

Exposition aérienne aux pesticides des populations à proximité de zones agricoles

Bilan et perspectives du programme régional intercire

1	Contexte et objectifs	p.3
2	Méthodes	p.4
	2.1 Définition	p.4
	2.2 Démarche	p.4
3	Résultats	p.6
	3.1 Etat d'avancement dans chaque région	p.6
	3.2 Les partenaires identifiés	p.6
4	Les pesticides en zone viticole champenoise	p.9
	4.1 Objectifs	p.9
	4.2 Données recueillies	p.9
	4.3 Sélection des substances actives à risque	p.11
	4.4 Cartographies	p.14
	4.5 Concentrations en pesticides dans l'air extérieur	p.17
	4.6 Conclusion et perspectives	p.20
5	Les pesticides en zone arboricole dans le Cher	p.21
	5.1 Objectifs	p.21
	5.2 Données d'utilisation	p.22
	5.3 Concentrations en pesticides dans l'air extérieur	p.24
	5.4 Conclusion	p.27
6	Les pesticides en zone viticole en Gironde	p.28
	6.1 Objectifs	p.28
	6.2 Données recueillies	p.28
	6.3 Cartographie de l'exposition	p.31
	6.4 Conclusion et perspectives	p.33
7	Surveillance de la contamination aérienne par les phytosanitaires : étude de faisabilité dans trois régions	p.34
	7.1 Objectifs	p.34
	7.2 Matériel et méthodes	p.34
	7.3 Résultats	p.37
	7.4 Conclusions	p.46
8	Discussion	p.47
	8.1 Connaissance de l'exposition aux pesticides	p.47
	8.2 Comment estimer les risques sanitaires liés aux pesticides ?	p.54
9	Conclusions et perspectives	p.58
10	Références	p.59
	Annexes	p.62

La multiplication des traitements et du nombre de produits phytosanitaires employés ces dernières années a amené les pouvoirs publics à s'interroger sur les risques encourus par la population générale. Ce rapport est une synthèse de l'ensemble des travaux réalisés dans le cadre du programme régional pesticides intercire.

Encore très peu considéré dans les études sur le risque sanitaire et ne faisant actuellement l'objet d'aucune réglementation, le compartiment aérien apparaît pourtant comme une source d'exposition non négligeable en milieu viticole ou arboricole. En Aquitaine et en Champagne-Ardenne, les fongicides sont les produits retrouvés les plus fréquemment, notamment le folpel avec des concentrations de 60 ng/m³ à 1 200 ng/m³. Concernant les régions de grandes cultures, les substances les plus fréquemment retrouvées sont la trifluraline, la pendiméthaline et l'endosulfan, avec des concentrations de l'ordre de 1 ng/m³. En région mixte grande culture et arboriculture, la trifluraline, le tolyfluanide, le folpel et le captane ont été souvent retrouvés. Le lindane, bien qu'interdit depuis 1998, est détecté sur tous les sites.

Il paraît cependant prématuré d'exploiter ces données dans une évaluation quantitative des risques sanitaires liés à l'exposition aérienne aux pesticides, en raison de la trop grande incertitude liée d'une part au lien entre concentrations dans l'air et exposition réelle, et d'autre part au manque de données toxicologiques de référence pour la voie respiratoire. Les étapes suivantes devront donc recenser les valeurs toxicologiques de référence disponibles, définir leur pertinence et leurs modalités d'application. Il paraît ensuite indispensable de connaître l'exposition aux pesticides de la population en fonction des sources d'exposition (alimentation, eau, air intérieur et extérieur, poussières). Enfin, une réflexion sur la construction d'indicateurs de surveillance de la contamination aérienne par les phytosanitaires devrait être poursuivie.

The widespread application of pesticides in both agricultural and residential settings in the past few decades increased public health concern about population exposure and possible health effects.

This report, a synthesis of the studies done on a regional scale, is a first step towards estimation of inhalation exposure from ambient air in agricultural areas. Whereas the regulatory controls are absent, proximity to field application could contribute significantly to resident pesticides exposure. In vineyards (Aquitaine and Champagne-Ardenne) fungicides are most frequently detected, notably folpet with concentrations from 60 ng/m³ to 1 200 ng/m³. In other regions, the most frequently detected substances are trifluralin, pendimethalin and endosulfan with concentrations around 1 ng/m³.

Lindane insecticide, though banned since 1998, is detected on all sites at low concentration, below 1 ng/m³.

Most reference levels specific to the inhalation route are lacking. To go further in quantitative risk assessment of inhalation exposure, it will be necessary to get a better knowledge of exposure assessment and dose-response assessment.

The next steps should aim to improve knowledge of the contribution of different sources of pesticides (food, water, air, dust). Finally, indicators for ambient air monitoring should be developed and would be useful for epidemiologic studies.

Exposition aérienne aux pesticides des populations à proximité de zones agricoles

Bilan et perspectives du programme régional intercire

Rédaction du rapport :

Florence Coignard, Christine Lorente Département santé environnement, InVS

Réalisation des études :

Christine Castor, Laurent Filleul	Cire Aquitaine
Daniel Rivière	Cire Centre-Ouest
Florence Kermarec, Marielle Schmitt	Cire Est
Julie-Muriel Philippe-Dondon, Jeanne Faliu	Drass Champagne Ardenne
Laurent Chaix, Florence Campagne, Patrick Bourquin	Airaq
Eve Chrétien, Emmanuelle Khol-Drab	Atmo Champagne-Ardenne
Vladislav Navel	Atmo Poitou-Charentes
Olivier Pétrique, Abderrazak Yahyaoui	Lig'air

Remerciements :

Hélène Desqueyroux, Hervé Pernin, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie,
pour leur relecture attentive.

Abréviations

Acta	Association de coordination technique agricole
Afssa	Agence française de sécurité sanitaire des aliments
AASQA	Associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'air
Circ	Centre international de recherche sur le cancer
Cire	Cellule interrégionale d'épidémiologie
CIVB	Comité interprofessionnel des vins de Bordeaux
CIVC	Comité interprofessionnel des vins de Champagne
CPP	Comité de la prévention et de la précaution
DAEO	Dose acceptable d'exposition pour l'opérateur
Ddaf	Direction départementale de l'agriculture et de la forêt
Ddass	Direction départementale des affaires sanitaires et sociales
DDE	Direction départementale de l'équipement
DGAI	Direction générale de l'alimentation
Diren	Direction régionale de l'environnement
DJA	Dose journalière acceptable
Draf	Direction régionale de l'agriculture et de la forêt
Drass	Direction régionale des affaires sanitaires et sociales
FAO	Food and Agriculture Organisation
Fredec/on	Fédération régionale de défense contre les ennemis des cultures / organismes nuisibles
Greppes	Groupe régional pour l'étude de la pollution par les produits phytosanitaires des eaux et des sols
Grap	Groupe régional d'action contre la pollution des eaux par les produits phytosanitaires
HPLC	High Performance Liquid Chromatography
IARC	International Agency for Research on Cancer
Ineris	Institut national de l'environnement et des risques
Inra	Institut national de recherche agronomique
Insee	Institut national de la statistique et des études économiques
InVS	Institut de veille sanitaire
IRIS	Integrated Risk Information System (US-EPA)
LCSQA	Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air de l'Ineris
MSA	Mutualité sociale agricole
NOAEL	No Observed Adverse Effect Level
OMS	Organisation mondiale de la santé
OSHA	Occupational Safety & Health Administration
RfD	Reference dose
RIVM	Rijk Instituut voor Volksgesondheid en Milieu
PEL	Permissible Exposure Limits
SAU	Surface agricole utile
SIG	Système d'information géographique
SRPV	Service régional de la protection des végétaux
US-EPA	Environmental Protection Agency (Etats-Unis)
VTR	Valeur toxicologique de référence

1 Contexte et objectifs

Le programme régional pesticides intercire initié dans le cadre du premier Contrat d'objectif et de moyen (COM 1) de l'InVS de 2001 à 2003, a fait suite aux recommandations du Comité de prévention et de précaution des risques sanitaires liés à l'utilisation des produits phytosanitaires, publiées en février 2002 préconisant une amélioration de l'accès aux données d'utilisation ainsi que l'estimation de l'exposition aux pesticides des populations les plus à risque, incluant les travailleurs, les femmes enceintes ou susceptibles de l'être, les enfants et les riverains des exploitations agricoles [1].

