



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
Formation des ingénieurs du Génie
Sanitaire
2001-2002

**ELEMENTS D'EVALUATION DE L'EXPOSITION DES
HABITANTS DU VIGNOLE NANTAIS AUX
PESTICIDES PRESENTS DANS L'ATMOSPHERE**

Présenté par :

Adeline BARNEAUD
Ingénieur ENSCR

Lieu de stage :

DRASS des Pays de Loire

Accompagnant professionnel :

M. Bernard PIRIOU, DRASS

Référent pédagogique :

Mme Odile BOUTOU

« L'École Nationale de la Santé Publique n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les mémoires : ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs. »

Remerciements

Je remercie, pour leur disponibilité et leur contribution à la réalisation de ce mémoire :

M. B. PIRIOU, ingénieur du génie sanitaire, et toutes les personnes du Service Santé-Environnement de la DRASS des Pays de Loire.

Mme O. BOUTOU, épidémiologiste, Département EGERIS, ENSP

M. JL BROSSEAU et M^{me} N. BROCHARD, conseillers viticoles, Chambre d'Agriculture de Loire Atlantique.

M. F. DUCROZ, ingénieur d'études, Air Pays de Loire

M. L. FILLEUL, épidémiologiste, InVS, Bordeaux

Pr. J. MORVAN, professeur en chimie de l'environnement, Laboratoire CNGE, ENSCR

M^{me} L. HERAULT VISSET, chargée de mission, Syndicat mixte du Pays du Vignoble Nantais

Dr. D. VANDEWEGE, Médecin du travail, Mutualité Sociale Agricole de Loire-Atlantique

Le département EGERIE, ENSP

Le laboratoire LERES, ENSP

Dr M. PRAT, Médecin de Santé Publique, DDASS 44

Mme MASSINON, Services statistiques de la DRASS des Pays de Loire

M. E. BROWN, Director of Environmental Programms, University of Northern Iowa (pour son aide à distance)

Résumé

La vigne est une culture fragile qui induit l'utilisation de nombreux produits phytosanitaires, principalement des fongicides, au cours d'une dizaine de traitements réalisés principalement de mai à août. Étant donnés les transferts de pesticides vers l'atmosphère lors de la pulvérisation des produits et la proximité entre les habitations et les cultures, la question de l'exposition des populations est posée. Puisque les pesticides, de part leur nature même présentent une certaine toxicité, l'hypothèse de l'existence d'un risque pour la santé des populations générales qui seraient exposées est avancée.

De nombreuses études sont actuellement en cours pour augmenter la précision de l'estimation de l'exposition et des connaissances concernant les effets des pesticides sur la santé. Cependant en raison de la multitude des substances actives et formulations commerciales sur le marché, de leurs évolutions incessantes et des difficultés analytiques, beaucoup de questions sont en suspend et plusieurs problèmes restent non résolus, créant notamment quelques entraves à l'évaluation des expositions.

Cette étude réalise la synthèse des informations à disposition et des connaissances scientifiques actuelles permettant l'évaluation de l'exposition, via l'air, des habitants du vignoble nantais aux pesticides pulvérisés en viticulture. Une approche de l'exposition dans le vignoble est réalisée.

Les pesticides appliqués dans le vignoble, une quarantaine environ, sont identifiés et caractérisés. Une analyse des caractéristiques physico-chimiques des substances actives confrontée à la littérature permet d'émettre des hypothèses quant au comportement de certains composés dans l'atmosphère (aptitude à se volatiliser, phase...). Ces résultats devront toutefois être vérifiés par des analyses et expériences. Le folpel apparaît alors comme une substance à considérer particulièrement, en raison, en outre de sa toxicité mise en lumière au cours de l'étude des dangers inhérents aux pesticides utilisés dans le vignoble. Les voies d'exposition et méthodes d'évaluation directes (surveillance individuelle, biomonitoring) et indirectes (enquêtes, modèles...) sont ensuite répertoriées et discutées avant l'identification et la caractérisation des populations du vignoble principalement exposées et des populations à risque. Onze communes sont alors identifiées comme étant des zones principalement exposées. Après discussion des résultats, face à l'insuffisance des connaissances scientifiques et aux difficultés d'accès à certaines informations, qui ne permettent pas actuellement l'évaluation précise de l'exposition, des mesures de prévention sont proposées.

Abstract

Winegrowing is a delicate culture, which requires the use of many pesticides, mainly fungicides. It is known that during treatments and after, some of the pesticides break up into the atmosphere instead of reaching the grapevine. Those pesticides can be moved away.

In the vineyard around Nantes, houses are really close to the cultures. This proximity is the main reason to the probable exposure of the population. Measurements of pesticides in the atmosphere started, and the aim of this work is to figure out if all elements are available to evaluate people exposure and eventually the risk assessment.

In this study, pesticides used in the vineyard are identified and characterised. We try to figure out their evolution in the atmosphere and to approach the evaluation of exposure. Some factors of the evaluation of people exposure in the vineyard of Nantes, which are available are presented. Eleven villages seems to be more exposed than the others.

All the results are discussed and because quantification of exposure is still difficult by the lack of scientific knowledge and some information are difficult to obtain, prevention measures are finally suggested

Sommaire

INTRODUCTION.....	1
1 - CARACTÉRISATION DU VIGNOBLE NANTAIS ET DES PRODUITS PHYTOSANITAIRES UTILISÉS.....	3
1.1 LE VIGNOBLE NANTAIS.....	3
1.1.1 <i>Présentation géographique.....</i>	3
1.1.2 <i>Principaux acteurs de la viticulture du vignoble nantais.....</i>	3
1.2 LES PESTICIDES UTILISÉS DANS LE VIGNOBLE NANTAIS : IDENTIFICATION ET FRÉQUENCE D'UTILISATION. 4	
1.2.1 <i>Les fongicides</i>	4
1.2.2 <i>Les insecticides</i>	6
1.2.3 <i>Les herbicides</i>	7
1.2.4 <i>Bilan</i>	7
1.3 LES DANGERS INHÉRENTS AUX SUBSTANCES ACTIVES APPLIQUÉES SUR LE VIGNOBLE.....	8
1.3.1 <i>Généralités.....</i>	8
1.3.2 <i>Identification des dangers spécifiquement liés à l'exposition dans le vignoble.</i>	10
2 - LA CONTAMINATION POSSIBLE DE L'ATMOSPHÈRE PAR LES PESTICIDES	12
2.1 ETAT DES CONNAISSANCES SUR LES PHÉNOMÈNES DE CONTAMINATION DE L'ATMOSPHÈRE PAR LES PESTICIDES.....	12
2.1.1 <i>L'entrée des produits phytosanitaires dans l'atmosphère.....</i>	12
2.1.2 <i>Le devenir des molécules dans l'atmosphère : dispersion et transformations</i>	14
2.2 OUTILS ET MÉTHODES POUR UNE APPROCHE DANS LE VIGNOBLE.....	16
2.2.1 <i>Sources et bases de données.....</i>	16
2.2.2 <i>Méthode d'application</i>	16
2.3 INTERPRÉTATION ET RÉSULTATS.....	16
2.3.1 <i>L'entrée des insecticides et anti-mildiou dans le compartiment atmosphère</i>	16
2.3.2 <i>Le devenir des molécules dans l'atmosphère.....</i>	18
2.3.3 <i>Exemple de répartition d'un pesticide entre l'eau de pluie, le brouillard et le gaz</i>	20
2.3.4 <i>Conclusion</i>	20
3 - L'EVALUATION DE L'EXPOSITION DANS LE VIGNOBLE.....	22
3.1 LA DETERMINATION DES VOIES D'EXPOSITION.....	22
3.1.1 <i>La prédominance de certaines voies d'exposition.....</i>	22
3.1.2 <i>L'absorption des molécules par inhalation.....</i>	22
3.1.3 <i>L'absorption cutanée.....</i>	23

3.1.4	<i>L'ingestion</i>	23
3.2	L'EVALUATION DE L'EXPOSITION	24
3.2.1	<i>L'évaluation indirecte</i>	24
3.2.2	<i>Avantages et limites de ces méthodes indirectes</i>	26
3.2.3	<i>Les mesures directes de l'exposition</i>	27
3.3	IDENTIFICATION ET CARACTÉRISATION DES POPULATIONS EXPOSÉES DANS LE VIGNOBLE.....	27
3.3.1	<i>Classification des groupes de population exposés</i>	27
3.3.2	<i>Outils et méthodes pour l'étude dans le vignoble</i>	28
3.3.3	<i>Détermination théorique de zones particulièrement exposées</i>	29
3.3.4	<i>Identification des populations à risques et très exposées</i>	30
3.3.5	<i>Calcul de doses absorbées</i>	33
4 -	DISCUSSION ET MESURES PROVISOIRES DE GESTION	36
4.1	LE POINT SUR L'ÉVALUATION DE L'EXPOSITION DANS LE VIGNOBLE.....	36
4.1.1	<i>Bilan des résultats de l'étude et limites</i>	36
4.1.2	<i>L'existence d'autres facteurs à prendre en compte</i>	38
4.2	QUELQUES MESURES DE GESTION PRÉVENTIVES POUR LIMITER L'EXPOSITION.....	39
4.2.1	<i>L'information et la prévention</i>	39
4.2.2	<i>Le rôle des maires</i>	40
4.2.3	<i>L'action possible des professionnels</i>	40
4.2.4	<i>La vigilance des particuliers</i>	41
	CONCLUSION	42
	BIBLIOGRAPHIE	45
	LISTE DES ANNEXES	48

Liste des sigles utilisés

AM : Anti-mildiou

AOC : Appellation d'Origine Contrôlée

CL50 : Concentration létale 50

DDASS : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales

DL50 : Dose létale 50

DJA : Dose journalière admissible

DRASS : Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales

DME0 : Dose Minimale pour un Effet Observé

DRf : Dose de référence

DSEO : Dose sans effet observé (= NOEL)

EFH: Exposure factor Handbook

ETU: Ethylene thio urée

HAP: Hydrocarbure aromatique polycyclique

HSDB: Hazardous Substances Databank, produite par la National Library of Medicine, USA

I: Insecticide

IARC: International Agency for research on Cancer

INAO : Institut National des Appellations d'Origine

INRA : Institut National de Recherche Agronomique

IPCS : International Programme on Chemical Safety

IRIS : Integrated Risk Information System, produite par l'US EPA

K_h : Constante de Henry

nc : non connu

nd : non détecté

ORS : Observatoire Régional de Santé de Bretagne

POS : Plan d'Occupation des Sols

PRQA : Plan Régional de la Qualité de l'Air

SRPV : Service Régional de la Protection des Végétaux

TGA: Therapeutic Goods Administration

VDQS : Vin de Qualité Supérieure

Glossaire

1- Aérosol : Suspension de petites particules solides ou de petites gouttelettes dans du gaz ou de la vapeur.

2- Constante de Henry : Elle caractérise l'aptitude d'une substance active en solution à se volatiliser. Elle s'exprime en Pascal / m³ / mole.

3- Diamètre aérodynamique : Pour une particule, c'est le diamètre d'une sphère équivalente qui aurait le même comportement dans l'air que la particule.

4- Doses de matière active homologuées par hectare : Quantité de matière active à épandre par hectare lors d'un traitement pour une efficacité optimale.

5- DRf : Dose journalière de référence. C'est la dose sous laquelle les risques sont considérés comme négligeables. Elle correspond à la DMEQ à laquelle on a appliqué des facteurs d'incertitude, de sécurité ou de protection.

6- LC50 : Concentration dans l'air d'un produit actif qui, administré en une dose unique (généralement 1h ou 4h) va tuer 50% des sujets. La voie d'exposition est l'inhalation.

7- LD50 : Quantité de matière active qui, administrée en une seule fois, par ingestion ou voie cutanée, entraîne la mort de 50% des animaux traités

8- Système endocrinien : Désignation collective des tissus capables de sécréter des hormones. Il comprend l'hypophyse, la thyroïde et les parathyroïdes, le pancréas, les testicules ou ovaires et les glandes surrénales.

9- Tension de vapeur : Elle caractérise l'aptitude d'une substance active à se volatiliser. Elle est exprimée en Pascal (Pa), autrefois en millimètres de mercure (101325 Pa = 1 atmosphère = 760 mm Hg).

Remarque : Notons que l'expression « produits phytosanitaires » signifie « pesticides ». C'est la dénomination que donnent plus particulièrement les firmes qui fabriquent et vendent les pesticides à leurs produits.

INTRODUCTION

La région des Pays de la Loire est la deuxième région agricole de France. Elle abrite, entre autres, de nombreuses zones viticoles dont le vignoble nantais qui constitue le berceau de la production des vins d'appellation Muscadet et Gros-Plant.

En raison de la fragilité de la vigne vis à vis des champignons notamment, la viticulture nécessite l'utilisation de multiples produits phytosanitaires pulvérisés de mai à août au cours de plusieurs traitements.

Récemment, l'existence de transferts des pesticides vers l'atmosphère a été mise en évidence, grâce entre autre à la découverte de certains d'entre eux au-dessus de zones dénuées d'activités agricoles telles que l'Arctique [24]. Jusqu'à 90% des produits épandus pourraient être perdus dans l'air environnant les zones traitées au cours des épandages et les jours suivants [17]. Etant donné la proximité des habitations et des plantations au sein du vignoble nantais, il est alors probable que la population sera exposée aux pesticides via l'atmosphère.

De par leur nature même, les pesticides présentent des dangers pour la santé, ce qui induit de nombreuses interrogations quant aux risques sanitaires éventuels qu'ils présentent pour les populations. L'évaluation de l'exposition est une étape nécessaire pour pouvoir caractériser le risque et augmenter la précision des études épidémiologiques. Cependant, étant donné la multiplicité des produits utilisés, cette mesure est complexe et la prise en compte récente du problème induit que beaucoup d'études sont actuellement en cours. Notamment, une campagne de mesure des pesticides dans l'air a été lancée à titre expérimental dans le vignoble nantais, cette saison, par l'organisme de surveillance de la qualité de l'air de la région, Air Pays de Loire.

Le but de l'étude est ici de faire le bilan des éléments à disposition et des connaissances disponibles qui permettraient d'évaluer l'exposition des habitants du vignoble nantais aux produits phytosanitaires, via l'air. Quelques données actuelles sur les dangers inhérents aux pesticides utilisés dans le vignoble seront également présentées pour information et dans l'expectative de réaliser à terme une évaluation des risques liés aux pesticides pulvérisés dans le vignoble.

Selon la définition de l'US EPA, l'exposition à un produit chimique est le contact de ce produit chimique avec la peau et les orifices du corps humain. Ce contact est évalué quantitativement et qualitativement en considérant l'intensité, la fréquence, le temps de contact, les voies d'exposition, le flux, la dose reçue et la dose absorbée [18].

La Commission Européenne définit quant à elle l'estimation de l'exposition comme étant à la fois la définition des émissions, du transfert et des flux d'une substance ainsi que ses transformations ou dégradation, dans le but d'estimer les concentrations et doses auxquelles sont soumis l'environnement et les individus. [9]

Afin de déterminer complètement l'exposition des populations, il est donc nécessaire de connaître :

- Les produits utilisés et leurs quantités
- La dispersion des produits dans l'atmosphère
- Les voies et mode d'exposition et les populations exposées.

La connaissance des méthodes d'évaluation de l'exposition est également nécessaire en vue de leur application.

Pour chacun de ces points, la bibliographie existante sera examinée et quelques personnes ressources interrogées. Quelques connaissances générales seront extrapolées et appliquées au cas du vignoble en vue d'avoir une première approche de l'exposition des habitants du vignoble nantais aux pesticides pulvérisés en viticulture et présents dans l'air. Les résultats seront discutés et quelques mesures de prévention proposées.

1 - CARACTERISATION DU VIGNOBLE NANTAIS ET DES PRODUITS PHYTOSANITAIRES UTILISES

1.1 LE VIGNOBLE NANTAIS

1.1.1 Présentation géographique

Le vignoble nantais, est principalement situé au sud du département de Loire Atlantique avec, néanmoins autour d'Ancenis, des vignes sur les deux rives de la Loire. Il déborde vers l'est sur quelques communes du Maine & Loire et au sud sur quelques communes de Vendée. (cf. annexe 1)

La surface en vigne est proche de 16 000 ha, et est divisée en 1318 exploitations de tailles variables. Trente cinq pour-cent d'entre elles occupent moins de 5 ha et sept pour-cent s'étendent sur plus de 30 ha. La production principale correspond à l'appellation Muscadet ou au VDQS Gros-Plant du Pays Nantais. A cela s'ajoutent quelques vins de Pays [28] (cf. annexe 2).

Le syndicat de Pays du vignoble nantais compte 116000 habitants répartis sur 34 communes. [36]

1.1.2 Principaux acteurs de la viticulture du vignoble nantais

1.1.2.1 Les viticulteurs

Les principaux acteurs sont les viticulteurs, parmi lesquels figurent non seulement les chefs d'exploitation mais aussi leur conjoint actif et leurs familles ainsi que les salariés et saisonniers. Ils sont au nombre de 3078 équivalents temps plein (cf. annexe 3) [28].

1.1.2.2 Les conseillers viticoles de la Chambre d'Agriculture

Un de leurs rôles est d'informer les viticulteurs du vignoble sur la nature et la période de réalisation des traitements à effectuer. En outre, ils encadrent des activités de développement et d'essais sur le terrain et ont un rôle de conseil auprès de tous les actifs viticoles.

1.1.2.3 Le Service Régional de la Protection des Végétaux

Le SRPV réalise entre autre, au niveau régional un avertissement agricole au sujet des bonnes pratiques liées aux pesticides. Il a en outre la responsabilité de l'accréditation des applicateurs et du contrôle des produits phytosanitaires.

