray	41,55 ml/day		

ABSORBED DOSE

	Mix/load	Application
Dermal exposure	0,0025 g/day	41,55 ml/day
Concentration of a.s.	400 mg/ml	0,2 mg/ml
Dermal exposure to a.s.	1 mg/day	8,31 mg/day
Percent absorbed	10 %	10 %
Absorbed dose	0,1 mg/day	0,831 mg/day

INHALATION EXPOSURE DURING SPRAYING

Inhalation exposure	0,01 ml/h
Duration of exposure	6 h
Concentration of a.s.	0,2 mg/ml
Inhalational exposure to a.s.	0,012 mg/day
Percent absorbed	100 %
Absorbed dose	0,012 mg/day

PREDICTED EXPOSURE

Total absorbed dose	0,943 mg/day
Operator body weight	60 kg
Operator exposure	0,015716667 mg/kg bw/day

Annexe 1

Tableau 2. : Présentation sur feuille Excel du modèle allemand. Les volets et les zones grisées son les données à modifier.

THE GERMAN MODEL

Use information

Product		Active substance	carfentrazone-ethyl
Formulation type	WG	A.s. concentration	400 mg/g
Method of use	Tractor field crops	Dose (product)	0,05 kg product/ha
Work rate	50 ha/day	Dose (a.s.)	0,02 kg a.s./ha
		Amount handled	1 kg a.s./day

Exposures - mix/loading

	Specific exposures	Estimated exposures	PPE (including RPE)	Estimated exposure (PPE)
Inhalation	0,008 mg/kg a.s. handled	0,008 mg a.s./day	None	0,008 mg a.s./day
Dermal - hands	2 mg/kg a.s. handled	2 mg a.s./day	Gloves	0,02 mg a.s./day

Exposures - application

	Specific exposures	Estimated exposures	PPE (including RPE)	Estimated exposure (PPE)
Inhalation	0,001 mg/kg a.s. handled	0,001 mg a.s./day	None	0,001 mg a.s./day
Dermal - head	0,06 mg/kg a.s. handled	0,06 mg a.s./day	None	0,06 mg a.s./day
Dermal - hands	0,38 mg/kg a.s. handled	0,38 mg a.s./day	None	0,38 mg a.s./day
Dermal - body	1,6 mg/kg a.s. handled	1,6 mg a.s./day	Coverall + boots	0,08 mg a.s./day

Total exposures

	Estimated exposures	Percent absorbed	Estimated exposure (PPE)	Percent absorbed
Total potential inhalation	0,009 mg a.s./day	100%	0,009 mg a.s./day	100%
Total dermal - mix	2 mg a.s./day	10%	0,02 mg a.s./day	10%
Total dermal - application	2,04 mg a.s./day	10%	0,52 mg a.s./day	10%

Total absorbed dose

Body weight	70 kg	0,063 mg a.s./day
mg/kg bw/day	0,0059 mg a.s./kg bw/day	0,0009 mg a.s./kg bw/day

Annexe 1

Tableau 3. : Présentation sur feuille Excel du modèle néerlandais. Les volets et les zones grisées sont les données à modifier.

THE NETHERLANDS' MODEL

Use information

Product	Intrepid 240 SC	Active substance	chlorfenapyr
Formulation type	Liquid	A.s. concentration	240 mg/ml
Method of use	Hand held outdoors up- and downward	Spray volume	1000 litres/ha
Dose (product)	0,83 litres/ha	Duration of spraying	4 h
Duration of mix/loading	1 h		

Exposures - mix/loading

	Indicative potential exposure	Estimated potential exposure
Inhalation	0,02 mg product/h	0,0048 mg a.s./day
Dermal - hands	300 mg product/h	72 mg a.s./day

Exposures - application

	Indicative potential exposure	Estimated potential exposure
Inhalation	0,5 ml spray/h	0,3984 mg a.s./day
Dermal	200 ml spray/h	159,36 mg a.s./day

Total exposures

	Estimated exposures	Percent absorbed
Total potential inhalation	0,4032 mg a.s./day	100%
Total dermal - mix	72 mg a.s./day	10%
Total dermal - application	159,36 mg a.s./day	10%

Total absorbed dose

	23,5392 mg a.s./day
Body weight	70 kg
mg/kg bw/day	0,336274286 mg a.s./kg bw/day

Annexe 1

Tableau 4. : EUROPOEM II (provisoire) exemple de feuille Excel. Le premier cadre contient les données à insérer. Les volets permettent de choisir le type d'équipement de protection utilisé.

