



Exposition des travailleurs sous serre aux pesticides

Document de synthèse rédigé par Alexandre CHAIGNEAU (Ingénieur Agronome) sous
la conduite de Gilbert CHAUVEL (Expert National ZNA - Cultures Ornementales)



Juillet 2004

Sommaire

Introduction	2
I. Evaluation de l'exposition	4
1.1 / Suivi de l'exposition respiratoire	4
1.2 / Suivi de l'exposition dermale	4
II. Facteurs influençant l'exposition des travailleurs sous serre.....	5
2.1 / Conditions atmosphériques de la serre	5
2.1.1 / Température	5
2.1.2 / Humidité relative.....	5
2.1.3 / Ventilation.....	5
2.2 / Culture et type de production	5
2.3 / Choix des produits phytosanitaires	6
2.3.1 / Choix de la substance active	6
2.3.2 / Choix de la formulation	7
2.3.3 / Dose	7
2.4 / Technique d'application employée.....	7
2.4.1 / Durée de l'exposition	8
2.4.2 / Diamètre des gouttes et exposition respiratoire	8
2.4.3 / Dépôts des produits et exposition cutanée	8
2.4.4 / Délais de réentrée sur la zone traitée.....	9
2.5 / Facteurs inhérents au personnel.....	9
2.5.1 / Fonction des opérateurs	9
2.5.2 / Comportements particuliers	10
2.5.3 / Protection des opérateurs	10
III. Exposition des préparateurs et des applicateurs	12
3.1 / Préparation et chargement du mélange.....	12
3.2 / Application	12
3.2.1 / Exposition dermale	13
3.2.2 / Exposition des voies respiratoires.....	17
IV. Exposition des ouvriers à la réentrée dans la serre.....	20
4.1 / Données d'exposition	20
4.2 / Concentrations dans l'air ambiant	20
4.3 / Exposition par inhalation.....	25
4.4 / Exposition dermale	28
4.5 / Modélisation de l'exposition dermale	30
4.6 / Dissipation des pesticides et facteurs de transferts.....	31
4.7 / Bases de données d'exposition et usage pour les procédures d'homologation	33
V. Gestion du risque.....	35
5.1 / Stratégie de gestion du risque	35
5.2 / Recommandations concernant la limitation de l'exposition aux pesticides sous serres	36
5.2.1 / Recommandations générales.....	36
5.2.2 / Importance de l'exposition et recommandations particulières en fonction de la technique d'application et de la fonction du travailleur	37
Conclusion.....	38
Bibliographie.....	39

Introduction

Les serres ne représentent qu'un très faible pourcentage de la Surface Agricole Utilisée en France, avec entre 7000 à 8000 hectares, soit moins de 0.035 % de la SAU, mais les productions sous serres représentent une aire importante vis à vis de la contamination des travailleurs par les pesticides. Le comportement des pesticides aérosols dans l'environnement clos des serres et champignonnières est tout à fait singulier. Les petites gouttelettes, dans un environnement extérieur, sont facilement éloignées de l'applicateur. Dans les environnements clos, l'opérateur appliquant le pesticide à la culture ne peut pas utiliser la direction du vent pour éviter les embruns de pulvérisation de produit, il se trouve donc exposé à des quantités de résidus plus importants qu'en conditions extérieures. Cependant, Methner et Fenske (1994) ont montré qu'une ventilation forcée pendant l'application permet de réduire l'exposition des applicateurs par rapport aux situations sans ventilation. D'un autre côté, les vaporisations en intérieur peuvent produire des gouttelettes plus fines que les pulvérisations en extérieur, étant donné qu'il n'y a pas de dérive. Ceci peut avoir des effets considérables sur le niveau d'exposition pour les mélangeurs, les préparateurs et les applicateurs. Les cultures dans les environnements intérieurs ne sont pas en contact direct avec la lumière du soleil et la pluie. Cela peut conduire à des différences de dissipation dues aux différences de photodégradation, hydrolyse, prise de pesticides par la culture... Or la dissipation du pesticide en fonction du temps est un facteur important déterminant le niveau d'exposition, dépendant de l'intervalle de temps entre l'application et les activités lors de la réentrée, comme la cueillette.

Dans cette étude bibliographique, la littérature sur l'exposition professionnelle aux pesticides sera revue en prenant en compte les données significatives sur l'exposition en milieu serricole. De telles données sont importantes pour l'évaluation des conditions de travail dans des serres spécifiques pour des cultures particulières et pour l'homologation des pesticides. Les travailleurs concernés sont les opérateurs qui manipulent et appliquent des pesticides et les travailleurs qui entrent en contact avec la culture traitée ou pénètrent dans l'environnement fermé après l'application. L'exposition potentielle résultante est importante pour déterminer les prescriptions d'usage lors des procédures d'homologation. Ceci représente aussi une bonne estimation des risques potentiels sur les lieux de travail. L'exposition potentielle est déterminée par les propriétés physico-chimiques des pesticides, les paramètres physiques liés au type de culture et la nature des opérations réalisées par le travailleur, qui peut être exprimée dans un scénario d'exposition ne prenant pas en compte le mode vestimentaire du travailleur et la protection engendrée par les vêtements. L'exposition potentielle représente donc le pire cas observable. C'est aussi un inconvénient majeur parce que, pour l'estimation de la pénétration du pesticide à travers la peau, l'inhalation, ou l'ingestion, l'exposition réelle et le degré d'absorption doivent être connus. Or l'exposition réelle de la peau est déterminée par le taux de pénétration du vêtement et l'exposition réelle par inhalation est déterminée par le taux d'inspiration des particules induites et par l'interception par l'équipement de protection respiratoire. Concernant l'exposition orale, aucune mesure n'est à ce jour disponible.

La méthode la plus utilisée pour la détermination de la dose absorbée est le monitoring biologique. Cette méthode nécessite des connaissances de base en matière de cinétique pharmacologique des matières actives (préférentiellement pour l'homme) et dépend donc du composé considéré. Pour l'évaluation du risque d'exposition, l'estimation de la dose absorbée est le paramètre le plus significatif. Cependant, peu d'indices d'exposition biologique ou autres mesures comparables sont disponibles pour le moment. Ceci peut être une des raisons pour lesquelles le biomonitoring est, jusqu'à présent, peu employé lors des études d'estimation du risque en plein champ.

Les caractéristiques des serres varient de manière considérable suivant leur localisation sur la planète. Dans plusieurs pays sous climats tropicaux ou sub-tropicaux, la plupart des serres sont de taille relativement réduite avec des toits en plastique, certaines sont ouvertes aux extrémités. Sous des climats plus froids, la majorité des serres sont en verre et certaines ont une ventilation mécanique. Ce dispositif peut se retrouver principalement dans les serres tropicales ou de taille plus importante. La plupart des serres de grande taille sont complètement en verre. Leur hauteur peut cependant varier considérablement. La surface avoisine généralement quelques hectares bien qu'elle peut être compartimentée.

Ces variations, et spécialement la taille de la serre, peuvent affecter le choix de la technique d'application. Généralement, un équipement manuel est utilisé pour les petites surfaces alors que dans les serres plus grandes des techniques d'application plus automatisées sont mises en place.

L'exposition des travailleurs va donc dépendre du type de serre, bien que la durée du travail peut être un facteur plus probant. De plus, l'exposition par inhalation varie considérablement quand les serres sont ouvertes ou fermées. Cependant, les études d'exposition sont principalement réalisées dans des serres closes et de grande taille et donc aucun accent ne peut être mis sur l'effet de la taille et de l'ouverture des serres.

Durant les dernières années, une tendance à l'augmentation de la taille des champignonnières closes a été observée. Aux Pays-Bas, il y a actuellement environ 700 champignonnières d'une moyenne d'environ 0.15 hectares. Elles contiennent généralement des cellules de 200 à 400 m² avec 2 ou 3 échafaudages. Chaque échafaudage contient plusieurs lits de champignons. La cueillette peut se faire manuellement ou mécaniquement. Les techniques d'applications sont similaires à celles utilisées dans les serres, bien que les espaces confinés proscrivent l'usage de certaines techniques et imposent certaines techniques spécifiques.

I. Evaluation de l'exposition

1.1 / Suivi de l'exposition respiratoire

La durée de vie des gouttes est fortement influencée par les conditions environnementales de la serre comme l'humidité relative et la température. Dans les serres, relativement peu de gouttes sont disponibles pour une exposition par voie respiratoire. De plus, outre les conditions environnementales, les propriétés physico-chimiques de la formulation du pesticide, par exemple la solubilité et la tension de vapeur, vont déterminer la répartition de la concentration de masse de l'aérosol entre les phases liquide ou solide et la phase gazeuse (Perez et Soderholm, 1991). Donc, les méthodes de suivi de l'exposition par inhalation doivent permettre le prélèvement des aérosols dans plusieurs phases et la conduite de l'échantillonnage doit être adéquate.

Traditionnellement, le prélèvement des pesticides dans les serres pour étudier l'exposition par inhalation est basé sur la capture de vapeur par des barboteurs, des tubes absorbants solides ou des combinaisons de filtres et de barboteurs.

Les méthodes de suivi de l'exposition par voie respiratoire lors des opérations de mélange et de chargement doivent correspondre avec les techniques d'application et les formulations utilisées. Les formulations solides, c'est à dire, les poudres mouillables, les formulations sèches fluides, les granulés et les concentrés en poudre sont considérés comme produisant des particules volatiles qui permettent un prélèvement en phase solide. Parce qu'une part considérable des formulations utilisées pour les applications en serres sont liquides, par exemple des concentrés émulsifiables ou des suspensions concentrées, et que l'évaporation du solvant peut augmenter le relargage de matière active, des prélèvements de vapeur sont nécessaires dans certains cas.

1.2 / Suivi de l'exposition dermale

Le modèle d'exposition dermale peut déterminer la méthode de suivi à employer. Pendant le mélange et le chargement des formulations liquides, l'exposition dermale, principalement sur les mains, peut avoir pour origine le transfert depuis des zones contaminées lors de précédents chargements, les éclaboussures lors du versement et le contact direct lors du mélange.

Pour les applicateurs et les ouvriers, la proportion de peau étant exposée est relativement réduite, de 4 à 22%, sa localisation est très variable et dépend de l'activité et du type d'application (Fenske, 1990). Ce constat peut inciter à limiter l'usage d'échantillons de substituts de peau comme les patchs et les gants en coton, dès lors que l'absorption des liquides par les tissus surestime l'exposition. Des limitations similaires concernant les techniques utilisant des substituts de peau sont attendues pour l'application manuelle lorsque les mains de l'applicateur sont près des buses du pulvérisateur et que des fuites peuvent survenir ou que l'application se déroule sur des cultures hautes avec de fortes densités de plantes et des voies de cheminement étroites entre les lits. **Généralement, les méthodes évaluant l'exposition dermale pour toute la surface du corps, utilisant des combinaisons intégrales et des traceurs colorés, sont préférables à l'utilisation de patchs.** En effet, la taille moyenne des patchs utilisés est de 26 cm² ce qui correspond à 0.73% de la surface ventrale, 1.4% de la surface des cuisses et 4.3% de la surface des avant-bras. Réaliser un suivi à partir des patchs reviendrait à réaliser une mesure d'exposition respiratoire en faisant des prélèvements d'air pendant 4, 7 ou 21 minutes sur une durée de travail de 8 heures. Pour les opérateurs de serres et champignonnières cela est d'autant plus important que l'exposition est souvent très variable et la distribution non uniforme, d'où la difficulté d'établir des stratégies de mesure d'exposition dermale.

II. Facteurs influençant l'exposition des travailleurs sous serre

2.1 / Conditions atmosphériques de la serre

Les conditions atmosphériques qui règnent sous la serre sont tout à fait particulières et vont influencer sur le comportement des substances actives. Les conditions contrôlables par le gestionnaire de la serre sont la température, l'humidité relative et la ventilation.

2.1.1 / Température

L'effet de la température sur l'exposition des travailleurs sous serre aux pesticides est dichotomique. A basse température, la retombée des pesticides en suspension dans l'air sous forme d'aérosols est retardée, augmentant les concentrations dans l'air, donc l'exposition des voies respiratoires, au moment de la réentrée des ouvriers. Toujours à basse température, les végétaux absorbent moins vite les pesticides à la surface de leur feuilles après traitement, rendant disponibles des quantités supérieures de résidus foliaires délogeables et augmentant donc l'exposition cutanée pour les ouvriers destinés à entrer en contact avec les plantes traitées, en particulier pour des opérations de cueillette.

A température élevée, comme dans des conditions extérieures, la volatilisation est favorisée : les résidus volatiles ainsi produits sont responsables de la contamination des voies respiratoires, par contre, la dissipation des résidus foliaires est favorisée.

2.1.2 / Humidité relative

Elle influe aussi sur la volatilisation des pesticides : lorsque l'humidité relative de la serre augmente, la volatilité des pesticides est réduite. Elle peut être régulée par brumisation.

2.1.3 / Ventilation

La ventilation est un moyen de réduire la température de la serre et de créer des courants d'air permettant de réduire les concentrations d'aérosols et de résidus volatiles de pesticides dans l'air de la serre. L'ouverture des événements est conseillée avant la réentrée des ouvriers dans la serre, pour faire baisser au maximum les concentrations, et lorsque les ouvriers se trouvent dans la serre, pour éviter que les concentrations n'augmentent lors du travail des ouvriers, soit par le phénomène naturel de volatilisation, soit par remise en suspension d'aérosols par la manipulation des plantes, et n'atteignent des seuils critiques pour leur santé.

Dans l'idéal, la ventilation est couplée à un système de purification de l'air sortant utilisant des filtres à charbon actif.

2.2 / Culture et type de production

Le type de culture et la destination de la culture (plantes en pots, plants obtenus par bouturage, fleurs coupées...) vont induire des variations importantes d'exposition.

D'une manière générale, plus un opérateur sera en contact longtemps avec la culture traitée ou que la surface de contact est importante, plus l'exposition sera élevée.

La culture présente une influence relative à sa surface foliaire totale, résumée par l'indice de surface foliaire, à sa densité et à sa hauteur car elle influe sur l'étendue de la surface de contact entre elle et l'ouvrier et donc sur l'exposition cutanée potentielle des travailleurs. Pour chaque culture, un coefficient de transfert dermal est établi.

Le type de production va induire des temps de contact des manipulateurs différents suivant que la culture est destinée à une production de fleurs coupées ou de plantes en pots et donc déterminer, à l'origine, l'exposition potentielle.

Lors d'un traitement phytosanitaire, l'objectif du choix d'un produit ou d'une méthode d'application est d'augmenter le contact entre le pesticide et la cible. Sous serre, ces choix déterminent les expositions cutanées et respiratoires des applicateurs et des opérateurs entrant en contact avec la culture après traitement, du fait du confinement de l'environnement.

2.3 / Choix des produits phytosanitaires

Les propriétés physico-chimiques des matières actives et la formulation de la spécialité sont des facteurs potentiellement utilisables par le chef de culture pour réduire l'exposition des travailleurs après un traitement.

2.3.1 / Choix de la substance active

➤ Tension de vapeur

C'est la pression de vapeur saturante à l'équilibre thermodynamique des phases liquide et gazeuse à une température donnée. **Plus elle est élevée, plus le pesticide est volatil et a tendance à rester dans l'atmosphère tant qu'il n'est pas dégradé**, par photolyse par exemple.

La tension de vapeur est un paramètre clé déterminant la volatilisation d'un pesticide : les composés avec une haute tension de vapeur présentent initialement de forts flux de volatilisation qui décroissent ensuite rapidement. A l'inverse, les composés avec de basses tensions de vapeur montrent des flux initiaux plus faibles qui décroissent plus lentement.

Le choix d'un produit à forte tension de vapeur est souvent réalisé pour les traitements insecticides du volume de la serre par nébulisation ou atomisation pour lutter contre les insectes volants. L'avantage est que cela permet de réduire les doses d'application et, par là, les concentrations ambiantes et d'obtenir une meilleure efficacité d'action mais augmente le temps de retombée des produits et l'exposition respiratoire et cutanée.