La problématique pesticides tient une place importante dans le Plan national santé environnement (PNSE) mis en place en France en cohérence avec les plans de la commission européenne et de l'OMS. Il cite parmi les huit enjeux prioritaires la prévention des cancers et les risques reprotoxiques ou neurotoxiques, domaines dans lesquels l'exposition aux pesticides pourrait jouer un rôle. L'action 36 du PNSE « Organiser l'exploitation des données existantes pour estimer l'exposition de la population aux pesticides » prévoit notamment la mise en place de l'Observatoire de résidus de pesticides destiné à rassembler les informations et résultats des contrôles et des mesures de résidus de pesticides dans les différents milieux et produits de consommation. Le Plan régional santé environnement (PRSE) décline en région les objectifs et les actions à mettre en œuvre pour mieux gérer les risques sanitaires liés aux agents environnementaux.

Dans ce cadre et afin de répondre aux sollicitations des responsables administratifs locaux, l'InVS a initié ce programme dont l'objectif est d'estimer l'exposition aérienne aux pesticides des populations riveraines des exploitations agricoles. Il devait permettre une première prise de contact avec les acteurs locaux et régionaux, ainsi qu'une harmonisation des actions engagées sur ce thème dans chacune des régions. La rédaction d'un guide sur la démarche recommandée pour l'estimation des expositions aux pesticides des populations riveraines des exploitations agricoles était également attendue.

Par ailleurs, l'InVS s'est investit dans un programme national dont l'objectif est de faire le bilan des connaissances sur les effets des pesticides sur la santé en population générale et de l'état de la recherche en France sur ce thème, afin de dégager des priorités d'action. Une revue de la littérature sur les effets des pesticides sur la santé est à paraître.

Un bilan général du programme réalisé dans les Cire sera tout d'abord établi. Les résultats des recherches seront ensuite présentés par région, identifiant d'une part les produits utilisés en fonction des régions et de leur paysage cultural propre, et d'autre part les concentrations aériennes des différents pesticides si elles sont disponibles. La problématique de la surveillance de la contamination aérienne par les phytosanitaires sera abordée par une étude des concentrations aériennes en pesticides mesurées dans trois régions selon la même méthodologie, permettant de débuter une réflexion sur les indicateurs de contamination aérienne par les pesticides. L'utilité de l'ensemble de ces données dans le cadre de l'estimation de l'impact sanitaire lié à la présence de ces substances dans l'air sera discutée. Des recommandations méthodologiques sur l'exposition des populations dans la caractérisation des risques sanitaires liés aux pesticides, seront suggérées à la lumière des expériences menées dans chacune des régions et en fonction des outils disponibles.

2 Méthodes

2.1 Définition

Le terme **pesticide** est un terme générique regroupant toutes les substances chimiques destinées à la lutte contre les organismes nuisibles.

D'un point de vue réglementaire, on distingue :

- les **produits phytosanitaires** : substances chimiques destinées à la protection des végétaux contre les organismes nuisibles aux cultures et regroupant insecticides (contre les insectes), fongicides (contre les champignons) et herbicides ;
- les **biocides** : substances chimiques utilisées dans les domaines non agricoles contre les organismes nuisibles (protection des charpentes, désinfection, usages domestiques).

2.2 Démarche

2.2.1 Identification des partenaires locaux

L'objectif était de prendre contact avec l'ensemble des acteurs susceptibles de fournir des données sur l'utilisation des pesticides dans chaque région et de créer un partenariat local à plus long terme.

2.2.2 Recueil des données disponibles sur les produits phytosanitaires utilisés

Il s'agissait d'une étape de définition et de recueil des données d'utilisation propres à chaque région et nécessaires à la caractérisation des expositions.

Chaque Cire était chargée d'identifier pour chaque type de culture au niveau local, la quantité de produits utilisée par hectare et par année :

- liste des substances utilisées selon les cultures par zone géographique ;
- nombre moyen de traitement par culture et par an pour ces substances ;
- quantité moyenne de substance utilisée par traitement et par type de culture.

2.2.3 Sélection des substances actives

Cette étape consistait à hiérarchiser les substances à suivre pour les étapes ultérieures, à partir des données toxicologiques et des données d'utilisation disponibles localement.

2.2.4 Cartographie des utilisations de pesticides

Une fois les données quantitatives recueillies, il s'agissait de réaliser une cartographie des zones potentiellement exposées aux produits phytosanitaires au moyen d'un Système d'information géographique (SIG). L'objectif était de mettre en parallèle les données d'utilisation avec des données de densité de population et si possible des effets sanitaires.

2.2.5 Faisabilité d'une surveillance de la contamination aérienne par les phytosanitaires

En parallèle du recueil de données sur l'utilisation des produits phytosanitaires, il est apparu nécessaire de compléter et valider ces informations par des mesures de concentrations dans l'air. Une étude métrologique pilote a donc été mise en place en collaboration avec les réseaux de mesure de qualité de l'air. Les concentrations aériennes des substances les plus utilisées localement ont ainsi été relevées sur trois sites pendant la période principale de traitement d'avril à octobre pour l'année 2004, représentant différents types de culture et donc de produits utilisés, mais avec des typologies permettant de comparer les mesures.

L'objectif était d'identifier des pesticides traceurs pour la mise en place d'une surveillance environnementale de la contamination aérienne aux pesticides et d'évaluer l'évolution dans le temps des pesticides mesurés dans l'air permettant de définir des périodes d'exposition différentes, utilisables dans des études épidémiologiques.

3 Résultats

3.1 Etat d'avancement dans chaque région

Le tableau suivant résume les résultats obtenus dans chaque région pour chaque objectif.

Tableau 1 : Bilan du programme intercire dans chaque région participante

Cire	Région couverte	Identification des partenaires	Carte zone agricole	Nature des traitements	Quantité de traitement	Cartes exposition
Aquitaine Bordeaux	Aquitaine	Draf, SRPV, Ddass, Drass, Diren, Airaq, chambres d'agriculture, CIVB, agence de l'eau	Oui	Oui	Nb de traitements par an et par famille	Oui
Centre- Ouest Orléans	Centre, Poitou- Charentes, Limousin	Ddass, Ddaf, SRPV, MSA, Ligair, Atmo Poitou- Charentes	Oui	Oui	Oui	Oui
Est Nancy	Champagne- Ardenne Alsace Lorraine	SRPV, CIVC, distributeurs, Atmo Champagne-Ardenne	Oui	Oui	Traitements aériens	Oui
Midi- Pyrénées Toulouse	Midi-pyrénées	SRPV, Draf, Oramip	Non	Non	Non	Non
Sud Marseille	Paca, Corse	SRPV, chambre d'agriculture, Inra, MSA, communes, DDE, SNCF	Non	Non	Non	Non

3.2 Les partenaires identifiés

Cette première étape devait permettre le développement d'un partenariat au niveau local ainsi qu'un rapprochement avec les principaux détenteurs de données, nécessaires à la réalisation de cette étude. Toutes les régions qui ont participé à ce programme ont réalisé cette première étape, dressant une liste des différents types de partenaires avec des représentations régionales.