Use information

Product	Product name	Active substance	a.s. name
Formulation type	Liquid	A.s. concentration	500 mg/ml
Method of use	Vehicle ground boom		
Area treated	50 ha	Duration of spraying	6 h
Dose	1 litres/ha	Spray volume	200 litres/ha

Enter appropriate data into unshaded cells - using dropdown menus or by over typing

Exposures - mix/loading

	Surrogate potential exposure	Quality	Estimated potential exposure	Estimated actual (no PPE)	Estimated actual (with PPE)
Inhalation	0,005 mg/ kg a.s.	75th percentile	0,125 mg a.s./day	0,125 mg a.s./day	0,0125 mg a.s./day
Dermal - hands	20 mg/ kg a.s.	75th percentile	500 mg a.s./day	500 mg a.s./day	50 mg a.s./day
Hands % of total	95%				
Total dermal	20 mg/ kg a.s.	75th percentile	500 mg/ kg a.s.		<i>Note: total dermal given here for information only</i>

Exposures - application mg/kg a.s. sprayed

	Surrogate potential exposure	Quality	Estimated potential exposure	Estimated actual (no PPE)	Estimated actual (with PPE)
Inhalation	0,008 mg/ kg a.s.	75th percentile	0,2 mg a.s./day	0,2 mg a.s./day	0,02 mg a.s./day
Dermal - hands	2 mg/ kg a.s.	75th percentile	50 mg a.s./day	50 mg a.s./day	5 mg a.s./day
Dermal - body	0,6 mg/ kg a.s.	75th percentile	15 mg a.s./day	7,5 mg a.s./day	1,5 mg a.s./day
Total dermal	3 mg/ kg a.s.	75th percentile	75 mg a.s./day		<i>Note: total dermal given here for information only</i>

Exposures - application ml/h spraying

	Surrogate potential exposure	Quality	Estimated potential exposure	Estimated actual (no PPE)	Estimated actual (with PPE)
Inhalation	0,01 ml spray/h	75th percentile	0,15 mg a.s./day	0,15 mg a.s./day	0,015 mg a.s./day
Dermal - hands	2 ml spray/h	75th percentile	30 mg a.s./day	30 mg a.s./day	3 mg a.s./day
Dermal - body	0,7 ml spray/h	75th percentile	10,5 mg a.s./day	5,25 mg a.s./day	1,05 mg a.s./day
Total dermal	2 ml spray/h	75th percentile	30 mg a.s./day		<i>Note: total dermal given here for information only</i>

Estimated total exposures and absorbed dose mg/kg a.s. basis

	Estimated actual (no PPE)	Percent absorbed	PPE	Estimated actual (with PPE)	Percent absorbed
Inhalation - mix/loading	0,125 mg a.s./day		No	0,125 mg a.s./day	
Inhalation - application	0,2 mg a.s./day		No	0,2 mg a.s./day	
Estimated total inhalation	0,325 mg a.s./day	100%		0,325 mg a.s./day	100%
Dermal- hands mix/loading	500 mg a.s./day		Yes	50 mg a.s./day	
Estimated dermal total - mix/loading	500 mg a.s./day	10%		50 mg a.s./day	10%
Dermal- hands application	50 mg a.s./day		Yes	5 mg a.s./day	
Dermal - body application	7,5 mg a.s./day		Yes	1,5 mg a.s./day	
Estimated total dermal - application	57,5 mg a.s./day	10%		6,5 mg a.s./day	10%
Total absorbed dose	56,075 mg a.s./day			5,975 mg a.s./day	
Body weight	70 kg			70 kg	
Total inhalation mg/kg bw/day	0,004642857 mg a.s./kg bw/day			0,004642857 mg a.s./kg bw/day	
Total dermal mg/kg bw/day	7,964285714 mg a.s./kg bw/day			0,807142857 mg a.s./kg bw/day	
Total absorbed dose mg/kg bw/day	0,801071 mg a.s./kg bw/day			0,08535714 mg a.s./kg bw/day	