➤ Persistance

Les voies de dégradation des pesticides sont multiples : **photodégradation** sur la surface foliaire, **dégradation enzymatique** dans les plantes (pour les fongicides pénétrants), **dégradation biotique** (biodégradation, cométabolisme, polymérisation, conjugaison, accumulation, effet secondaire d'activité microbienne). Une molécule sera d'autant plus susceptible de contaminer le personnel sous serre qu'elle est exposée longtemps à celui-ci et donc qu'elle est persistante. La persistance dépend des conditions dans lesquelles se trouve une substance active : la serre est un milieu clos, protégeant les plantes, et les résidus de pesticides se trouvant à leur surface, des intempéries et de l'exposition au rayonnement solaire. La persistance des substances actives sous serre est donc significativement plus importante qu'en conditions extérieures de plein champ. Le temps de demi-vie de chaque matière active va donc déterminer l'exposition potentielle des ouvriers entrant en contact avec la culture traitée. Ils ont été déterminés expérimentalement sous serres, sur différentes cultures et pour différentes matières actives (voir 3.6) et donnent de bonnes indications des délais de réentrée à adopter.

➤ Toxicité

La toxicité d'un produit définit la dose acceptable sans effet pour un travailleur utilisant ou entrant en contact avec les produits phytosanitaires : plus un produit est toxique, plus la dose

acceptable est basse et donc plus l'exposition devra être réduite pour limiter le risque de contamination.

2.3.2 / Choix de la formulation

La formulation de la spécialité choisie va interférer sur l'exposition potentielle des préparateurs en premier lieu, puis, dans une moindre mesure, des applicateurs.

L'exposition des voies respiratoires peut être significative lors du versement des poudres et est considérée moindre pour les formulations liquides. Cependant, la présence de solvants fortement volatiles dans les formulations, en particulier dans les concentrés émulsifiables, peut résulter en une augmentation de la présence de substances actives non volatiles dans l'air (Van Hemmen et al., 2001). L'exposition cutanée des préparateurs est plus importante avec les formulations liquides dont le versement peut produire des éclaboussures et contaminer principalement les parties supérieures du corps.

2.3.3 / Dose

L'exposition par voies cutanée et respiratoire est directement proportionnelle à la dose d'application. Elle détermine en particulier les quantités de résidus foliaires délogeables responsables de la contamination par voie cutanée. Donc toute technique d'application ou tout produit permettant de réduire la dose d'application va minimiser l'exposition d'autant.

2.4 / Technique d'application employée

La technique d'application est choisie en fonction de :

- la cible du traitement,
- le produit utilisé (substance active et formulation),
- la culture (hauteur, densité)
- l'efficacité (réduction des doses ou de la durée d'application),
- caractéristiques de la serre (taille, ouverture).

Au point de vue technique, elle influe sur la fréquence et les doses de traitement, la durée de l'application, la présence ou non d'un applicateur et sur la répartition de pesticide dans la serre et sur la culture.

Au point de vue de l'exposition, elle détermine les expositions potentielles cutanée et respiratoire en jouant sur la durée d'exposition, le diamètre des gouttes de traitement, le taux de dépôts de produit sur les feuilles et les temps de réentrée nécessaires pour assurer la sécurité sanitaire des ouvriers suite à un traitement.

Ainsi, les caractéristiques de chaque technique vont déterminer quel type d'ouvrier est le plus exposé suivant sa fonction, quelle est la voie d'exposition majoritaire et les précautions à prendre.

On distingue deux catégories de technique d'application en fonction de la cible du traitement :

- **les traitements par contact réalisés sur la plante** elle-même : ils sont employés pour lutter contre les maladies fongiques ou les stades de ravageurs localisés sur la culture elle-même. On peut citer la technique manuelle conventionnelle de fort volume, la brumisation solo et la pulvérisation électrostatique avec un ultra bas volume.
- **les traitements du volume de la serre** utilisés contre les insectes nuisibles volants parmi lesquels : l'atomisation, la thermonébulisation ou l'application d'aérosols (fogging).

De même, la technique à employer va dépendre de la localisation de la cible : contre les agents fongiques, on préférera un traitement haute pression pour atteindre le dessous des feuilles (Wagenaar, 1999).

2.4.1 / Durée de l'exposition

La fréquence et la durée des applications et la présence ou non d'un applicateur lors du traitement vont moduler l'exposition des applicateurs. L'automatisation de l'application, maintenant tout à fait réalisable, permet d'annuler simplement l'exposition mais elle n'est pas applicable pour tous les types de traitement : les techniques de traitement du volume de la serre (atomisation, nébulisation) ne nécessitent pas la présence d'un applicateur.

2.4.2 / Diamètre des gouttes et exposition respiratoire

Parce que les conditions environnementales fermées des serres et champignonnières réduisent la dérive, des techniques spécifiques d'applications sont employées parmi lesquelles certaines peuvent générer des gouttes de tailles relativement petite (Tab. n°1).

Tab. n°1 : Tailles des gouttes en fonction de la technique d'application :

Méthode de traitement	Volume (L/ha)	Technique		Diamètre des gouttes (µm)	Vitesse d'application (ha/h)	Références
Fort volume	> 500	Pistolet de pulvérisation	Manuelle	85 - 100	0.2 – 0.6	Lindquist et al. 1993
		Lance de pulvérisation	Hydraulique			
		Pulvérisateur à dos	Manuelle			
Volume moyen	200 à 500	Arbre de pulvérisation	Semi-automatique	-	-	-
Bas volume	50 - 200	Brumisateur solo	Automatique	15 – 25	0.4	Brouwer et al., 1992
		Nébulisateur thermique	Semi-automatique	< 15	2	Lindquist et al. 1993
		Brumisateur à disque rotatif à air comprimé	Semi-automatique	10 - 100	-	
		Atomiseur à froid	Semi-automatique	25 - 30	0.4 - 1	
Ultra bas volume	< 50	Bidon vaporisateur	Manuelle	-	-	-
		Poudrage	-	-	1	Brouwer et al., 1992
		Electrostatique	-	25 - 30	0.2 – 0.6	Lindquist et al. 1993

D'après le tableau précédant, on constate que **le nébulisateur, le brumisateur solo, l'atomiseur, les diffuseurs d'aérosols et le pulvérisateur électrostatique sont des appareils qui produisent des gouttes d'un diamètre très faibles et dont l'emploi va engendrer une exposition potentielle par inhalation importante.** Ce sont ces techniques qui sont les plus automatisées pour limiter l'exposition des applicateurs.

La taille des gouttes influe aussi sur le temps de déposition des aérosols et donc sur l'exposition par inhalation des ouvriers : plus le temps de déposition est long, plus l'exposition potentielle des voies respiratoires est importante après l'application et plus les délais de réentrée sont long.

2.4.3 / Dépôts des produits et exposition cutanée

L'exposition cutanée des ouvriers, et des applicateurs dans une moindre mesure, va dépendre des quantités de résidus foliaires délogeables et donc de l'efficacité du traitement à déposer des quantités importantes de produit sur les feuilles de la culture.

La pulvérisation électrostatique, la brumisation, et l'application manuelle conventionnelle de fort volume sont les techniques qui engendrent la meilleure déposition des produits, les quantités de résidus délogeables les plus importantes et donc l'exposition cutanée la plus élevée. A titre d'exemple, l'atomisation engendre 2 à 3 fois

moins de résidus délogeables qu'une pulvérisation manuelle conventionnelle, à doses équivalentes.

Cependant, étant donné que les dépôts de produits sont supérieurs avec ces différentes techniques, les doses appliquées peuvent être réduites d'autant, et donc l'exposition aussi étant donné qu'elle est intimement corrélée à la dose. Par exemple, la pulvérisation électrostatique réduit l'usage des insecticides de 30 % et celui des régulateurs de croissance de 50 %.

2.4.4 / Délais de réentrée sur la zone traitée

Les délais de réentrée des travailleurs sur la zone traitée sont très variables en fonction des techniques d'application et leur établissement doit tenir compte à la fois de l'exposition par inhalation, par le biais du temps de redéposition des aérosols, et de l'exposition cutanée, via la dissipation des résidus foliaires délogeables. Des délais seront établis, au vu des données expérimentales, dans le chapitre sur les recommandations concernant la limitation de l'exposition des travailleurs sous serre.

2.5 / Facteurs inhérents au personnel

D'une manière générale, plus un opérateur sera en contact avec le produit contaminant plus l'exposition sera élevée. Les différents facteurs qui vont augmenter, soit la durée de contact, soit la surface de contact, vont favoriser l'exposition des travailleurs.

2.5.1 / Fonction des opérateurs

La fonction des opérateurs est le facteur prépondérant de l'exposition des travailleurs sous serre aux pesticides. Elle va déterminer la localisation corporelle et la voie de contamination principale et le degré d'exposition.

Les opérations post-traitement sont celles qui induisent les durées de contact les plus importantes, en particulier dans les filières de production de fleurs coupées ou de plants à partir de boutures et dans une moindre mesure lors de la production de plantes en pots.

La surface de contact sera importante lors de la cueillette, de l'ébourgeonnage, du tri et de la mise en bouquet des fleurs coupées. Elle sera bien moindre lors de la manipulation des plantes en pots.

Le cumul des fonctions au sein de la serre va induire un cumul de l'exposition et donc nécessitera des précautions : dans les serres et les champignonnières, l'opérateur va souvent préparer le liquide de pulvérisation (mélange et chargement). Donc, il sera exposé à la fois pendant la préparation, le chargement du mélange et l'application. En comparaison avec les cultures d'extérieur, les quantités totales de pesticides appliquées et la durée de préparation du mélange sont limitées. Par exemple, la préparation d'une citerne de 600 litres prend de 7 à 10 minutes. Donc le calcul du taux d'exposition, exprimé en (mg/h), n'est généralement pas approprié. Les formulations liquides sont souvent les plus utilisées donc l'exposition dermale vers les mains lors du transvasement du liquide concentré de la bouteille vers le réservoir du pulvérisateur et par les éclaboussures accidentelles vers les autres parties du corps sont considérées comme limitées. Il en résulte de larges variations d'exposition, en matière d'uniformité de la répartition sur l'opérateur et en matière d'importance de l'exposition.

De même étant donné la saisonnalité des productions, un ouvrier, par exemple un cueilleur, peut travailler sous plusieurs serres sur différentes cultures au cours de l'année.

La fonction de l'opérateur influe aussi sur la localisation de l'exposition au niveau du corps :

- pour les préparateurs : l'exposition dermale se situe principalement au niveau des mains et du torse par les éclaboussures ;
- pour les applicateurs : l'exposition dermale est localisée différemment en fonction de la technique d'application mais se retrouve majoritairement autour des mains, du bas des jambes et sur la partie avant du corps ;
- pour les cueilleurs, les ébourgeonneurs... : elle est concentrée autour des mains et des avant-bras à cause du contact avec la culture.

Zweig et al. (1985) ont montré que les ramasseurs de fraises, poussant au niveau du sol sont exposés principalement au niveau des mains alors que les desherbeurs de la même culture, qui créent un environnement chargé en poussière et résidus sont principalement exposés au niveau du torse.

2.5.2 / Comportements particuliers

Le comportement personnel de chaque travailleur peut induire un déplacement de la contamination. Par exemple, pour les employés manipulant dans plantes traitées, la simple remise en place des lunettes constitue un déplacement de la contamination vers le visage et une augmentation de l'exposition cutanée par la surface exposée et du risque de contamination car la peau du visage permet des transferts plus importants que celle des mains. De même, les différences de transpiration entre les individus conduisent à une exposition plus élevée pour les personnes transpirant le plus.

2.5.3 / Protection des opérateurs

Plusieurs études ont décrit la capacité de protection des vêtements usuels et celle des vêtements spécialement conçus pour la protection. A la vue des importantes différences dans les pratiques, les conditions climatiques et les variations vestimentaires, il est difficile d'estimer des valeurs par défaut qui puissent être utilisées pour évaluer le degré de protection dans un cas moyen. Les plus largement exposés sont les préparateurs et les applicateurs. Lors des situations de réentrée, il est évident que la distribution de la contamination va largement varier avec le type de culture et la fonction de l'ouvrier.

La distribution de la contamination dermale potentielle est importante pour déterminer les parties du corps qui doivent être protégées. Les vêtements de travail en coton vont généralement réduire l'exposition potentielle. De Vreede et al. (1996) ont rapporté la pénétration du méthomyl à travers les vêtements de travail de quelques pourcents à plus de 30 % pour les applicateurs. Brouwer et al. (1997) ont observé des taux de pénétration similaires pour le propoxur pour les applicateurs et les ouvriers lors de la réentrée.

Brouwer et al. (2000) ont rapporté des efficacité de 95 et 87 % pour les opérateurs avec des gants en nitriles et les ouvriers avec des gants en coton respectivement. Ces observations coïncident avec d'autres études. Nigg et al. (1986) et Chester et al. (1990) ont rapportés 84 et 87 % de réduction de l'exposition réelle des mains des préparateurs et applicateurs. Cependant, la capacité de protection, établie à partir de suivi d'excrétion urinaire, est plus basse, variant de 25 à 50 % (Brouwer et al., 2000 ; Davies et al., 1982 ; Nigg et Stamper, 1983).

Le tableau n°2 présente les valeurs par défaut de protection qui peuvent être utilisées en vue d'une homologation (Brouwer et al., 1993). Ces valeurs sont principalement fondées sur des données concernant les préparateurs et les applicateurs et proviennent de plusieurs autorités nationales, mais pas forcément représentatives. Les principaux inconvénients sont le peu de données sous-jacentes, la nature des contaminations (solide ou liquide), et l'augmentation de la pénétration des vêtements ou des gants mouillés par la transpiration ou des jus de culture.

Tab. n°2 : coefficients de réduction de l'exposition aux pesticides par le port de vêtements de protection :

Vêtement de protection	Coefficient de réduction			
	Allemagne	Angleterre	Californie	EUROPOEM
Gants	0.01		0.1	0.1
Gants : préparation / Formulation solide		0.01		
Gants : préparation / Formulation Suspension concentrée		0.05		
Gants : préparation / Formulation Emulsion concentrée		0.1		
Gants / Vaporisation		0.1		
Vêtements normaux (chemise longue et pantalon)		Variable		
Vêtements normaux : préparation / application			0.1	
Vêtements normaux : cueillette			0.25	
Combinaison + bottes	0.05		0.1	0.1
Combinaison Type 3	0			
Imperméable			0.05	
Chapeau	0.5			
Protection du visage	0.05			
Masque avec filtre	0.8			

III. Exposition des préparateurs et des applicateurs

Les voies préférentielles, les zones et les degrés d'exposition des opérateurs manipulant des produits phytosanitaires vont dépendre de leurs fonctions, de leurs techniques d'applications et de facteurs qui leurs sont propres comme l'expérience personnelle ou leur comportement.

3.1 / Préparation et chargement du mélange

Très peu de données sur les opérations de mélange et de chargement des pesticides en serres ont été publiées et la plupart sont limitées à l'exposition des mains.

Fenske et al. (1987) rapportent un taux d'exposition moyen de 35.6 µg/heure pour une exposition réelle des mains au Fosetyl-Al (sous des gants protecteurs). Ces auteurs ont montré que cela ne correspondait qu'à environ 6% de l'exposition totale. De Vreede et al. (1996) ont rapporté une exposition réelle, sans port de gants, au méthomyl sous forme d'émulsion concentrée variant de 0.11 à 174 mg pendant la préparation d'une solution à pulvériser. Brouwer et al. (2000) ont observés une exposition réelle, sans gant, variant de 0.09 à 5.8 mg lors du mélange et du chargement de 130 grammes de propoxur sous forme de concentré émulsifiable. Fenske (1990) a montré que l'exposition des préparateurs se fait majoritairement par les éclaboussures et concernent principalement le torse, 6 fois plus exposé que la tête.

3.2 / Application

En comparaison des applications extérieures, les données sur l'exposition des opérateurs par les pesticides dans les serres et les champignonnières publiées dans la littérature sont relativement peu abondantes.

La plupart des données concernent l'exposition lors de pulvérisation manuelle avec un équipement de volume élevé et sur des plants d'ornement (Tab. n°3).