1.2 LES PESTICIDES UTILISES DANS LE VIGNOBLE NANTAIS : IDENTIFICATION ET FREQUENCE D'UTILISATION.

La viticulture comme l'arboriculture est une culture fragile qui nécessite une fréquence de traitements importante (jusqu'à 14 traitements par saison de mai à septembre). Il n'est pas possible à ce jour d'avoir accès aux tonnages exacts de produits phytosanitaires utilisés dans le vignoble. En revanche, des quantités approximatives d'application de chaque produit ont pu être obtenues auprès des conseillers viticoles de la Chambre d'Agriculture de Loire-Atlantique. Ces informations, croisées avec les doses de matière active homologuées⁴ par hectare, permettent de déterminer les substances actives utilisées en quantités importantes. Par ailleurs, les principaux fournisseurs de produits phytosanitaires dans le vignoble sont répertoriés en annexe 3.

1.2.1 Les fongicides

Les maladies principalement rencontrées sont les maladies du bois (esca, excoříose) et les maladies des feuillages et des grappes, essentiellement des champignons (mildiou, botrytis, oïdium). La fragilité de la culture nécessite l'utilisation massive de fongicides (une dizaine de traitements par an au total) [7].

1.2.1.1 Les anti-mildiou

Il existe trois principaux types de fongicides pulvérisés lors des traitements viticoles. Les plus utilisés sont les anti-mildiou épandus au cours de 5 à 7 traitements par an. Dans le vignoble nantais les substances actives servant principalement pour la lutte contre ce champignon sont le foséthyl d'aluminium, le folpel et le métirame de zinc, auxquelles s'ajoutent sept autres substances présentées dans le tableau 1.

Substance active	Famille chimique	Produit commercial
Azoxystrobine	strobilurine	QUADRIS DUO®
Cuivre	-	REMELTRINE C®, CUPROFIX®, PROBAN®, AVISO CUP®
Cymoxanil	amide	COPROL®, QUADRIS DUO®, EQUOTIONPRO®, VALIANT®, DUTEOR®, REMULTRINE®, AVISO DF®, REMULTINE C®, AVISO CUP®
Diméthomorphe	dérivé de l'acide cinnamique	PANTHÉOS®, ACROBAT®

Substance active	Famille chimique	Produit commercial
Famoxadone	oxazolidine	EQUATION PRO®
Folpel	dicarboximide phtalimide	DUTEOR®, PANTHÉOS®, CALTAN®, MIKAL®, PROBAN®, VALIANT®
Foséthyl d'aluminium	monoéthyl phosphate métallique	MIKAL®, SILLAGE®, PROBAN® VERITA®, IMPROSARIO®, VALIANT®
Mancozèbe	dithiocarbamate	REMULTINE®, REMULTINE C®, EPERON®, ACROBAT®, CUPROFIX®
Manèbe	dithiocarbamate	CUPROFIX®
Métirame de Zn	dithiocarbamate	SILLAGE®, AVISO® CUP®

Tableau 1 : Substances actives anti-mildiou utilisées dans le vignoble nantais en 2002. Les substances en gras sont les plus utilisées. Source :Chambre d'Agriculture de Loire Atlantique

La famille chimique la plus représentée est celle des dithiocarbamates. Il semble que le métirame de zinc soit aujourd'hui plus utilisé que le manèbe.

Le foséthyl d'aluminium est contenu dans trois produits très utilisés dans le vignoble, à savoir le Mikal®, le Sillage® et le Valiant®. Lors de l'application de chacun de ces produits, cette substance active est épandue en quantité supérieure à 1400g/ha.

De grandes quantités de folpel sont également employées car il est l'un des produits actifs au sein de nombreuses formulations et est appliqué à des doses élevées (> 400g/ha).

1.2.1.2 Les anti-oïdium

Les traitements anti-oïdium ont lieu deux à trois fois par an. Les molécules actives sont présentées dans le tableau suivant :

Substance active	Famille chimique	Produit commercial
Difenoconazole	Triazole	SCORE®
Fluzilazole	Triazole	OLYMP®
Hexaconazole	Triazole	ANVIL®
Quinoxifen	Phénoxy quinoléine	LEGEND®
Soufre	-	
Tebuconazole	Triazole	CORAIL®

Tableau 2 : Substances actives anti-oïdium utilisées dans le vignoble nantais en 2002. Les substances en gras sont les plus utilisées

Ce sont principalement des triazoles. L'hexaconazole est utilisé dans de nombreuses exploitations, à des doses de 20 g de matière active par hectare. Par ailleurs, le soufre est épandu par de nombreux viticulteurs à raison de 40 g/ha.

D'une manière générale, les quantités d'anti-oïdium appliquées sont très inférieures aux quantités d'anti-mildiou.

1.2.1.3 Les anti-botrytis

Les traitements anti-botrytis ont lieu en moyenne 1 à 2 fois par an avec les molécules figurant dans le tableau 3.

Substance active	Famille chimique	Produit commercial
Cyprodinil	Pirimidiamine	SWITCH®
Fenhexamid	Hydroxyanalide	TELBOR®
Fluazinam	Pyrimidine	SEKOYA®
Fludioxonil	Phénylpyrrole	SWITCH®
Procymidone	Dicarboximide	SUMISCLEX®
Pyriméthanil	Pyridine	SCALA®

Tableau 3 : Substances actives anti-botrytis utilisées dans le vignoble nantais en 2002.
Les substances en gras sont les plus utilisées

Les préparations commerciales couramment utilisées sont appelées Telbor® et Switch®. La première contient le fenhexamid dont la dose homologuée est de 750g/ha. La seconde contient un mélange de fludioxonil et de cyprodinil (350 g/ha et 400g/ha). Ces trois substances semblent donc utilisées principalement dans le vignoble.

1.2.2 Les insecticides

Les vignes sont parasitées par les vers de la grappe et les accariens dont la destruction nécessite l'utilisation, toutefois modérée (1 à 2 traitements par ans) d'insecticides. Les insecticides, principalement des organophosphorés, pyréthrinoides et dérivés d'urée présentés dans le tableau 4.

Substance active	Famille chimique	Produit actif
Flufenoxuron	Acylurée	CASCADE
Lufenuron	Benzoyl-urée	FUORO, LUFOX
Fénoxicarbe	Carbamate	LUFOX
Lambda cyhalothrine	Pyréthrinocide	KARATE
Chloropyriphos éthyl	Organophosphoré	DURSBAN
Chloropyriphos-méthyl	Organophosphoré	CRESUS
Parathion méthyl	Organophosphoré	PENNCAP, CAP HORN
Deltaméthrine	Pyréthrinocide	CRESUS, DECIS
Quinalphos	Organophosphoré	EKALUX
Fénitrothion	Organophosphoré	PILIER

Tableau 4 : Substances actives insecticides utilisées dans le vignoble nantais en 2002.
Les substances en gras sont les plus utilisées

Environ 70% des épandages réalisés dans le vignoble utilisent les trois produits Cascade®, Fuoro® et Lufox®. Les substances actives correspondant à ces formulations sont le flufenoxuron (40g/ha), le lufenuron (50g/ha pour le Fuoro® et 30g/ha pour le Lufox®) et le fenoxycarbe (75g/ha).

L'usage du parathion méthyl et du chloropyriphos éthyl est plus restreint, ils sont aujourd'hui vraisemblablement utilisés par un moins grand nombre de viticulteurs, mais leur dose de matière active préconisée par traitement est plus élevée que celle des autres insecticides. Elles sont de 300g/ha et 285 g/ha, respectivement. En conséquence, ces deux substances figurent parmi les actifs insecticides épandus en grande quantité. Notons que, l'utilisation d'un bacille (*Bacillus Thuringiensis*) est récente et représente peut-être une solution biologique bien que les conséquences sanitaires, sur l'asthme notamment, soient encore mal connues.

1.2.3 Les herbicides

Ils sont généralement appliqués au cours d'un traitement en début de saison. Il semble que leur mode d'épandage ne les prédispose pas à rejoindre l'atmosphère (Ceci devra cependant être confirmé par des mesures dans l'air). Ils ne seront donc pas pris en compte dans la suite de l'étude, par nécessité de sélection des molécules les plus susceptibles de contaminer l'air du vignoble. Nous citerons simplement pour information que sont utilisés le diuron, le glyphosate, le sulfosate, l'aminotriazole et le glufosinate d'ammonium. Le diuron, cependant bientôt interdit est progressivement remplacé par le florasulfuron et la flumioxanine. Notons que les herbicides devraient être de moins en moins utilisés puisque certains exploitants commencent à pratiquer la culture sur vignes enherbées.

1.2.4 Bilan

Il semble que les **matières actives utilisées en quantité les plus importantes dans le vignoble soient le fosétyl d'aluminium et le folpel**. Cette abondance est induite à la fois par la fréquence des traitements anti-mildiou et les doses appliquées à chaque passage.

Concernant les familles chimiques, les actifs anti-mildiou sont principalement des dithiocarbamates (mancozèbe, manèbe, métirame de zinc), les anti-oïdium sont principalement des triazoles et de nombreux pesticides organophosphorés et dérivés d'urée sont toujours utilisés comme insecticides.

Certaines substances actives épandues sur le vignoble n'ont été mises sur le marché que très récemment. C'est le cas du fluaziname, enregistré par l'US EPA en août 2001 ou du fenhexamid enregistré en mai 1999. D'autres n'étaient pas utilisées dans le vignoble il y a deux ans et ne le sont que depuis peu, à savoir, le dimétomorphe, la famoxadone, le quinoxifen et le lufenuron. L'exposition à ces substances est donc récente, d'où le manque de recul pour pouvoir caractériser le risque.

1.3 LES DANGERS INHERENTS AUX SUBSTANCES ACTIVES APPLIQUEES SUR LE VIGNOBLE

Dans l'objectif d'une évaluation ultérieure des risques, puisque ces derniers n'existent que s'il y a exposition à des substances dangereuses, il est utile de connaître les dangers inhérents aux pesticides. Quelques dangers connus sont présentés ci-dessous. Par ailleurs, des informations précises sur l'état actuel des connaissances concernant les effets chroniques des pesticides sur la santé sont disponibles dans un document publié par l'Observatoire Régional de Santé de Bretagne (ORS). [29]

1.3.1 Généralités

Les pesticides actuellement sur le marché correspondent à une très large gamme de produits, présentant d'importantes différences dans leur mode d'action, leur fixation par l'organisme, leur métabolisme, leur excrétion et leur toxicité pour l'Homme. Certains pesticides présentent une toxicité aiguë mais sont facilement métabolisés ou éliminés : le principal risque est alors lié aux expositions massives de courte durée. D'autres produits sont plutôt dotés d'une faible toxicité aiguë mais possèdent une très nette tendance à s'accumuler dans les organismes (bioaccumulation), le principal risque est alors lié à une exposition prolongée, même à des doses faibles. D'autres, enfin sont rapidement éliminés de l'organisme mais exercent des effets biologiques persistants, de sorte que là aussi, il existe un risque en cas d'exposition prolongée à de faibles doses. [6]

1.3.1.1 L'intoxication aiguë

Les valeurs de toxicité aiguë sont les plus connues. Pour qu'un produit soit homologué, sa toxicité aiguë est mesurée de façon normalisée par expérimentation sur des animaux de laboratoire. La notion retenue est la dose létale 50 (DL50⁷ ou CL 50⁶). Plus cette dernière est basse, plus le produit est dangereux.

Chez les professionnels, les principaux symptômes liés aux intoxications aiguës sont d'origine hépato-digestifs et cutanés. Les autres symptômes sont neurologiques, ophtalmologiques, respiratoires ou ORL [16]. Les symptômes ophtalmologiques sont sans doute liés à un contact avec le produit, ce qui concerne sans doute peu la population générale. Les réactions cutanées semblent résulter le plus souvent de contacts directs entre le produit et la peau.

1.3.1.2 La sensibilisation et les allergies

Il semble que certains pesticides aient un effet allergène et de sensibilisation pouvant être à l'origine de maladies respiratoires dans le cas de l'inhalation ou de maladies de peau par contact avec la substance active [13, 20]. Plusieurs études montrent une fréquence de troubles respiratoires chroniques, d'asthme et d'allergies accrues chez les utilisateurs de pesticides [3]. Une étude récente a mis en évidence une prévalence de symptômes respiratoires chroniques plus élevée chez les ouvriers exposés aux pesticides dans les vergers ou les vignes que chez des témoins travaillant dans l'emballage de produits alimentaires. Par exemple, l'inhalation de dithiocarbamates entraîne des signes irritatifs, le soufre est un irritant oculaire, ORL et respiratoire. Le folpel est irritant pour la peau et les muqueuses et peut provoquer de l'asthme [20].

1.3.1.3 Les effets à long terme des pesticides

La toxicité chronique peut se manifester par des effets très divers : les effets carcinogènes, immunodépresseurs, mutagènes, neurotoxiques et tératogènes. On a montré récemment que des pesticides étaient capables d'endommager le système immunitaire ou de perturber les régulations hormonales, tant chez l'homme que chez l'animal, provoquant des symptômes variés [14]. Concernant les cancers, plusieurs études ont mis en évidence des relations entre les lymphomes malins et les pesticides [15]. De même, le rôle des pesticides dans l'apparition des myélomes multiples a été documenté par plusieurs auteurs. [3] Des effets neurotoxiques ont été reliés à l'utilisation des pesticides, notamment des troubles neuropsychologiques : trouble de l'humeur [35], anxiété, suicide [30]...

En outre, parmi les problèmes de santé humaine, il a été soupçonné un lien entre la présence de produits chimiques « perturbateurs endocriniens » (que de nombreux pesticides sont soupçonnés d'être) et un taux accru de cancers du sein, de la prostate, du testicule, d'endométriose, de malformations congénitales de l'appareil reproducteur masculin et de réductions du nombre de spermatozoïdes [14]. Le mancozebe, par exemple, utilisé dans le vignoble, dont l'organe cible est la glande thyroïdienne [11] pourrait s'avérer être un perturbateur endocrinien.

Dans le cas particulier de la viticulture en France, une étude réalisée en 1998 avait suggéré une association entre les pesticides utilisés dans les vignes et la mortalité par cancer du cerveau. [38]. Une étude réalisée dans le Bordelais en 2001 a ensuite montré une relation entre les pesticides et des effets neuropsychologiques chez les viticulteurs. [2], Enfin, plusieurs études sur la relation entre la maladie de Parkinson et l'exposition aux produits phytosanitaires concluant à des effets contradictoires, des études supplémentaires ont été diligentées pour vérifier la validité de certaines hypothèses.

1.3.2 Identification des dangers spécifiquement liés à l'exposition dans le vignoble.

Les connaissances concernant la toxicité des produits sont encore très incertaines dans de nombreux domaines tels que les effets de perturbation du système endocrinien⁸. En outre, les connaissances sur les effets à long terme des pesticides sont issues d'expérimentations animales peu extrapolables à l'homme et les effets apparaissent le plus souvent après ingestion de doses importantes, tous les jours pendant une longue période, conditions peu probables en population générale.

1.3.2.1 Sources des données

La plupart des informations concernant la toxicité des molécules utilisées dans le vignoble sont disponibles sur les bases de données EXTOXNET et HSDB, TOXLINE, IRIS, DART special, GENETOX et CCRIS disponibles via le moteur de recherche TOXNET. Ces bases de données font référence aux publications d'où sont issues leurs informations. D'une manière générale, les anti-oïdium et anti-botrytis utilisés ne sont pas répertoriés dans les bases de données en raison du peu d'études réalisées à ce jour à leur sujet. En revanche, plusieurs informations répertoriées ci-dessous sont disponibles sur les insecticides et les anti-mildiou.

1.3.2.2 Information sur la toxicité des insecticides et anti-mildiou

1.3.2.2.1 La toxicité aiguë

↳ Généralités

Les insecticides, et en particulier les organophosphorés sont, en général, plus toxiques que les fongicides. **Il arrive qu'une substance active soit peu toxique mais que la formulation commerciale le soit.** C'est le cas de la lambda-cyhalothrine, de toxicité modérée mais qui peut-être très toxique sous la formulation KARATE®. [11]

↳ Toxicité par inhalation

Les CL₅₀⁶ (4 h, rat) des insecticides sont comprises entre 0.2 mg/L et 0.378 mg/L. Le méthylparathion, très toxique par toutes les voies, possède quant à lui une CL₅₀ (inhalation pendant 1 heure chez le rat) de 0.24 mg/L.

Les anti-mildiou présentent globalement une toxicité aiguë plus faible par inhalation. Leur CL₅₀ est comprise entre 1 mg/L et 6 mg/L. (cf. annexe 4)

1.3.2.2.2 Les effets chroniques (cf. annexe 5)

A ce jour, les informations scientifiques sur les effets chroniques des pesticides sont, d'une manière générale, peu nombreuses.

Bien que des effets mutagènes et tératogènes soient soupçonnés pour de nombreux composés, parmi les substances utilisées dans le vignoble, ils n'ont été mis en évidence que pour le folpel dont l'impact sur le développement a été mis en évidence chez le rat et le lapin et les effets mutagènes chez la Drosophile et les bactéries telles E. Coli. Des effets tératogènes ont également été mis en évidence pour le fénoxicarbe.

Concernant les effets sur la reproduction, le fénitrothion a montré son impact lors d'expériences chez le rat [22] ainsi que la deltaméthrine et le folpel. Les autres produits n'ont pas d'effets démontrés dans ce domaine.

Enfin, des effets cancérogènes n'ont été mis en évidence que pour le folpel.

1.3.2.2.3 Organes cibles des molécules et doses de référence

Les principaux organes cibles des molécules sont le foie, les poumons, le système nerveux et la thyroïde.

Les Doses Journalières Admissibles (DJA), les Doses de référence et les Doses sans effet observé des insecticides et anti-mildiou utilisés dans le vignoble sont présentés en annexe 4.