1) Services permettant d'optimiser les traitements en fonction de certains ravageurs et maladies :

- coopératives d'achat, par exemple Cosama Berry en région Centre diffuse un bilan annuel phytosanitaire sur les maladies observées dans les cultures ;
- chambre d'agriculture : indique la nature et la période des traitements phytosanitaires à effectuer ;
- Service régional de la protection des végétaux, dépendant de la Direction régionale de l'agriculture et de la forêt (Draf) : avertissements agricoles concernant les traitements, bonnes pratiques liées à l'emploi des pesticides, accréditation des applicateurs et contrôle des produits phytosanitaires en sortie de champs.

2) Détenteurs de données sur les pratiques agricoles, nature et quantités des produits

- distributeurs de produits phytosanitaires ;
- Agence de l'eau ;
- Groupements régionaux pour la protection des eaux, selon les régions Greppes, Grap (en Aquitaine, Groupe régional d'action contre la pollution des eaux par les produits phytosanitaires) ;
- Fédérations régionales de défense contre les ennemis des cultures, avec des sigles différents selon les régions : Fredon, Fredonca, Fredec etc.

3) Utilisateurs de produits phytosanitaires

- profession viticole : Comités interprofessionnels des vins de Bordeaux (CIVB) et de Champagne (CIVC) ;
- Société nationale des chemins de fer ;
- Union des parcs et jardins.

4) Réseaux de mesures de la qualité de l'air

- ATMO Champagne Ardenne ;
- ATMO Poitou Charentes ;
- Airaq en Aquitaine ;
- Lig'air en région Centre.

5) Partenaires sanitaires

- Directions départementales et régionales des affaires sanitaires et sociales, responsables du contrôle de la qualité de l'eau d'alimentation au regard des normes des concentrations en pesticides ;
- Service santé environnement de la Drass ;
- Mutualité sociale agricole.

Des groupes de travail ont été constitués dans les régions avec différents partenaires au sein de cette liste. En Gironde par exemple, un groupe de travail régional a été constitué en mai 2003, incluant l'InVS, la Cire, la Drass, la Ddass de Gironde, le SRPV, la Diren, la Chambre d'agriculture régionale, la Chambre d'agriculture de Gironde et l'Agence de l'eau, qui ont donné leur accord de principe pour fournir certaines données d'utilisation. Par ailleurs, la Cire a intégré le Grap Aquitaine, comportant un groupe « zonage » chargé d'établir une cartographie des aléas de contamination des eaux. La Fredon a répertorié les cultures représentatives de la région Aquitaine et leur a affecté un nombre de traitements moyen par type de culture et par catégorie de produit phytosanitaire (insecticide, herbicide, fongicide), à partir d'avis d'expert du SRPV et de la Chambre régionale d'agriculture.

Les Cire Centre-Est (Dijon), Languedoc-Roussillon (Montpellier), Ouest (Rennes), Sud (Marseille) avaient inscrit le programme intercire pesticides dans leur activité mais n'ont pu retenir celui-ci comme thème prioritaire compte tenu des disponibilités en terme de personnel.

Certaines initiatives ont vu le jour sur ce thème en dehors du programme intercire. En Midi Pyrénées, l'exposition des populations résidant à proximité de zone d'épandage aérien a été estimée par la mesure de substances actives dans l'air (lambda-cyhalothrine, deltaméthrine et d'adjuvant (solvants aromatiques, propylène glycol, phosphate de tributyle). La faisabilité d'une évaluation quantitative des risques sanitaires a été discutée.

En Centre-Est une campagne de mesure a été mise en place ainsi qu'une réflexion sur la mise en œuvre éventuelle d'une étude géographique. Ces initiatives ne seront pas développées ici car elles font ou feront l'objet de rapports distincts.

Les données d'utilisation de pesticides recueillies et les mesurages dans l'air éventuellement effectués sont ensuite présentés par région, en zone viticole champenoise, en zone arboricole dans le Cher et en zone viticole en Gironde.

L'étude sur la faisabilité d'une surveillance de la contamination aérienne par les phytosanitaires fait l'objet d'un paragraphe à part.

4 Les pesticides en zone viticole champenoise

La région Champagne-Ardenne a une activité agricole et notamment viticole importante qui la placent dans les premiers rangs français en terme de consommation de produits phytosanitaires. Le vignoble champenois s'étend sur cinq départements (Marne, Aisne, Aube, Haute-Marne, Seine-et-Marne) et couvre 31 000 ha. L'exposition des populations est susceptible d'être favorisée du fait de la topographie des vignes, à flanc de coteaux, des méthodes d'épandages utilisant souvent la voie aérienne et de l'imbrication de l'habitat et de la vigne.

4.1 Objectifs

L'objectif était d'estimer les risques liés à la présence de pesticides dans l'air pour les populations en zone viticole champenoise. Pour cela, il était prévu de réaliser :

1) Une étude géographique et démographique qui comprenait :

- la définition d'un ratio surface viticole/surface communale puis la sélection des communes ayant les ratios les plus grands ;
- l'étude de la proximité des vignes par rapport à l'habitat et aux établissements recevant du public, à partir des cartes orthophotoplan de la Draf ;
- la description de la population par tranche d'âge.

2) Une description des traitements aériens comprenant :

- l'identification des communes desservies par un même prestataire de traitement par hélicoptère ;
- le nombre et la fréquence des traitements par commune ;
- la proximité des zones d'épandages par rapports aux zones habitées grâce à une cartographie par Système d'information géographique (SIG) ;
- la part de l'épandage aérien par hélicoptère par rapport aux autres modes d'épandages.

3) Une campagne métrologique.

4.2 Données recueillies

4.2.1 Surfaces plantées par communes

Le SRPV de Champagne-Ardenne a fourni des données sur les surfaces communales de vignes plantées (en hectares) dans l'Aube et la Marne pour les années 2000 et 2001. Les données sur les surfaces communales pour ces mêmes communes ont été fournies par l'Insee (figure 1).

4.2.2 Traitements aériens par hélicoptère

Tout traitement par hélicoptère doit faire l'objet d'une déclaration préalable au SRPV contenant les informations suivantes :

- la date et la zone d'épandage ;
- les produits : produit commercial ;
- les quantités épandues : surface traitée et dose à l'hectare ;
- l'objet du traitement : mildiou, tordeuses, grêle, etc.

Le SRPV de Champagne-Ardenne a réuni l'ensemble de ces déclarations pour les années 2001 et 2002. Pour l'année 2001, elle les a consolidées avec les déclarations post-épandage dont elle disposait qui ne sont pas, elles, obligatoires. Ces données sont donc initialement disponibles voyage par voyage pour chaque hélicoptère, et correspondent à une liste de communes survolées. La dose de substance active épandue par commune a été calculée au *pro rata* de la surface communale pour chaque produit commercial épandu, en tenant compte de la composition chimique de chaque produit.