Tab. n°3 : résumé des études d'exposition dermale et par inhalation des applicateurs sous serres :

Technique d'application	Culture	Matière active	Nombre d'applicateurs	Méthodologie d'estimation de l'exposition			Références
				Respiratoire	Mains	Corps	
Pulvérisation de fort volume	Légumes	Pirimiphos-méthyl diméthoate ; perméthrine	3	Barboteurs	Gants	Compressees	Adamis et al., 1985
	Ornementale	Fosetyl –Al	4	Filtre	Rinçage des mains	Compressees	Fenske et al., 1987
	Ornementale	Fluvalinate ; chlorpyrifos ; ethazol ; dicofol ; chlorothalonil	5	Tampons de mousse	Lavage des mains	Compressees	Nigg et al., 1988 ; 1993
	Ornementale	Abamectine	6	Filtre / XAD4	Gants / Lavage des mains	Compressees	Rech et al., 1988
	Légumes	Diméthoate	6	Barboteurs	Compressees	Compressees	Al-Jaghbir et al., 1992
	Ornementale	Chlorothalonil ; thiophanate-méthyl	13	Filtre / XAD2	Gants	N.D.	Brouwer et al., 1992
	Ornementale	Abamectine ; dodemorph	19	N.D.	Gants	N.D.	Brouwer et al., 1992
	Ornementale	Chlorothalonil	4	Filtre	Gants	Bleu de travail	Groenewegen, 1992
	Ornementale	Mevinphos	4	XAD4	Rinçage par éthanol	Compressees	Kangas et al., 1993
	Ornementale	Methomyl	19	XAD2	Gants	Bleu de travail	Brouwer et al., 1992
	Bancs	Traceur	9	N.D.	Technique video	Technique video	Methner et Fenske, 1994
	Champignons	Benomyl ; carbendazime	3	Filtre	Gants	N.D.	Schipper et al., 1996
	Ornementale	Propoxur ; méthiocarb	5	XAD2	Gants	Bleu de travail	De Vreede et al., 1996
Pulvérisation de fort volume / Brumisation	Légumes	Deltaméthrine	1	Echantillonnage statique	Gants	Compressees	Mestres et al., 1985
	Ornementale	Fluvalinate ; chlorpyrifos ; ethazol	3	Tampons de mousse	Rinçage des mains	Compressees	Nigg et al., 1988 Stamper et al., 1988
	Ornementale	Mevinphos	4	XAD4	Rinçage par éthanol	Compressees	Kangas et al., 1993
Saupoudrage	Ornementale	Chlorothalonil ; zinèbe ; manèbe	10	Filtre	Gants	N.D.	Brouwer et al., 1992
Pulvérisation de bas volume par air comprimé	Ornementale	Perméthrine	1	Filtre	Epongeage manuel	Sous-vêtement en coton	Giles et al., 1994

3.2.1 / Exposition dermale

Très peu d'études contiennent des données complètes sur l'exposition potentielle des mains et du corps, principalement parce que les études menées aux Etats Unis qui ont été rapportées

ont été conduites en suivant les notices d'instruction préconisant l'usage de gants protecteurs. Pendant l'application sous serre, 3 processus majeurs d'exposition dermale sont distingués :

- le dépôt des aérosols ;
- le mouvement en retour des aérosols par rebond, en particulier lorsque les bancs de pots ou les échafaudages de champignons sont pulvérisés ;
- les transferts principalement par des tuyaux contaminés.

Dans une étude de variation intra-individu pour un fort volume de pulvérisation appliqué manuellement dans des serres d'œillets, Brouwer et al. (2000) ont observé de larges variations d'exposition des mains, avec un coefficient de variation s'échelonnant de 62 à 119 %, et une variation intra-individu modérée d'exposition corporelle, avec un coefficient de variation s'échelonnant de 11 à 55 %. Parce que la variation inter-individu de l'exposition différait significativement, et qu'aucune différence significative n'a été observée entre les ouvriers concernant l'exposition manuelle, il a été conclu que **l'exposition du corps dépend premièrement du dépôt des aérosols générés par la pulvérisation et les habitudes de travail des individus puis dans un second temps des transferts par la culture elle-même, ceux-ci étant déterminés par la hauteur et la densité de la culture. L'exposition des mains sera déterminée dans un premier lieu par le transfert du liquide pulvérisé à partir de l'équipement et du feuillage puis par les coulures et les éclaboussures et enfin par les habitudes de travail des individus.** Les risques par voie cutanée sont cependant contrôlés par les potentialités d'absorption des pesticides par la peau, régulées par la lipophilie de la matière active (Stephanou et Zourari, 1989).

L'exposition potentielle des mains montrent de larges variations, de 0.01 à 60.7 mg/heure (tab. n°4).

Tab. n°4 : Résumé des données d'exposition pour des applications de volume élevé :

Références	Exposition potentielle						Exposition réelle (µg/h)			
	Mains			Corps			Mains		Corps	
	Echelle de valeurs (mg/h)	M.A. (mg/h)	M.A. (mg/kg m.a.)	Echelle de valeurs (mg/h)	M.A. (mg/h)	M.A. (mg/kg m.a.)	Echelle de valeurs	M.A.	Echelle de valeurs	M.A.
Adamis et al., 1985	N.D.	N.D.	N.D.	0.57 – 3.36	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Fenske et al., 1987	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	15	27	2 - 72	23.6		250
Nigg et al., 1988 ; 1993	N.D.	N.D.	N.D.	1.9 – 35.9	11.7	674	0.04 - 9	N.D.	N.D.	N.D.
Rech et al., 1988	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.8	175	18 - 322	85	N.D.	N.D.
Al-Jaghbir et al., 1992	N.D.	N.D.	N.D.	208 - 252	228	1842	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Brouwer et al., 1992	N.D.	17.8*	45	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Groenewegen, 1992	4.1 – 60.7	28	62	5 - 30	18	40	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Brouwer et al., 1993	N.D.	0.7*	23	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
		19.2*	32							
Kangas et al., 1993	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2.5 – 511	N.D.	N.D.	N.D.
Methner et Fenske, 1994	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	158 - 1996	985
De Vreede et al., 1996 ; Brouwer et al., 1992	0.03 – 15.2	1.9	N.D.	0.2 – 12.8	3.2	162	N.D.	N.D.	N.D.	330
Schipper et al., 1996	0.8 – 7.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Brouwer et al., 1997, 2000	0.01 – 10.9	1.04	9.9	0.2 – 15.2	4.3	21	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
	0.04 – 18.9	2.1	10.6	0.3 – 93.2	13.9	68				

M.A. = Moyenne Arithmétique

* = Moyenne Géométrique

N.D. = Non Déterminé ou Non Disponible

Une exposition potentielle moyenne de 30 mg/kg de substance active, fondée sur 5 études conduites aux Pays-Bas, peut être calculée pour une application de fort volume. Une exposition potentielle corporelle moyenne d'environ 375 mg/kg de substance active peut être calculée sur la base de toutes les études disponibles. Cependant, les très fortes valeurs trouvées par Al-Jaghir et al. (1992), révélant une moyenne de 167 mg/kg de substance active, ont été exclues. Capri et al. (1999) ont mesuré, à partir d'une méthode d'évaluation de l'exposition globale du corps, une exposition dermale de l'applicateur de procymidone sous serre variant de 15.4 à 37.1 mL de solution appliquée/heure, principalement centrée autour des mains. Dans une autre étude, Egea Gonzalez et al. (1999) ont évalué l'exposition dermale de l'applicateur de 8 à 220 mL de solution appliquée/heure, mains exclues, pour une technique de fort volume. Dans ce cas, **l'exposition des mains a été évaluée à 50 % de l'exposition dermale corporelle ; le bas des jambes s'est révélé être lui aussi très exposé.**

L'échelle d'exposition réelle des mains (0.04 à 511 µg/heure) représente environ 1 % de l'échelle d'exposition potentielle globale. Peu de données sont disponibles à propos l'exposition du corps. **La caractéristique de l'exposition dermale est qu'elle n'est pas uniforme et dépend de la technique d'application :** Fenske (1990) a montré, à partir d'une méthode d'analyse vidéo (VITAE), pour 4 applicateurs au pistolet sous serre, que l'exposition au Fosetyl-Al est importante sur les avant-bras et qu'elle se fait sur les jambes par dépôts d'aérosols et contact avec les plantes traitées. Le tête de ces applicateurs est 8 fois moins exposée que leur torse et ce sont les parties inférieures et latérales du visage les plus touchées. L'usage d'un équipement de pulvérisation manuel entraîne des risques d'exposition importants pour l'applicateur mais variables en fonction de la méthode employée.

Giles et Blewett (1994) ont comparé les expositions dermales et respiratoires engendrées par l'application de perméthrine en pulvérisation conventionnelle de fort volume (à 900g/ha) et en atomisation électrostatique à bas volume (à 450g/ha) sur culture de rose coupée. Ils ont ainsi montré que la redéposition du produit sur les feuilles est équivalente pour les 2 techniques malgré la demi dose appliquée par atomisation et que les dépôts sont 3 fois supérieurs sur les parties hautes des plantes par rapport aux parties basses. La technique conventionnelle engendre des quantités de résidus délogeables plus importantes que l'atomisation électrostatique (0.044 µg/cm² contre 0.032 µg/cm²) et la déposition non-cible est toujours supérieure avec la technique conventionnelle. Par contre les concentrations relevées dans l'air ambiant sont 110 fois supérieures avec l'atomisation électrostatique qu'avec la pulvérisation de fort volume du fait d'une taille des gouttes inférieure. L'exposition dermale est maximale pour l'applicateur lors de l'atomisation avec une valeur de 177 µg/cm² alors qu'elle n'est pas détectable pour la méthode conventionnelle et elle concerne principalement le bas des jambes. Bjugstad et al. (1996) ont évalué l'exposition dermale et respiratoire et le dépôt de pesticides sur les plantes traitées en fonction de la méthode de traitement : ils ont ainsi comparé les applications par pulvérisateur à dos, souffleur à dos, pulvérisation haute pression par pistolet et brumisation d'aérosols à forte température. Ils ont tout d'abord constaté que **l'exposition dermale ou respiratoire est significativement supérieure en travaillant en avançant qu'en reculant en particulier au niveau du visage et ce qu'elle que soit la technique d'application. Ils ont aussi estimé que l'exposition dermale est largement supérieure (environ 10 fois) à l'exposition par inhalation.** Le pistolet haute pression est la technique entraînant une exposition dermale la plus faible, le souffleur à dos est la technique entraînant une exposition dermale la plus importante. Concernant l'exposition des voies respiratoires, c'est la pulvérisation à dos qui résulte en l'exposition la plus faible et la brumisation à haute température qui conduit à l'exposition la plus élevée.

Une application manuelle conventionnelle de fort volume a révélé, à partir d'une méthode de mesure sur la totalité du corps, une exposition dermale de l'applicateur variant de moins de 50

mL de solution appliquée/heure à plus de 2000 mL de solution appliquée/heure, ces variations étant attribuées à la hauteur des cultures étudiées et à l'espacement des rangs (Glass et al., 1999).

Le tableau n°5 illustre la distribution de l'exposition dermale du corps évaluée dans 6 études. Une exposition relativement élevée a été observée sur les jambes. En fonction de la hauteur de la culture ou des bancs, les parties supérieures du corps seront plus ou moins exposées. Les données disponibles ne permettent pas d'établir une comparaison entre les techniques de faible et de fort volume (tab. n°6).

Tab. n°5 : Distribution de l'exposition dermale potentielle (mains exclues) en pourcentage de l'exposition corporelle totale lors de l'application manuelle de fort volume :

Références	Jambes	Bras	Torse	Tête	Nombre d'observations
Fenske et al., 1987	51	43	5	1	4
Rech et al., 1988	75	11	13	1	6
Al-Jaghibir et al., 1992	44	40	12	1	6
Groenewegen, 1992	72	5	13	N.D.	4
Brouwer et al., 1994	50	17	33	1	19
Brouwer et al., 1997, 2000	72	11	16	1	6
Moyenne	62	14	13	1	6
Moyenne arithmétique	61	21	15	1	6

Steurbaut et al. (1995) ont montré que plus le produit est volatil moins il y a de dépôt de pesticides sur le corps de l'applicateur. Ils ont étudié la distribution moyenne des dépôts sur l'ensemble du corps de l'applicateur :

Partie du corps	Dépôt moyen (mg/cm ²)
Mains	40
Pieds	55
Tête	27
Epaule	34
Jambes	22

Tab. n°6 : résumé des données d'exposition lors d'applications de faible volume :

Références	Exposition potentielle (mg/h)				Exposition respiratoire			
	Mains		Corps		Mains (µg/m ³)		Corps (µg/h)	
	Echelle de valeurs	M.A.	Echelle de valeurs	M.A.	Echelle de valeurs	M.A.	Echelle de valeurs	M.A.
Mestres et al., 1985	0.07	N.D.	3	N.D.	5.2	N.D.	N.D.	N.D.
Nigg et al., 1988	0.004 – 1.5	0.4	0.5 – 2.2	1.1	21 – 96	52	17	42
Stamper et al., 1988								
Brouwer et al., 1992	N.D.	39.4*	N.D.	N.D.	N.D.	670*	N.D.	N.D.
Groenewegen, 1992	13 – 34	24	8 – 100	5.4	330 – 410	370	410 – 540	475
Giles et al., 1994	< LOD	N.D.	0.4	N.D.	188	N.D.	N.D.	N.D.

M.A. = Moyenne Arithmétique

* = Moyenne Géométrique

N.D. = Non Déterminé ou Non Disponible

Machera et al. (2002) ont estimé les contaminations dermale et respiratoire potentielles d'applicateurs d'insecticides équipés d'un équipement manuel de fort volume à partir de la quantification d'un traceur coloré sur la combinaison et les gants. Les traitements ont eu lieu sur des cultures de tomate et de concombre d'une hauteur d'environ 2 mètres. La dose d'application est de 2 g/L et le volume d'application fait varier la dose totale de 3.54 à 4.3 kg/ha. Leurs résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tab. n°7 : Contamination dermale et par inhalation observée sur culture de concombre et de tomate sous serre (Machera et al., 2002):

		Tomate (n = 3)	Concombre (n = 7)
Contamination du corps (mains exclues) (ml de produit pulvérisé / h)	Echelle des valeurs	22.4 – 62.1	84.4 – 562.7
	Moyenne arithmétique	39.2	257.5
Contamination des mains (ml de produit pulvérisé / h)	Echelle des valeurs	5.5 – 6.1	18.5 – 62.5
	Moyenne arithmétique	5.7	40.8
Contamination par inhalation (ml de produit pulvérisé / h)	Echelle des valeurs	0.33 – 0.43	0.17 – 1.0
	Moyenne arithmétique	0.38	0.40

Généralement, les parties basses et avant du corps sont plus exposées que les parties hautes et arrières et les variations observées dépassent les 100%.

Le potentiel de contamination dermale moyen est largement supérieur pour le concombre par rapport à la tomate alors que les potentiels de contamination par inhalation des deux cultures sont identiques. Ces différences de potentiel de contamination semblent imputables à la pression de vaporisation, seule pratique différenciant significativement entre les modes de culture mis en place. La contamination dermale est donc moindre avec des basses pressions de pulvérisation et un diamètre de gouttelettes de produit plus élevé.

Ceci est confirmé par Martinez Vidal et al. (2002) qui ont montré (pour le lindane, l'endosulfan, la vinclozoline, la procymidone, le chlorothalonil, le dichofluarid, le triadimefon et la bifenthrine) que les parties basses des jambes et les parties avant des cuisses des applicateurs sont les parties du corps les plus exposées avec respectivement 49 et 16 % des résidus corporels totaux. Ils ont aussi relevé une importance significative de la taille des gouttes de produit. Par contre, la hauteur et la densité de la culture et le type de pesticide n'ont pas révélé une influence significative sur l'exposition dermale.

Concernant l'exposition dermale, Methner et Fenske (1994) ont clairement montré l'effet de l'expérience de l'applicateur pour éviter les embruns de pulvérisation et l'effet d'un mouvement d'air forcé sur le degré d'exposition.

3.2.2 / Exposition des voies respiratoires

L'exposition des voies respiratoires est très fortement déterminée par, en premier lieu, la distribution de taille des aérosols générés, puis par la tension de vapeur de la matière active et enfin, la direction du mouvement de l'opérateur par rapport au mouvement des aérosols.