Enter appropriate data into unshaded cells - using dropdown menus or by over typing

Estimated total exposures and absorbed dose ml spray/h basis

	Estimated actual (no PPE)	Percent absorbed	PPE	Estimated actual (with PPE)	Percent absorbed
Inhalation - mix/loading	0,125 mg a.s./day		No	0,125 mg a.s./day	
Inhalation - application	0,15 mg a.s./day		No	0,15 mg a.s./day	
Estimated total inhalation	0,275 mg a.s./day	100%		0,275 mg a.s./day	100%
Dermal- hands mix/loading	500 mg a.s./day		Yes	50 mg a.s./day	
Estimated dermal total - mix/loading	500 mg a.s./day	10%		50 mg a.s./day	10%
Dermal- hands application	30 mg a.s./day		Yes	3 mg a.s./day	
Dermal - body application	5,25 mg a.s./day		Yes	1,05 mg a.s./day	
Estimated total dermal - application	35,25 mg a.s./day	10%		4,05 mg a.s./day	10%
Total absorbed dose	53,8 mg a.s./day			5,68 mg a.s./day	
Body weight	70 kg			70 kg	
Total inhalation mg/kg bw/day	0,003928571 mg a.s./kg bw/day			0,003928571 mg a.s./kg bw/day	
Total dermal mg/kg bw/day	7,646428571 mg a.s./kg bw/day			0,772142857 mg a.s./kg bw/day	
Total absorbed dose mg/kg bw/day	0,768571 mg a.s./kg bw/day			0,08114286 mg a.s./kg bw/day	

Annexe 2

Fiche d'observation

Fiche N° :

Lieu :

Région :

Nom :

Prénoms :

Age :

Statut dans l'exploitation : propriétaire : /_/ Saisonnier: /_/ Adulte : /_/ Enfant : /_/

Culture traitée

Type de culture :	
Superficie	ha
Etat végétatif	
Hauteur culture	cm
Ecartement sur la ligne	cm
Interligne	cm
Etat phytosanitaire	
Aucun	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Présence d'insectes nuisibles	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Présence de chancres	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Présence de nécroses	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Présence de flétrissements	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Autres à signaler	

Type d'appareil utilisé

Type d'appareil	Type de buse et débit (m ³ /s)	Largeur travail (cm)	Etat des éléments
Pulvérisateur à dos à pression entretenue <input type="checkbox"/> Pulvérisateur à dos à pression préalable <input type="checkbox"/> Atomiseur <input type="checkbox"/> canne centrifuge <input type="checkbox"/> Poudreuse <input type="checkbox"/> Pulvérisateur monté sur tracteur <input type="checkbox"/> Epandeur herbicide <input type="checkbox"/>			Cuve :..... Circuit liquide :..... Gâchette :..... Levier :..... Poign transport :..... Tuyère :.....

Produits de traitement

Produits	Dose recommandée	Dose appliquée	Formulation					
			EC	SC	SL	WP	WG	GR
			EC	SC	SL	WP	WG	GR
			EC	SC	SL	WP	WG	GR
Emballage								
Type	Bidon <input type="checkbox"/> Sachet <input type="checkbox"/> Bouteille <input type="checkbox"/> Autre <input type="checkbox"/>							
Etat	Intact <input type="checkbox"/> Défectueux <input type="checkbox"/> Très défectueux <input type="checkbox"/>							

Mesures des temps de travaux et paramètres

N° Bouillie	Heure départ	Heure d'arrêt	Tps mélange	Tps application	Tps rinçage	Vitesse d'avancement	Hauteur pulvérisation	Volume épandu
1								
2								
3								
4								

Mesures de protection

En ce qui concerne la préparation de la bouillie et le remplissage de la cuve	Oui	Non
Il porte toujours des gants	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Il porte un masque à poussière	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Il porte un masque à cartouche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Il porte des bottes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Il porte une combinaison	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Il s'habille en pantalon long	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Il s'habille en boubou manches longues	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Il met des lunettes de protection	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Il porte un chapeau ou une casquette	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pendant le traitement phytosanitaire		
Il porte toujours des gants	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
il porte un masque à poussière	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Il porte un masque à cartouche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
il porte des bottes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
il porte une combinaison	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Il s'habille en pantalon long	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Il s'habille en boubou manches longues	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Il met des lunettes de protection	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
il porte un chapeau ou une casquette	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je ne porte aucun équipement pour les mêmes raisons ci dessus	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Pendant le nettoyage de		
il porte toujours des gants	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
il porte un masque à poussière	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
il porte un masque à cartouche	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
il porte des bottes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
il porte une combinaison	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Il s'habille en pantalon long	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Il s'habille en boubou manches longues	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
il met des lunettes de protection	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
il porte un chapeau ou une casquette.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Mesures météorologiques