2 - LA CONTAMINATION POSSIBLE DE L'ATMOSPHERE PAR LES PESTICIDES

Pour définir totalement l'exposition, il est nécessaire, en plus des informations (précises ou approchées) sur les quantités utilisées, de connaître le devenir des produits dans l'environnement. L'étude porte sur l'exposition via l'air, c'est pourquoi le bilan des connaissances sur les modes de contamination de l'atmosphère par les produits phytosanitaires et leur devenir sera présenté ci-dessous et extrapolé au cas du vignoble.

2.1 ETAT DES CONNAISSANCES SUR LES PHENOMENES DE CONTAMINATION DE L'ATMOSPHERE PAR LES PESTICIDES

2.1.1 L'entrée des produits phytosanitaires dans l'atmosphère

Il existe plusieurs voies par lesquelles les produits phytosanitaires pulvérisés pour le traitement de la vigne peuvent se répandre dans l'atmosphère au lieu d'atteindre leur cible. Au moment du traitement, le transfert vers l'atmosphère se fait par perte par dérive ou par évaporation des gouttelettes. Ultérieurement, ce sont les phénomènes de volatilisation (à partir de la surface foliaire, du sol ou de l'eau) et l'érosion éolienne qui sont à l'origine de ces transferts. Ces phénomènes sont présentés sur la figure de l'annexe 6.

2.1.1.1 La dérive

La dérive correspond à l'entraînement direct des molécules par le vent au moment de l'épandage. Elle dépend essentiellement des conditions météorologiques et des techniques utilisées.

Ainsi, sous des conditions d'inversion de température (lorsque la température au sol est inférieure à la température de l'air sus-jacent), la chute des particules et gouttelettes est ralentie par des courants d'air montant qui favorisent la dérive. [33]

En outre, la dérive est en générale importante lors de la vaporisation, elle augmente avec la vitesse du vent et inversement à la taille des gouttelettes vaporisées. Globalement, plus les particules sont fines, plus les probabilités de dérive sont importantes.

Le tableau suivant présente les temps de chute d'une gouttelette en fonction de son seul diamètre. Notons toutefois que le diamètre des particules n'est pas seul à intervenir.

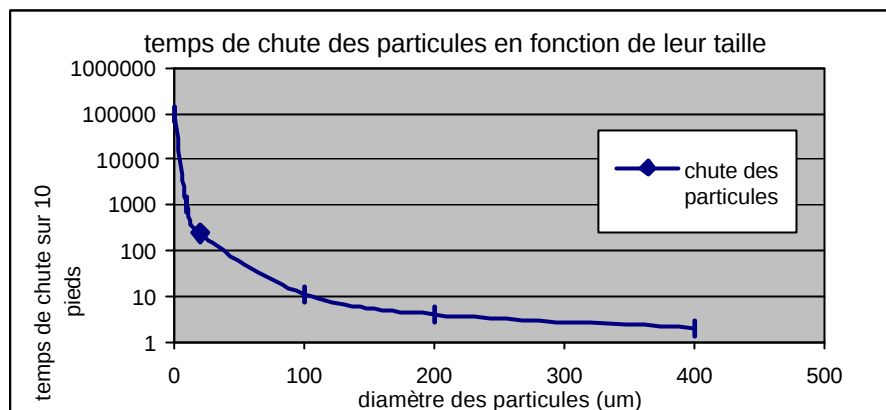


Figure 1: Temps de chute en fonction de la dimension des gouttelettes (10 pieds) [31, 8]

2.1.1.2 L'évaporation des gouttelettes

Elle dépend essentiellement de la température extérieure, de la pression et de l'humidité. Une humidité relative faible (< 50%) ou une température élevée (>30°C) [8] augmentent la vitesse d'évaporation. Ce phénomène est d'autant plus important que les gouttes sont petites, car le ratio surface/volume est plus important [33].

2.1.1.3 L'érosion éolienne

L'érosion éolienne dépend de la vitesse du vent et de la nature du sol. Elle est surtout sensible dans les régions ventées et concerne les cultures à faible couverture végétale. Les particules de sol arrachées par le vent contribuent à alimenter l'atmosphère en pesticides.

2.1.1.4 La volatilisation

La volatilisation, procédé par lequel un composé passe en phase gazeuse, représente une voie de dissipation majeure des produits phytosanitaires dans l'atmosphère. Elle peut avoir lieu à partir du sol ou de la surface foliaire mais également à partir d'une surface aqueuse si la constante de Henry² et la molécule est élevée et que sa solubilité dans l'eau est faible (cf. annexe 7).

Le jour de l'application, les taux de volatilisation sont compris entre 0.1 g.ha⁻¹.h⁻¹ et 100 g.ha⁻¹.h⁻¹ selon les pesticides considérés. [4] Ensuite, la volatilisation se poursuit pendant quelques jours ou quelques semaines, en fonction des caractéristiques physico-chimiques de la molécule, des conditions environnementales et des pratiques culturales. La

volatilisation à partir du sol humide dépend principalement de la valeur de la constante de Henry (K_h). Les molécules dont le K_h est très supérieur à $2.65 \cdot 10^{-5}$ sont considérées comme très volatiles cité par 4 d'après 19].

Ces pesticides ont un taux de volatilisation très élevé juste après l'application, taux qui décroît ensuite plus ou moins vite en fonction de l'évaporation de l'eau contenue dans le sol. Pour les pesticides dont la constante de Henry est très inférieure à $2.65 \cdot 10^{-5}$, la volatilisation peut avoir lieu, mais plus longtemps après le traitement et seulement si l'eau du sol s'évapore [4]. Ce phénomène est appelé codistillation.

Parmi les composés volatiles, il existe des différences dans les flux de volatilisation, liées à la pression de vapeur⁹ Les composés dont la pression de vapeur est élevée se volatilisent de façon importante ($>30 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) dès l'application puis la volatilisation décroît rapidement. Si la persistance de ces molécules est faible, l'exposition sera ponctuelle. En revanche, les molécules dont la pression de vapeur est plus faible se volatilisent plus lentement au départ ($<10 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) mais leur taux de volatilisation décroît moins vite. [cité par 4, d'après Nash et al.]. L'exposition sera, dans ce cas, plus faible et inscrite dans la durée.

2.1.2 Le devenir des molécules dans l'atmosphère : dispersion et transformations

2.1.2.1 La répartition sous différentes phases

Les pesticides peuvent se trouver sous forme gazeuse ou particulaire (particules solides ou liquides). La prépondérance sous une forme ou une autre peut influencer le devenir des substances dans l'environnement et la voie d'absorption par l'homme. Malheureusement, dans l'état actuel des méthodes d'analyse, il est difficile d'estimer la distribution exacte d'un pesticide entre la phase particulaire et gazeuse de l'air.

2.1.2.2 Les transferts physiques

Une fois dans l'atmosphère, les pesticides sont soumis à différents mécanismes qui régissent leur répartition et leur accumulation dans certains endroits. Ces phénomènes sont de nature mécanique ou chimique.

2.1.2.2.1 Les turbulences :

Indépendamment de leur nature et de leurs propriétés physico-chimiques et si tant est qu'elles aient atteint des hauteurs suffisantes dans l'air, les molécules, subissent les turbulences atmosphériques. Elles sont ainsi transportées en dehors des surfaces cultivées sur de plus ou moins longues distances.

2.1.2.2.2 L'incorporation dans des gouttelettes et le dépôt

Les substances actives ou leurs sous-produits de dégradation peuvent être incorporés sous forme solide ou dissoute dans les gouttelettes de brouillard, de nuage ou de l'atmosphère

Les molécules en phase particulaire se redéposent sur les surfaces par les précipitations (pour les molécules solubles dans l'eau) ou par dépôt sec (sédimentation naturelle).

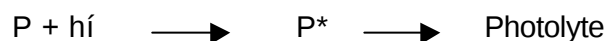
2.1.2.3 La photodégradation

Les molécules peuvent être photodégradées de trois manières :

2.1.2.3.1 La photolyse directe

Dans le cas de la photolyse directe, la molécule absorbe un photon et passe à l'état excité pour donner ensuite des photolytes qui sont les sous-produits de dégradation selon le schéma suivant :

P : pesticide



2.1.2.3.2 La photolyse indirecte



S : sensibilisateur

2.1.2.3.2 L'action de radicaux

Les molécules peuvent également se dégrader selon un processus photochimique de réaction avec les radicaux hydroxyles ($\text{OH}^\bullet$) et autres agents oxydants formés dans l'atmosphère.

Le temps de demi-vie des molécules lors de la photodégradation dépend de la forme sous laquelle est la molécule (gazeuse, aérosol¹ liquide, aérosol solide, adsorbée sur un autre aérosol..).

Ainsi, l'atmosphère est à la fois un vecteur favorisant le transport des pesticides et un milieu de dégradation de ces substances. Le problème qui se pose ensuite est alors lié aux sous-produits de dégradation qui sont mal connus et peuvent être plus dangereux que les composés de départ.

2.2 OUTILS ET METHODES POUR UNE APPROCHE DANS LE VIGNOBLE

2.2.1 Sources et bases de données

Dans le vignoble nantais, les informations concernant les techniques de pulvérisation ont été obtenues auprès des conseillers viticoles de la Chambre d'Agriculture. Les données météorologiques ont été obtenues principalement auprès de Météo France. Les informations géologiques sont issues d'une étude préalable dans le vignoble qui concernait la pollution de l'eau par les pesticides. Enfin, les constantes physico-chimiques ont été obtenues auprès des ingénieurs de l'organisme de surveillance de la qualité de l'air de la région, Air Pays de Loire et extraites des différentes bases de données HSDB, AGRITOX et CHEMFINDER.

2.2.2 Méthode d'application

Les informations sur le vignoble (pesticides utilisés, températures...) et les données bibliographiques ont été confrontées dans le but de mettre en évidence quelques éléments concernant le devenir dans l'atmosphère des molécules appliquées dans le vignoble. Toutefois, ces hypothèses ne seront valables qu'une fois confirmées par des résultats expérimentaux.

2.3 INTERPRETATION ET RESULTATS

2.3.1 L'entrée des insecticides et anti-mildiou dans le compartiment atmosphère

2.3.1.1 La dérive

Dans le vignoble, 80% des traitements contre le mildiou sont réalisés par jet porté (air + pression). Les particules sont très fines, elles se disperseront donc facilement dans l'atmosphère. En principe, des buses sont utilisées (cf. annexe 8). Elles permettent de mieux cibler l'application au niveau des vignes et évitent, de ce fait, que les particules de phytosanitaires ne rejoignent trop facilement l'atmosphère. Cependant, si les « mains » sont mal inclinées ou les buses mal réglées, cet effet est inhibé et les substances enclines à rejoindre l'atmosphère.

2.3.1.2 L'évaporation des gouttelettes

La température dans le vignoble excède rarement 30°C. A Nantes, on observe une température supérieure à 30°C environ 5 jours par an et supérieure à 25°C, 37 jours

par an [26]. Par ailleurs, l'humidité relative moyenne entre 1965 et 1990, fut à Nantes de 78% en mai, 76% en juin et août et 75% au mois de juillet [38] Elle n'est jamais inférieure à 50%.

Ces conditions météorologiques pouvant être attribuées au vignoble nantais par extrapolation, il est déduit que les conditions très favorables à l'évaporation sont rares dans le vignoble. Ce phénomène existe probablement tout de même mais aucune information quantitative n'est disponible actuellement.

2.3.1.3 L'érosion éolienne

Le vignoble nantais est une zone où les sols sont généralement faiblement argileux, profonds, hydromorphes, pauvres en matière organique et de faible capacité d'échange cationique [37]. Leur stabilité structurale est donc faible et ils sont sensibles à l'érosion. En outre, la viticulture est une culture à faible couverture végétale et certains vents sur le vignoble ont une vitesse supérieure à 8 m/s. L'hypothèse d'une zone particulièrement sensible à l'érosion éolienne peut donc être raisonnablement avancée.

2.3.1.4 La volatilisation des insecticides épandus dans le vignoble

2.3.1.4.1 Volatilisation à partir d'une surface aqueuse ou d'un sol humide

Selon les critères de volatilité de Jury et al. [19], tous les insecticides utilisés dans le vignoble sauf le quinalfos (mais dont les quantités sont négligeables et qui sera retiré du marché en 2003) peuvent être considérés comme volatiles à très volatiles. Leur constante de Henry est globalement comprise entre $9.60 \cdot 10^{-4}$ pour le parathion-méthyl et 1.75 pour le chlorpyrifos-éthyl.

Par exemple, le flufenoxuron, très utilisé, dont la constante de Henry est élevée (0.38) et la pression de vapeur faible ($4.55 \cdot 10^{-9}$) aura tendance à se volatiliser lentement et longuement. Il est susceptible d'être présent dans l'atmosphère en petites quantités sur une longue période. Cela dépend aussi de ces temps de demi-vie de dégradation dans l'air qui ne sont malheureusement pas connus.

Selon la base de données HSDB, qui s'appuie sur les données du Handbook of Chemical Property Estimation Methods (1990), parmi les insecticides utilisés, la cyhalothrine, la deltaméthrine et le fénoxycarbe sont susceptibles de se volatiliser à partir d'une surface aqueuse. En appliquant ce même modèle au lufenuron, par comparaison des constantes avec celles des substances dont le comportement est connu, on déduit qu'il est également volatil à partir de l'eau.

Les autres molécules sont classées dans la base de données HSDB, comme non volatiles à partir d'une surface aqueuse.

Ces derniers résultats ne sont pas totalement en accord avec les critères de Jury *et al.*. Il est probable que la différence provient entre autre des valeurs différentes existant pour la constante de Henry d'un même composé.

2.3.1.4.2 Volatilisation à partir d'un sol sec

Concernant la volatilisation à partir du sol de ces mêmes insecticides, au regard des pressions de vapeur, la base de données HSDB indique qu'aucun n'est susceptible, de se volatiliser à partir d'un sol sec.

2.3.1.5 La volatilisation des fongicides pulvérisés dans le vignoble

Selon les critères de Jury *et al.*, concernant les fongicides, les anti-mildiou sont en règle générale peu ou non volatils. Seuls le folpel et le mancozèbe se volatilisent avec des K_h respectifs de 0.38 et $5.90 \cdot 10^{-4}$. Les anti-botrytis sont, pour la plupart, très volatils et les anti-oïdium le sont peu hormis l'hexaconazole dont le K_h est de $3.20 \cdot 10^{-4}$.

Selon la base de données HSDB, aucun des anti-mildiou n'est volatil. Les anti-botrytis ne sont pas référencés.

Le pyrimethanil, seul anti-oïdium épandu dans le vignoble ayant une fiche dans la base de données HSDB, y est classé comme volatil à partir d'une surface aqueuse ou d'un sol humide mais non-volatile à partir de sol sec.

2.3.2 Le devenir des molécules dans l'atmosphère

2.3.2.1 La répartition sous différentes phases

Selon un modèle de répartition gaz/particules des composés organiques semi-volatiles [Bidleman TF dans toxnet], et en considérant les tensions de vapeur répertoriées dans la base de donnée AGRITOX de l'INRA, il apparaît que parmi les neuf substances actives insecticides les plus utilisées, deux seulement sont sous forme exclusivement particulaire, en raison de leur pression de vapeur peu élevée : la deltaméthrine et la lambda cyhalothrine. Les autres insecticides se trouvent répartis entre les deux phases.

Parmi les fongicides, les anti-mildiou se trouvent principalement sous forme particulaire, sauf le cymoxanil et le folpel. De même, les anti-oïdium sont dans la phase particulaire. En revanche, les anti-botrytis sont à la fois sous forme particulaire et gazeuse, sauf le fluazinam qui est exclusivement particulaire.

Le schéma suivant récapitule la répartition entre la phase gazeuse et la phase particulaire :

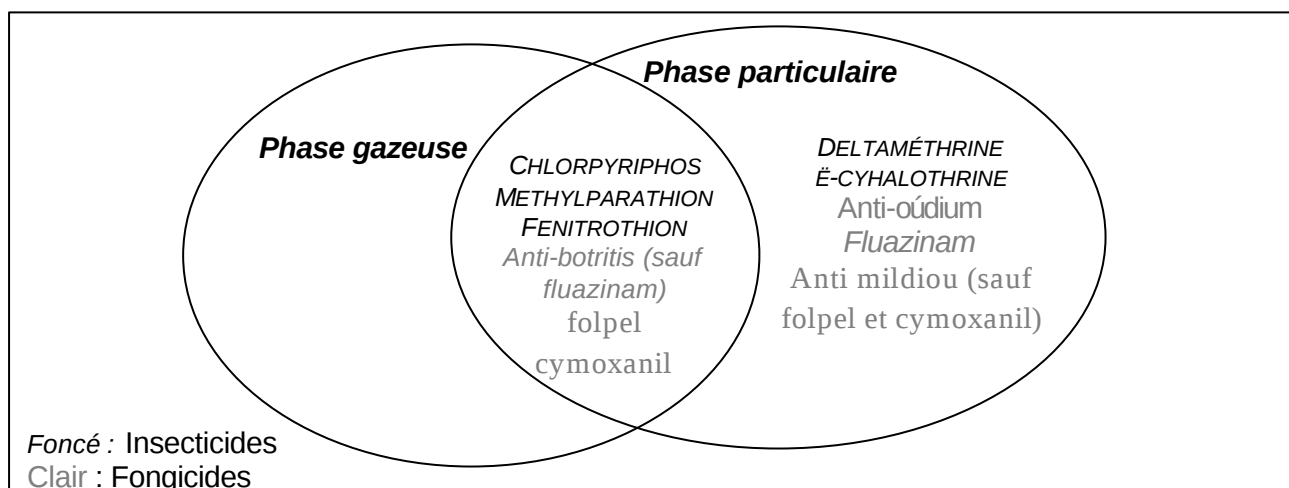


Figure 2: Répartition des substances actives entre la phase gazeuse et la phase particulaire de l'atmosphère. Application du modèle de Bildeman *et al.*

2.3.2.2 La photodégradation directe

Peu d'informations sont disponibles concernant la photodégradation dans l'atmosphère des molécules. Une étude approfondie des longueurs d'onde d'absorption et des expériences complémentaires seraient nécessaires. Parmi les molécules appliquées dans le vignoble, le méthyl-parathion, le chloropyriphos-éthyl et le fénitrothion sont, par exemple, photodégradés directement.