Le tableau n°8 résume les concentrations relevées dans la zone de respiration des opérateurs. Là encore, de fortes variations sont observées. L'exposition par inhalation moyenne varie de 0.02 à 135 µg/heure, exceptée la moyenne rapportée par Al-Jaghbir et al. (1992). **Les conditions climatologiques à l'intérieur de la serre, la tension de vapeur de la matière active, la dose d'application et la distribution de la taille des gouttes sont responsables de larges variations intra et inter-individus.**

Tab. n°8 : données d'exposition respiratoire lors d'applications de fort volume, ajustée avec un taux d'inhalation de 1.25 m³/h:

Références	Exposition (µg/h)		Concentration (µg/m ³)
	Moyenne Arithmétique	Echelle des valeurs	Echelle des valeurs
Adamis et al., 1985	0.02	N.D.	0.007 – 1.8
Fenske et al., 1987	27.8	7.7 – 50.6	6.5 – 42
Rech et al., 1988	0.3	0.13 – 0.63	0.2 – 0.5
Al-Jaghbir et al., 1992	3053	2748 – 3268	N.D.

Brouwer et al., 1992	N.D.	N.D.	40*
Groenewegen, 1992	135	9 – 315	7.4 – 252
Kangas et al., 1993	N.D.	N.D.	0.04 – 11.4
Brouwer et al., 1994	11.6	N.D.	0.36 – 34.4
Brouwer et al., 2000	18.3	0.8 – 36.8	0.6 – 29.4

* = Moyenne Géométrique

N.D. = Non Déterminé ou Non Disponible

Des concentrations rapportées lors de l'application par des techniques de bas volume ont été légèrement supérieures à celles des applications de fort volume. La plus forte concentration a été observée pendant l'application de spécialités poudreuses (Brouwer et al., 1992). L'application de perméthrine en pulvérisation conventionnelle de fort volume (à 900g/ha) a montré des concentrations dans l'air plus faible qu'une atomisation électrostatique à bas volume (à 450g/ha) sur culture de rose coupée :

Tab. n°9 : Concentrations dans l'air et exposition des applicateurs (Giles et Blewett, 1994):

Méthode d'application	Concentrations dans l'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) post-application			Exposition potentielle pendant l'application ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	0 – 15 min	15 – 45 min	45 – 105 min	
Atomisation électrostatique	52400	374	< 0.15	188
Conventionnelle de fort volume	479	< 0.15	< 0.15	8

Ces résultats sont attribuables à la plus petite taille des gouttes pendant l'atomisation qui conduit à un risque par inhalation plus important mais qui peut être compensé par un équipement de protection adapté ou un temps de réentrée supérieur à 45 minutes.

Stephanou et Zourari (1989) ont mesuré des concentrations en pesticides 2 fois plus élevées à hauteur de respiration humaine (1,75 mètres) que dans l'ensemble de la serre (Tab. n°10).

Tab. n°10 : Concentrations dans l'air, dépôts de surface et exposition des travailleurs (Stephanou et Zourari, 1989):

Matière active	Concentration dans l'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Exposition potentielle par inhalation* ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{h}$)		Dépôt de surface ($\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{h}$)	Exposition dermale potentielle** (mg/h)
	Moyenne pour la serre	Zone de respiration humaine (1.75 m)	Maximales acceptables	Moyenne pour la serre	Zone de respiration humaine (1.75 m)		
Méthomyl	395	788	2500	474	984	10	30
Pyrazophos	19	36	-	23	31	0.3	0.9
Carbendazime	10	18	-	13	22	0.8	2.4
Captan	152	220	5000	182	267	11.6	34.8
Endosulfan	40	70	100	48	84	0.5	1.5
Fénarimol	11	23	-	13	27	0.7	2.1

* pour une personne de 70 kg, un taux d'inhalation de $0.85 \text{ m}^3/\text{h}$ et une facteur d'absorption de 100%.

** pour une surface moyenne de peau exposée de 3000 cm^2

Steurbaut et al. (1995) ont comparé les taux de résidus aériens et les dépôts sur les feuilles et les murs après application de pesticides sous serre en fonction de la technique d'application : brumisation (fogging) ou pulvérisation manuelle de fort volume. Les résultats de ces expérimentations sont résumés dans le tableau suivant :

Tab. n°11 : Exposition par inhalation et dépôts sur les murs de la serre et les feuilles (Sturbaut et al., 1995):

Type de pulvérisation	Matière active	Dose (g/are)	Exposition par inhalation ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Dépôt sur les feuilles (ng/cm^2)		Dépôt sur les murs de la serre (ng/cm^2)	
			Après 8 – 12 h	Après 64 – 72 h	Après 8 – 12 h	Après 64 – 72 h	Après 8 – 12 h	Après 64 – 72 h
Brumisation bas volume	Dichlorvos	50	47	N.D.	5.4	0.3	4.6	N.D.
	Méthomyl	30	128	5	3.0	0.3	0.7	N.D.
	Endosulfan	50	45	25	12.4	4.1	6.2	1.2
	Bifenthrine	3	0.3	N.D.	0.7	N.D.	N.D.	N.D.
	Moyenne	-	55.1	7.5	5.4	1.2	2.9	0.3
Pulvérisation haut volume	Dichlorvos	50	10.2	N.D.	10.6	1.2	2.6	N.D.
	Endosulfan	50	12.7	4.1	33.2	16.2	3.2	0.4
	Bifenthrine	3	N.D.	N.D.	1.2	0.4	0.3	0.2
	Méthanidofos	50	N.D.	N.D.	80.7	10.3	6.8	1.0
	Moyenne	-	5.7	1.0	31.4	7.0	3.2	0.4

Il apparaît que la technique de bas volume produit plus de résidus aériens, moins de dépôt sur les feuilles et autant de dépôt sur les murs de la serre que la technique de fort volume. Cependant, étant donné que la serre est vide pendant le fogging, et qu'elle produit peu de dépôt, elle limite les risques d'exposition non seulement pour l'applicateur mais aussi pour les ouvriers entrant en contact avec la culture traitée par la suite.

De plus, l'application de bas volume s'est montrée la plus hétérogène avec une distribution dans la serre imprédictible du fait du très faible diamètre des gouttelettes qui sont alors sujettes au moindre courant d'air. La pulvérisation par un réseau aérien est le système conduisant à la répartition du produit dans la serre la plus homogène. La pulvérisation à partir de l'allée centrale de la serre a montré des concentrations en résidus d'autant plus faible qu'on s'éloigne des bords de l'allée.

La désinfection des sols par le méthyl-bromide, un composé volatile et très toxique, peut être réalisée selon deux techniques différentes : l'injection et la fumigation. L'injection est préférée à la fumigation par les professionnels pour des raisons économiques et horticulturales. Cependant elle nécessite une intensité de travail supérieure, un nombre de travailleurs exposés plus élevé et l'efficacité de la protection au méthyl-bromide est moindre que lors des opérations de fumigation. Les concentrations observées atteignent de 50 à 10000 ppm lors de l'injection et de 60 à 3000 ppm lors de la fumigation en fonction de la localisation et de la fonction de l'ouvrier (Roosels et al., 1981). Un facteur d'expérience professionnelle a été mis en évidence pour l'exposition des ouvriers, notamment une bonne synchronisation entre l'injecteur et les couvreurs pour la mise en place de la bâche. Ainsi, l'injection est considérée comme un procédé dangereux pour la santé des travailleurs ce qui justifie son interdiction dans les milieux clos en Belgique depuis Juin 1979.

Dans tous les cas, il apparaît que, pour les applicateurs, l'exposition dermale prévaut sur l'exposition par inhalation. Il semble donc indispensable que l'applicateur porte des vêtements et équipements de protection individuelle car l'exposition à l'application peut être très élevée, en tous cas supérieure à celle lors des autres activités dans la serre.

IV. Exposition des ouvriers à la réentrée dans la serre

L'exposition à la réentrée est déterminée par la concentration en pesticide disponible dans l'environnement de l'ouvrier. L'exposition cutanée dépend de la quantité de résidus délogeables sur les plantes manipulées par les ouvriers et du degré de contact de l'ouvrier avec les surfaces contaminées, principalement la culture elle-même. Plus tard, l'exposition est déterminée par la transférabilité de la contamination de la culture ou des matériaux aux vêtements ou à la peau de l'ouvrier. L'exposition par inhalation va dépendre quant à elle de la quantité restée en suspension dans l'air sous forme de vapeur et/ou d'aérosols ou disponible par évaporation à partir des plantes, du sol, des objets ou des matériels présents ou les quantités apportées dans l'air par l'activité des ouvriers, c'est à dire par remise en suspension de résidus déposés.

4.1 / Données d'exposition

La littérature contient relativement peu de rapports sur les niveaux d'exposition dans les serres pendant la période de culture et elles sont presque limitées exclusivement à la cueillette. La raison de ce manque d'information peut résider dans le fait que la surface agricole représentée par les serres est relativement réduite et que l'utilisation de composés organophosphorés est moins importante que dans les cultures extérieures, de citronnier par exemple. Les principales plantes cultivées sous serres sont les fleurs d'ornement et des denrées comestibles. Le traitement pesticide de ce dernier groupe est régulé par des intervalles de traitement avant récolte et des Limites Maximales de Résidus (LMR) pour protéger le consommateur. Ce n'est pas le cas des cultures ornementales. De plus, l'export de fleurs peut nécessiter une absence totale de maladies, ce qui peut conduire à de relativement hautes fréquences et doses de traitement. La majorité des données significatives européennes ont été collectées en Allemagne, Danemark, Finlande et aux Pays-Bas, avec une attention particulière sur le niveau d'exposition, sa relation avec les résidus foliaires délogeables et la dissipation des pesticides sur le feuillage. Des données similaires ont été collectées aux Etats Unis.

4.2 / Concentrations dans l'air ambiant

L'utilisation de brumisateurs de bas volume augmente de manière importante les niveaux d'aérosols liquides et les vapeurs dans la serre pendant de plus longues périodes (Brouwer et al., 1992). Dans la plupart de ces études, ce ne sont pas les ouvriers qui ont été suivis mais les niveaux de concentration dans l'air à l'aide de techniques statiques de prélèvement d'air. Les plus importantes données d'exposition et les conditions et méthodes d'expérimentations sont résumées dans le tableau n°13. Les résultats sont variables et montrent que la ventilation conduit à une baisse rapide des concentrations ambiantes. Dans certains cas, les concentrations ambiantes restent relativement élevées sans ventilation dans la serre. Ceci est particulièrement vrai pour le dichlorvos, un composé volatil.

Siebers et Mattusch (1996) ont mesuré les concentrations de différents produits pulvérisés manuellement sur différentes cultures (Tab. n°12). **Ils ont constaté que les concentrations les plus basses sont observées avec des produits ayant des basses tensions de vapeur** : les pyréthrénoïdes ne sont détectés qu'occasionnellement et les concentrations maximales observées sont de $0.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $0.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivement pour la deltaméthrine, la cyperméthrine et la fenpropathrine. Un effet dose a aussi été constaté : **plus la dose d'application est faible moins les concentrations relevées sont importantes**. De plus, la cinétique des concentrations relevées dépend largement de la cinétique de dissipation de la matière active considérée, de la température et des opérations de ventilation réalisées après

traitement : ainsi les courbes de concentrations sont discontinues, **les concentrations les plus élevées se trouvent juste après l'application et les plus basses correspondent aux phases où la température est la plus basse et les événements sont ouverts**. Egea Gonzalez et al. (1999) ont estimé qu'il faut 24 heures pour que les concentrations dans l'air du lindane, de l'endosulfan, de la procymidone, de la vinclozoline et du dichlofluarid atteignent 10 % de leurs concentrations lors de l'application. Pour le chlorothalonil, ce délai s'élève à 58 heures.

Tab. n°12 : Concentration dans l'air de plusieurs produits couramment utilisés sous serres sur diverses cultures (Siebers et Mattusch, 1996):

Matière active	Culture	Dose (g/ha)	Concentrations dans l'air ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)							
			Jour de l'application		J+1		J+2		J+3	
			Echelle des valeurs	Moy.	Echelle des valeurs	Moy.	Echelle des valeurs	Moy.	Echelle des valeurs	Moy.
Dinocap	Bégonia	56	< 0.2 – 2.3	0.38	< 0.2 – 0.87	0.29	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
			< 0.2 – 0.99	0.21	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
	Chrysanthème	112	< 0.2 – 0.44	< 0.2	< 0.2 – 2.3	0.78	< 0.2 – 0.21	< 0.2	< 0.2	< 0.2
			< 0.2 – 0.82	< 0.2	< 0.2 – 0.26	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
	Concombre	112	< 0.2 – 1.1	0.22	< 0.2 – 2.4	0.68	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
			< 0.2 – 0.93	0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Dichlofluanid	Tomate	1236	0.87 - 14	5.0	< 0.1 – 4.4	2.8	1.1 – 2.7	1.6	-	-
			0.51 - 25	4.5	0.94 – 5.3	3.4	0.84 – 4.2	1.9	-	-
Parathion	Bégonia	107	0.53 – 4.8	2.4	< 0.2 – 0.92	5.7	< 0.2 – 0.38	0.2	< 0.2	< 0.2
			0.9 - 10	3.6	< 0.5 - 14	2.4	< 0.5 – 4.2	0.7	< 0.5 – 2.0	0.79
	Chrysanthème	213	0.82 - 22	4.3	< 0.2 – 2.0	0.41	< 0.2 – 0.64	0.32	< 0.2 – 0.23	< 0.2
			0.56 - 26	5.1	< 0.5 - 15	2.0	< 0.5 – 1.1	0.4	< 0.5 – 3.5	1.1
	Concombre	213	1.5 - 20	5.0	< 0.2 – 2.6	0.85	< 0.2 – 1.4	0.71	< 0.2 – 1.05	0.39
			1.6 - 28	5.8	< 0.5 – 3.2	1.3	< 0.5 – 4.7	0.94	< 0.5 – 4.1	1.2
Pirimicarb	Bégonia	150	< 0.2 – 9.0	3.7	< 0.2 – 0.42	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
			< 0.5 – 5.7	2.0	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5	< 0.5
	Chrysanthème	300	1.3 – 5.9	2.9	< 0.2 – 2.3	0.39	< 0.2 – 0.55	0.24	< 0.2	< 0.2
			0.99 – 5.4	2.3	< 0.5 – 2.0	0.98	< 0.5	< 0.5	< 0.5 – 0.94	< 0.5
	Concombre	300	1.4 – 9.9	4.9	< 0.2 – 3.2	0.67	< 0.2 – 1.9	0.68	< 0.2 – 0.84	0.27
			1.1 – 8.3	2.9	< 0.5 – 3.0	1.2	< 0.5 – 0.72	< 0.5	< 0.5 – 0.80	< 0.5

Tab. n°13 : Concentrations dans l'air ambiant après application de pesticides sous serre :