Pour chaque commune, la quantité totale épandue dans l'année 2001 a été calculée pour 12 substances actives sélectionnées selon une balance toxicité/quantité : chlorothalonil, chlopyriphos-éthyl, cyperméthrine, dinocap, flusilazol, folpel, mancozèbe, méthomyl, métirame-zinc, parathion-méthyl, propargite et zinèbe (figure 2).

Seul le folpel a donné lieu à la réalisation d'une représentation cartographique (figure 3).

4.2.3 Données de vente

Les quantités de produits phytosanitaires vendues ont été obtenues pour deux campagnes d'épandage, du 1/09/2000 au 21/10/2001 et du 1/09/2001 au 31/10/2002. Une convention a été signée le 10 mars 2003 entre le préfet, les fédérations régionales des coopératives et du négoce, le Comité interprofessionnel des vins de Champagne et les 12 distributeurs de produits phytosanitaires. Il n'a pas été possible d'obtenir ces données par secteur viticole.

4.2.4 Données toxicologiques

Les données toxicologiques disponibles pour chaque substance identifiée sont rassemblées dans le tableau 2 à partir des bases de données Agritox de l'Inra, Extoxnet et Teletox :

1) Valeurs toxicologiques de référence (VTR)

- Dose Journalière Admissible (DJA) en mg/kg/j disponible auprès de l'Environmental protection agency (EPA), de l'Union Européenne ou de l'organisation mondiale de la santé (OMS) ;
- Permissible exposure limite (PEL) (exposition moyenne de 8 heures) du ministère du travail américain, l'Occupational Safety & Health Administration (OSHA) ;
- Reference dose (RfD).

2) Classement CIRC pour les substances cancérogènes

- 1 : cancérogène chez l'homme : données suffisantes ;
- 2A : cancérogène probable : connaissances limitées chez l'homme, suffisantes chez l'animal ;
- 2B : cancérogène possible : chez l'homme ;
- 3 : Inclassable.

3) Substances classées comme perturbateurs endocriniens

4) Voies à risque recensées

5) Classement toxicologique au sens de la directive européenne 67/548/CE :

- T : Toxique
- T+ : Très toxique
- Xn : Nocif
- Xi : Irritant
- N : Dangereux pour l'environnement

4.3 Sélection des substances actives à risque

4.3.1 En général

Une sélection de 32 substances actives les plus à risque a été obtenue en croisant les données toxicologiques (valeur de la DJA en mg/kg/j) et les quantités vendues en kilogramme. Cette sélection apparaît en grisé dans le tableau 2.

Cinq substances classées cancérogènes ou perturbateurs endocriniens ont également été sélectionnées.

Tableau 2 : Sélection des substances à risque en Champagne-Ardenne

DJA		Quantités en Kg		
en mg/kg/j		<100	100 à 1 000	>10 000
<0,001	Phoxime	Cyhexatin Simazine* Aldicarbe	Dinocap Flusilazol Methidathion	Aminotriazole*
0,001 à 0,005	Dicofol, Diethion Dimethoate, Triazamate Parathion ethyl Fenazaquin Fenitrotion Lambda cyhalothrine Trichlopyr	Diquat Chlorothalonil* Oxyfluorfen Hexaconazole Vinchlozoline**	Diuron Chlorpyriphos** ethyl Fenamidone Parathion methyl* Thirame*	Terbutylazine
0,005 à 0,01	Azocyclotin, Carbaryl Quizalofop ethyl Amitraze Betacyfluthrin Captane Cyproconazole Fenarimol, Flufenoxuron Propyzamide Taufluvalinate Tralomethrine	Bromopropylate Deltamethrine* Fenpropothrine Lufenuron Oxadixyl Tetradifon	Paraquat Propinebe Flumioxazine Difenoconazole Fluazinam Propargite	Dichlobenil
0,01 à 0,1	Alphamethrine Bifenthrine Acrinathrine Clofentezine Esfenvalerate Mercaptodimethur Fenbutatin oxyde Acephate Fenbucobazole Hexythiazox Iprodione, Manebe Metalaxyl, Triadimefon 2,4 D**, Ethephon Pyriphenox, Triadimenol Cycloxydime	Flazasulfuron Carbendazime Tetraconazole Mefenoxam Tebufenozide Myclobutanil Tebuconazole Thiodicarbe Zinebe* Benalaxyl Cypermethrine** Benomyl Diethofencarbe	Famoxadone Iprovalicarbe Methomyl Spiroxamine Fludioxonyl Dimethomorphe Isoxaben Oryzalin Azoxystrobine Fenoxycarbe Napropamide Procymidone Sulfosate	Cymoxanil Glufosinate ammonium Mancozebe** Metiram zinc** Glyphosate Folpel

* Substances classées par le Circ comme cancérogène

** Substances classées comme perturbateur endocrinien

4.3.2 Cas particulier du traitement aérien

Le bilan des déclarations du SRPV de Champagne-Ardenne fait état de 38 substances actives différentes en 2001 et 2002. Les tableaux 3 et 4 présentent les données toxicologiques ainsi que les données de vente pour ces substances.

Tableau 3 : Données toxicologiques des substances actives utilisées pour les traitements aériens en Champagne-Ardenne (1)

Usage famille	Substances actives	Circ	PE	Classt	Risque 1	Risque 2	Risque 3	DJA - ACTA	RfD - EPA	DJA-EPA	DJA UE	DJA FAO OMS	PEL-OSHA	Quantité de substance active épandue par aéronef en kg
									mg/m ³					2001
AM/AO	Azoxystrobine			N T	Toxique inhalation			0,1		0,1			0	63,5
AM	Benalaxy							0,1				0,05	0	125
I	Bifenthrine			T	Toxique ingestion			0,02	0,015	0,015		0,02	44,4	0
AM	Chlorothalonil	2B		Xn	Effets irréversibles			0,004				0,03	21,6	109,7
I O-P	Chlorpyriphos ethyl		X	N T	Toxique contact ingestion			0,01				0,01	163	58,1 L
AM	Oxychlorure de cuivre												2 574	202,7
AM	Sulfate de cuivre											1	1 000,5	202,7
AM	Cymoxanyl			N Xn	Nocif ingestion	Sensibilisation peau		0,05					3 451,6	2 027,8
I PYR	Cypermethrine	X	N Xn		Nocif inhalation ingestion	Irritant yeux+peau	Sensibilisation peau	0,05				0,05	0,27	2,9
						Risque effets graves si expo long terme		0,01					109	6,3
AO	Difenoconazole			Xn	Nocif ingestion								178,6	182
AM	Dimethomorphe							0,05	0,1				302,1	0
AO	Dinocap			Xn	Nocif inhalation ingestion	Irritant peau	Risque possible grossesse	5E-04	0,001			0,008	281,2	0
AM	Famoxadone			N		Sensibilisation		0,08			0,012		0	91
AM	Fenamidone							0,002					68,85	87
I	Fenoxycarbe			N				0,1						
AO TRIA	Flusilazole			Xn	Nocif ingestion	Risque effets graves si expo long terme	Risque possible grossesse	0,002				0,001	67,5	172,1
AM	Folpel			Xn	Irritant yeux	Effet irréversible	Sensibilisation peau	0,1	0,01			0,1	15 459,6	8 816
AO	Hexaconazole			N Xi				0,005					45	0
AM CARB	Iprovalicarbe											0,015	0	417,6
AO	Kresoxim methyl							0,4					55,7	195,8
I	Lufenuron			N Xi	Sensibilisation peau			0,01					81,9	124,8