Température	°C
Humidité relative	%
Vitesse du vent	m/s
Direction du vent/l'opérateur	Face <input type="checkbox"/> Dos <input type="checkbox"/> perpendiculaire <input type="checkbox"/>

Imprudences observées

Fume t-il durant une opération ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Mange t-il durant une opération ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Boit-il durant une opération ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Souffle t-il dans la buse, si elle est bouchée ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Touche t-il la bouillie avec les mains nues ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Reçoit-il les éclaboussures sur toutes les parties du corps ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Reçoit-il les éclaboussures sur les pieds uniquement ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Reçoit-il les éclaboussures sur les parties supérieures du corps uniquement ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Touche t-il un effet contaminé sans EPI ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Son pantalon est-il dans les bottes ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Autre gaffe ?		

Précautions après traitement

Effectue t-il le lavage des mains dès la fin du travail ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Fait-il le rinçage des bidons ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Fait-il la destruction des emballages vides ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Change t-il immédiatement ses vêtements ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Lave t-il ses vêtements au champ ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Se lave t-il le corps immédiatement ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
jette t-il les emballages vides au champ ?	Oui <input type="checkbox"/>	Non <input type="checkbox"/>
Dans quel endroit se fait le rinçage ?		

Stockage des produits et emballages

Répondez en cochant aux questions suivantes :	Oui	Non
Les produits phytosanitaires sont stockés uniquement dans un local séparé?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Les produits phytosanitaires sont rangés avec d'autres objets (récolte, aliments, semences, équipements) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Les produits phytosanitaires sont sous clef ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Les produits sont gardés au champ: dans un local fermé <input type="checkbox"/>		enterrés <input type="checkbox"/>
Gardés dans une termitière <input type="checkbox"/>		Gardés sous les buissons <input type="checkbox"/>
Les emballages vides sont : Jetés dans la nature <input type="checkbox"/>	incinérés <input type="checkbox"/>	détruits et enterrés <input type="checkbox"/>
Réutilisés <input type="checkbox"/>	échangés chez le vendeur <input type="checkbox"/>	

Annexe 3

Questionnaire : Caractérisation des pratiques de pulvérisation au Sénégal

Nom et prénom de l'enquêteur		
Région :.....	Département :.....	Arrondissement :.....
Communauté rurale/village		
Age		
Expérience dans le travail		

	Adulte(s)		Enfant(s) < 16ans	
	Homme(s)	Femme(s)	Garçon(s)	Fille(s)
Combien de personnes vivent dans l'exploitation ?	—	—	—	—
Combien de personnes travaillent dans l'exploitation ?	—	—	—	—
Combien de saisonniers travaillent dans l'exploitation ?	—	—	—	—
Combien de personnes participent aux travaux phytosanitaires ?	—	—	—	—

Répondez en cochant aux questions suivantes	Oui	Non
Avez-vous un niveau de formation en français ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Quel est votre niveau en français: Primaire <input type="checkbox"/> Secondaire <input type="checkbox"/> Supérieur <input type="checkbox"/>		
Avez- vous une formation aux langues nationales	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Avez-vous suivi une formation aux Bonnes Pratiques Agricoles et aux manipulations des produits phytosanitaires	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Si oui : de qui Quand..... Durée de formation.....		