Références	Matière active	Technique d'application	Dose d'application (g /ha)	Culture traitée	Méthode d'estimation de l'exposition	Nombre de sujets	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Williams, 1978	Sulfotep	Fumigation	11g / 280 m ³	-	Barboteurs	0	3*10e ⁶ après 3 h ; 200 après 24 h
	Nicotine	Fumigation	14g / 280 m ³				3*10e ⁵ après 3 h ; 500 après 3.5 h
Williams et al., 1980	Sulfotep	Fumigation	22g / 450 m ³	Pas de culture	Analyse de gaz	0	3 – 50 ppb après ventilation initiale
Maddy et al., 1981	Méthyl-parathion	-	2250	Chrysanthèmes	Statique : XAD4	5	3.2 – 8.9 après 24 h ; 0.25 – 4.8 après 48 h
Löbel et Schunk, 1982	-	Epandage manuel	-	Chrysanthèmes Gerbera	Statique : charbon actif	0	< 20 – 60 après 1 et 2 j ; < 20 après 4 j
Mestres et al., 1985	Dicofol	Herse pneumatique à disques	960	Citronnier	Statique : florisil	0	2.8 après 1 à 2 j ; 0.55 après 7 j ; < 0.1 après 9 j
	Deltaméthrine	Vaporisation bas volume	25	Haricot vert	Statique : florisil	0	0.008 après 30 min ; < 0.001 après 2 j
Waldron, 1985	Dichlorvos	brumisation	-	Divers	Statique : Charbon actif ; Amberlite ; PUF ; Fibre de verre	-	200 – 400 immédiatement ; 1 – 3 après 10 h
	Perméthrine	Fort et bas volumes	-				-
	Aldicarb		-				0
	Carbaryl		-				N.D. après 4 h
	Captan		-				N.D. après 4 h
Wagner et Hermes, 1987	Aldicarb Méthamidophos	-	-	-	Fibre de verre ou de FPP	-	< 6 après 3 – 4 j
Liesivuori et al., 1988	Nicotine	Fumigation	-	Roses	Statique : barboteurs ou XAD2	0	28 après 1 h ; < 0.5 après 8 h
	Pirimicarb	Fumigation	-				1.2 après 30 min ; N.D. après 3 – 4 h
	Sulfur	Fumigation	-				0.7 après 4 h
Boleij et al., 1991	Méthomyl	Saupoudrage Pulvérisation	700 – 5600 3800 - 3900	Tomate Concombre	PAS-6 avec fibre de verre	-	4.7 après 1 j ; 1.7 après 2 j ; 0.5 après
Brouwer et al., 1992	Thiophanate-méthyl	Brumisateur bas volume	1000	Freesia	Filtre en fibre de verre ou barboteurs	0	1000 – 2000 après 1 h ; 100 – 200 après 3 h
	Dichlorvos	Brumisateur bas volume	825				2000 – 4000 après 1 h ; 800 – 1500 après 3 h ; 600 – 1000 après 5 h
Kangas et al., 1993	Mevinphos	Atomiseur	0.3 – 5.7	Divers	Statique et PAS : XAD4	17	31 après 10 h ; toujours détectable après 40 h
Lenhart et Kawamoto,	Diazinon	Brume froide	-	Divers	Filtre à quartz et XAD2	0	70 – 250 à 1 j ; 27 – 67 à 2 j ; 20 – 59 à 3 j ; 19 – 40 à 4 j

1994							
Hoekstra et al., 1996	Benomyl	-	-	-	Statique et PAS : Filtre en fibre de verre	-	< 0.2 µg / échantillon
Manninen et al., 1996	Dichlorvos	Brume froide	33 mg / m ³	Roses et autres fleurs	Statique et PAS : XAD2	10	80 après 2 h ; 35 après 6 h ; 10 – 12 après 18 - 21 h ; 4 – 7 après 24 – 42 h
			50 mg / m ³				754 après 2 h ; 518 après 6 h ; 110 – 140 après 18 - 24 h ; 7 après 42 h
	Deltaméthrine	Brume froide et fort volume	0.3 à 2.9 mg / m ³				5.7 - 218 après 2 h ; N.D. – 21 après 6 – 12 h ; N.D. – 0.3 après 15 - 24 h
Nilsson et al., 1996	Triadimefon	-	0.016 – 0.024	Concombre	Statique : filtre en teflon et barboteurs	0	<3 après 0 – 2h
	Vinclozoline	Brume froide	1.0 – 2.08				4 - 74 après 8.5 - 11 h ; 1.3 – 37 après 15.5 – 18.5 h
			Fort volume	1.0 – 2.08			
Kirknel et al., 1997	Pirimicarb	Souffleur	400 – 523	Diverses plantes ornementales	XAD2	36	25 - 50 après 7 h ; 7 après 1 j ; 2 après 2 j
		Souffleur	742				45 après 2 h ; 6 après 1 j ; 1 après 2 j
		Canon	2230				23 après 3 h ; 6 après 1 j ; < 1 après 2 j
		Souffleur	745				24 après 3 h ; 2.6 après 1 j ; < 1 après 2 j
		Souffleur	1630				4 après 1 j
		Canon	882				1.2 après 1 j
	Paclobutrazol	Souffleur	10 – 16				< limite de détection après 1 h
		Souffleur	14				< limite de détection
	Endosulfan	Brume froide	710				44 après 1 j ; 60 après 2-3 j 1360 après 6 h ; 120 après 16 h ; 33 après 1- 2 j
	Méthomyl	Brume froide	750				25 après 6 h ; 10 après 1 j
			834				150 après 2 - 3 h ; 15 après 1j
	Mercaptodiméthur	Brume froide	814				360 après 2 h ; 6 après 6 - 7 h ; < limite de détection après 1 j
1000			< limite de détection après 2 h				
3200			240 après 3 h ; < limite de détection après 1 j				
Martinez Vidal et al., 1997	Lindane	Fort volume	400	Poivron	Statique : mousse de polyuréthane	0	3300 à l'application ; 287 après 24 h
	Endosulfan	Fort volume	600				4300 à l'application ; 323 après 24 h

La température au moment de l'application joue un rôle fondamental sur la cinétique de redéposition du produit en suspension sous forme d'aérosols et sur le temps de dégradation des résidus. A faible température, les matières actives restent en suspension plus longtemps après le traitement (Sturbaut et al., 1995) et sont moins adsorbés et absorbés par les végétaux.

Les techniques d'application résultent aussi en des variations significatives des concentrations dans l'air. Des techniques comme la fumigation, le fogging ou le mist blowing, moins utilisées, résultent en des concentrations dans l'air supérieures à 1000 µg/m³ le jour de l'application. Dans ce cas, il est nécessaire d'employer des équipements de protection spéciaux et des temps de réentrée adaptés.

Le fogging est une technique d'application qui augmente la redéposition des pesticides sur les plantes et l'efficacité du contrôle des nuisibles car elle est basée sur la formation de gouttelettes très fines et très concentrées. Elle présente l'avantage de réduire le temps d'application, donc l'exposition de l'applicateur, et est souvent pratiquée le soir ce qui permet une absence des ouvriers sur la zone traitée dans les 10 à 12 heures après application. Giles et al. (1995) ont mesuré les concentrations dans l'air, l'exposition par inhalation lors de la pulvérisation de perméthrine par fogging sur citronnier d'ornement et de production en fonction de la taille des gouttes. Dans ces conditions : 70% du volume sous forme de pulvérisation liquide est contenu dans des gouttes d'un diamètre compris entre 6,9 et 15,4 µm. Après l'application, la taille des gouttelettes diminue rapidement de 14 µm à l'application à 2,4 µm après 1 heure 30, donc la contamination est susceptible d'atteindre plus profondément les poumons. La déposition respiratoire potentielle sans protection et après ventilation s'élève à 0,26 µg/h. Sans ventilation, elle est de 9,2 µg/minute immédiatement après l'application, de 1,7 µg/minute après 2 heures 30 et de 0,07 µg/minute après 13 heures.

L'utilisation de la technique de pulvérisation électrostatique d'un bas volume de produit résulte en des dépôts foliaires 4 fois supérieurs à une technique de pulvérisation de volume important classique du fait que l'application électrostatique est plus efficace pour diriger le pesticide sur le feuillage par rapport aux surfaces inertes. Il en résulte que l'on peut diminuer les doses d'application par 3 ou 4 et donc réduire l'exposition à la base, en réduisant la quantité de contaminant (Giles et al., 1992).

Pendant la cueillette, l'ouvrier peut être exposé aux vapeurs de pesticide volatilisé bien que cette exposition paraisse être basse lorsque les intervalles de réentrée établis précédemment sont respectés. Une autre source de contamination par inhalation consiste en une remise en suspension dans l'air de résidus de pesticides, en particulier lorsque la culture est traitée avec des formulations poudreuses. Brouwer et al. (1990, 1993) ont montré que pendant la cueillette des oeillets, l'exposition par inhalation peut être détectable mais relativement basse et est probablement due aux résidus foliaires délogeables. Dès 1980, Williams et al. ont observés que la concentration en sulfotep dans l'air augmente avec l'activité des ouvriers dans la culture.

La ventilation peut influencer de manière inverse sur les concentrations en résidus volatiles en fonction de la technique d'application employée. Par exemple, après une application par fumigation, l'ouverture des événements conduit à une baisse de la concentration en pesticide ; par contre après une pulvérisation d'aérosols, la ventilation entraîne une hausse de la concentration en résidus volatiles par vaporisation des aérosols (Williams et al., 1982).

La conclusion est que des intervalles de réentrée de 8 heures, avec des fenêtres complètement ouvertes durant les 2 dernières heures pour ventiler la serre, sont suffisants pour tous les

pesticides et avec les techniques utilisant un faible volume d'application pour assurer des niveaux d'inhalation sûrs. Pour les composés volatiles (tension de vapeur > 10 à 100 mPa à 20°C), les fenêtres doivent être ouvertes pendant quelques jours de manière à prévenir une accumulation jusqu'à des concentrations pouvant se révéler toxiques.

Quand des techniques employant des gros volumes d'application sont utilisées, un intervalle de réentrée de 8 heures (pour les composés non volatiles) ou de 2 heures avec les fenêtres ouvertes paraît suffisant. Ces prescriptions sont basées principalement sur le travail de Brouwer et al. (1992) et font maintenant partie intégrante de la réglementation allemande.

4.3 / Exposition par inhalation

L'exposition par inhalation est considérée comme plus critique qu'à l'extérieur car les murs de la serre limitent la rapide dilution des pesticides dans l'air et leur distribution par les courants d'air. Des données expérimentales sont nécessaires pour différents pesticides et sur différentes cultures pour déterminer des intervalles de réentrée sûrs qui assurent un environnement de travail sain aux ouvriers sous serres. Pour évaluer les risques pour la santé, les concentrations dans l'air doivent être comparées aux AEOL (Acceptable Operator Exposure Levels). Si on estime à 10 m³/jour le taux de respiration et les concentrations relevées on obtient l'inhalation de : 60µg de parathion, 76 µg de dichlofluanid, 40 µg de pirimicarb, 3 µg de dinocap et moins de 1 µg de pyréthrénoïdes le jour suivant l'application, ce qui est très inférieur aux Doses Journalières Admissibles de chacun de ces produits (Siebers et Mattusch, 1996).

Le risque par inhalation et l'exposition potentielle du personnel sont déterminés par la concentration du pesticide en suspension dans l'air et le diamètre des gouttelettes. **La redéposition des particules en suspension dans le système respiratoire humain dépend du diamètre du matériel inhalé :**

- **gouttelette > 10 µm : déposition dans la partie supérieure de l'appareil respiratoire, nez et bouche, et disponibilité pour l'ingestion ;**
- **3 < gouttelette < 10 µm : déposition dans la région trachéobronchiale, de 50 à 80 % des gouttelettes inhalées ;**
- **seulement 20 à 30 % des gouttes inhalées mesurant entre 0.1 et 3 µm atteignent la région alvéolaire et s'y déposent.**

Le tableau n°14 résume les résultats d'études d'exposition des ouvriers en serres. Des variations considérables sont observées. Les raisons les plus importantes de ces variations sont la taille des serres et les doses d'application. Ces variables ne sont pas toujours mises en avant par ces auteurs. Du fait que l'exposition par inhalation est liée à la dose d'application, il semble approprié de normaliser le niveau d'exposition en le divisant par la dose appliquée. Cela conduit à une unité exprimée en (µg/h)/(kg/ha). Brouwer et al. (1996) ont suivi cette approche pour analyser les données des serres allemandes disponibles. Elles concernaient les données de cueillette de fleurs (coupe, tri et mise en bouquet). La valeur moyenne pour les niveaux d'exposition pendant la coupe était d'environ 0.1 (µg/h)/(kg/ha). Pour le tri et la mise en bouquet, l'exposition moyenne était 10 fois inférieure.

La fonction de l'ouvrier dans la serre influe aussi de manière importante sur l'exposition respiratoire ainsi que la matière active. Aprea et al. (2001) ont estimé que 4.5, 9.9 et 49.5 % de la dose totale absorbée était imputable à la voie respiratoire respectivement pour l'ométhoate, le tolclofos-méthyl et le fénitrothion. Ces différences seraient dues à leurs différences de tension de vapeur.

Tab. n°14 : Résumé des données d'exposition des ouvriers lors de la réentrée dans les serres :

Références	Matière active	Tech. d'application	Dose d'application (g/ha)	Culture traitée	Nombre de sujets	Exposition par inhalation (µg/h)	Facteur de transfert dermal (cm²/h)	Mains			Corps			
								Méthode d'évaluation	Exposition potentielle (mg/h)	Expo. réelle (µg/h)	Méthode d'évaluation	Expo. potentielle (mg/h)	Expo. réelle (µg/h)	
Maddy et al., 1981	Méthyl-parathion	-	2250	Chrysanthèmes	5	N.D.	N.D.	Lavage des mains	0.009 – 0.053 après 5-6 jours 0.02°	9 – 53 après 5-6 jours 20°	N.D.	N.D.	N.D.	
Wagner et Hermes, 1987	Aldicarb Méthamidophos	-	-	-	-	< 6 après 3 – 4 j	N.D.	Lavage des mains ou compresses	Incluse dans la donnée corps	Incluse dans la donnée corps	Compresses sous et dessus les vêtements	< 0.74	>0.008	
Boleij et al., 1991	Méthomyl	Saupoudrage Pulvérisation	700 – 5600 3800 – 3900	Tomate Concombre	-	0.9 – 18	N.D.	Lavage des mains	< 0.362 0.01 – 0.32*	< 362 10 – 322*	N.D.	N.D.	N.D.	
Brouwer et al., 1992	Chlorothalonil	Sac à dos atomiseur fort volume	2610	Œillets	94	N.D.	C : 2900 ± 500	Gants longs coton	C : 14.4* ± 2.3 Tr+B : 27* ± 1.3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
	Chlorothalonil		3030			C : 112.5* ± 6.8	C : 6500 ± 600		C : 4.4* ± 3.3 Tr+B : 3.5* ± 5.7					
	Thiophanate-méthyl		3750			N.D.	C : 3700 ± 1400		C : 16.1* ± 2.0 Tr+B : 11.5* ± 2.3					
	Zinèbe		1000			C : 125* ± 3.4	C : 2800 ± 300		C : 8.7* ± 5.0 Tr+B : 3.9* ± 7.7					
	Thiram		740			C : 50* ± 2.5	C : 10000 ± 1100		C : 10.4* ± 2.5 Tr+B : 4.6* ± 1.9					
	Abamectine	Brumisateur bas et fort volumes	7 – 15	Roses	75	N.D.	C : 1200 ± 850 Tr : 2400 ± 500 B : 2250 ± 1200		C : 0.013* ± 2.0 Tr+B : 0.018* ± 3.8					C : 13* ± 2.0 Tr+B : 18* ± 3.8
	Dodemorphe		1130 – 3000			N.D.	C : 4550 ± 1000 Tr : 2400 ± 2650 B : 6250 ± 2350		C : 1.8* ± 1.7 Tr+B : 1.9* ± 2.2					C : 1800* ± 1.7 Tr+B : 1900* ± 2.2
Bupirimate	520 – 540		N.D.			C : 2400 ± 600	C : 2.2* ± 2.0	C : 2.2* ± 2.0						
Peelen et al., 1992	Chlorothalonil	Fort volume	-	Chrysanthèmes	12	1 – 20 ; 5°	N.D.	Gants longs coton	1 – 5 ; 3°	1000 – 5000 ; 3000°	N.D.	N.D.	N.D.	
	Mancozèbe					12 – 119 ; 35°	N.D.		4 – 20 ; 9°					4000 – 20000 ; 9000°
Kangas et al., 1993	Mevinphos	Atomiseur	0.3 – 5.7	Divers Ornementales	17	4.5 – 12 à 9 – 12 h	133°	Lavage des mains à l'éthanol	N.D.	1.9	Compresses	0.03 – 15.2	N.D.	
Jauhainen et al., 1992		Brumisateur manuel				2.5 ± 0.6 à 1 j 1.1 ± 0.5 à 2 j								
Brouwer et al., 1993	Propoxur	Pulvérisateur	810	Œillets	16	C : 2.4 – 39 ; 15* ± 2.5 B : 0.9 – 7.5 ; 3.8* ± 2.1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	
		Atomiseur	250											
Giles et al., 1994	Perméthrine	Bas volume	450	Roses	-	< 0.15 après 1 h	N.D.	Lavage des mains sous gants en cuir	N.D.	< 12	Sous-vêtements sous vêtements de travail	N.D.	< 100 – 157	
		Fort volume	900				N.D.		N.D.		N.D.	< 100		
Veerman et al., 1994	Chlorothalonil	Fort volume	-	Chrysanthèmes	36	30 ± 1.6 à 11 – 17 j 4 ± 2.9 à 32 – 56 j	A : 1165* ± 2.2 B : 792* ± 2.1 O : 2008* ± 2.6	Gants longs coton	C manuelle : 7.2* ± 1.4 à 11 – 17 j 0.9* ± 1.6 à 32 – 56 j C automatic : 3.6* ± 1.7 à 11 – 17 j 0.59* ± 4.9 à 32 – 56 j	C manuelle : 7200* ± 1.4 à 11 – 17 j 900* ± 1.6 à 32 – 56 j C automatic : 3600* ± 1.7 à 11 – 17 j 590* ± 4.9 à 32 – 56 j	N.D.	N.D.	N.D.	