2.3.2.3 Quelques réactions radicalaires

Certaines molécules réagissent avec les radicaux hydroxyle présents dans l'atmosphère.

Les temps de demi-vie de réaction radicalaire de quelques unes d'entre elles sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Substance	temps de demi-vie [base de données HSDB]	Moyenne de disparition cm ³ / molécule.s [27]
Cymoxanil (AM)	64h	6,00E-12
Folpel (AM)	1jour	nc
Mancozebe (AM)	<3h	nc
Fénoxicarbe (I)	2,9h	nc
Chlorpyriphos éthyl (I)	4h	9,20E-11
Parathion méthyl (I)	6,5h	5,90E-11
Fénitrothion (I)	6,4h	6,00E-11

Tableau 5 : Temps de demi-vie de réaction photochimique de quelques molécules utilisées dans le vignoble.

De manière générale, les temps de demi-vie sont relativement courts. Les insecticides documentés ont un temps de demi-vie de dégradation radicalaire dans l'air inférieur à 7h ce qui suppose que ces molécules sont peu persistantes dans l'atmosphère.

Le folpel est le composé le plus persistant parmi les molécules dont on connaît le temps de demi-vie de dégradation.

2.3.3 Exemple de répartition d'un pesticide entre l'eau de pluie, le brouillard et le gaz

Une étude de l'INRA de 2001 [5] faisant la synthèse des observations menées en France depuis 1980, rapporte le bilan des composés ayant déjà été mesurés dans l'atmosphère à cette date. Ce sont essentiellement des herbicides. Parmi les insecticides pulvérisés dans le vignoble nantais, seul le méthyl-parathion avait déjà été mesuré en France en 2001. Il avait été retrouvé en milieu rural réparti de la façon suivante :

Phase	Concentration moyenne	Intervalle
Eau de pluie	0.5 ì g/L	nd à 3.4
Phase gaz (gaz et particules)	4.90 ng/m3	nc
Brouillard,	2.87 ì g/L	nd à 21.8

Tableau 6 : Répartition du parathion-méthyl dans différentes phases. [5]

Les concentrations dans l'eau de pluie et le brouillard sont nettement supérieures à celles de l'atmosphère en raison de la différence masse volumique. En outre, les produits phytosanitaires se concentrent aisément dans l'eau, par des phénomènes de lessivage notamment. Les mesures dans l'eau de pluie constituent un indicateur de grands transferts plutôt qu'un indicateur de pollution locale.

Depuis d'autres mesures de pesticides dans l'air ont été réalisées en Bretagne et région Centre mais pour des activités agricoles différentes de la viticulture et donc des substances actives différentes.

2.3.4 Conclusion

Parmi les molécules considérées, le folpel appartient à l'ensemble des molécules appliquées en grandes quantités, volatiles et dont la persistance dans l'atmosphère est plus importante que les autres (en se limitant à celles connues, ce qui n'est toutefois pas représentatif de la persistance de la totalité des composés). **La mesure de la concentration dans l'air du folpel semble donc présenter un intérêt particulier pour approcher l'exposition.** Si les méthodes analytiques permettent de l'analyser facilement, il pourrait

éventuellement caractériser la contamination de l'atmosphère par les produits phytosanitaires dans le vignoble.

D'une manière générale, selon les sources et méthodes utilisées, les phénomènes de volatilisation concernent exclusivement les insecticides et les anti-botrytis. Cependant, selon les modèles considérés, l'aptitude théorique des molécules à se volatiliser s'avère être différente, ce qui laisse planer de nombreuses incertitudes quant aux phénomènes réels de volatilisation. En outre, afin de mieux connaître et définir ces phénomènes, il est judicieux de considérer les coefficients d'absorption et de partage octanol-eau qui ont également un impact sur l'aptitude d'une molécule à passer en phase gaz.

Par ailleurs, la dérive est sans doute une cause importante d'entrée des pesticides dans l'atmosphère du vignoble mais qui peut être limitée si les pulvérisateurs sont réglés correctement.

Le sol étant facilement érodable, la perte par érosion éolienne ne doit pas être négligée dans ce secteur.

Aucune information quantitative n'est connue à ce jour concernant l'évaporation des molécules, il semble cependant que les conditions d'évaporation maximales ne sont jamais réunies dans le vignoble.

Enfin, il est à noter que les propriétés physico-chimiques des produits (mélange de la substance active, du solvant et des adjuvants) peuvent être différentes de celles des substances actives seules et avoir une influence sur les différents modes de transfert. Actuellement, ces différences ne sont pas connues puisque les études portent rarement sur les mélanges commerciaux.

D'une manière générale, **les recherches ne sont pas assez avancées pour pouvoir quantifier les pertes vers l'atmosphère attribuables à chaque phénomène**. Les analyses se heurtent à des difficultés liées notamment à la multiplicité des substances actives et produits commerciaux sur le marché, la variabilité des substances dans le temps et dans l'espace et les coûts. Les modèles qui peuvent exister, correspondent à des conditions particulières (météorologiques, culturales...) non totalement transposables à la situation du vignoble, une simple approche est actuellement possible.

3 - L'EVALUATION DE L'EXPOSITION DANS LE VIGNOBLE

La définition et l'évaluation de l'exposition ont un rôle clé dans la réalisation des études épidémiologiques et des évaluations de risques. Deux évaluations de l'exposition différentes pour une même étude peuvent être à l'origine des controverses dans les résultats scientifiques.

Dans le cadre d'une étude épidémiologique, il est nécessaire d'identifier des groupes de population exposés, pour cela, une définition des non-exposés/exposés peut être suffisante. L'évaluation des risques nécessite la quantification de doses reçues et de doses absorbées et la connaissance des voies d'exposition.

Les paragraphes suivants présentent quelques informations sur les voies d'exposition, les principales méthodes permettant d'évaluer l'exposition suivant les objectifs et l'identification de la population exposée dans le vignoble.

3.1 LA DETERMINATION DES VOIES D'EXPOSITION

L'exposition peut avoir lieu par inhalation, ingestion ou contact à partir des différents milieux que sont l'eau, le sol, l'air et les aliments. Les modes d'exposition sont présentés en annexe 9. Le milieu spécialement considéré dans cette étude est l'air.

3.1.1 La prédominance de certaines voies d'exposition

Le voie majoritaire d'exposition chez les professionnels est la voie cutanéomuqueuse, suivie de très près par la voie respiratoire. Il est cependant probable que la voie digestive soit sous estimée par non prise en compte des contacts mains-bouche et la déglutition secondaire des aérosols inhalés [16].

Concernant la population générale exposée aux pesticides de l'air, cette répartition des voies d'exposition pourra être différente puisque les personnes sont exposées de façon chronique et passive à de très faibles doses contenues dans l'atmosphère.

3.1.2 L'absorption des molécules par inhalation

3.1.2.1 Les particules inhalables

Les particules inhalables sont de petites gouttelettes ou des fragments de matériau organique ou inorganique en suspension dans l'air. Leur taille varie de 0.001 μm à plus de

100 µm. Quelle que soit la forme des particules, le diamètre aérodynamique³ déterminera le lieu et le mécanisme de leur déposition dans les voies aériennes.

Selon l'OMS [40], l'inhalation est la seule voie d'exposition à considérer au sujet des effets directs de la matière en suspension sur la santé. Ainsi, les molécules définies dans les paragraphes précédents comme étant essentiellement sous forme particulaire seraient exclusivement absorbées par inhalation (deltaméthrine, fluaziname...). Considérant que les molécules sous forme gazeuse le seront aussi, il peut être supposé que l'inhalation soit la voie d'absorption dominante pour l'exposition, via l'air, de la population générale.

3.1.2.2 Devenir des particules et gaz dans le système respiratoire

Les aérosols liquides se déposent au niveau trachéobronchique, ce dépôt dépendant de la taille des gouttelettes mais aussi de leurs propriétés hygroscopiques. Les aérosols constitués de gouttelettes de diamètre supérieur à 10 µm. ne parviennent pas jusqu'aux alvéoles [42]. Les particules inférieures à 2.5 µm seront déposées près des bronchioles. La déposition dépendra toutefois du taux respiratoire, de l'anatomie des conduits respiratoires et des caractéristiques des particules. D'une manière générale, les particules atteindront plus facilement les poumons lors d'une respiration buccale (augmentée lors de l'effort ou de conversation) que par la respiration nasale. [41].

Les effets toxiques pourront s'exprimer différemment selon le lieu de dépôt des particules. En outre, la solubilité et la réactivité des molécules déterminent leur lieu de dépôt dans les poumons. Les substances solubles dans l'eau et les gaz réactifs se déposent dans les conduits supérieurs. Les substances lipophiles et les gaz inertes ont plus tendance à se déposer dans les parties distales des poumons. Les gaz passent ensuite dans le sang ou réagissent avec les tissus pulmonaires. La quantité de gaz retenue dans le corps dépend entre autre de la solubilité de la molécule dans le sang. [44]

3.1.3 L'absorption cutanée

L'hydrosolubilité et la liposolubilité sont des facteurs déterminants dans l'absorption par la peau. En particulier, les substances lipophiles passent facilement la barrière cutanée (cf. log P en annexe 7) [44].

3.1.4 L'ingestion

La voie d'ingestion la plus commune est l'alimentation. Il n'est pas exclu d'en parler dans une étude concernant plus spécifiquement l'atmosphère puisque ce compartiment environnemental peut être une étape de la contamination des aliments. Les pesticides

présents dans l'atmosphère sont soumis à des phénomènes de déposition et sont susceptibles de contaminer les produits, notamment dans les jardins particuliers.

Sinon, **les substances présentes dans l'air peuvent être ingérées directement par déglutition secondaire des aérosols inhalés**, par contact main/bouche ou contact bouche/objets (cigarettes, sol).

3.2 L'EVALUATION DE L'EXPOSITION

3.2.1 L'évaluation indirecte

3.2.1.1 Les mesures dans l'air

Les concentrations dans l'air sont mesurées à partir de stations de mesure placées de façon à ce qu'elles soient les plus représentatives possible des concentrations ambiantes, et en supposant que la population est exposée aux mêmes concentrations que celles mesurées au niveau des stations.

Les mesures dans le vignoble nantais sont effectuées par le réseau de surveillance chargé de la qualité de l'air dans la région : Air Pays de Loire. Dans le cadre du PRQA, deux stations de mesure ont été mises en place au lycée de Briacé et au niveau de l'usine des eaux à proximité de l'agglomération nantaise. Le principe de mesure est l'absorption sur résine suivie d'analyses par HPLC et GC/MS. Ces méthodes sont encore expérimentales. D'autres méthodes sont développées ou à l'étude dans d'autres régions. C'est le cas en Bretagne au LERES ou dans la région Centre au sein de Lig'air [23].

3.2.1.2 L'enquête et le journal

Les individus exposés peuvent être identifiés par des enquêtes papier ou des entretiens téléphoniques. Les personnes sont interrogées sur leurs activités en rapport avec les produits phytosanitaires, la distance de leur habitation aux épandages et autres informations permettant de définir leur exposition. Il arrive que certaines questions concernent la propre perception des personnes quant à leur exposition : pensez vous avoir été exposé ? Il y a combien de temps ? Dans quelles circonstances ? etc.

3.2.1.3 Les scénarios hypothétiques et l'utilisation de modèles

Les scénarios hypothétiques permettent, en plus de définir les groupes de personnes exposés, de fournir des données sur la fréquence d'exposition, le mode d'exposition et autres données qualitatives.

Ils peuvent être mis en place en extrapolant les résultats d'enquêtes et de scénarios préalablement réalisés pour d'autres études (antérieures ou dans un autre lieu). Dans ce cadre, les budgets espace-temps de la population, définis par l'INSEE peuvent, par exemple, être utilisés.

Par ailleurs, il existe des modèles d'exposition sous forme de matrice emploi-exposition, utilisés le plus souvent en milieu professionnel qui permettent de combiner plusieurs sources d'information et d'en déduire les probabilités d'exposition à un produit donné.

3.2.1.4 La définition de l'exposition par rapport au lien conjugal ou parental avec un professionnel et au lieu géographique

Un bilan de la littérature montre que les auteurs considèrent en général qu'une personne vivant avec un professionnel agricole est exposée aux produits phytosanitaires en raison, entre autre, de son lieu d'habitation (généralement à proximité des cultures) et de ses éventuelles activités (aide aux travaux agricoles).

Afin de pouvoir identifier ces personnes, il est avant tout nécessaire de définir correctement le professionnel. Quelques définitions issues d'études épidémiologiques sont présentées ci-dessous.

3.2.1.4.1 Définition de l'exposition des professionnels

Elle peut être définie simplement sur le mode binaire être agriculteur (viticulteur) / ne pas être agriculteur (viticulteur), mais aussi, plus précisément, en fonction du temps passé à travailler dans les cultures [10] ou en fonction des activités exercées. Par exemple, l'exposition maximale peut être attribuée aux personnes réalisant à la fois la pulvérisation, la préparation et le transport des pesticides [32]. Notons que ceci est souvent le cas des viticulteurs.

D'une toute autre manière, il est possible de définir pour les professionnels des indices d'exposition. Viel *et al.* utilisent dans leurs études pour une zone géographique donnée, l'index d'exposition aux pesticides (PEI). [39]. Ce dernier prend en considération le temps de travail, le nombre de travailleurs agricoles, le pourcentage de SAU viticole par rapport à la SAU totale de la zone géographique.

3.2.1.4.2 Exemples de caractérisation des enfants exposés issus d'études épidémiologiques

L'enfant exposé est dans la plupart des études, l'enfant ayant au moins un parent exposé professionnellement aux produits phytosanitaires [12].

Dans une étude de Fenske *et al.*, sur l'exposition au chlorpyrifos et au parathion dans une zone d'arbres fruitiers, le parent exposé professionnellement est le responsable d'un verger qui pulvérise les pesticides et réalise d'autres tâches agricoles mais la définition ne concerne pas ceux qui ne font que pulvériser ou commercialiser les produits.

L'enfant non exposé, selon la définition ci-dessus est alors celui dont aucun parent ne travaille en contact avec les pesticides. Des critères supplémentaires peuvent être ajoutés. Par exemple, toujours dans une étude de Fenske *et al.* [12], les enfants non-exposés sont ceux dont aucun membre de la famille ne travaille en contact avec les produits phytosanitaires, et qui habitent à plus de 400 m d'un verger. Les femmes enceintes exposées peuvent être définies de la même manière. Cette définition peut toutefois être controversée au vu des transferts possibles de pesticides dans l'atmosphère.

3.2.2 Avantages et limites de ces méthodes indirectes

Ces méthodes permettent d'estimer l'exposition des personnes et de les classer. Ce type de définition de l'exposition est très différent dans la précision, des essais d'analyses pointues visant à quantifier le plus précisément possible l'exposition en vue des évaluations de risque mais il est pratique et pas trop coûteux.

Les enquêtes, très utilisées, constituent un outil intéressant d'évaluation qualitative de l'exposition en l'absence de technique analytique standardisée. Toutefois, la méthode est longue (préparation de l'enquête en fonction des objectifs, choix des personnes à enquêter, réalisation de l'enquête, étude des résultats...) et soumise à une part de subjectivité des individus interrogés.

La mise en place de scénarios d'exposition permet d'avoir rapidement une idée de l'exposition lors de l'évaluation de risques sanitaires notamment. Il est en général préférable de choisir l'hypothèse maximaliste, c'est à dire le scénario où la personne sera la plus exposée.

Concernant les modèles, étant donnée l'absence de modèle d'exposition en viticulture et en population générale, la fiabilité de leur utilisation peut être mise en doute à cause notamment du problème de l'extrapolation d'une culture à une autre (et les observations en viticulture sont pour le moment relativement rares) et des conditions dans lesquelles sont mis en places les modèles (conditions météorologiques, formulation des produits...) qui ne sont pas les mêmes dans tous les cas. En outre, les modèles omettent souvent de considérer les mesures de protection et la façon dont elles sont appliquées, les incidents et autres situations inhabituelles mais toutefois existantes.

3.2.3 Les mesures directes de l'exposition

Elles permettent d'obtenir des valeurs quantitatives d'évaluation de l'exposition mais ne sont pas réalisables que dans le cadre d'études rétrospectives.

3.2.3.1 La surveillance individuelle

Les concentrations en pesticide dans l'air au contact des personnes sont mesurées sur les personnes à l'aide de patchs. Ceci est utilisé pour les professionnels, malheureusement, dans le cadre d'une étude en population générale, il est difficile d'appliquer cette méthode qui serait trop coûteuse, trop fastidieuse ou encore non représentative de la population totale.

3.2.3.2 Le suivi biologique

Le suivi biologique est une autre manière de mesurer les doses absorbées qui consiste en la mesure des concentrations de substance active ou de métabolite dans les milieux biologiques (urines, cheveux, sang..). Il a l'avantage d'être représentatif de la somme des doses absorbées par toutes les voies d'absorption et représente la dose interne plus directement liée aux effets que la dose externe.