Importance du travail	
Pour préparer le traitement phytosanitaire, combien de temps faut-il approximativement ? (Préparation du produit et chargement de la cuve)	_____ minutes
Combien de temps par jour de traitement consacrez-vous à la pulvérisation ?	_____ heures
En une journée, vous traitez approximativement une surface de...	_____ ha

Périodes de traitement (Répondez en cochant aux questions)	Oui	Non
Vous traitez à quelles heures dans la journée: de 7-11heures <input type="checkbox"/> de 11h à 16 h <input type="checkbox"/> Après 16h <input type="checkbox"/>		
Avez-vous déjà différé une pulvérisation à cause du vent Pourquoi :.....	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Votre position par rapport au vent: Face <input type="checkbox"/> Dos <input type="checkbox"/> Latérale <input type="checkbox"/> aucune attention <input type="checkbox"/>		
Y'a-t-il des personnes qui entrent dans la parcelle moins de 24 heures après le traitement ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Y'a-t-il des personnes dans l'exploitation ou à proximité durant les traitements ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A propos des étiquettes des produits phytopharmaceutiques, êtes-vous d'accord avec les affirmations suivantes : (Cochez oui ou non)	Oui	Non
Je trouve le conditionnement des produits pratique, bien adapté à l'usage. (emballage, forme de la boîte ou du flacon, volume ou poids, bouchon, ...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je lis la notice quand j'achète un nouveau produit phytopharmaceutique.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je lis régulièrement les étiquettes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je trouve les indications de sécurité bien indiquées et compréhensibles.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
J'applique la dose à employer telle indiquée sur l'emballage ou l'étiquette.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Les informations pour la préparation et l'utilisation du produit sont simples et facilement applicables.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je trouve facilement ces informations ailleurs. (si oui, préciser.....)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Pouvez-vous dire à quels types de produits se rapportent les pictogrammes suivants ? (plusieurs choix possibles)		
	Produit : <input type="checkbox"/> Très toxique <input type="checkbox"/> Irritant <input type="checkbox"/> Toxique <input type="checkbox"/> Corrosif <input type="checkbox"/> Nocif <input type="checkbox"/> Sensibilisant	
	Produit : <input type="checkbox"/> Très toxique <input type="checkbox"/> Irritant <input type="checkbox"/> Toxique <input type="checkbox"/> Corrosif <input type="checkbox"/> Nocif <input type="checkbox"/> Sensibilisant	

En ce qui concerne les équipements de protection	Oui	Non
Je ne porte pas d'équipements à cause de leur inaccessibilité (coût élevé)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je ne porte pas d'équipements à cause de leur manque de confort (exemple : la chaleur)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Si on me propose un équipement confortable et à prix raisonnable, je l'achète	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Quelles sont les pannes qui apparaissent régulièrement sur les appareils de traitement phytosanitaire		
Appareils à dos	Cannes centrifuges	Autres appareils

Entretien des appareils (cochez par oui ou non)	Oui	Non
Habituellement, je nettoie le pulvérisateur après chaque application	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habituellement, je fais personnellement l'entretien des appareils de traitement	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habituellement, je vais chez le réparateur en cas de panne ou pour l'entretien	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je change complètement toute pièce défectueuse par une neuve	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je me débrouille en cas de panne par du bricolage	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je nettoie ma buse bouchée avec un objet pointu (fil de fer, morceau de bois, etc.)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je nettoie ma buse bouchée avec une brosse et de l'eau	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Les pièces de rechange des appareils de traitement sont disponibles à proximité	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
En cas de fuite, pendant le traitement, je continue à traiter	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habituellement, c'est moi-même qui traite	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Habituellement, ce sont mes enfants qui traitent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Habituellement, ce sont les saisonniers qui traitent	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Problèmes de santé liés au pesticides		
J'ai déjà été malade après un traitement	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je suis soigné pour des problèmes de santé liés à l'utilisation des pesticides	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Je n'ai pas de problème de santé lié à l'emploi des pesticides, mais par précaution (ou par obligation) je suis suivi médicalement	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
J'ai déjà eu un problème d'allergie ou d'irritation après avoir utilisé un pesticide	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
J'ai déjà eu un problème aigu après avoir utilisé un pesticide (vomissement, troubles intestinaux, maux de tête,...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D'autres personnes, qui travaillent ou vivent dans l'exploitation, ont eu un problème de santé lié à l'utilisation des pesticides	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Avez-vous le sentiment d'être bien informé sur les risques liés aux produits phytosanitaires ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A votre avis, quels sont les (quelques) points particuliers concernant votre sécurité sur lesquels il serait bon d'être particulièrement attentif ?