				Chrysanthèmes		10 ± 2.1 à 11 – 17 j 3 ± 2.4 à 32 – 56 j	F : 1174 ± 2.4 E : 496 ± 4.0		E : 3.3* ± 2.1 à 11 – 17 j 0.35* ± 5.5 à 32 – 56 j	E : 3300* ± 2.1 à 11 – 17 j 350* ± 5.5 à 32 – 56 j			
Hoekstra et al., 1996	Benomyl	-	-	-	-	< LD	N.D.	Gants en coton	Gauche : N.D. – 118.4 ; 34.9° Droit : 8.7 – 75 ; 26°	Gauche : N.D. – 118.4 ; 34.9° Droit : 8.7 – 75 ; 26°	Patches	0.14° (µh/cm²/h)	N.D.
Manninen et al., 1996	Dichlorvos	Brume froide	33 mg / m³ 50 mg / m³	Roses et autres fleurs	10	12.5 – 175 à 1 j 62.5 après 40 h	N.D.	-	N.D.	N.D.	Compresses sous et dessus les vêtements	0.66 – 0.69 0.3° à 42 h	19 – 33% de l'expo. Pot.
	Deltaméthrine	Brume froide et fort volume	0.3 à 2.9 mg / m³			< 0.125	N.D.		N.D.	N.D.		0.004 – 0.409 ; 0.145°	0.1 – 19.7 ; 7.1°
Nilsson et Papantoni, 1996	Vinclozoline	-	1.4	Concombre	3	N.D.	N.D.	Gants en coton	2.25°	N.D.	Par-dessus en coton	0.50°	N.D.
Schipper et al., 1996	Benomyl	Arroseur Fort volume	2500 - 2600	Champignons	6	N.D.	N.D.	Gants en coton	< 0.06 – 0.23	< 60 – 230	N.D.	N.D.	N.D.
Brouwer et al., 1997	Méthiocarb	pulvérisation	148	Œillets	49	N.D.	1500°	Gants longs coton	1.6 – 10.7 ; 2.5° ± 2.7	1600 – 10700 ; 2500° ± 2700	Par-dessus en coton	0.08 – 12.1 ; 3.9° ± 4.7	20 – 2300 ; 310°
	Propoxur		379			0.5 – 40	2000°		0.03 – 1.07 ; 0.44° ± 0.58	30 – 1070 ; 440° ± 580		0.1 – 7.3 ; 1.77° ± 2.5	20 – 190 ; 60°
Kirknel et al., 1997	Pirimicarb	Canon hydraulique	123	Roses en pots coupe	36	N.D.	C : N.D.	Gants en coton	0.007 – 0.062 ; 0.018*	7 – 62 ; 18*	Par-dessus en coton	N.D.	N.D.
			742	Roses en pots C, T		N.D.	T : < LQ		0.0535 à 2 - 3j 0.0075 – 0.013 à 9 - 10 j 0.009*	53.5 à 2 - 3j 7.5 – 13 à 9 - 10 j ; 9*		N.D.	N.D.
			2230	Kalanchoë C		2.5 – 3	0		< LQ	< LQ		0.0085 – 0.009	N.D.
			1630	Lierre en pots		< LQ	540		2.1	2100		0.35	N.D.
			882	Roses coupées		N.D.	C : 3391° ; 4553* Eb : 4838° ; 4553*		0.022 – 0.117	22 - 117		0.414 – 0.415	N.D.
			10 – 16	Roses en pots		< LQ	E : manuel : 1000° méca : 300° M : 505°		0.004 – 0.029	4 - 29		LQ	N.D.
	Endosulfan	Brume froide	14	Roses en pots	< LQ	Eb : 1295	LQ – 0.007	LQ - 7	< LQ	N.D.			
			710	Bégonias taille	< LQ - 39	E : 2638 - 2990	Taillleurs : 0.245 Emballeurs : 0.658	Taillleurs : 245 Emballeurs : 658	Taillleurs : 0.61 Emballeurs : 0.23	N.D.			
	Méthomyl		750	Diverses plantes en pots	< LQ	E : 0	< LQ	N.D.	31 – 144	N.D.			
			834		< LQ	E + Ef : 8 – 10	< 0.001	< 1	0.018 – 0.036	N.D.			
	Mercapto diméthur		3200		< 40	E : 1168 – 1555	3.3 – 3.9	3290 - 3890	0.31 – 2.4	N.D.			
			1000	Lierre en pots	38 - 115	E + C : 4150 – 7070	5.8 – 10.0	5850 – 9950	1.1 – 1.5	N.D.			

Fonctions : C : coupe / T : taille / Tr : tri / B : mise en bouquet / E : emballage / A : arrachage / F : fixation / Eb : ébourgeonnage / Ef : effeuillage / M : marquage / O : autre

* : Moyenne géométrique / ° : Moyenne arithmétique

LD : limite de détection / LQ : limite de quantification / N.D. : Non déterminé

4.4 / Exposition dermale

Les cultures ornementales sous serre poussent en pots ou en bandes sur des tables entraînant un contact potentiel avec les surfaces corporelles moyennes et supérieures des travailleurs.

Des investigations menées par Morse et al. (1979) montrent qu'il ne faut pas sous-estimer les risques possibles dus à la présence des pesticides pendant une période relativement longue après le traitement car les résidus de pesticides ne sont pas sujets aux conditions de plein champ. Par exemple, sur des chrysanthèmes et des œillets importés aux Etats Unis depuis l'Amérique centrale et du sud, des taux appréciables en divers pesticides ont été trouvés. Ces résultats sont confirmés par Saiz et al. (1992) qui ont étudié l'exposition aux pesticides par le lavage des mains de fleuristes. Löbel et Schunk ont montré en 1982 que 10 à 20 jours après une application d'aldicarb sous forme de granulés au sol de chrysanthèmes en croissance, le ramassage des fleurs coupées a causé une inhibition considérable de la cholinestérase des ouvriers, qui était absente d'un groupe témoin portant des gants en caoutchouc. Bien que les résidus foliaires délogeables n'aient pas été mesurés, les métabolites de l'aldicarb, provenant probablement des résidus de culture et /ou des jus, ont atteint les mains durant le ramassage. Wagner et Hermès (1987), Jauhainen et al. (1992) et Lander et al. (1992) ont aussi montré une inhibition significative de la cholinestérase chez les ouvriers due à des activités liées à la culture.

Le tableau n°14 résume les données d'exposition dermale en lien avec les cultures sous serre, en particulier lors de la cueillette. Les données sont fragmentaires, à l'exception de la cueillette de quelques cultures ornementales. Brouwers et al. (1996) ont résumé les données d'exposition après standardisation par les doses d'application. Le niveau d'exposition moyen avoisine les 10 (mg/h)/(kg/ha) pour la coupe des fleurs et environ 5 (mg/h)/(kg/ha) pour le tri et la mise en bouquet des fleurs. On peut noter que les expositions n'ont été mesurées que pour les mains et avant-bras nus. Une possible exposition à travers les vêtements ou sur les parties non couvertes du corps n'a pas été considérée. Cependant, les données ont été observées dans des cultures hautes et peuvent conduire à une surestimation pour les cultures basses.

L'exposition dermale des travailleurs sous serre va dépendre de leur fonction qui va jouer sur la surface du corps en contact et la durée de contact avec la culture traitée.

Aprèa et al. (2001) ont montré que, chez les manipulateurs de plantes en pots et lors des différentes manipulations (positionnement, espacement, sélection, arrosage manuel), l'exposition cutanée prédomine pour l'ométhoate et le tolclofos-méthyl et que la contribution majeur se fait par les mains. De plus une contamination des parties non exposées à la culture traitée a été observée et imputée soit à une pénétration sous les vêtements soit par contact avec les mains ou des vêtements contaminés. La contamination maximale des mains s'élève à 8.7 mg pour l'ométhoate, 0.02 mg pour le fenitrothion et 0.9 mg pour le tolclofos-méthyl et serait due à un mauvais usage des gants. Globalement, on observe de faibles niveaux d'exposition des travailleurs engagés dans diverses fonctions sous serres. La sélection des plantes pour le marché est la seule fonction qui a montré une exposition pouvant conduire à un dépassement de la Dose Journalière Admissible et seulement pour l'ométhoate.

L'exposition dermale au méthiocarb (500g/L) et au bitertanol (300g/L) pendant la cueillette de roses coupées s'est élevée respectivement de 1 à 10 mg/personne/heure et de 4 à 9 mg/personne/heure (Durmusoglu et al., 1997), ce qui représente des valeurs très élevées.

L'exposition totale par inhalation est inférieure à 1 % de l'exposition dermale.

L'exposition cutanée des ouvriers lors de l'ébourgeonnage des chrysanthèmes en pots par les résidus délogeables du pirimicarb a été estimé par Archibald et al. (1994) :

Tab. n°15 : Distribution des résidus de pirimicarb lors de l'ébourgeonnage de chrysanthème en pot :

Partie du corps	Nombre d'observations	Moyenne (µg)	Echelle des valeurs (µg)	Pourcentage du dépôt
Tête et cou	44	25 ± 17	7 – 51	13
Mains	44	83 ± 56	28 – 183	42
Bras	44	40 ± 33	4 – 113	20
Jambes	32	22 ± 25	4 – 79	11
Torse	32	29 ± 10	10 – 41	14
Total	32	199 ± 107	113 - 376	100

Comme prévu, ce sont les mains qui sont les parties du corps les plus exposées car l'ébourgeonnage nécessite beaucoup de manipulation des plantes. D'importantes variations ont été relevées et imputées aux variations dans les techniques d'ébourgeonnage, aux habitudes comportementales (remise en place des lunettes...) et à la transpiration. Le pirimicarb se dégrade très rapidement sur les tissus végétaux : une heure après le traitement, des résidus délogeables mesurés ne représentaient plus que 5.8% de la dose appliquée. De plus, seulement 5% du pirimicarb reçu sur la peau est absorbé par voie cutanée (Parkinson), et au niveau des mains l'absorption est encore moindre (Franklin, 1985) donc une contamination par le pirimicarb semble improbable. Ceci est confirmé par le fait qu'il n'est jamais retrouvé dans les urines des ouvriers (Archibald et al., 1994). Nigg et al. (1992) ont réalisé un suivi de la concentration en résidus délogeables de bendiocarb sur plants d'azalées en pots traitées manuellement.

Jours après application	Résidus délogeables en Bendiocarb (µg/cm ²)
0	10.9 ± 0.6
1	11.5 ± 0.6
2	12.3 ± 1.7
5	8.6 ± 0.3
7	9.0 ± 1.7
14	8.4 ± 1.1
21	3.9 ± 1.0
28	2.7 ± 1.4
35	4.5 ± 0.7

Le taux de réentrée sûr pour le bendiocarb est de 13 µg/cm² ce qui montre que son utilisation présente peu de risque sous serre et que les ouvriers peuvent entrer dans la zone traitée dès que le liquide de pulvérisation est sec.

Sur 92 échantillons de fleurs coupées, Hagmann et al. (1999) ont relevé en moyenne 3 matières actives par échantillon concernant 43 pesticides différents (26 insecticides et 17 fongicides) et seulement 6.5% des échantillons étaient totalement exempts de résidus délogeables. Les molécules les plus retrouvées sont le méthiocarb (présent dans 76% des échantillons), le bitertanol (présent dans 21% des échantillons), l'etriadiazole (présent dans 20% des échantillons) et le méthomyl (présent dans 13% des échantillons). Les concentrations les plus élevées observées sont le bitertanol (3.47 µg/cm²), le méthiocarb (1.02 µg/cm²), le captan (0.59 µg/cm²), le chlorothalonil (0.28 µg/cm²), le tolyfluanid (0.27 µg/cm²) et le méthomyl (0.18 µg/cm²). Les résidus les plus retrouvés sur les mains des fleuristes sont le bitertanol (2.086 mg/personne/j), le méthiocarb (0.586 mg/personne/j), le captan (0.352 mg/personne/j), le chlorothalonil (0.275 mg/personne/j).

Jongen et al. (1992) ont relevés des concentrations en résidus délogeables en bupirimate de 0.5 à 2.5 µg/cm² sur culture de roses.

L'exposition dermale est très fortement liée aux quantités de résidus foliaires délogeables. Donc les techniques d'application qui augmentent la redéposition des pesticides sur les cultures vont de la même manière affecter l'exposition des travailleurs.

Dans tous les cas, pour les ouvriers manipulant des plantes traitées, c'est la voie cutanée qui est la plus susceptible d'entraîner une contamination et en particulier par les mains. L'usage des gants et un bon lavage des mains semblent être des pratiques simples et suffisantes pour réduire la contamination cutanée des ouvriers sous serre. Un temps de rentrée de 36 à 48 heures semble assurer un bon niveau de sécurité pour les manipulateurs.

4.5 / Modélisation de l'exposition dermale

Comme indiqué précédemment il semble qu'il y ait une relation directe entre l'exposition et la dose d'application d'une part et le degré de contact entre la culture et l'ouvrier d'autre part. De nombreux auteurs ont décrit l'exposition via des données standardisées.

Le principe de base du développement de modèles est que l'exposition résulte d'un transfert de résidus de pesticide présents sur la culture au moment du travail des ouvriers. Plus spécifiquement, il a été établi que l'exposition dermale (DE) (mg/jour) est déterminée par le taux de résidus transférables, exprimés à l'aide des quantités de résidus délogeables (DFR) (mg/m²), un facteur de transfert spécifique à la culture et de la fonction (TF) et l'intervalle de réentrée (T) (heures/jour), sous la forme générique suivante :

$$DE_i = DFR_{i,t} * TF_m * T_m$$

Où i est le i-ème pesticide, m est la m-ième fonction et t est le t-ième jour après l'application.

Le facteur de transfert est un facteur établi empiriquement qui dépend de la culture et de la fonction du travailleur et est relativement indépendante du pesticide. Les facteurs de transfert sont dérivés des données d'exposition et de résidus délogeables établis pour une variété de pratiques culturales et sont considérés comme étant fiables pour l'estimation du risque. Cependant, des variations entre les facteurs de transfert peuvent être substantielles (Krieger et al., 1990, 1992).

La quantité de résidus foliaires délogeables au moment de la réentrée est considérée comme étant le facteur important pour l'exposition dermale. Le niveau réel de résidus de pesticide dépend de la quantité initiale en résidus foliaires délogeables, du taux de dissipation et de l'intervalle de temps entre l'application et la réentrée. Le niveau initial en résidus foliaires délogeables est déterminé par la dose de produit appliquée sur la culture, sa distribution sur la culture, c'est à dire l'indice de surface foliaire et un facteur qui prend en compte la non-homogénéité pouvant intervenir pendant la pulvérisation. Cela est résumé dans l'équation suivante :

$$DFR_0 = AR * I / LAI$$

Où :

- AR est la dose d'application (kg/ha)
- LAI est l'indice de surface foliaire (m²/m²)
- I est un facteur prenant en compte l'inégale répartition du produit lors de la pulvérisation, c'est à dire l'interception par la culture.

Le pseudo indice de surface foliaire (LAI / I) peut être calculé à partir de la formule lorsque la dose et la quantité initiale en résidus délogeables sont connues. Les valeurs normalement observées pour I varient de 0,2 à 1 et de 1 à 15 pour LAI. Pour les estimations de l'exposition

des ouvriers, les résidus foliaires délogeables doivent être déterminés dans la zone de contact entre l'ouvrier et la culture.