Tableau 4 : Données toxicologiques des substances actives utilisées pour les traitements aériens en Champagne-Ardenne (2)

Usage famille	SUBSTANCES ACTIVES	Circ	PE	Classe ¹	Risque1	Risque2	Risque3	DJA - ACTA	RfD - EPA	DJA- EPA	DJA UE	DJA FAO, OMS	PEL- OSHA	Quantité de substance active épandue par traitement aérien	
												mg/m ³		kg 2001	kg 2002
AM CARB	Mancozèbe	X	N Xi	Irritant voies respiratoires	Sensibilisation peau			0,05				0,03		7 510,7	7 294,2
AM	Mefenoxam		Xn	Nocif ingestion	Risque lésions oculaires			0,02						166,5	22,8
I CARB	Methomyl	X	N T+	Très toxique ingestion				0,03	0,025	0,03		0,03	2,5	692	0
AM CARB	Metiram zinc	X						0,03				0,03		2 768	2 407,7
AM	Ofurace													0	6,1
AM	Oxadixyl							0,01						10,8	0
I O-P	Parathion methyl	3	T+	Toxique contact+ingestion	Très toxique ingestion			0,003		0,004		0,003		25,8	28, 5 L
AM	Fosetyl aluminium							3						21 314	14 035
I SULF	Propargite		N Xn	Nocif ingestion	Irritant yeux+peau			0,02				0,01		303,5	0
I O-P	Quinalphos		T	Nocif contact	Toxique ingestion									0	41,2 L
AO	Quinoxyfen		N Xi	Sensibilisation peau				0,2						175	193
AO	Soufre micronisé													70 541	41 268
AO	Spiroxamine		N Xn	Nocif inhalation ingestion contact	Irritant peau	Sensibilisation peau	0,025			0,025				0	612,8
AO	Tebuconazole		Xn	Nocif ingestion				0,03				0,03		0	45
AO	Tetraconazole		N Xn	Nocif ingestion	Effets graves si expo long terme			0,015						0	17
I CARB	Thiodicarbe		T	Toxique ingestion	Irritant yeux			0,03				0,03		787,5	0
AM CARB	Zinebe	3	X	Xi	Irritant voies respiratoires	Sensibilisation peau		0,03				0,03		0	1 285

Usage: I : Insecticide, AM : Anti-mildiou, AO : Anti-oïdium ;

Famille : O-P : Organophosphorés, CARB : Carbamates, PYR : Pyréthrinoïdes, SULF : Sulfone sulfonate, TRIA : Triazole ;

ACTA : Association de coordination technique agricole, UE : Union européenne, Com Tox : Commission des toxiques, OMS : Organisation mondiale de la santé,

PEL : Permissible Exposure Limits (protection des travailleurs), basé sur une exposition moyenne de 8 heures (8-hour time weighted average TWA)

OSHA: Occupational Safety & Health Administration, US department of labour.

4.4 Cartographies

Figure 1 : Communes exposées aux produits phytosanitaires en Champagne-Ardenne en 2001

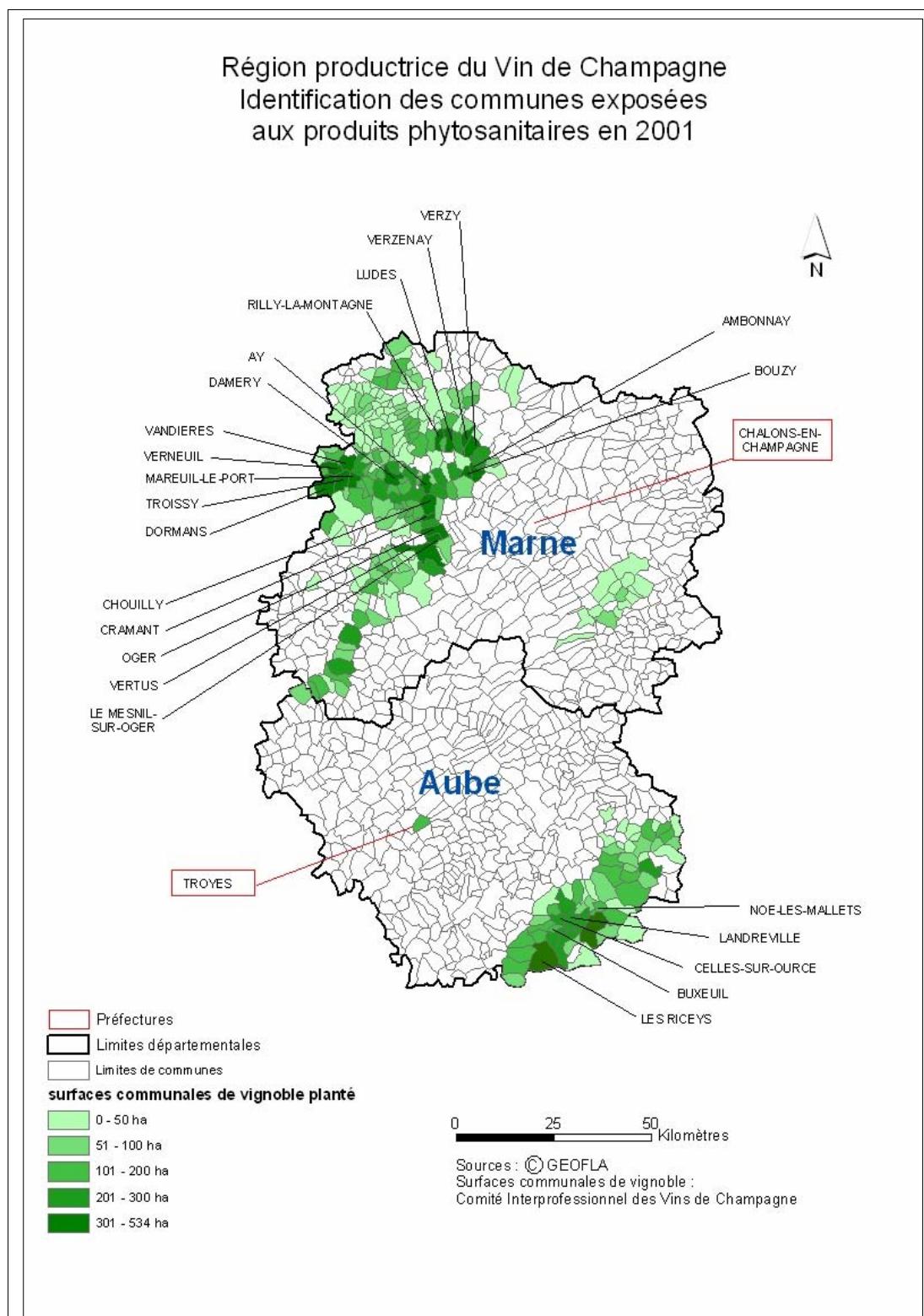


Figure 2 : Fréquence des traitements aériens par commune en Champagne-Ardenne en 2001