Il peut être utile pour des études en milieu professionnel ou dans le cadre d'intoxication mais devient non représentatif en cas de faible exposition. Ainsi, l'intérêt de son utilisation dans le cadre d'une évaluation de l'exposition à long terme en population générale peut être mis en doute. D'une manière générale, le suivi biologique doit venir de préférence en complément d'un suivi environnemental. [25]

3.3 IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES POPULATIONS EXPOSEES DANS LE VIGNOBLE

3.3.1 Classification des groupes de population exposés

La répartition des populations exposées peut être représentée sur la figure3 de la page suivante:

La largeur du triangle est sensiblement proportionnelle à l'effectif du groupe exposé. L'intensité de l'exposition est précisée à l'intérieur des cases et les types de personnes appartenant à chaque groupe définis à gauche de la figure. Dans notre étude, la population est limitée au vignoble nantais.

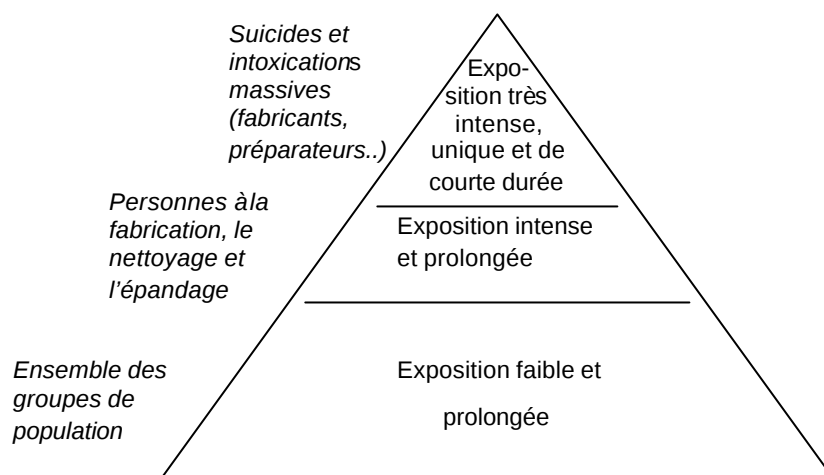


Figure 3 : groupes de population exposés aux pesticides, d'après l'OMS (WHO 90361)

3.3.2 Outils et méthodes pour l'étude dans le vignoble

3.3.2.1 Les sources d'information

Les caractéristiques de la population (nombre d'habitants, âge, natalité) sont extraites de la base de données du recensement 1999 de l'INSEE. Certaines de ces données sont disponibles sur Internet, les autres sont répertoriées sur les CD-ROM intitulés « Communes Profils ».

La répartition des vignes par rapport aux habitations dans les communes a été observée sur les cartes au 1/25000 du logiciel SCAN25 au service santé-environnement de la DDASS de Loire Atlantique et les surfaces totales des communes figurent dans les Plans d'Occupation de Sols (POS).

Les surfaces d'appellation ont été fournies par l'INAO Les informations sur les professionnels ont été fournies par les conseillers viticoles de la Chambre d'Agriculture.

Enfin, les informations complémentaires telles que la répartition de la population entre le bourg et les villages ont pu être obtenues auprès des mairies, préalablement contactées par le Syndicat Mixte du Pays du Vignoble Nantais.

3.3.2.2 La sélection de zones à considérer en priorité

Puisqu'il n'est pas envisageable à l'heure actuelle, de mesurer l'exposition exacte de chaque habitant du vignoble, il est intéressant dans un souci d'études et d'actions ciblées, de déterminer des zones a priori particulièrement concernées par le problème de l'exposition de la population aux produits phytosanitaires et à considérer en priorité lors d'une évaluation de risques.

L'approche adoptée est une approche par commune, pour des raisons d'existence et d'accessibilité des informations et données quantitatives selon ce découpage. Cependant, il existe d'autres paramètres à prendre en compte dans le cadre d'une étude plus poussée.

3.3.3 Détermination théorique de zones particulièrement exposées

Le vignoble compte environ 124400 habitants parmi lesquels 3078 personnes sont des professionnels qui se répartissent dans de petits bourgs ou dans des hameaux au sein d'une surface de vigne de 15900 ha.

3.3.3.1 Détermination des communes les plus concernées

3.3.3.1.1 Hypothèses

L'hypothèse peut être faite que les communes ayant une surface de vigne excédant 75% de la surface agricole utile qui représente entre 30% et 80% de la surface totale de la commune sont particulièrement concernées par l'exposition aux pesticides pulvérisés en viticulture. En effet, de telles surfaces impliquent la proximité entre les habitations et les cultures et donc l'exposition des habitants. (cf. annexe10)

3.3.3.1.2 Profil des communes

Ces communes, au nombre de 11, figurent dans le tableau suivant :

Communes	Surface totale (ha)	Surface de Muscadet AOC et Gros-Plant (ha, arrondi à l'ha)	Nombre d'habitants
La Chapelle Heulin	1347	514	1859
Gorges	1577	651	2650
La Haie Fouassière	1180	566	3337
Le Landreau	2398	984	2139
Le Loroux-Bottereau	4531	1306	4936
Maisdon sur Sèvre	1745	730	2054
Monnière	978	668	1543
Mouzillon	1650	865	1759
Le Pallet	1175	529	2364
Saint Fiacre sur Maine	597	479	996
Vallet	5896	2062	6807

Tableau 7: Quelques chiffres concernant les 11 communes dont le ratio SAU viticole/SAU agricole est supérieur à 0.75.

3.3.3.1.3 Répartition des habitants et des vignes

De manière générale, la population de ces communes est répartie entre le bourg, entouré par les vignes dans la plupart des cas et de nombreux petits villages et habitations isolées au sein des exploitations. (cf. annexe 10). L'information concernant la répartition des habitants de chaque commune entre le bourg et les villages est difficilement accessible. Elle figure dans le POS de certaines communes mais y est non actualisée. Certaines données comme le nombre de personnes dans les différents bureaux de vote peuvent permettre d'approcher cette donnée. Les répartitions approximatives ont pu être obtenue auprès des mairies dans les deux communes les plus importantes. Au Loroux-Botteraux, environ la moitié de la population habitait en zone rurale en 1999 et à Vallet, il semble qu'un cinquième de la population habite le bourg donc les 4/5 de la population résident en zone rurale.

3.3.3.2 Paramètres pouvant influencer l'emplacement des zones très exposées

↳ *Le positionnement des habitations par rapport aux vignes en fonction du vent.*

La position des habitations par rapport aux cultures peut être prise en compte de manière géographique (proximité habitations – vignes) ainsi qu'en tenant compte des vents qui influencent la dérive des produits phytosanitaires.

Dans le vignoble, les vents sont principalement de sud-ouest ou nord-est mais aucune grande tendance ne se dégage.

↳ *Le relief*

Il devra être pris en considération dans le cas d'existence de cuvettes ou de vallées au-dessus desquelles les produits phytosanitaires pourraient stagner. Il a principalement de l'importance concernant le ruissellement et la contamination des eaux, mais pourra avoir un impact sur le lieu d'entrée dans l'atmosphère des molécules très volatiles. Le relief du Pays du Vignoble Nantais se caractérise par la présence du plateau des Mauges à l'Est dont l'altitude dépasse 80 mètres, la dépression des Marais de Goulaine à l'Ouest et, sur le reste du territoire d'étude, un relief limité et avec des pentes relativement faibles.

3.3.4 Identification des populations à risques et très exposées

La population des 11 communes les plus viticoles compte environ 30444 personnes (cf. annexe 11). La différence avec les 116000 personnes que compte le vignoble dans son ensemble provient des grosses communes telles que Vertou, Clisson, Bouguenais, Basse-Goulaine et autres, qui sont sans doute exposées mais dans une moindre mesure car plus urbanisées et non sélectionnée selon les critères choisis.

3.3.4.1 Identification de la population sensible

3.3.4.1.1 Les enfants

Les enfants représentent une population à risque puisque leur système neurologique et leur organes sont en voie de développement et que leur absorption de pesticides est importante comparée à leur poids. En outre, leur système immunitaire est immature et il leur est plus difficile de métaboliser les toxiques. [21]

En moyenne, 28% des habitants des communes sélectionnées sont âgés de 0 à 19 ans, ce qui représente un total de 8482 personnes.

Le tableau 8 présente des précisions concernant les enfants en bas âge, les plus à risque.

Pour la totalité des 11 communes	Enfants de 0 à 19 ans	Moins de 1 an	Enfants de 0 à 4 ans	Enfants de 5 à 9 ans
Nombre d'enfants	8482	86	1872	2181
Pourcentage (%)	28	0.3	6.1	7.2

Tableau 8 : Nombres d'enfants et adolescents de 0 à 19 ans et pourcentages d'enfants en bas âge, source INSEE, recensement 1999

3.3.4.1.2 Les personnes âgées

Les personnes âgées appartiennent à la population à risque car leur système immunitaire est affaibli et elles ont accumulé des facteurs d'exposition au cours de leur vie. En outre, les personnes âgées de plus de 75 ans sont généralement celles qui passent tout leur temps dans les communes exposées. En moyenne, 11.6 % des habitants des onze communes sont âgés de 60 à 74 ans et 5.6 % ont plus de 75 ans.

3.3.4.1.3 Les femmes enceintes

Etant donnés les soupçons concernant les caractères mutagènes, tératogène et autres effets de perturbateurs endocriniens pesant sur les pesticides, il est vraisemblable que les femmes enceintes appartiennent à la population à risque.

Il y a eu en moyenne 346 naissances par an sur la totalité des 11 communes sélectionnées entre 1982 et 1990, et 390 naissances/an entre 1990 et 1999. Par extrapolation, on en déduit qu'entre 350 et 400 femmes enceintes sont exposées chaque année au sein de ces communes.

3.3.4.2 Détermination de la population passant le plus de temps dans les communes exposées

3.3.4.2.1 *Les enfants et les plus de 75 ans*

Nous supposons que les plus de 75 ans passent la majorité de leur temps dans leur commune de résidence. Ils représentent 5.6 % de la population. En outre, les enfants âgés de 0 à 9 ans fréquentent souvent les écoles situées dans leur commune de résidence, ils représentent 13.3% de la population.

3.3.4.2.2 *Les personnes travaillant sur leur lieu de résidence*

Aux enfants et personnes âgées s'ajoutent les personnes recensées par l'INSEE comme travaillant dans leur commune de résidence. Ils représentent 4323 personnes, soit 14,2 % de la population des 11 communes.

3.3.4.2.3 *Remarques*

Les découpages géographiques de l'INSEE ne permettent pas d'évaluer les personnes ne travaillant pas dans leur commune de résidence mais dans une autre commune du vignoble.

Les données sont donc incomplètes mais il est possible d'affirmer qu'au minimum, 33.3% des habitants des 11 communes considérées passent la plupart de leur temps dans une zone particulièrement susceptible d'être exposée.

3.3.4.3 Cas des professionnels

Les actifs viticoles constituent la population la plus exposée. Ils existent simultanément en tant qu'habitant du vignoble et en tant que professionnels.

Pour étude dans le vignoble, les professionnels considérés comme exposés peuvent englober toutes les personnes pulvérisant les produits phytosanitaires (si l'étude porte sur les professionnels) ou uniquement les exploitants (si l'étude porte sur les enfants par exemple). Le pays du vignoble nantais (34 communes) compte 3078 actifs viticoles parmi lesquels 1296 exploitants. Sur les 11 communes considérées, 1657 personnes (5.4%) exercent un emploi agricole et sont donc soumises à une exposition professionnelle aux produits phytosanitaires. La plupart des actifs agricoles sont des viticulteurs.

Par ailleurs, 564 personnes (2%) appartiennent à des ménages dont la personne référente est un exploitant agricole. Ces personnes figurent parmi celles habitant à proximité des épandages et participant éventuellement aux traitements.

3.3.4.4 Bilan et remarques

3.3.4.4.1 La population sensible

Sur la population des 11 communes sélectionnées, 6.1% ont entre 0 et 4 ans et 5.6 % sont âgés de plus de 75 ans. En outre, 1.25% sont des femmes enceintes. En supposant que les enfants, personnes âgées et femmes enceintes ne figurent pas parmi les viticulteurs, la population sensible représente 12.95% de la population totale de ces communes. Notons que les personnes immunodéprimées appartiennent également à la population à risque.

3.3.4.4.2 Les personnes les plus exposées

Les personnes travaillant et habitant dans une même commune figurant parmi les onze considérées représentent 14.2% des habitants. Ils sont susceptibles d'être exposés tout le temps. Les employés viticoles comptent parmi cette population.

Les personnes résidant au cœur des exploitations car elles appartiennent à des ménages d'exploitant représentent au moins 2 % de la population.

Notons que certaines personnes appartiennent aux deux catégories citées ci-dessus. En outre, tous les résultats représentent des minima. Des enquêtes de terrain seraient nécessaires pour obtenir les nombres de personnes exacts.

3.3.5 Calcul de doses absorbées

3.3.5.1 Calcul de doses moyennes journalières inhalées

3.3.5.1.1 Méthode

La dose moyenne journalière reçue en fonction de la concentration dans l'air, du taux d'inhalation, de la durée d'exposition et du poids corporel peut être calculée comme suit :

$$ADD = \frac{[C \cdot IR \cdot ED]}{[BW \cdot AT]}$$

où : ADD : Dose journalière moyenne (mg/kg/j), C : concentration du contaminant dans l'air inhalé (mg/m³), IR : Taux d'inhalation (m³/J), ED : Durée de l'exposition (j), BW : Poids corporel (kg), AT : temps moyen d'exposition (j).

Pour les effets non cancérogènes, AT=ED. Pour les effets cancérogènes et chroniques, AT=70 ans.

La dose inhalée s'exprime en mg/kg/j.

Il existe une différence entre la dose externe au contact des personnes et la dose interne absorbée. Concernant l'inhalation, la dose interne est calculée en utilisant le taux de ventilation alvéolaire alors que la dose externe est calculée en utilisant le taux de ventilation

global (taux d'inhalation). Le taux de ventilation alvéolaire est égal à 70% du taux de ventilation global. [43] La dose interne serait donc 70% de la dose reçue et inhalée.

3.3.5.1.2 Hypothèses

Le taux d'inhalation d'un adulte de 20 ans et plus, défini par l'US EPA est de 23 m³/j. Quelques tableaux avec l'estimation des volumes inhalés suivant l'âge et les activités sont disponibles dans le Exposure Factor Handbook. Le taux d'inhalation d'un adulte y est défini autour de 15. m³/j.

Les valeurs présentes dans le tableau 9 sont celles recommandées pour les expositions à long terme. Les taux d'inhalation en fonction de l'âge, du sexe et de l'activité sont calculés en faisant la moyenne des valeurs issues du Exposure Factor Handbook.

Par ailleurs, après observation des résultats de mesure obtenus par le réseau de surveillance Lig'air lors d'une étude en région Centre et en attendant les résultats de mesures dans le vignoble, les concentrations totales en pesticides dans l'air seront supposées égales à 1 ng/m³, 5 ng/m³ ou 10 ng/m³.

	Poids (kg)	Taux d'inhalation recommandé dans l'EFH (m ³ /j)
Nouveau-nés	7.6	4.5
Enfants 1-8 ans	13 à 26	~ 8
Homme adulte	70	15.2
Femme adulte	60	11.3

Tableau 9 : Valeurs du poids et du taux d'inhalation recommandées Source : Exposure Factor Handbook

3.3.5.1.3 Résultats

↳ Effets non cancérogènes

Le tableau 10 présente la dose journalière absorbée en mg/kg.j (1ng = 10⁻⁶ mg) suivant la concentration en pesticide dans l'air et l'âge et le sexe de la personne.

Dose Journalière Moyenne absorbée en mg/kg/j lorsque la concentration dans l'air est ...	Nouveau-nés	Enfant de 1 à 9 ans	Adulte
1 ng/m ³	6 ^{E-7}	3 ^{E-7} à 6 ^{E-7}	2 ^{E-7}
5 ng/m ³	3.0 ^{E-6}	1.5 ^{E-6} à 3 ^{E-6}	1 ^{E-6}
10 ng/m ³	6.0 ^{E-6}	3 ^{E-6} à 6 ^{E-6}	2 ^{E-6}

Tableau 10 : Exemple de doses moyennes journalières absorbées, d'après le modèle de l'Exposure Factor Handbook

La prise en compte d'un taux d'inhalation égal à 23 m³/j augmente la dose journalière moyenne d'au plus 1ng/kg/j.

↳ *Effets cancérogènes*

Dans ce cas, l'exposition moyenne est de 70 ans, si la durée d'exposition des personnes est supposée égale à 40 ans, les doses considérées pour les effets cancérogènes représenteront 60% des doses calculées pour les effets non cancérogènes.

3.3.5.1.4 Conclusion

Ces résultats montrent une exposition journalière à des doses très faibles. Les concentrations de référence pour l'inhalation (RfC⁵) et relations dose/réponse sont malheureusement très peu connues voire inexistantes pour les pesticides considérés dans le vignoble. Les valeurs de référence existent essentiellement pour la voie orale, elles ne sont pas utilisables dans le cas de l'inhalation. Il n'est donc pas possible à l'heure actuelle d'évaluer le risque par inhalation.

3.3.5.2 L'absorption par voie cutanée

3.3.5.2.1 Méthode

L'Exposure Factor Handbook présente une formule permettant de calculer la dose moyenne journalière reçue en fonction de la dose absorbée par cas, de la fréquence des cas, de la durée d'exposition, de la fréquence d'exposition, du poids corporel de la surface de peau exposée et du temps moyen d'exposition.

Elle se présente comme suit :

$$ADD = [DA * EV * ED * EF * SA] / [BW * AT]$$

ADD : Average daily dose (mg/kg/j), DA : absorbed dose per event (mg/cm²/event), EV : event frequency (events/days), ED : exposure duration (années), EF : exposure frequency (j/an), SA : skin surface area available for contact (cm²), BW : body weight (kg), AT : averaging time (j).

Il est à noter que pour les effets non cancérogènes l'égalité AT=ED est vérifiée et pour les effets cancérogènes et chroniques, AT est pris égal à 70 ans.