La dissipation du dépôt de pesticide sur les feuilles est considérée comme étant un mécanisme complexe faisant intervenir des facteurs environnementaux, le métabolisme, la translocation par pénétration foliaire et croissance des plantes et la formulation du pesticide (Bentson, 1990). Willis et McDowell (1987) estiment que le mécanisme de dissipation peut être décrit dans de nombreux cas comme un processus de premier ordre. Donc la relation entre les taux initial et actuel peut être définie par :

$$\ln(\text{DFR}_t) = \ln(\text{DFR}_0) + kt$$

où DFR_0 est la quantité initiale en résidus délogeables et $k = -\ln 2(t_{1/2})^{-1}$ où $t_{1/2}$ est la demi-vie de la matière active (jours).

Les courbes de dissipation des pesticides ont été utilisées comme un outil d'évaluation du risque pour établir les intervalles de réentrée, c'est à dire une estimation basée sur le fait que les taux de résidus seraient suffisamment réduits de manière à permettre une réentrée sûre après cet intervalle de temps (Dong et al., 1992).

4.6 / Dissipation des pesticides et facteurs de transferts

Les taux de dissipation des résidus foliaires ont été rapportés pour de nombreux pesticides et sur de nombreuses cultures ; cependant, très peu de données concernant les cultures sous serre ont été publiées. A partir de plusieurs études sur l'exposition lors de la réentrée, des courbes de dissipation ont été établies pour divers pesticides.

Dans des serres finlandaises, le mevinphos, produit utilisé pour la culture des chrysanthèmes et des roses, a été beaucoup étudié. La dissipation sur le feuillage est corrélée avec la baisse de l'exposition dermale observée sur les ouvriers durant la même période. La demi-vie sur le feuillage a été estimée à environ 9 heures et le facteur de transfert à environ 133 cm²/heure (Kangas et al., 1993). Cette valeur est extrêmement basse en comparaison de toutes les autres données disponibles pour des fonction similaires. Les auteurs précisent que la principale raison de cette basse valeur réside dans l'usage de gants protecteurs alors que l'exposition réelle est en principe mesurée sur des mains dépourvues de gants. Le tableau n°16 regroupe des données sur les demi-vies de certains pesticides sur diverses cultures, en particulier sur les roses (Liesivuori et al., 1988). Bien que les taux initiaux en résidus foliaires délogeables aient été présentés, l'information sur les doses d'application sont insuffisantes pour avoir une estimation raisonnable des indices de surface foliaire. Cependant des indices de surface foliaire de 130 pour la tomate et de 15 pour la pomme ont pu être évalués. Un facteur de transfert d'environ 700 cm²/heure a pu être estimé pour le méthamidophos sur cornichon, rose et gerbera par Goedicke (1989).

Tab. n°16 : Temps de demi-vie initiaux observés pour divers pesticides sur diverses cultures sous serres :

Pesticide	Culture	t_{1/2} (jours)	Référence / Pays
Abamectine	Chrysanthème	1.1 – 2.4	Brouwer et al., 1997 / NL
Benomyl	Rose	1.8	Liesivuori et al., 1988 / FI
	Laitue	14	Goedicke, 1988 / D
Bitertanol	Chrysanthème	2.5	Brouwer et al., 1997 / NL
Carbendazime	Cornichon	7.2	Goedicke, 1988 / D
	Cornichon	7.9	Goedicke, 1988 / D
	Laitue	10 - 12	Goedicke, 1988 / Pologne
	Tomate	4 - 6	Goedicke, 1988 / Pologne
	Rose	2.2	Liesivuori et al., 1988 / FI
Chlorothalonil	Oeillet	> 14	Brouwer et al., 1992 / NL
	Chrysanthème	3 – 5	Brouwer et al., 1997 / NL
Deltaméthrine	Haricot vert	> 10	Mestres et al., 1985 / France
Diazinon	Cornichon	6	Goedicke, 1988 / USA
	Tomate	7	Goedicke, 1988 / USA
Dichlorvos	Chrysanthème	0.2	Brouwer et al., 1997 / NL
Dicofol	Cornichon	1.2 – 5	Goedicke, 1988 / D
	Tomate	14	Goedicke, 1988 / I
	Citronnier	> 10	Mestres et al., 1985 / France
Diméthoate	Tomate	3.25	Goedicke, 1989 / D
	Cornichon	1.6	Goedicke, 1989 / D
	Cornichon	2.7	Goedicke, 1988 / D
	Rose	0.9	Liesivuori et al., 1988 / FI
Ethephon	Tomate	7 – 10	Goedicke, 1988 / D
Fenazox	Cornichon	1.4 – 2.4	Goedicke, 1988 / D
	Tomate	1.3	Goedicke, 1989 / D
	Tomate	2.3	Goedicke, 1989 / D
Iprodione	Tomate	10.2	Goedicke, 1988 / I
Lindane	Concombre	2.5	Goedicke, 1988 / D
	Cornichon	2 – 3	Goedicke, 1988 / D
Malathion	Cornichon	4.35	Goedicke, 1988 / D
Mancozèbe	Chrysanthème	3	Brouwer et al., 1997 / NL
Metalaxyl	Tomate	8 – 10	Goedicke, 1988 / D
	Tomate	4.3	Goedicke, 1988 / D
	Gerbera	1.4 – 3.9	Goedicke, 1989 / D
	Rose	5.7 – 6.2	Goedicke, 1989 / D
	Cornichon	2.4	Goedicke, 1989 / D
Methiocarb	Oeillet	8 – 15	Brouwer et al., 1997 / NL
Methomyl	Chrysanthème	4.7	Brouwer et al., 1997 / NL
	Concombre	2.5 – 4	Edmiston et al., 1991 / USA
	Tomate	2.1 – 3.7	Bolej et al., 1991/ NL
	Concombre	1.7 – 2.3	Bolej et al., 1991/ NL
Mevinphos	Rose / Chrysanthème	0.4	Kangas et al., 1993 / FI
Perméthrine	Chrysanthème	10 – 26	Giles et al., 1992 / USA
Pirimiphos-méthyl	Tomate	0.7	Goedicke, 1989 / D
Propoxur	Oeillet	0.5 – 0.8	Brouwer et al., 1997 / NL
Thiophanate-méthyl	Oeillet	> 14	Brouwer et al., 1992 / NL
	Oeillet	17 – 41	Brouwer et al., 1997 / NL
Vinclozoline	Tomate	9.8	Goedicke, 1988 / I
	Concombre	7	Nilsson et al., 1996 / Suède

Les investigations menées par Brouwer et al. (1992, 1993) et Van Hemmen (1992) dans des serres allemandes ont permis de déterminer les facteurs de transfert lors de la cueillette de

roses et d'œillets pour divers pesticides. Ils en ont conclu que **la cueillette des roses conduit à des facteurs de transfert relativement moins élevés**, avec des moyennes pour 3 pesticides pendant la coupe, le tri et la mise en bouquet de 1200 à 6250 cm²/heure, **que la cueillette des œillets**, avec des moyennes pour 4 pesticides pendant la coupe de 2800 à 10000 cm²/heure. Une récente réévaluation de toutes les données disponibles, publiées ou non, ne prenant pas en considération les variations dues aux particularités de la culture ou des pesticides, pour la cueillette d'œillets traités a établi de valeurs plus appropriées comprises entre 1400 et 2200 cm²/heure (Brouwer et al., 1997 ; Emmen et al., 1996). Pour le ramassage de chrysanthèmes coupés, le facteur de transfert était de 400 cm²/heure pour 2 pesticides. Veerman et al. (1994) ont mesuré des facteurs de transfert pour la cueillette de chrysanthèmes variant de 500 à 2000 cm²/heure (Tab. n°9). Dans cette étude, seul le transfert des mains et avant-bras des ouvriers a été estimé. **La dose d'application était le facteur prédominant pour les résidus délogeables**. Une estimation de l'indice de surface foliaire de 10 à 40 a été établie à partir d'une comparaison entre les résidus foliaires délogeables et les doses appliquées pour plusieurs combinaisons roses / pesticides dans 18 serres. Cet indice a été évalué à 5 à 10 pour diverses combinaisons œillets / pesticides dans 18 autres serres.

Dans une étude menée au Danemark, Kirknel et al. (1997) ont considéré les activités à la réentrée dans 8 serres différentes sur 12 cultures différentes et pour 5 pesticides. 21 facteurs de transfert ont été calculés en fonction de l'activité considérée et ils ont montré une distribution lognormale. La moyenne géométrique avoisinait 1500 cm²/heure avec environ 90% des valeurs autour de 5200 cm²/heure pour N=16 et excluant des valeurs basses non réalistes (< 10 cm²/heure) qui ne pouvaient s'expliquer. Les facteurs de transfert ont été estimés pour les mains dès lors que les mains nues sont la principale voie d'exposition. En effet, dans certaines expériences, le niveau d'exposition corporelle totale potentielle était égale à l'exposition réelle des mains seules. Dans la majorité des cas, l'exposition du corps dans son ensemble excède rarement celle des mains.

Certaines études allemandes se sont intéressées à la dissipation de plusieurs pesticides sur les cultures ornementales (Tab. n°16). Les données en serre ne donnent pas une vue d'ensemble de données disponibles mais donnent des indications sur les variations, non seulement entre les différentes cultures, mais aussi au sein d'une même culture. La dissipation peut dépendre de nombreux facteurs qui ne sont pas complètement décrits. Les demi-vies présentées dans le tableau n°16 doivent être considérées comme des valeurs approximatives, parce qu'elles ont, dans certains cas, été estimées suivant une cinétique de premier ordre. Un exemple de l'influence de la saison sur le temps de demi-vie est donné par Ross et al. (1994). Ces auteurs ont montré que le méthomyl se dissipe plus de 2 fois plus vite en automne qu'au début de l'été. Boleij et al. (1991) ont observé une demi-vie du méthomyl de 2,1 à 3,7 jours sur le feuillage de tomate et de 1,7 à 2,3 jours sur le feuillage de concombre. Ils ont observé une bonne corrélation entre les résidus délogeables et l'exposition par les mains mais n'ont pas présenté de facteur de transfert.

4.7 / Bases de données d'exposition et usage pour les procédures d'homologation

L'exposition par voies dermale et respiratoire observée sur les ouvriers de serres est résumée dans le tableau n°14. Il existe 2 approches pour estimer les valeurs d'exposition. Ces deux approches ont été mentionnées dans les paragraphes précédents. La première approche consiste à utiliser les formules précédemment citées, la seconde réside en la normalisation par la dose d'application. Pour l'instant, la première approche ne peut être utilisée que pour estimer les expositions dermales parce que les données disponibles en matière d'exposition par inhalation ne sont pas suffisamment détaillées.

L'actuelle base de données pour les expositions reflétant les diverses activités des serres et champignonnières est encore trop incomplète pour donner une évaluation précise des données mais plusieurs approches sont en développement. Les deux approches suivantes ne peuvent donc être qu'indicatives et vont nécessiter des études en champ complémentaires pour être validées :

- Sur la base de l'approche théorique donnée par les formules précédentes, il est possible d'évaluer le pire niveau de résidus foliaires délogeables en utilisant la dose et une faible valeur d'indice de surface foliaire. A une dose de 1 kg/hectare et un indice foliaire de 1, l'estimation de résidus délogeables initiaux est de 10 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. Dans le cas où aucune dissipation n'a lieu pendant la période entre l'application et la réentrée, cela correspond aux pires valeurs de résidus foliaires délogeables. Le second pas de cette approche est le choix d'un facteur de transfert significatif. Sur la base des valeurs présentées dans le tableau n°14, la valeur de 10000 cm^2/heure semble constituer un maximum. Pour les activités n'impliquant pas des mains et des avant-bras nus ou ne concernant pas des cultures de haute taille, cette valeur peut conduire à une surestimation importante. Il n'est pas possible pour l'instant d'évaluer l'exposition par inhalation par cette approche bien qu'il soit évident qu'une approche similaire puisse être utilisable lorsque plus de données seront disponibles.

Pour la cueillette, un facteur de transfert de 2000 à 3000 cm^2/heure semble raisonnable. Cependant, ces valeurs sont largement dérivées des données d'exposition qui reflètent seulement l'exposition des mains et des avant-bras. Brouwer et al. (1997) ont mesuré l'exposition du corps entier lors de la cueillette d'œillets. L'exposition potentielle s'est révélée être environ 5 fois plus importante que l'exposition des mains et des avant-bras seuls. L'exposition réelle sur le reste du corps était si basse que l'exposition par les mains et les avant-bras, généralement nus pendant la cueillette, représente virtuellement la totalité de l'exposition. De plus, Kirknel et al. (1997) ont indiqué une faible contribution de l'exposition réelle du corps à l'exposition réelle des mains. La valeur de 2000 à 3000 cm^2/heure peut être comparée aux estimations de Krieger et al. (1990, 1992) qui ont observé que le facteur de transfert était fortement lié au degré de surface de l'ouvrier entrant en contact avec la culture lors de l'activité. Une estimation de 5000 cm^2/heure pour le risque lié aux activités dans une culture de taille élevée semble raisonnable.

- L'autre approche utilise des données expérimentales obtenues lors de la cueillette de cultures ornementales. Elle est basée sur des cultures de taille élevée et ne considère aucune exposition significative autre que celle des mains et des avant-bras. Une valeur raisonnable d'exposition dermale qui peut être employée est 20 $(\text{mg}/\text{h})/(\text{kg}/\text{ha})$. Dans cette approche aucune autre estimation n'a besoin d'être faite sur le facteur de transfert ou l'indice de surface foliaire car ils sont incorporés dans les données. Avec cette approche, une estimation raisonnable du pire cas d'exposition par inhalation est de 0.2 $(\text{mg}/\text{h})/(\text{kg}/\text{ha})$.

V. Gestion du risque

5.1 / Stratégie de gestion du risque

Réduire le risque, par le biais de la toxicité des produits ou de l'exposition des travailleurs, nécessite une approche systématique ou une stratégie dans laquelle 4 niveaux peuvent être distingués par ordre d'action préférentielle :

- Le premier niveau est la **réduction ou l'élimination de la source de contamination**. Ceci peut être réalisé par substitution du pesticide par un pesticide moins dangereux. Le remplacement par un pesticide avec une dose d'application plus faible ou la substitution par une autre formulation, par exemple une poudre mouillable plutôt qu'une suspension concentrée ou une forme granulée peut permettre de réduire la source de contamination.
- Le second niveau consiste en la **réduction de l'exposition par le remplacement ou une modification des pratiques ou de l'équipement**. De plus, un passage en revue critique des méthodes de travail peut conduire à une amélioration vis à vis de la réduction de l'exposition. De nouvelles techniques d'application, par exemple les techniques plus mécanisées utilisant des volumes de pulvérisation plus faibles ne requérant pas la présence de l'applicateur au moment du traitement et l'automatisation du transport des plantes en pots sont des exemples de méthodes à développer. Brouwer et al. (1994) ont rapportés une réduction significative avec un système plus mécanisé de brises-motte pendant la cueillette des chrysanthèmes. Les techniques de lutte intégrée faisant intervenir des seuils d'intervention et des moyens de lutte alternatifs comme l'emploi d'auxiliaires des cultures sont des pratiques à développer car elles sont économiquement viables, particulièrement efficaces étant donné que la serre est un milieu clos et que les auxiliaires ne peuvent s'en échapper, et respectent la santé des professionnels.
- Le troisième niveau est lié à l'**organisation du travail et des pratiques**. Une réduction de la fréquence des applications va entraîner une exposition globale plus faible de l'applicateur de même qu'une réduction des quantités totales de résidus foliaires délogeables et donc du temps de réentrée des ouvriers. Parce qu'intervient une dissipation des résidus foliaires délogeables avec le temps, le délai de réentrée, c'est à dire la période entre le traitement et la réentrée, peut aussi être considéré comme un outil de gestion bien qu'elle ne puisse pas s'appliquer lorsque les cultures sont cueillies quotidiennement ou deux fois par jour. Le délai de réentrée peut être calculé par comparaison entre un niveau sûr de résidus foliaires délogeables déterminé par des paramètres toxicologiques, la courbe de dissipation de la matière active et la quantité initiale en résidus foliaires, établis en utilisant les formules précédemment citées. Favoriser les traitements le soir et en fin de semaine paraît être une méthode simple de réduction de l'exposition. Cette approche a été décrite en détail par Ross et Dong (1996, 1997). Le choix de la période de traitement est un outil simple et facile à mettre en oeuvre : réaliser les traitements en fin de soirée, lorsque les ouvriers quittent la serre, permet de garantir un délai de réentrée d'au moins 10 heures. Pour les techniques comme la fumigation, générant des quantités de résidus volatiles importantes, un traitement avant le week-end permet de garantir un délai de réentrée d'au moins 48 heures.