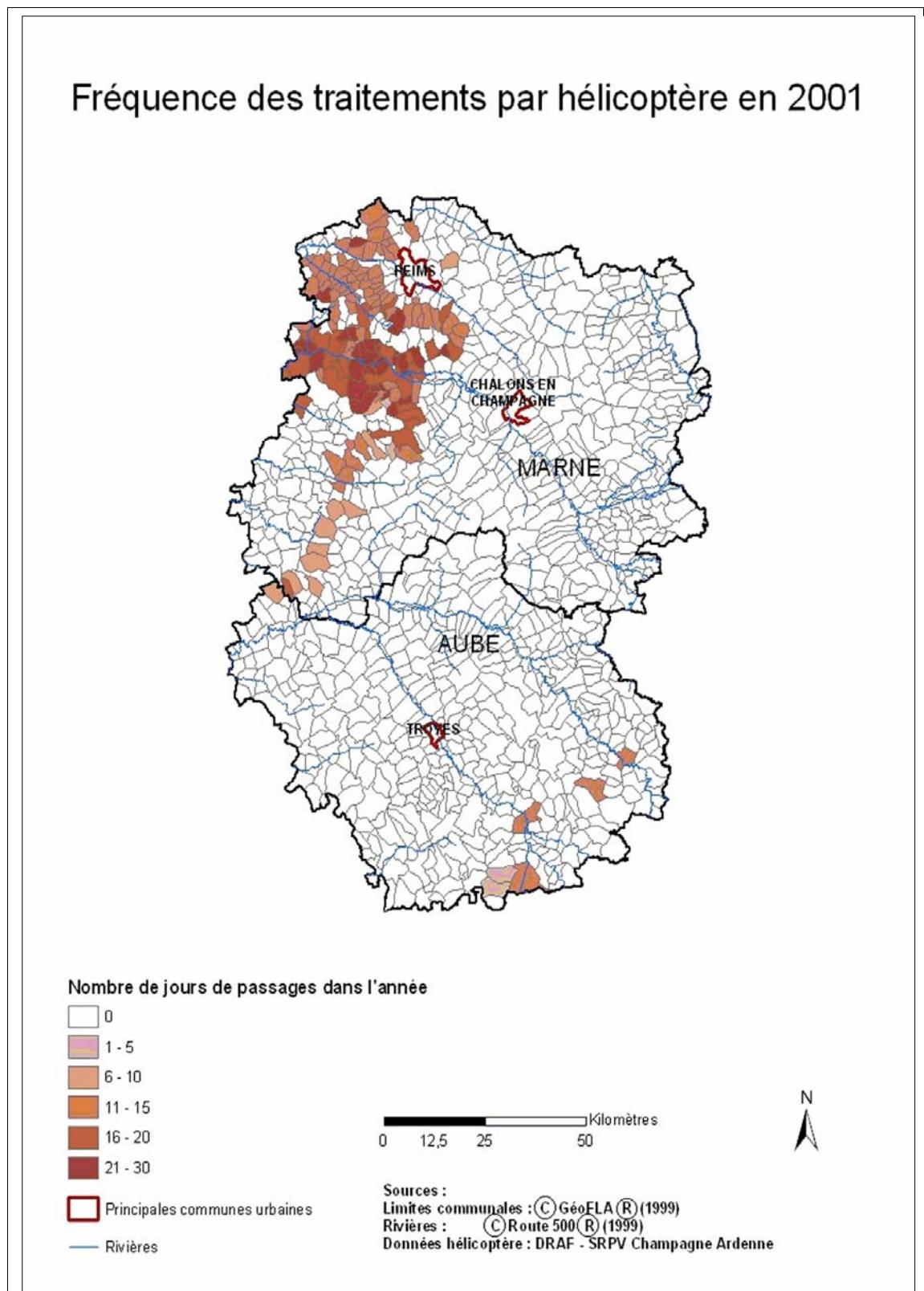
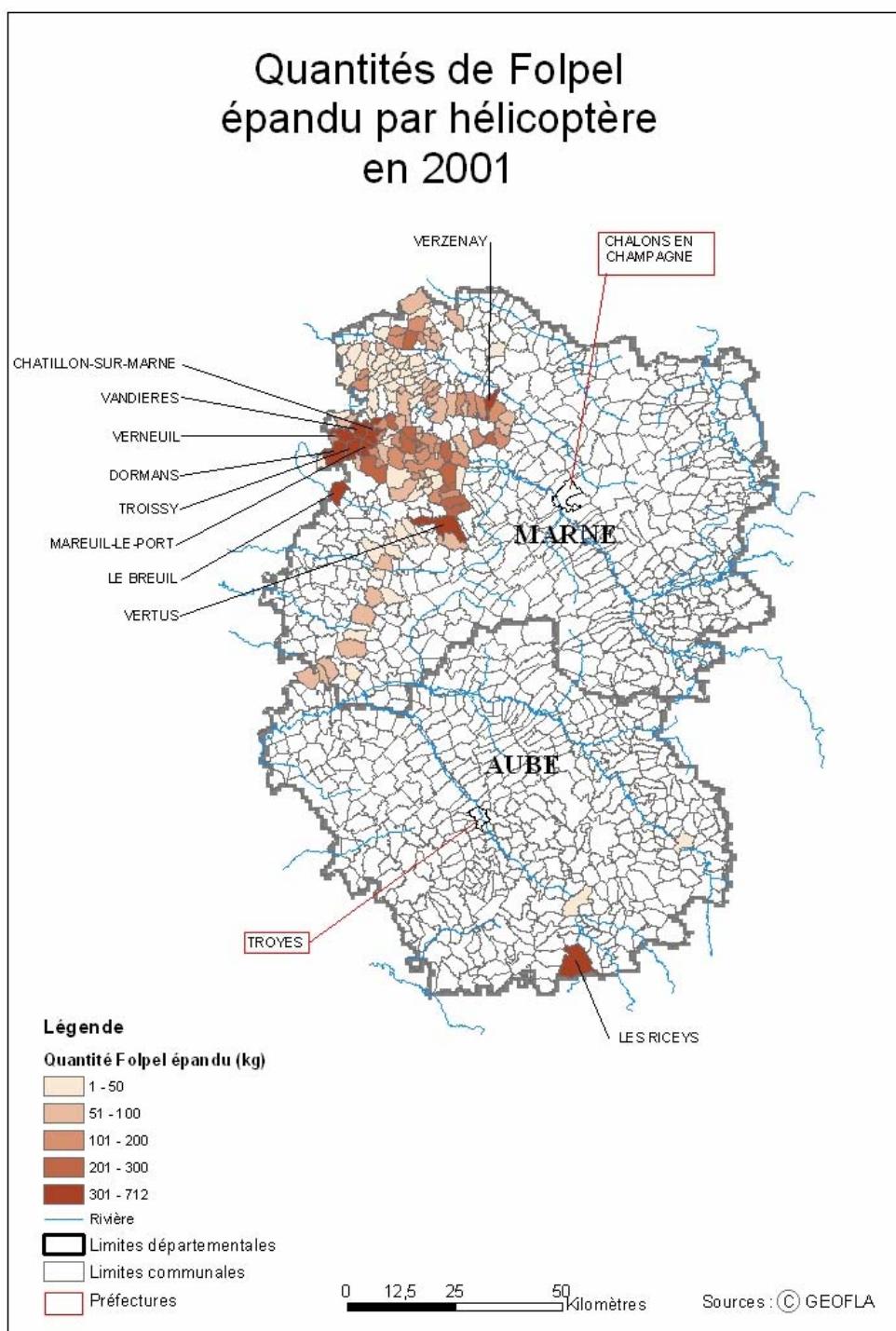


Figure 3 : Quantité de folpel épandue par hélicoptère par commune en Champagne-Ardenne en 2001



4.5 Concentrations en pesticides dans l'air extérieur

4.5.1 Contexte

A la suite de ces premiers travaux, la Drass de Champagne-Ardenne a souhaité mettre en place une étude métrologique des produits phytosanitaires dans l'air, réalisée dans le cadre d'une convention entre la Drass, le CIVC, les représentants des distributeurs de la région, et l'association de mesure de la qualité de l'air Atmo Champagne-Ardenne [2].