3.3.5.2.2 Limites

La dose absorbée dépend des constantes de partage octanol/eau et des coefficients de perméabilité. La dose absorbée par voie cutanée est principalement considérée pour des contacts avec de l'eau (baignade), avec de la terre, des surfaces. Le cas du simple contact avec l'air ambiant n'est pas explicité. Ce type de dose ne sera donc pas calculé ici par défaut de données et manque de représentativité de la formule dans le cas de l'atmosphère.

4 - DISCUSSION ET MESURES PROVISOIRES DE GESTION

4.1 LE POINT SUR L'EVALUATION DE L'EXPOSITION DANS LE VIGNOBLE

4.1.1 Bilan des résultats de l'étude et limites

Il est possible de connaître les substances actives utilisées dans le vignoble grâce aux comptes, rendus à la chambre d'agriculture par les viticulteurs du réseau Ariane (présenté ultérieurement). Les quantités exactes vendues dans le vignoble restent cependant mal connues car ces informations, détenues le plus souvent par les fournisseurs sont souvent confidentielles. Lorsqu'elles sont disponibles, elles existent à des échelles nationales ou régionales trop imprécises pour des études telles qu'une étude dans un vignoble. Il serait donc intéressant d'avoir accès plus facilement aux quantités de produits phytosanitaires utilisées selon des découpages fins, éventuellement par commune. Cela pourrait être obtenu en réalisant des enquêtes auprès des viticulteurs, avec cependant les imprécisions inhérentes à ce type de récolte d'informations. Des cartes présentant les produits les plus utilisés en fonction du lieu géographique pourraient ensuite être réalisées pour un accès facile à l'information.

Concernant la contamination de l'air par les produits phytosanitaires, il existe quatre modes importants d'entrée des produits dans l'atmosphère à savoir la volatilisation, la dérive, l'évaporation et l'érosion éolienne. La volatilisation est le phénomène à priori prédominant et le plus connu et étudié. Peu d'informations sont disponibles concernant les autres phénomènes qui, tout comme la volatilisation, dépendent de très nombreux paramètres naturels et techniques. En outre, le devenir des pesticides dans l'atmosphère est mal connu. D'une part les transferts dépendent énormément des conditions naturelles et des caractéristiques de chaque produit. D'autre part, les transformations sont peu documentées à tel point qu'il existe un bon nombre de produits pour lesquels les sous-produits de dégradation ne sont pas connus. Plusieurs études sont actuellement en cours pour essayer de préciser ces connaissances mais devant la multiplicité des substances actives disponibles, des mélanges dont les caractéristiques peuvent être différentes et du nombre de paramètres influençant les phénomènes, c'est un travail très long qui de plus nécessite un travail coordonné de tous les acteurs.

A partir des caractéristiques physico-chimiques disponibles sur les substances épandues dans le vignoble et des connaissances bibliographiques, quelques hypothèses ont pu être émises concernant l'aptitude de certaines molécules à rejoindre l'atmosphère mais elles restent incomplètes et à vérifier par des analyses et expériences.

Dans l'objectif d'un suivi continu de la contamination phytosanitaire de l'air, il serait nécessaire de choisir un indicateur. Le folpel pourrait figurer parmi les molécules candidates, car il est entre autre volatil et très utilisé. Il faudrait alors qu'il soit facilement analysable ce qui à priori n'est pas forcément le cas. D'une manière générale, les capacités analytiques seront déterminantes dans le choix d'un indicateur.

Au sujet de l'évaluation de l'exposition, elle est facilement réalisable dans le cas d'intoxications aiguës où les doses reçues sont importantes. Plusieurs méthodes d'évaluation de l'exposition sont disponibles, à l'heure actuelle et appliquées exclusivement en milieu professionnel pour des raisons de faisabilité. Par exemple, les modes de mesure directe semblent difficilement applicables en population générale. Les méthodes d'évaluation indirectes, en dépit des limites qu'elles présentent, fournissent des résultats satisfaisants en l'absence de méthodes d'analyses standardisées. En outre, dans certains cas, leur coût de revient est inférieur à celui de l'utilisation de techniques de pointe. Dans cette étude, des communes ont été définies comme étant particulièrement exposées, toutefois, la liste n'est pas exhaustive et repose uniquement sur des observations et hypothèses.

D'une manière générale, la prédominance d'une voie d'exposition par rapport aux autres est mal déterminée concernant les pesticides de l'air. En particulier il n'est pas possible de savoir à l'heure actuelle si une substance sera préférentiellement inhalée, ingérée ou absorbée par voie cutanée. Cela dépend de la phase dans laquelle elle se trouve et de ses caractéristiques physico-chimiques entre autres. Des études de pharmacocinétique pourraient ultérieurement fournir ce genre d'informations. Pour l'instant, on sait par exemple que le devenir d'une particule inhalée dépend principalement de sa taille, mais on ne connaît pas assez le devenir et la forme des pesticides dans l'atmosphère.

Concernant l'évaluation des risques qui serait une suite possible à l'évaluation de l'exposition, elle ne peut être réalisée en l'état des connaissances en raison du manque d'informations sur les dangers inhérents à chaque substance active. Notamment, lorsque des expériences ont été réalisées, elles le sont le plus souvent sur les animaux et à des doses importantes. Il se pose alors le problème de l'extrapolation animal/homme et de l'extrapolation des fortes doses aux faibles doses. De plus, si quelques relations dose-

réponse existent sur la base de données IRIS par exemple, elles concernent le plus souvent l'ingestion. Il n'existe pas de dose de référence par inhalation pour les produits utilisés dans le vignoble. En outre, on ne connaît pas à l'heure actuelle les interactions entre les différents pesticides (synergie, inhibition...). Concernant les études épidémiologiques réalisées directement sur des hommes, la difficulté à définir l'exposition a pour conséquence l'existence de résultats contradictoires.

Les populations à risque peuvent cependant être déterminées, elles englobent comme pour de nombreuses substances, les enfants, les femmes enceintes, les personnes âgées et les individus immunodéprimés.

D'une manière générale, de plus en plus d'informations sont disponibles sur les produits phytosanitaires en raisons des obligations d'études avant la mise sur le marché d'une substance. Cependant, elles concernent le plus souvent le devenir des substances dans l'eau et le sol et la toxicité aiguë. Elles sont très imprécises quant aux devenir dans l'air et aux effets à long terme.

4.1.2 L'existence d'autres facteurs à prendre en compte

Face à un travail sur un thème aussi vaste que celui des produits phytosanitaires, il est nécessaire d'établir des priorités d'étude. En ce sens, il était logique de choisir d'étudier en priorité les substances actives supposées dangereuses. Cependant, pour une étude complète, d'autres substances et phénomènes mériteraient, dans un futur lointain d'être pris en compte.

4.1.2.1 Les adjuvants

Les formulations de produits phytosanitaires contiennent les substances actives, connues, auxquelles sont ajoutés des ingrédients inertes permettant d'augmenter l'applicabilité, la solubilité ou la stabilité des ingrédients actifs. Par exemple, le chlopyriphos est associé dans les formulations avec des ingrédients inertes tel que le formaldéhyde, le paraformaldéhyde, des phénols, des alcools et des glycols.

Malheureusement, la nature des adjuvants est souvent tenue secrète, ce qui pose quelques problèmes puisque ces derniers peuvent être toxiques.

D'une manière générale, on sait que des hydrocarbures aromatiques polycycliques sont utilisés, en particulier dans les formulations insecticides. Etant donné qu'il existe des méthodes d'analyse des HAP connues, il pourrait être intéressant, pour information dans un premier temps, de mesurer ces derniers dans des zones exclusivement agricoles, par exemple au niveau du lycée de Briacé dans le vignoble nantais.

4.1.2.2 Les sous-produits de dégradation

Peu d'informations sont connues concernant ces produits. Pourtant il est probable que leur toxicité et leurs quantités seront aussi importantes que celle des produits de départ. Si les sous-produits de dégradation appartiennent aux même familles chimiques que les produits de départ, leurs concentrations seront prises en compte lors des analyses par familles. La mesure de l'exposition aux substances actives prendra alors en compte l'exposition aux sous-produits. Si ce n'est pas le cas, c'est alors que le problème se pose. Dans ce contexte, des études théoriques sur les réactions radicalaires et d'oxydation dans l'atmosphère en cours, prennent toutes leurs dimensions.

4.1.2.3 Les interactions entre substances

Les interactions entre substances mériteraient d'une part d'être prises en compte au niveau du devenir des substances dans l'environnement, puisque les produits et sous-produits peuvent éventuellement réagir entre eux et exposer la population à des molécules non soupçonnées. D'autre part, elles devront être prises en compte au niveau des effets sur la santé.

4.2 QUELQUES MESURES DE GESTION PREVENTIVES POUR LIMITER L'EXPOSITION

4.2.1 L'information et la prévention

4.2.1.1 L'information des professionnels

Il est nécessaire que les personnes soient informées du risque potentiel qu'induit l'utilisation de produits phytosanitaires. Plutôt que d'informer directement la population générale qui risquerait d'être inutilement alarmée et inquiétée, il est utile d'informer les professionnels puisque ce sont les plus directement concernés et que la protection de la population commence vraisemblablement par leur propre perception du risque et leur propre protection. Il peut être intéressant de présenter parallèlement les avantages de l'utilisation des pesticides, les risques paradoxalement encourus (bien que ces derniers ne puissent être à l'heure actuelle quantifiés) et les méthodes alternatives. Dans le vignoble, des méthodes alternatives sont déjà mises en place par quelques producteurs et la MSA entre autre, mène des actions de prévention et veille à ce que soit proposé aux professionnels des moyens de protection adaptés.

4.2.1.2 L'information des médecins

Il est nécessaire d'informer les médecins afin que ces derniers aient en tête les effets des produits phytosanitaires lors de l'établissement de leurs diagnostics. En outre, l'information de la population générale peut ainsi passer par eux au cours des entretiens en cabinet.

4.2.2 Le rôle des maires

Les maires interviennent à travers la mise en place et l'application des règles d'urbanisme. Ils doivent veiller à ne pas autoriser de construction d'habitation trop près des vignes

4.2.3 L'action possible des professionnels

4.2.3.1 La lutte raisonnée

Il est possible de limiter le nombre de traitements annuels en étant attentif aux risques de maladies, à la météo et autres paramètres. Environ 220 exploitants viticoles sur les 1300 que compte le vignoble ont déjà adopté la lutte raisonnée en adhérant au réseau ARIANE mis en place en 1996. Le suivi des conditions de développement des maladies est réalisé grâce à un outil de modélisation validé en 1990 et, concernant la lutte contre les insectes, le suivi est assuré par une méthode d'observation de terrain et de définition de seuils d'action. Ainsi, le nombre de traitements insecticides qui était de 4 il y a quatre ans a pu passer à 2 et cette année et, globalement, certains viticulteurs n'ont réalisé que 6 traitements entre le 15 mai et le 15 juillet, au lieu des 14 possibles.

4.2.3.2 Le bon réglage et le contrôle des appareils

Il est dans un premier temps nécessaire que les pulvérisateurs soient conçus de façon à limiter au maximum les pertes vers l'atmosphère. Les études visant à trouver un compromis entre l'efficacité du traitement et les pertes, notamment concernant la taille des gouttelettes pulvérisées doivent être développées.

Ensuite, les appareils doivent être régulièrement contrôlés pour une bonne utilisation. Actuellement, les contrôles sont basés sur le volontarisme et les personnes faisant contrôler leurs appareils sont subventionnés par le Conseil régional et la MSA. A partir de 2003, le contrôle des pulvérisateurs sera obligatoire.

Enfin, le viticulteur lui-même doit régler au mieux son pulvérisateur pour limiter la contamination de l'atmosphère et rendre son traitement plus efficace.

4.2.3.3 Autres mesures de bon sens

Il est conseillé de prévenir le voisinage de la date du traitement afin qu'il puisse prendre des mesures de protection (fermer les fenêtres, rentrer le linge..). Il est utile pour limiter l'exposition des personnes mais aussi dans un souci d'économies de limiter au maximum le surdosage.

4.2.4 La vigilance des particuliers

Pour les personnes habitant en bordure de vignes, il est conseillé des fermer les fenêtres et de rentrer son linge et les jeux d'enfant à l'intérieur pendant les traitements.

Il est en outre, conseillé de ne pas laisser les enfants jouer à proximité des plantations de vignes pendant les épandages. Enfin, il est rappelé de bien laver les fruits et légumes ramassés dans les jardins même si ces derniers ont poussé sans pesticides.

CONCLUSION

Le travail réalisé visait à dresser le bilan des connaissances et des informations à disposition permettant l'évaluation de l'exposition, via l'air, des habitants du vignoble nantais aux pesticides pulvérisés en viticulture. Il a permis une première approche de cette exposition et a mis en lumière les connaissances manquantes, les outils à améliorer et les accès aux données à faciliter pour pouvoir ultérieurement estimer l'exposition et les risques. Il peut ainsi constituer une base d'informations en vue d'une évaluation de l'exposition de la population générale en milieu viticole.

A ce jour et dans le temps imparti pour l'étude, il a été possible :

- ❑ D'identifier les substances actives épandues dans le vignoble. Elles sont une quarantaine, essentiellement des fongicides et parmi elles, le foséthyl d'Aluminium et le folpel sont très utilisés. Les quantités annuelles appliquées ne sont pas accessibles mais les doses à l'hectare sont connues. Les dangers inhérents aux pesticides utilisés dans le vignoble ont été répertoriés en vue d'une évaluation ultérieure des risques.
- ❑ D'émettre des hypothèses relatives au transfert et au devenir de certains composés dans l'atmosphère et à leur répartition sous différentes phases. Ceci a été réalisé par l'analyse des propriétés physico-chimiques des substances actives et la synthèse des connaissances actuelles sur la contamination de l'atmosphère par les pesticides. La mise en lumière de ces phénomènes et caractéristiques des produits est intéressante car ils influencent entre autre les voies d'exposition. Les résultats obtenus devront toutefois être vérifiés et précisés par des expériences et analyses. Il est apparu que le folpel est un composé particulièrement intéressant à étudier en vue du choix à terme d'un indicateur.
- ❑ De dresser la liste des méthodes d'évaluation de l'exposition à disposition et d'analyser les avantages et limites. Ensuite, de déterminer les zones du vignoble à priori les plus exposées et de quantifier et caractériser les populations à risque et celles les plus exposées au sein de onze communes sélectionnées pour leur forte exposition.

Il n'a malheureusement pas été possible :

- ❑ De collecter les données relatives aux quantités de chaque substance active épanchée annuellement dans le vignoble pour des raisons de « confidentialité commerciale »
- ❑ De définir complètement le devenir des produits dans l'atmosphère, en raison de l'état d'avancement des connaissances dans ce domaine. Il semble qu'étant données les difficultés auxquelles les études doivent faire face (multiplicité des substances actives et des formulations commerciales, variabilité des produits dans le temps et l'espace lorsqu'ils sont dans l'atmosphère, coûts...), un grand nombre d'années soit encore nécessaire avant de pouvoir modéliser totalement la contamination de l'atmosphère.
- ❑ De quantifier l'exposition des personnes puisque pour des raisons de faisabilité, la plupart des études épidémiologiques réalisées concernent les professionnels et les **méthodes d'estimation de l'exposition en milieu professionnel sont difficilement transposables en population générale**. Notons en outre qu'en raison des difficultés analytiques, les résultats de mesure de pesticide dans l'air n'ont pu être obtenus avant la fin de cette étude. Il n'est pas non plus possible à l'heure actuelle de déterminer la voie d'absorption privilégiée (inhalation, ingestion...) d'une substance présente dans l'air arrivant au contact de l'individu. L'inhalation est probablement dominante.

Il serait donc utile pour les études à venir, que l'accès aux données concernant les produits phytosanitaires (quantités, adjuvants utilisés...) soit facilité. Il est par ailleurs nécessaire de continuer les études engagées en veillant à une bonne communication et une bonne coordination entre tous les acteurs.

A ce jour, l'exposition des personnes ne peut être totalement quantifiée mais est toutefois approchée. Quelques essais de calcul de doses montrent a priori des niveaux d'exposition peu élevés. Mais, ces résultats faisant intervenir de nombreuses hypothèses ne peuvent pour le moment être pris en compte. En outre, étant donné le manque de connaissances concernant les relations dose-réponse des produits appliqués dans le vignoble et la méconnaissance des éventuels effets de synergie des substances, il est impossible de conclure quant à l'existence ou non d'un risque pour la santé des habitants du vignoble.

Cependant face aux dangers démontrés de certains pesticides utilisés dans le vignoble, des mesures de préventions doivent être prises et respectées afin de limiter au maximum l'exposition des professionnels et des populations.