Annexe 4

Données relatives au test « port de la combinaison expérimentale « Tropic EPI » « Tropic EPI » = veste / pantalon / casquette brésiliens + poncho

1. Conditions le jour de l'application avec le pulvérisateur à dos :

- Date d'application :.....
- Horaire d'application (heure début – heure fin) :
- Durée de l'application :
 - Combien de temps avez-vous porté la combinaison « Tropic EPI » :.....
- Culture traitée :
 - hauteur de la culture :.....
 - hauteur maximum de l'application (ex. par rapport au corps) :.....
 - pente du champ (plat / en pente) :.....
- nombre de remplissages de la cuve :.....volume total appliqué :.....
- Température toutes les heures (en °C) :.....
- Humidité : forte : moyenne : faible :
- Type de sous-vêtements portés sous la Tropic EPI :
- Type de pulvérisateur à dos utilisé (marque) :.....
 - L'avez-vous vérifié (joints, etc.) avant de l'utiliser :
 - Quand, à quelle cadence vérifiez-vous son bon état de fonctionnement :

2. Votre opinion en détail sur « Tropic EPI » :

No.	Question	Tout à fait d'accord	D'accord	Pas d'avis	Plutôt pas d'accord	Pas du tout d'accord
1	La Tropic EPI m'a gêné pour la préparation de la cuve					
2	La Tropic EPI m'a gêné pendant l'application					
3	La Tropic EPI m'a gêné pour le nettoyage du pulvérisateur à dos					
4	La Tropic EPI m'a gêné pour bouger les bras					
5	La Tropic EPI m'a gêné pour bouger la tête					
6	La Tropic EPI m'a gêné pour marcher					
7	La Tropic EPI est facile à enfiler Si vous n'êtes "pas du tout d'accord", merci d'expliquer pourquoi :					
8	La Tropic EPI est facile à enlever Si vous n'êtes "pas du tout d'accord", merci d'expliquer pourquoi :					
9	J'ai eu très chaud pendant l'application					
10	J'ai beaucoup transpiré pendant l'application					
11	La Tropic EPI est très confortable Si vous n'êtes "pas du tout d'accord", merci d'expliquer pourquoi :					
12	La Tropic EPI est plus confortable que ce que j'utilise d'habitude. Si vous êtes "pas du tout d'accord", merci d'expliquer pourquoi :					

13	J'utiliserai la Tropic EPI pendant la préparation de la bouillie et le remplissage de la cuve					
14	J'utiliserai la Tropic EPI pendant l'application					
15	Je n'utiliserai la Tropic EPI qu'à des températures plus fraîches					
16	<p>J'aime la forme de la Tropic EPI</p> <p>Si vous êtes "tout à fait d'accord" ou "pas du tout d'accord", merci d'expliquer pourquoi :</p> <p>En particulier, préférez-vous un vêtement en 2 parties ou en 1 seule partie (combinaison) ?</p> <p>Préférez-vous un vêtement à capuche ou avec une casquette séparée ?</p>					
17	<p>J'aime la couleur de la Tropic EPI</p> <p>Si vous êtes "pas du tout d'accord", merci d'expliquer pourquoi :</p>					
18	<p>J'aime bien en particulier certaines caractéristiques de la Tropic EPI, ex boucles et attaches ...</p> <p>Merci de préciser :</p> <p>En particulier, que pensez-vous :</p> <p>- du poncho :</p> <p>Protection ?</p>					

	<p>Confort ?</p> <p>- de la casquette à longs rabats :</p> <p>Protection ?</p> <p>Confort ?</p>					
19	<p>J'achèterai une Tropic EPI pour utiliser les produits phytosanitaires (prix non évalué)</p> <p>Si vous êtes "pas du tout d'accord", merci d'expliquer pourquoi :</p> <p>A votre avis, quel est le prix d'une Tropic EPI ?</p>					
20	<p>Je me sens bien protégé avec la Tropic EPI.</p> <p>Si vous êtes "pas du tout d'accord", merci d'expliquer pourquoi :</p> <p>(en particulier, incidents survenus, déchirures etc – merci de décrire)</p>					

En conclusion :

- **Qu'est-ce qui vous a paru le plus intéressant dans cette combinaison Tropic EPI ?**

- **A votre avis, que faut-il changer dans cette combinaison Tropic EPI ?**