4.5.2 Objectifs

L'objectif principal de cette étude était de mesurer les concentrations en pesticides dans l'air extérieur et de rechercher la cohérence avec l'usage en agriculture. L'objectif secondaire était d'observer les variations de concentration entre des communes de configurations différentes, notamment en terme de surface viticole.

4.5.3 Méthodes

4.5.3.1 Sites de mesures

Les communes dont la surface viticole est supérieure à 100 ha (74 communes dans la Marne et 30 communes dans l'Aube) ont fait l'objet d'un premier classement selon les critères suivants :

- la distance entre les habitations et les premières vignes ;
- le pourcentage de périmètre du village en contact avec les vignes ;
- l'imbrication vigne/habitat.

Cette typologie a permis de repérer les communes considérées comme potentiellement plus exposées et qu'il pouvait être intéressant d'inclure dans un protocole métrologique. Huit communes de la Marne et de l'Aube dont le rapport surface viticole sur surface communale est élevé et qui présentent des topographies variées, ont donc été sélectionnées comme sites de mesure des pesticides dans l'air. Les mesures ont été effectuées sur trois périodes de traitement:

- du 28 juin au 1er juillet 2004 ;
- du 5 au 8 juillet 2004 ;
- du 10 au 14 janvier 2005.

4.5.3.2 Sélection des substances actives

Il s'agit d'une campagne métrologique de 65 composés incluant la liste des 44 substances actives utilisées à la fois en vigne et grandes cultures, sélectionnées en tenant compte de leur toxicité et des quantités épandues (tableau 2), ainsi que 21 substances utilisées uniquement en grande culture.

Le mancozèbe, très utilisé, n'a pas pu être recherché pour des raisons de faisabilité analytique.

4.5.3.3 Méthodes de mesures et plan d'échantillonnage

Des prélèvements journaliers ont été effectués avec un préleveur haut débit et analysés par chromatographie, selon les recommandations de l'Ineris et du groupe national de recherche sur les produits phytosanitaires des associations agréées de surveillance de la qualité de l'air, dont la référence est la méthode américaine EPA T0-4A (Environmental Protection Agency).

4.5.4 Résultats

4.5.4.1 Taux de détection

Les taux de détection des substances sont compris entre 14 et 32 % pendant la période de traitement. Hors période de traitement, ce taux n'est plus que de 9 %.

Tableau 5 : Fréquence de détection des pesticides en Champagne-Ardenne en 2004 et 2005

Lieu de mesurage	28/06/2004 au 1/07/2004	5/07/2004 au 8/07/2004	28/06/20004 au 8/07/2004	10/01/2004 au 14/01/2005
Ay	30 %			9 %
Damery	32 %			
Celles-sur-Ource	16 %			
Les Riceys	25 %			
Cramant		27 %		
Bergères-les-Vertus		30 %		
Villedomange		14 %		
Verzenay		18 %		
Reims			27 %	9 %

Usage mixte : autorisé en culture et en vigne.

Fréquence de détection : nombre de substances détectées sur nombre de substances recherchées.

4.5.4.2 Concentrations moyennes et maximales

Le folpel est retrouvé en grandes quantités dans l'air (167 à 1 242 ng/m³) sur l'ensemble des sites. Il est logique de retrouver cette substance anti-mildiou très utilisée en viticulture à plusieurs milliers de grammes par hectare (1 500 g/ha). Elle a été utilisée dans toutes les communes étudiées en 2004. À Reims, la moyenne varie de 11,2 à 80,4 ng/m³. En revanche le cymoxanyl et l'azoxystrobine, deux autres substances anti-mildiou appliquées sur des surfaces importantes, n'ont pas été retrouvées.

L'endosulfan et du chlorothalonil sont retrouvées sur l'ensemble des sites, à des concentrations moyennes plus faibles (0,65 ng/m³ à 3,36 ng/m³). Il s'agit de substances plutôt utilisées en grandes cultures (tableaux ci-dessous). Les substances suivantes sont retrouvées en concentrations plus faibles sur certains sites seulement : pendiméthaline, flusilazole, vinchlozoline, krésoxim-méthyl, tébuconazole et chlorpyriphos-éthyl.

Parmi les substances actives interdites, le lindane est retrouvé sur l'ensemble des sites. Le parathion méthyl, le tébutame, l'atrazine et le norflurazon ne sont détectés que sur certains sites.

En dehors des périodes de traitement, seules trois substances sont retrouvées, dont le folpel en quantité beaucoup plus faible qu'en période de traitement. Deux substances qui n'avaient pas été détectées en période de traitement, le dinocap et la trifluraline, sont retrouvées en faibles quantités.

Tableau 6 : Concentrations en pesticides du 28 juin au 1^{er} juillet 2004 en Champagne-Ardenne

Molécules	Ay	Damery	Celles-sur-Ource	Les Riceys	Reims
	moyennes/maximales en ng/m ³				
Folpel	1 242/1 724	737/901	167/387	1 030/2 121	80/159
Chlorothalonil	3,5/7,6	5,7/8,9	4,1/6,1	4,0/7,6	5,0/7,8
Endosulfan	2,7/3,4	3,4/3,7	0,7/1,0	0,9/1,5	2,9/3,5
Pendiméthaline	<1	<1	<1	2,4/3,2	<1
Flusilazole	<1	<1	<1	1,0/1,9	<1
Vinchlozoline	<1	0,9/1,5	<1	<1	<1
Tebuconazole	<1	<1	<1	0,4/1,3	<1
Kresoxim-méthyl	<1	0,8/1,1	<1	<1	<1

Tableau 7 : Concentrations en pesticides du 5 au 8 juillet 2004 en Champagne-Ardenne

Molécules	Cramant	Bergères-les-Vertus	Villedomange	Verzenay	Reims
	moyennes/maximales en ng/m ³				
Folpel	768/1 209	283/530	527/906	260/417	11/204
Chlorothalonil	4,5/7,4	15,7/27,5	3,7/4,3	4,0/6,4	5,0/7,5
Endosulfan	0,7/1,0	0,7/1,1	0,8/1,4	0,76/1,2	1,1/1,4
Pendiméthaline	<1	0,9/2,0	<1	<1	<1
Flusilazole	<1	<1	<1	<1	<1
Vinchlozoline	<1	<1	<1	<1	<1
Tebuconazole	0,3/1,1	<1	<1	<1	<1
Kresoxim-méthyl	0,9/1,9	<1	<1	<1	<1
Chlorpyriphos-éthyl	<1	0,4/1,1	<1	<1	<1

Tableau 8 : Concentrations en pesticides du 10 au 14 janvier 2005 en Champagne-Ardenne

Molécules	Ay	Reims
	moyennes/maximales en ng/m ³	
Folpel	0,86/1,26	<1
Dinocap	6,64/11,71	8,72/15,17
Trifluraline	0,66/1,25	0,71/1,02

4.6 Conclusion et perspectives

Les concentrations retrouvées ont permis de confirmer la présence de substances très utilisées en zone viticole, comme le folpel, mais aussi de substances provenant probablement de l'influence d'autres sites agricoles, comme l'endosulfan, utilisé en grandes cultures.