Bibliographie

- [1] ARBUCKLE T. E., LIN Z., MERY L.S.; An exploratory analysis of the effect of pesticide exposure on the risk of spontaneous abortion in an ontario farm population, *Environmental Health Perspectives*, (2001 Aug.) 109(8), 851-857
- [2] BALDI I. *et al.* , Neuropsychologic effects of long-term exposure to pesticides: results from the French Phytoneer study; *Environ Health Perspect.* (2001 Aug) 109(8),: 839-44.
- [3] BALDI I., MOHAMMED BRAHIM B., BROCHARD P, DARTIGUES JF., SALAMON R.; Long-term effects of pesticides on health : review of current epidemiologic knowledge, *Rev. Epidém. et Santé Publ.*, (1998) 46, 134-142
- [4] BEDOS C., CELLIER P., CALVET R., BARRIUSO E., GABRIELLE B.; Mass transfer of pesticides into the atmosphere by volatilization from soils and plants : overview; *Agronomy* (2002) 22, 21-33
- [5] [4] BEDOS C., CELLIER P., CALVET R., BARRIUSO E.; occurrence of pesticides in the atmosphere in France, *Agronomy* (2002) 22, 35-49
- [6] CONSEIL SUPERIEUR D'HYGIENE, Données générales sur la toxicité des pesticides, *Inf'ODE, Bulletin de liaison de l'Observatoire Départemental de l'Environnement* n°16, juillet 1997
- [7] DDASS de Saône et Loire; Vin et pollution en Saône-et-Loire : évolution de la situation et des actions ; Rapport 2001
<http://www.intranet.sante.gouv.fr/resosd/rese/santenv/interven/rural/dd71/dd71vin2.doc>
- [8] Department of Consumer and Employment Protection, Government of Western Australia ; Pesticides in agriculture-recommended specific measures for spraying ;
<http://www.safetyline.wa.gov.au/pagebin/pg006702.htm>
- [9] EC Technical Guidance Document in Support of the Commission Directive 93/67/EEC on Risk assessment for New Notified Substances and Commission Regulation 1488/94/EEC on Risk assessment for Existing Chemicals. Brussels, European Commission (1996)
- [10] ENGEL L.S., KEIFER M.C., CHECKOWAY H., ROBINSON LR, VAUGHAN T.L.; Neurophysiological function in farm workers exposed to organophosphate pesticides; *Archive of environmental health*; (1998) 53(1) 7-14
- [11] EXTOTOXNET (database) Extension toxicology network; Pesticides Information Profiles : *Mancozeb*; revised June 1996

- [12] FENSKE R.A. , Lu C., Barr D., Needham L., Children's exposure to chlorpyrifos and parathion in an agricultural community in central Washington state, *Environmental health perspectives*, (2002), 110[5]:549-553
- [13] GUO Y.L., WANG B.J., WANG J.D., Prevalence of dermatoses and skin sensitization associated with use of pesticides in fruit farmers of southern Taiwan ; *Occup Environ med* (1996) 53 : 427-431
- [14] HAYO M., VAN der WERF G.; Assessing the impact of the environment; *Agriculture, Ecosystems and Environment*, (1996) 60: 81-96
- [15] HOAR S.K., ZHANG S.H., BLAIR A.; Pesticides and non-Hodgkin's lymphoma; *Cancer research*, (1992) 52: 5485s-5488s
- [16] Institut National de Médecine Agricole, Réseau de toxicovigilance en Mutualité Sociale Agricole, Bilan des observations, 30 juin 2000, 43p.
- [17] INRA, Unité Environnement et grandes cultures ; Les pesticides dans l'air : comment les produits phytosanitaires utilisés en agriculture se retrouvent dans l'atmosphère ;
- [18] IPCS, Environmental health criteria for assessment of risks to human health from exposure to chemicals, *World Health Organisation Library*, 1999
http://www.who.int/pcs/risk-assessment-ehc/docs/ehc210_exposure.htm
- [19] JURY W.A., SPENCER W. F., FARMER W.J., Behavior assessment model for trace organics in soil. I. Model description ; *J. Environ. Qual.* (1983) 12 : 558-564
- [20] LACASSIE E., Pesticides en agriculture : existe-il un risque respiratoire ? Bilan du colloque « Environnement rural et risques respiratoires » du 7 déc. 2000, Limoge, 9p.
- [21] LANDRIGAN P.J. *et al.* ; Pesticides and inner-city children : exposures, risks, and prevention; *Environmental Health Perspectives*; (1999) 107 [3]: 431-437
- [22] LEHOTSKY, KORNELIA, M. JUDIT SZEBERENYI AND ANNA KISS, Behavioral Consequences of Prenatal Exposure to the Organophosphate Insecticide Sumithion. *Neurotoxicology and Teratology*, (1989) 11 : 321-324
- [23] LIG'AIR, GREPPES; Les pesticides en milieu atmosphérique : étude en région centre, 2000-2001
<http://www.ligair.fr/actu/Pesticides.pdf>
- [24] MACKAY D., WANIA F., Transport of contaminants to the Arctic : partitioning, processes and models, *The science of the total environment* (1995) 160/161:25-38

- [25] MARONI M, FAIT A., COLOSIO C.; Risk Assessment and management of occupational exposure to pesticides; *Toxicology Letters* (1999) 107:145-153
- [26] METEO FRANCE, direction interrégionale de l'Ouest, service climatologie, Le climat de l'ouest, un climat océanique tout en nuances, *DIRO*, 1995
- [27] MEYLAN WM, HOWARD PH ; *Chemosphere*; (1993) 26: 2293-2299
- [28] OBSERVATOIRE DES EXPLOITATIONS VITICOLES, La viticulture en 1998 Loire-Atlantique et Nord-Vendée, Chambre d'Agriculture de Loire Atlantique *Fichecom 44 et 85* , 1998
- [29] ORS Bretagne, TRON Isabelle, COHUET Sandra, PIQUET Odile, Effets chroniques des pesticides sur la santé : état actuel des connaissances, 2000.
- [30] PARRON T., HERNANDEZ A.H., VILLANUEVA E.; Increased risk of suicide with exposure to pesticides in an intensive agriculture area ; A 12-year retrospective study ; *Forensic Sci Int* (1996) 79 : 53-63
- [31] ROSS M.L., LEMBI C.A. Applied Weed Science. *Burgess Publishing Compagny*, Mineapolis,MN 1985
- [32] SAFI J.M. Association between chronic exposure to pesticides and recorded cases of human malignancy in Gaza Governorates (1990-1999); *The Science of the Total Environment* (2002) 284: 75-84
- [33] SCHULZE L., GRISSO R., STOUGAARD R. Spray Drift of Pesticides ; Nebguide, Cooperation Extention, Institute of Agriculture and Natural Ressources ? University of Nebraska, Lincoln, 1990
www.ianr.unl.edu/pubs/pesticides/g1001.htm
- [34] SHAW G.M., WASSERMAN C.R., O'MALLEY C.D., NELSON V., JACKSON R. J. ;Maternal pesticides exposure from multiple sources and selected congenital anomalies; *Epidemiology* (Jan 1999) 10(1): 60-66
- [35] STEENLAND K., JENKINS B., AMES RG, Chronic neurological sequelae to organophosphate pesticide poisoning ; *Am J Public Health*, (1994) 84 : 731-736
- [36] Syndicat mixte du pays du vignoble nantais
<http://www.pays-vignoble.nantais.org/decouvrir/>
- [37] SYNDICAT MIXTE DU PAYS DU VIGNOBLE NANTAIS, Etude de définition du programme général d'amélioration de la qualité des eaux, Mars 1994

[38] Université de Lyon, normales climatiques

http://ufrmeca.univ-lyon1.fr/~gagnard/pageweb/temp_norm/maiq_poit.htm

[39] VIEL JF., CHALLIER B., PITARD A., POBEL D. ; Brain cancer mortality among french farmers : the vineyard pesticide hypothesis, *Arch Environ Health* (1998 jan-fev) 53(1) :65-70

[40] ©WHO, Regional Office for Europe; Air Quality Guidelines - Second Edition, Chapter 7-3 Particulate matter; Copenhagen, Denmark (2000) 1-41

[41] ZUSKIN E., MUSTAJBEGOVIC J., KERN J., PAVICIC D. ; Respiratory function in vineyard and orchard workers ; *Am J Indus Med* (1997) 30 : 252-252

Autres sites consultés et cités:

[42] Eléments d'évaluation de risques liés à l'exposition à des agents cancérogènes :

<http://www.univ-lille2.fr/medtrav2000/rapporttheme1/part2.htm>

[43] Exposure Factor Handbook :

<http://www.epa.gov/ncea/exposfac.htm>

Liste des annexes

ANNEXE 1 : Localisation du vignoble nantais

ANNEXE 2 : Le vignoble nantais en quelques chiffres

ANNEXE 3 : Principaux fournisseurs de pesticides du vignoble et doses homologuées

ANNEXE 4 : La toxicité aiguë des pesticides épandus dans le vignoble nantais

ANNEXE 5 : Effets chroniques des insecticides et anti-mildiou pulvérisés dans le vignoble

ANNEXE 6 : La contamination de l'atmosphère par les produits phytosanitaires (schéma)

ANNEXE 7 : Caractéristiques physico-chimiques des pesticides appliqués dans le vignoble

ANNEXE 8 : Quelques pulvérisateurs de produits phytosanitaires

ANNEXE 9 : Précisions sur les modes et phénomènes d'exposition

ANNEXE 10 : Exemple de répartition des habitations par rapport aux vignes sur la commune du Landreau

ANNEXE 11 : Caractérisation de la population de onze communes très exposées

ANNEXE 1 : LOCALISATION DU VIGNOBLE NANTAIS

A-Localisation dans l'ouest



B-16000 ha de vignes au sud-est de Nantes



Source : Site internet du pays du Vignoble Nantais

www.pays-vignoble-nantais.org

ANNEXE 2 : LE VIGNOBLE EN QUELQUES CHIFFRES

A – Taille des exploitations

	Nombre	%	Surface en vigne
Moins de 5 ha	482	35 %	862
De 5 à 10 h	182	14 %	1 359
De 10 à 15 ha	240	18 %	2 986
De 15 à 20 ha	168	13 %	2 871
De 20 à 30 ha	180	14 %	4 313
Plus de 30 ha	86	7 %	3 510
TOTAL	1 318	100 %	15 901

La surface totale indiquée par la DGI pour 98 sur Loire Atlantique ou Vendée AOC est de 16 900 ha. La différence provient de quelques communes non enquêtées et de déclarations sur de très petites surfaces.

B – Encépagement

	Surface	%
Muscadet	11 236	73 %
Gros Plant	1 843	12 %
Vin du pays blanc	645	4 %
Vin du pays rouge	1 231	8 %
Autres catégories	159	1 %
Vignes en formation	297	2 %
TOTAL	15 410	100 %

Source : déclarations de récolte – Surface > 7 hectares

C – Main d'œuvre

	Nombre d'ETP *
Chef d'exploitation	1 685
Conjoint actif sur l'exploitation	504
Estimation du travail familial	180
Salarié permanent	491
Saisonnier (hors vendanges)	218
TOTAL	3 078

Source : Observatoire des exploitations viticoles

ANNEXE 3 : PRINCIPAUX FOURNISSEURS DE PESTICIDES DU VIGNOBLE ET DOSES HOMOLOGUEES

A – Principaux fournisseurs de produits phytosanitaires dans le vignoble.

NOM	LIEU
CANA	Ancenis (siège) Le Loroux Bottereau Vallet Maisdon/Sèvre St Léger les Vignes
UNIS	Le Loroux Bottereau Vallet Clisson St Mars de Coutais
SAPR	Clion
Joseph FOULLONEUX	Vallet

Source : Chambre d'Agriculture

B – Quelques doses d'utilisation de quelques produits les plus utilisés dans le vignoble

SUBSTANCES ACTIVES	PRODUIT COMMERCIAL	ACTION	DOSE DE PRODUIT A L'HECTARE (KG OU L)	DOSES HOMOLOGUEES (EN G/HA DE MATIERE ACTIVE)
Fosethyl d'Al + Folpel	Mikal flash®	Anti-mildiou	4	2000 Fosethyl 1000 Folpel
Fosethyl d'Al + Métirame de Zn	Sillage®	Anti-mildiou	4	1884 Fosethyl 1320 Métirame
Fosethyl d' Al + cymoxanil + Folpel	Valiant flash®	Anti-mildiou	3	1500 Fosethyl 120 Cymoxanil 750 Folpel
Fludioxonil Cyprodinil	Swich®	Anti-botrytis	1.2	300 Fludioxonil 450 Cyprodinil
Fenhaxamid	Telbor®	Anti-botrytis	1.5	750
Hexaconazole	Anvil®	Anti oïdium	0.4	20
Fluzilazole	Olymp 10 EW®	Anti oïdium	0.3	30
Flufenoxuron	Cascade®	Insecticide	0.4	40
Lufenuron	Fuoro®	Insecticide	1	50
Lufenuron + Fenoxycarbe	Lufox®	Insecticide	1	30 lufenuron 75 fenoxycarbe

Source : ITV France, Chambre d'agriculture, Le coût des fournitures en oenologie 2002

Remarque :

- La liste n'est pas exhaustive
- Les doses conseillées sont les doses à appliquer par traitement. Ce sont celles autorisées par le Ministère de l'Agriculture.

ANNEXE 4 : LA TOXICITE AIGUË DES PESTICIDES EPANDUS DANS LE VIGNOBLE

Quelques valeurs toxicologiques

SUBSTANCE ACTIVE	LC50 (mg/L) 4h, rat	ADI(mg/kg/j) (Acceptable daily intake)	RfD(mg/kg/j) (Dose de référence) Source: US EPA	NOEL(mg/kg/j) (Dose sans effet observé) Source: TGA Australie
FENITROTHION	0.38	0.002 (TGA Australie)	nc	0.2
DELTAMETHRINE	Nc	0.01 (TGA Australie)	nc	1
METHYLPARATHION	0.08	0.02 (OMS)	0.00025	0.02
CHLORPYRIPHOS	> 0.2	0.01 (OMS)	0.003	0.03
Ë-CYHALOTHRINE	0.315	0.001 (TGA Australie)	0.005	0.1
FENOXYCARBE	0.48	0.05 (TGA Australie)	nc	5
MANCOZEBE	?	0.03 (OMS)	0.003	0.6
MANEBE	> 3.8	0.03 (OMS)	0.05	
METIRAME DE ZINC	>5.7	0.03 (OMS)	nc	5
CYMOXANIL	> 5.06	nc	nc	nc
DIMETHOMORPHE	> 4.24 (US EPA)	0.1 (New Jersey)	Nc	6
FOLPEL	> 5	0.01 (source inconnue)	Nc	
FOSETHYL D'ALUMINIUM	> 1.73	1(TGA Australie)	Nc	103
AZOXYSTROBINE	0.96	0.1 (TGA Australie)	nc	10

Source: EXTOWNET

Remarques :

✓ On observe des différences entre les doses de référence (ADI et RfD notamment, qui représentent la même chose). Ces différences proviennent de la méthode de calcul, des sources, des facteurs d'incertitude...

Les critères permettant de sélectionner la valeur à utiliser sont entre autre, la notoriété de l'organisme ayant élaboré la valeur, la date d'élaboration, l'origine des données qui ont permis de construire cette référence et finalement la cohérence entre la voie d'exposition et la durée de l'étude par rapport à la situation étudiée.

D'une manière générale, si ces critères sont équivalents, la plus sévère (la plus petite) des valeurs de référence pertinentes est souvent retenue.

- ✓ Les valeurs toxicologiques de référence RfD et ADI sont des valeurs correspondant à une exposition par voie orale, en aucun cas applicable à une exposition par inhalation.
- ✓ Les LC50 des autres molécules (anti-oïdium, anti-botritis) sont disponibles sur la base de données AGRITOX.

ANNEXE 5 : EFFETS CHRONIQUES SUR LA SANTE DES INSECTICIDES ET ANTI-MILDIU PULVERISES DANS LE VIGNOBLE

SUBSTANCE ACTIVE	Effets sur la reproduction démontrés	Effets tératogènes démontrés	Effets mutagènes démontrés	Cancérogénécité démontrée
FENITROTHION	Oui (effet de seuil rat : 5 mg/kg/j)	Non	Non	Pas d'évidence
DELTAMETHRINE	Oui (NOEL rat : 2.5 mg/kg/j)	Non	Non	Groupe 3 (possible)
METHYLPARATHION	Oui	Non	Non	Groupe 3 (possible)
CHLORPYRIPHOS	Non	Non	Non	Non
Ë-CYHALODRINE	Controversé	Non	Non	Non
FENOXYCARBE	Non	Oui (>300mg/kg/j (espèce inconnue)	Non	?
MANCOZEBE	Non à des niveaux d'exposition réels	Controversé	?	
MANEBE	Non à des niveaux d'exposition réels	Non	Non	
METIRAME DE ZINC		Non < 160mg/kg/j	Non	
CYMOXANIL	Non (source US EPA)	Non	Non	
DIMETHOMORPHE	Non	Non	Non	Non
FOLPEL	Oui (NOEL= 40 mg/kg/j)	Oui	Oui	Controversé
FOSETHYL D'ALUMINIUM		Oui (NOEL (lapin)> 500 mg/kg/j)	Non	
AZOXYSTROBINE (SOURCE:	Non	Non	Non chez les mammifères	

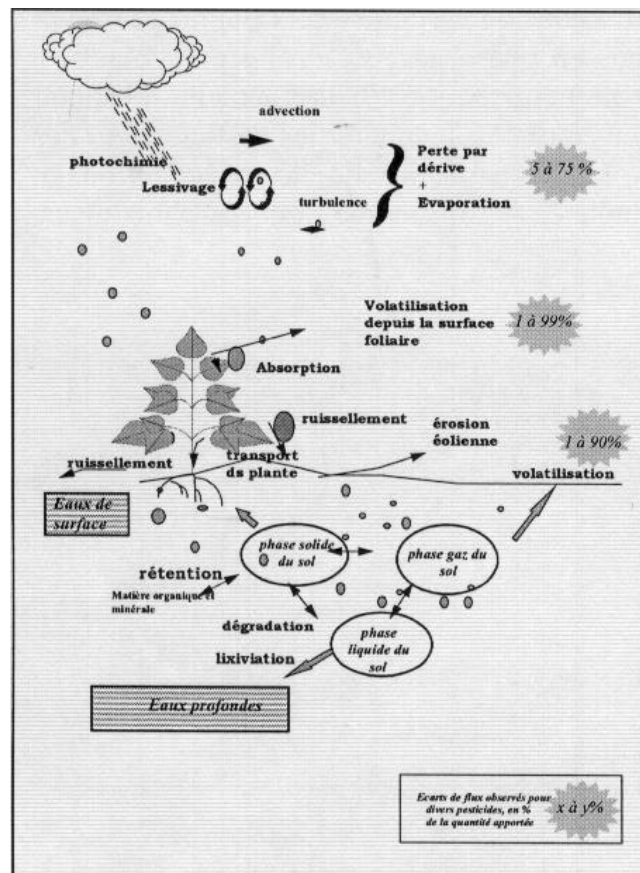
Source : EXTOWNET

Remarque:

Les réponses négatives signifient le plus souvent qu'aucune expérience n'a démontré l'effet jusqu'à aujourd'hui.