- Le dernier niveau est la **protection personnelle**. Malheureusement c'est parfois la seule possibilité du fait de sa facilité de mise en œuvre et de son faible coût. Cependant, un équipement de protection personnelle doit être adapté au risque encouru en terme de type et de localisation de l'exposition en particulier. Donc la nature et le niveau d'exposition doivent être connus pour choisir un équipement confortable et approprié. Brouwer et Van Hemmen (1994) ont présenté une approche pour la sélection d'un équipement de protection personnelle adapté pour les applicateurs de pesticides sous serres et les ouvriers lors de la réentrée.

5.2 / Recommandations concernant la limitation de l'exposition aux pesticides sous serres

5.2.1 / Recommandations générales

➤ **Conditions atmosphériques de la serres :**

- Maintenir la température de la serre autour de 20 à 25°C ;
- Ventiler la serre 2 heures avant la réentrée des ouvriers, en particulier après un traitement du volume de la serre ou l'utilisation d'une technique de traitement générant des aérosols ou des particules de faibles diamètres ;
- Maintenir la serre ouverte pendant que les ouvriers sont à l'intérieur.

➤ **Culture :**

Prendre en considération les caractéristiques de la culture (densité, hauteur) dans le choix de la protection des ouvriers (taux de transfert).

➤ **Choix des produits :**

- Opter pour des matières actives à :
 - basse tension de vapeur ;
 - faible toxicité ;
 - faible persistance ;
 - efficacité à faible dose ;
- Préférer les formulations granulées ou liquides.

➤ **Application :**

- Choix de la période de traitement pour assurer un délai de réentrée ;
- Choix de la technique d'application :
 - Quand les ouvriers doivent intervenir précocement après le traitement, choisir une technique d'application de bas volume générant (atomisation) peu de résidus délogeables et ventiler ;
 - Si les ouvriers entrent dans la serre précocement pour réaliser des activités sans entrer en contact avec la culture ou pour une production de plantes en pot alors une technique conventionnelle de fort volume associée à une ventilation est applicable.
 - Choisir des techniques qui permettent de réduire les doses comme l'atomisation électrostatique ;
 - Préférer les techniques d'application automatisées ;
- Traiter en reculant.

➤ **Délais de réentrée :**

Pour assurer des délais de réentrée sans interrompre le cycle de travail de récolte, il convient de traiter le soir pour la majorité des produits pour garantir un délai de réentrée de 12 heures par contre, pour les produits particulièrement toxiques ou persistants comme les insecticides organophosphorés ou le chlorothalonil, un délai de 24 heures semble un minimum et donc réaliser leur application le vendredi soir est recommandé.

La contamination par les résidus foliaires délogeables étant largement majoritaire, il convient d'établir les délais de réentrée en se concentrant sur l'exposition cutanée.

- Pour les techniques générant de fortes quantités de résidus délogeables : délai de 36 à 48 heures ;
- Pour les techniques générant de faibles quantités de résidus délogeables : 8 heures + ventilation.

➤ **Protection personnelle :**

- Préparateurs : Combinaison intégrale + gants en nitrile + masque + lunettes
- Applicateurs : Combinaison intégrale + gants en nitrile + bottes en caoutchouc + respirateur / masque
- Ouvriers / manipulateurs : Vêtements coton à manches longues + gants + masque si réentrée précoce

➤ **Autres :**

- Entretien et nettoyage du matériel de pulvérisation après l'application ;
- Rangement des outils hors de la zone en cours de traitement ;
- Formation du personnel sur les risques encourus vis à vis des pesticides et les mesures préventives.

5.2.2 / Importance de l'exposition et recommandations particulières en fonction de la technique d'application et de la fonction du travailleur

Conclusion

Les serres sont des milieux clos où l'application des pesticides résulte en des concentrations plus élevées et plus persistantes en résidus de pesticides pouvant conduire à une contamination importante des travailleurs sous serre. On distingue 2 types d'exposition : l'exposition cutanée, par contact pendant ou après l'application, et l'exposition des voies respiratoires par les résidus volatiles et les aérosols formés lors de l'application. Dans tous les cas, l'exposition cutanée est largement prédominante sur l'exposition par inhalation.

L'exposition par voies dermale et respiratoire est fonction de nombreux facteurs dont les conditions atmosphériques de la serre, la culture et le type de production, le produit et ses caractéristiques physico-chimiques, sa formulation et sa dose d'application, la technique d'application, caractérisée par le diamètre des gouttes et le temps de dépôt des produits, et la fonction des opérateurs, ce dernier facteur étant le plus déterminant.

La limitation de l'exposition cutanée des préparateurs et des applicateurs peut se réaliser par une modification et une amélioration permanente des pratiques de lutte phytosanitaire. Une protection personnelle adaptée au produit et à la technique d'application semble être la solution technique la plus simple et la moins onéreuse.

La protection des ouvriers entrant en contact avec une culture après un traitement phytosanitaire passe par le respect des délais de réentrée établis sur la base de données de persistance et de toxicologie des produits et de la méthode d'application. Le port de gants et de vêtements longs s'avère d'autant plus indispensable que l'opérateur manipule des plants traités pendant une longue période.

L'ouverture et la ventilation de la serre semblent être des mesures suffisantes pour abaisser les concentrations de résidus de pesticides dans l'air à des niveaux n'imposant pas le port de masque aux travailleurs.

Bibliographie

Aprèa C., Sciarra G., Sartorelli G., Centi L. et Ceccarelli F. (1999). Multiroute exposure assessment and excretion of urinary metabolites of fenitrothion during manual operations on treated ornamental plants in greenhouses. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* Vol.36, n°4, p.490-497. (Abstract)

Aprèa C., Sciarra G., Lunghini L., Centi L. et Ceccarelli F. (2001). Evaluation of respiratory and cutaneous doses and urinary excretion of alkylphosphates by workers in greenhouses treated with Omethoate, Fenitrothion and Tolclofos-Methyl. *AIHAJ*, Vol.62, p.87-95.

Archibald B.A., Solomon K.R., Stephenson G.R. (1994). Estimating pirimicarb exposure to greenhouse using video imaging. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* Vol.27, p.126-129.

Bjugstad N. et Torgrimsen T. (1996). Operator safety and plant deposits when using pesticides in greenhouses. *J. Agric. Engng. Res.*, Vol.65, p.205-212.

Brouwer D.H. et al. (1992). Pesticides in the cultivation of carnations in greenhouses. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, Vol.53, p.571-587.

Brouwer D.H. et al. (1992). Dissipation of aerosols from greenhouse air after application of pesticides using a low volume technique : Implications for safe re-entry. *Chemosphere*, Vol.24, p.1157-1169.

Brouwer D.H. et al. (1994). Exposure to pesticides during and after application in the cultivation of chrysanthemums in greenhouses. Health risk and risk management. *Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent.*, Vol.59, n°3b, p.1393-1401.

Brouwer D.H. et al. (1997). Half-lives of pesticides on greenhouse crops. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* Vol.58, p.976-984.

Brouwer D.H. et al. (2000). Determination of the efficiency for exposure reduction of protective clothing by biological monitoring in a field study. In "Advanced Methods to determine pesticide worker and residential exposure", ACS Symposium Series. *Am. Chem. Soc.*, Washington, DC.

Brouwer D.H. et al. (2000). Modelling re-entry exposure estimates : techniques and application rates. In "Worker exposure to agrochemicals".

Brouwer R. et al. (1992). Risk assessment of dermal exposure of greenhouse workers to pesticides after re-entry. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* Vol.23, p.273-280.

Brouwer R. et al. (1993). Skin contamination airborne concentrations and urinary metabolite excretion of propoxur during harvesting of flowers in greenhouses. *Am. J. Ind. Med.*, Vol.24, p.593-603.

Capri E. , Alberici R., Glass C.R., Minuto G. et Trevisan M. (1999). Potential operator exposure to procymidone in greenhouses. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* Vol.47, n°10, p.4443-4449. (Abstract).

Chauvel G. (1999). Travail sous serre et contamination par les produits phytosanitaires. *PHM Revue Horticole*, n°406, p.23-31.

Davies J.E., Freed V.H., Duncan R.C., Barquet A., Morgade C., Peters L.J. et Danauskas J.X. (1982). Reduction of pesticide exposure with protective clothing for applicators and mixers. *J. Occup. Med.*, Vol.24, p.464-468.

De Vreede J.A.F., De Haan M., Brouwer D.H., Van Hemmen J.J. et De Kort W.L.A.M. (1996). Exposure to pesticides. Part III. Application to chrysanthemums in greenhouses. *Report S-131-4, Ministry of social affairs and employment, The Hague, The Netherlands.*

Egea Gonzalez F.J. et al. (1999). Pesticides in greenhouse air. In "Human and environmental exposure to xenobiotics. *Proceedings of the XI Symposium Pesticide Chemistry*, Cremona, Italy, 11-15 September 1999. (Abstract)

Faucon C. (1998). Bibliographie sur l'exposition aux produits phytosanitaires sous serre. *SRPV*.

Fenske R.A., Hamburg S.J. et Guyton C.L. (1987). Occupational exposure to Fosetyl-Al fungicide during spraying of ornamentals in greenhouses. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* Vol.16, p.615-621.

Fenske R.A. (1990). Nonuniform dermal deposition patterns during occupational exposure to pesticides. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* Vol.19, p.332-337.

Gay J-B. (2001). Degrés d'exposition et risques liés à l'application des produits phytosanitaires sous serre. Rapport d'étude. Ecole Supérieure d'Agriculture de Purpan.

Giles D.K., Welsh A., Steinke W.E., Saiz S.G. (1995). Pesticide inhalation exposure, air concentration and droplet size spectra from greenhouse fogging. *Transactions of the ASAE*, Vol.38, p.1321-1326.

Glass C.R. et al. (1999). Potential operator exposure in southern European greenhouses and orchards. In "Human and environmental exposure to xenobiotics. *Proceedings of the XI Symposium Pesticide Chemistry*, Cremona, Italy, 11-15 September 1999. (Abstract)

Goedicke H.J. (1987). *Z. Ges. Hyg.*, Vol.33, p.339-342.

Goedicke H.J. (1988). *Z. Ges. Hyg.*, Vol.34, p.279-282.

Goedicke H.J. (1988). *Nahrung*, Vol.5, p.475-480.

Goedicke H.J. (1988). *Nahrung*, Vol.6, p.565-570.

Goedicke H.J. et al. (1989). *Z. Ges. Hyg.*, Vol.35, p.531-535.

Hagmann M., Rade-Schinke S., Grothus B., Schmidt K.D. et Offenbacher G. (1999). Analysis of pesticide residues on cut flowers as the basis of an assessment regarding florist exposure. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes*, Vol.51, n°6, p.146-151.

- Jauhiainen A., Kangas J., Laitinen S. et Savolainen K. (1992). Biological monitoring of workers exposed to mevinphos in greenhouses. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* Vol.49, p.37-43.
- Jongen M.J.M., Engel R. et Leenheers L.H. (1992). Assessment of dermal exposure of greenhouse workers to the pesticide Bupirimate. *Journal of Analytical Toxicology*, Vol.16, p.60-62.
- Kangas J., Laitinen S., Jauhiainen A. et Savolainen K. (1993). Exposure of sprayers and plant handlers to mevinphos in Finnish greenhouses. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, Vol.54, p.150-157.
- Krieger R.I., Ross J.H. et Thongsinthusak T. (1992). Assessing human exposure to pesticides. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* Vol.129, p.1-15.
- Lander F., Pike E., Hinke K., Brock A. et Nielsen J.B. (1992). Anticholinesterase agents uptake during cultivation of greenhouse flowers. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* Vol.22, p.162-169.
- Liesivuori J., Lihkkonen S. et Pirhonen P. (1988). Re-entry intervals after pesticide application in greenhouses. *Scand. J. Environ. Health*, Vol.14, p.35-36.
- Linquist R.K., Krueger H.R. et Powel C.C. (1987). Airborne and surface residues of permethrin after high – and low-volume applications in greenhouses. *J. Environ. Sci. Health*, Vol. B22, p15-27.
- Linquist R.K., Powel C.C. et Hall R.F. (1993). Glasshouse treatment. In “Application technology for crop protection”. p.275-290.
- Machera K., Kapetanakis E., Charistou A., Goumenaki E. et Glass R.C. (2002). Evaluation of potential dermal exposure of pesticide spray operators in greenhouses by use of visible tracers. *J. Environ. Sci. Health*, Vol. B37, n°2, p113-121.
- Martinez Vidal J.L., Egea Gonzalez F.J., Garrido Frenich A., Martinez Galera M., Aguilera P.A. et Lopez Carrique E. (2002). Assessment of relevant factors and relationships concerning human dermal exposure to pesticides in greenhouse applications. *Pest Management Science*, Vol.58, p784-790.
- Methner M.M. et Fenske R.A. (1994). Pesticide exposure during greenhouse applications. Part I. Dermal exposure reduction due to directional ventilation and worker training. *Appl. Occup. Environ. Hyg.*, Vol.9, p.560-566.
- Morse D.L., Baker E.L. et Landrigan P.J. (1979). Cut flowers : a potential pesticide hazard. *Am. J. Public Health*, Vol.69, p.53-56.
- Nigg H.N., Brady S.S. et Kelly I.D. (1992). Dissipation of foliar dislodgeable residues of bendiocarb following application to azaleas. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* Vol.48, p.416-420.
- Nigg H.N., Stamper J.H., Easter E. et DeJonge J.O. (1993). Protection afforded greenhouse pesticide applicators by coveralls : a field test. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* Vol.25, p.529-533.

- Perez C. et Soderholm S.C. (1991). Some chemicals requiring special consideration when deciding whether to sample the particle, vapor or both phases of an atmosphere. *Appl. Occup. Environ. Hyg.*, Vol.6, p.859-864.
- Roosels D., Van Den Oever R. et Lahaye D. (1981). Dangerous concentrations of Methyl6bromide used as a fumigant in belgian greenhouses. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, Vol.48, p.243-250.
- Saiz S.G., Blewett T.C., Haskell D. et Margetich S. (1992). Florist hand exposure to pesticides. HS-1642, Cal-EPA, Sacramento.
- Siebers J; et Mattusch P. (1996). Determination of airborne residues in greenhouses after application of pesticides. *Chemosphere*, Vol.33, n°8,p.1597-1607.
- Stephanou E. et Zourari M. (1989). Exposure to pesticides in greenhouses : determination of airborne residues and surface deposition. *Toxicological and Environmental Chemistry*, Vol.25, p.17-27.
- Stephenson G.R., Ritcey G.M. (1999). Dislodgeable Foliar Residues of Pesticides in Agricultural, Landscape and Greenhouse Environments. In "Occupationnal Hazards of Pesticide Exposure : Sampling, Monitoring, Measuring". p.51-80.
- Sturbaut W., Dejonckheere W. et Drieghe S. (1995). Pesticide residues after aerial application in greenhouses. *Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent.*, Vol.60, n°2b, p.599-609.
- Van Hemmen J.J., Brouwer D.H. et De Cock J.S. (2001). Greenhouse and mushroom house exposure. In "*Handbook of pesticides toxicology, Vol.1 Principles*".
- Veerman et al. (1994). Exposure to pesticides. Part IV. The harvesting of chrysanthemums in greenhouses. *S-131-5, Ministerie van SZW, The Hague, The Netherlands*.
- Williams D.T. (1978). Dissipation of sulfotep and nicotine in a greenhouse atmosphere following their use as fumigants. *J. Environ. Sci. Health*, Vol. B13, p.235-241.
- Williams D.T., Denley H.V., Lane D.A. (1980). On site determination of sulfotep air levels in a fumigating greenhouse. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, Vol.41, p.647-651.
- Williams D.T., Denley H.V., Lane D.A. et Quan E.S.K. (1982). Real time monitoring of methomyl air levels during and after spraying in a greenhouse. *American Industrial Hygiene Association*, Vol.43, p.190-195.
- Zweig G., Leffingwell J.T. et Popendorf W.M. (1985). The relationship between dermal exposure by fruit harvesters and dislodgeable foliar residues. *J. Environ. Sci. Health*, Vol. B20, p27-59.