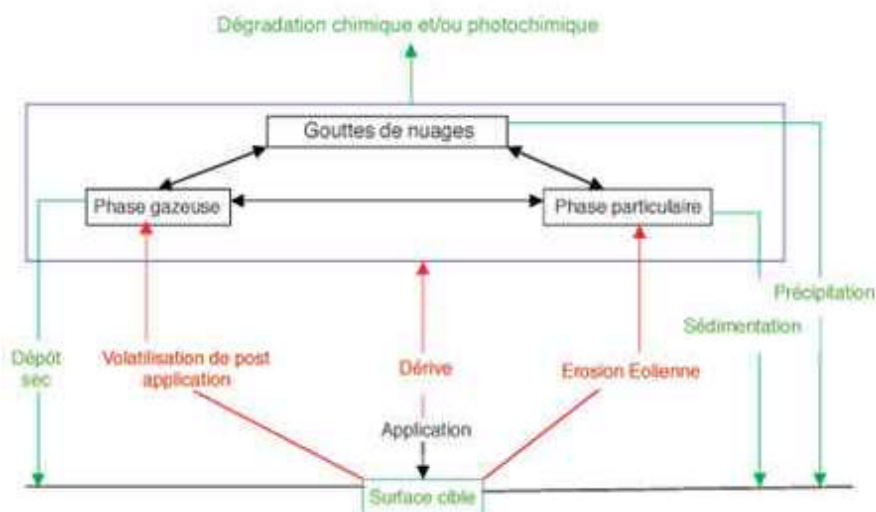
ANNEXE 6 : CONTAMINATION DE L'ATMOSPHERE PAR LES PRODUITS PHYTOSANITAIRES

A – Le devenir des pesticides dans l'environnement



Source : INRA Unité Environnement et grandes cultures

B – Les pesticides dans l'atmosphère



Source : Site Air Pays de Loire

ANNEXE 7 : CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES PESTICIDES APPLIQUES DANS LE VIGNOBLE

Substance active	Formule chimique	Solubilité dans l'eau à 25° C	Pression de vapeur (25° C) en Pa	Constante de Henry (Pa/m ³ /mol)	log P
Azoxystrobine		6 mg/L	$1,1 \cdot 10^{-10}$	$7,3 \cdot 10^{-9}$	2,5
Cuivre	Cu				
Cymoxanil	C ₇ H ₁₀ N ₄ O ₃	1 g/L	$80,8 \cdot 10^{-6}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	
Diméthomorphe	C ₂₁ H ₂₂ ClNO ₄	19 mg/L	$1 \cdot 10^{-6}$		2,7
Famoxadone	C ₂₂ H ₁₈ N ₂ O ₄	52 µg/L (20°C)	$6,4 \cdot 10^{-7}$ (20°C)	$4,6 \cdot 10^{-3}$	4,6
Folpel	C ₉ H ₄ Cl ₃ NO ₂ S	0,8 mg/L	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$7,8 \cdot 10^{-3}$	3,1
Foséthyl d'amuminium	C ₆ H ₁₈ AlO ₉ P ₃	122 g/L	$13,3 \cdot 10^{-6}$	$3,9 \cdot 10^{-8}$	- 2,7
Mancozebe	EDBC	2,7 mg/L	$10 \cdot 10^{-6}$		
Manèbe	(C ₄ H ₆ MnN ₂ S ₄) _x	216 mg/L			
Métirame de Zn	C ₁₆ H ₃₃ N ₁₁ S ₁₆ Zn ₃				
Difenoconazole	C ₁₉ H ₁₇ Cl ₂ N ₃ O ₃	15 mg/L	$12,1 \cdot 10^{-9}$	$8,9 \cdot 10^{-7}$	4,2
Flusilazole	C ₁₆ H ₁₅ F ₂ N ₃ Si	54 mg/L	$14,8 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-9}$	
Hexaconazole	C ₁₄ H ₁₇ Cl ₂ N ₃ O	18 mg/L	$20 \cdot 10^{-6}$	$3,24 \cdot 10^{-4}$	3,9
Quinoxifen	C ₁₅ H ₈ Cl ₂ FNO	116 µg/L	$12 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-2}$	4,7
Soufre		NS	$0,53 \cdot 10^{-3}$		
Tebuconazole	C ₁₆ H ₂₂ ClN ₃ O	32 mg/L	$0,9 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	
Fenhexamid	C ₁₄ H ₁₇ Cl ₂ Cl ₂ NO ₂	24 mg/L	$0,1 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	3,5
Fludioxonil	C ₁₂ H ₆ F ₂ N ₂ O ₂	1,8 mg/L	$0,35 \cdot 10^{-6}$	$5,38 \cdot 10^{-5}$	4,1
Cyprodinil	C ₁₄ H ₁₅ N ₃	13 mg/L	$0,5 \cdot 10^{-3}$	$8,45 \cdot 10^{-3}$	4
Pyriméthanol	C ₁₂ H ₁₃ N ₃	121 mg/L	$2,2 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	
Fluazinam	C ₁₃ H ₄ Cl ₂ F ₆ N ₄ O ₄	1,7 mg/L	$1,5 \cdot 10^{-3}$		3,56
Procymidone	C ₁₃ H ₁₁ Cl ₂ NO ₂	4,5 mg/L	$17,8 \cdot 10^{-3}$	1,1	
Flufenoxuron	C ₂₁ H ₁₁ ClF ₆ N ₂ O ₃	4,3 µg/L	$4,5 \cdot 10^{-12}$		3,9
Lufenuron	C ₁₇ H ₈ Cl ₂ F ₈ N ₂ O ₃	0,06 mg/L	?	$3,4 \cdot 10^{-2}$	5,1
Fénoxicarbe	C ₁₇ H ₁₉ NO ₄	6 mg/L	$17 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-5}$	4,28
Lambda cyhalothrine	C ₂₃ H ₁₉ ClF ₃ NO ₃	5 µg/L	$0,2 \cdot 10^{-6}$	0,002	7
Chloropyriphos éthyl	C ₉ H ₄ Cl ₃ NO ₃ PS	0,54 mg/L	$2,51 \cdot 10^{-3}$	$6,6 \cdot 10^{-4}$	
Chloropyriphos méthyl	C ₇ H ₇ Cl ₃ NO ₃ PS				
Parathion méthyl	C ₈ H ₁₀ NO ₅ PS	55 mg/L	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$9,6 \cdot 10^{-4}$	3
Deltaméthrine	C ₂₂ H ₁₉ O ₂₂ NO ₃	0,002 mg/L	$1,24 \cdot 10^{-8}$	$3,13 \cdot 10^{-2}$	5,4
Quinalphos	C ₁₂ H ₁₅ N ₂ O ₃ PS	22 mg/L	$0,346 \cdot 10^{-3}$		
Fénitrothion	C ₉ H ₁₂ NO ₅ PS	14 mg/L	$808 \cdot 10^{-6}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	3,38

Source AGRITOX Remarque :log P correspond à la liposolubilité. Lorsque log P est supérieur à 3, la substance est bioaccumulable.

ANNEXE 8 : QUELQUES MODELES DE PULVERISATEURS

A – Pulvérisateur avec rampes anti-botrytis



B- Pulvérisateur sans rampe



ANNEXE 9 : PRÉCISION SUR LES MODES ET PHÉNOMÈNES D'EXPOSITION

A - Le rôle de l'exposition en santé environnementale

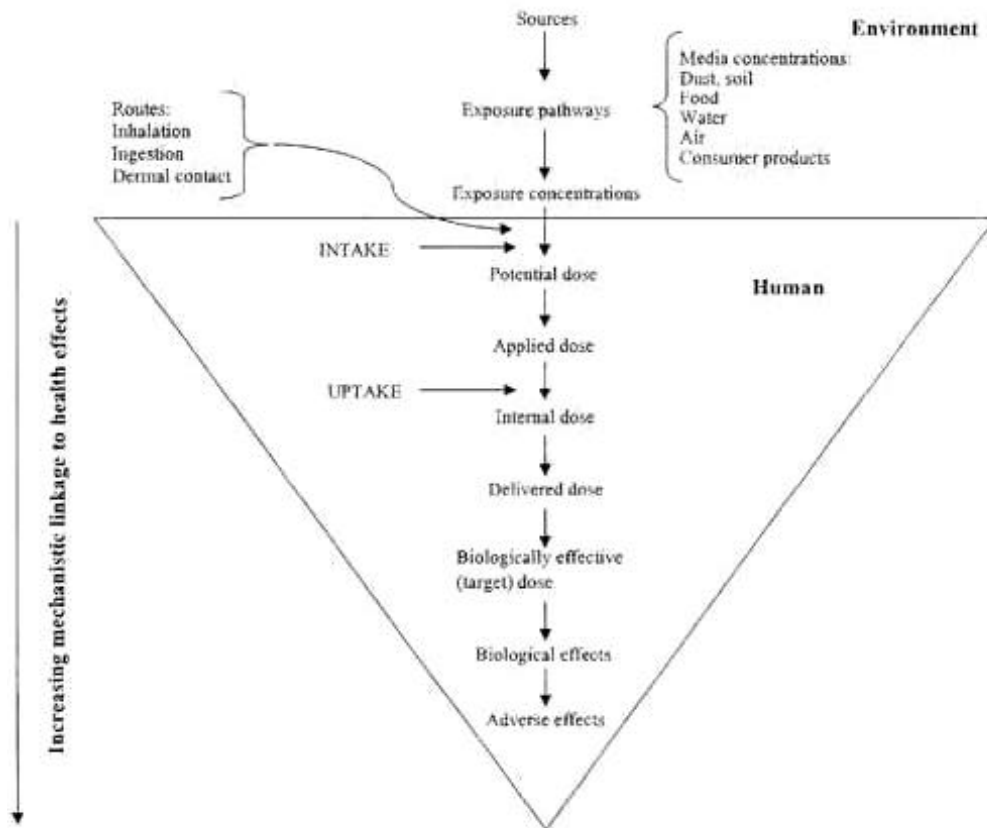
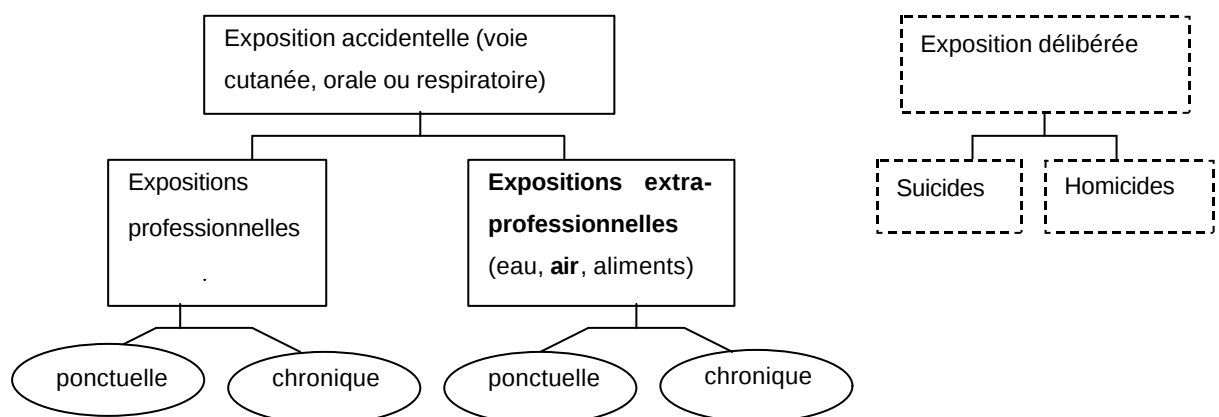


Fig. 2. Environmental health paradigm showing the role of exposure (adapted from Sexton et al. (1995) and IPCS (1993))

Source : [18]

B - Les modes d'exposition

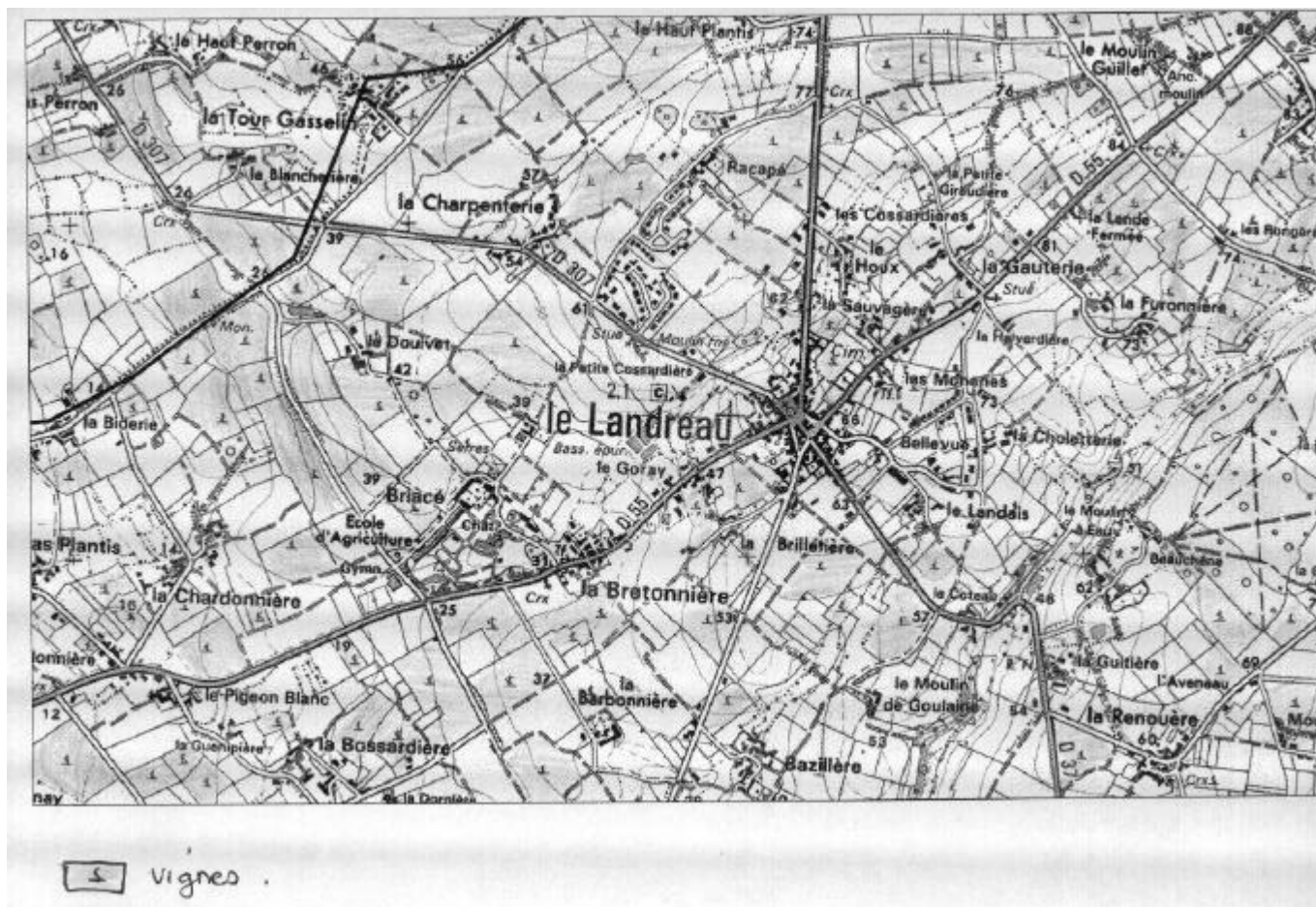
Les différents mode d'exposition des hommes peuvent être résumés dans le schéma suivant :



Source : OMS

ANNEXE 10 : EXEMPLE DE REPARTITION DES HABITATIONS PAR RAPPORT AUX VIGNES SUR LA COMMUNE DU LANDREAU

Commune du Landreau (1/25000)



Source : Scan 25

ANNEXE 11 : CARACTERISATION DE LA POPULATION DE 11 COMMUNES TRES EXPOSEES
--

COMMUNE	POPULATION TOTALE DE LA COMMUNE	NB DE NAISSANCES ANNUELLES ENTRE 90 ET 99	MOINS DE 1 AN EN 1999	0 A 4 ANS	5 A 9 ANS	% DES PLUS DE 75 ANS	NOMBRE DE PERSONNES DANS LES MENAGES DONT LA PERSONNE DE REFERENCE EST UN EXPLOITANT AGRICOLE	EMPLOIS AGRICOLES	NOMBRE D'ACTIFS AYANT UN EMPLOI DANS LA COMMUNE
La Chapelle Heulin	1859	20	4	111	108	5,1	12	52	180
Gorges	2650	32	5	135	160	7,3	40	112	312
La Haie Fouassière	3337	41	4	193	289	4	32	84	383
Le Landreau	2139	30	8	138	162	4,3	68	164	288
Le Loroux Bottereau	4936	65	12	312	386	6,5	96	312	831
Maisdon sur sèvre	2054	26	8	137	145	5,4	44	148	221
Monnière	1543	18	7	87	103	5,2	40	124	188
Mouzillon	1759	22	2	92	119	5,5	56	140	251
Le Pallet	2364	32	6	147	199	5,4	36	96	226
Saint Fiacre sur Maine	996	16	7	76	70	6,8	16	64	71
Vallet	6807	87	23	444	440	6,2	124	361	1372
total 11 communes	30444	390	86	1872	2181	5,6091	564	1657	4323

Source : INSEE (RP 99)