Des substances actives interdites à la date de cette étude ont été détectées, comme le lindane sur l'ensemble des sites, le parathion-méthyl, le tébutame, l'atrazine et le norflurazon sur certains d'entre eux. Leur présence est probablement liée aux applications antérieures à 1998 et serait due à la rémanence de ces substances dans l'environnement et dans les sols en particulier.

Les deux communes montrant les concentrations en folpel les plus élevées ne sont pas celles qui avaient été considérées comme les plus exposées selon des critères topographiques et d'environnement du capteur : Ay, avec 34 % de sa surface en vigne et Les Riceys, avec seulement 17 % de sa surface en vigne. Elles ont, comme Cramant, la caractéristique d'avoir des coteaux pentus.

Cette étude ne permet cependant pas de déterminer la part des concentrations aériennes de pesticides provenant des épandages aériens et celles provenant des épandages terrestres.

La comparaison avec les facteurs climatiques n'a pas été possible en raison du faible nombre de mesures.

Afin de mieux définir l'influence du type d'épandage sur les concentrations atmosphériques de pesticides et de décrire la dispersion des substances depuis le lieu d'émission, une nouvelle campagne est prévue en juin et juillet 2005 pendant un mois à Ay et Verzenay. Les mesures ont lieu sur deux sites, en limite de parcelle et cœur du village. Une attention particulière sera portée à la caractérisation de la dispersion des pesticides en fonction des jours de traitement et de la météo.

5 Les pesticides en zone arboricole dans le Cher

Dans la région Centre, les cultures céréalier, la viticulture et les vergers sont des activités agricoles fortement développées et grandes consommatrices de produits phytosanitaires.

Dans le département du Cher, l'arboriculture est une activité particulièrement développée et concentrée essentiellement dans le canton de Saint Martin d'Auxigny, au nord de Bourges, avec plus de 1 200 hectares de vergers.

Ce canton compte 11 communes pour 12 400 habitants. Les vergers se situent pour la plupart dans des zones d'habitat diffus. Les autres activités agricoles sont représentées par la céréaliculture (3 800 ha), le maïs (380 ha) et les élevages en prairie.

5.1 Objectifs

Il s'agissait de caractériser l'exposition environnementale aux pesticides par voie respiratoire des populations, des exploitants et de leur famille autour des vergers de Saint-Martin d'Auxigny dans le département du Cher.

Plusieurs étapes ont été envisagées :

- identification des pesticides à rechercher en priorité ;
- quantification de l'exposition environnementale autour des vergers et comparaison aux zones de céréaliculture, urbaines ou suburbaines ;
- constitution d'une base de données d'exposition suffisante pour les croiser avec des données sanitaires.

Un recensement de l'organisation et des pratiques d'épandage et d'usage des produits phytosanitaires par les exploitants a été réalisé à l'aide d'un questionnaire. Ce recensement a permis de sélectionner des composés traceurs nécessaires à la métrologie dans l'air. Il a également conduit à repérer pour chaque substance les quantités utilisées et les périodes d'exposition potentielles. Par ailleurs, un intérêt a été porté à la protection et à la prévention des exploitants, qui sont exposés en premier lieu aux pesticides.

En parallèle des mesures de concentrations de produits phytosanitaires sélectionnés en fonction de leur utilisation et de leur dangerosité ont été réalisées pendant la campagne d'épandage 2003.

Le croisement de ces données avec l'enquête réalisée devait confirmer l'origine locale de ces produits et apporter une information sur leur capacité à dériver hors des limites des vergers, vers les zones habitées. Par ailleurs, cette étude devait comparer les teneurs mesurées dans ce canton avec celles retrouvées pour la même période dans d'autres localisations géographiques, en zone urbaine, périurbaine ou avec un contexte agricole différent.

5.2 Données d'utilisation

Un groupe de travail regroupant la Cire, la Ddass, Ligair, la Ddaf, le SRPV, la MSA s'est constitué pour piloter cette étude. Le recensement de l'organisation et des pratiques d'épandage a été effectué par questionnaire auprès de 14 exploitants volontaires sur les 80 que compte la zone d'étude, du 27 janvier au 11 février 2003.

Le questionnaire portait sur :

- des informations générales sur l'exploitation, l'âge et le nombre d'employés, leur formation éventuelle ;
- les pratiques phytosanitaires, la dose par produit et par hectare, le mélange de matières actives, le nombre d'application, la superficie des parcelles, etc ;
- des informations complémentaires sur les appareils utilisés, le matériel de protection.

Les données d'utilisation des pesticides ont été obtenues en kg/ha de substance actives.

Très peu d'exploitants respectent les recommandations de protections vis-à-vis des produits phytosanitaires, car elles sont jugées trop contraignantes lors de fortes chaleurs, trop coûteuses (cartouches des filtres) ou non acceptées par craintes d'être soumis au regard des promeneurs et de les effrayer.

Les pesticides les plus utilisés sont les insecticides tébufénozide et phosmet, les fongicides captane, mancozèbe, tolylfluanide, krésoxim-méthyl et le cuivre (bouillie bordelaise), les acarides abamectine et propargite, les herbicides aminotriazole, glufosinate et glyphosate.

Tableau 9 : Produits utilisés par les arboriculteurs dans le Cher en 2002, source IGN 2000

Substance	Nombre d'applications	Nombre d'arboriculteurs	Quantité pour 219 ha	Quantité pour 1 263 ha *
Insecticides				
Endosulfan	1 à 2	11	715 L	4 123 L à 35 %
Tébufénozide	1 à 3	11	165 L	952 L à 24 %
Phosmet	1 à 3	10	380 kg	2 191kg à 50 %
Imidaclopride	1 à 3	10	70 L	404 L à 20 %
Fénoxycarbe	1	9	49 L	283 L à 25 %
Phosalone	1 à 3	7	194 L	1 119 L à 35 %
Parathion-méthyl	1 à 3	3	197 L	1 136 L à 24 %
Vamidothion	1	4	64 L	369 L à 40 %
Carbaryl	1	4	76 kg	438 kg à 85 %
Betacyfluthrine	1	2	15 L	86 L à 85 %
Fongicides				
Captane poudre	4 à 12	10	2 453,6 kg	14146 kg à 80 %
Captane liquide	8 à 14	3	1 546 L	8915 L à 80 %
Mancozèbe	2 à 10	12	2 132 kg	12295 kg à 80 %
Tolyfluanide	2 à 8	11	996,8 kg	5749 kg à 50 %
Kresoxim-méthyl	1 à 3	10	108,3 kg	624 kg à ? %
Bouillie bordelaise (cuivre)	1 à 2	9	1 628 kg	9 389 kg à 50 %
Dithianon	1 à 3	8	122 kg	703 kg à 70%
Thiophanate-méthyl	1 à 2	11	413,2 L	2 383 L à 45 %
Doguanide	1 à 2	2	212,85 L	1227 L à 75 %
Doguanide-dodine	1 à 2	7	257 L	1 482 L à ? %
Anilino-pyrimidine	1 à 2	4	45,4 L	262 L à 50 %
Parhena	1	2	26 kg	150 kg à 75 %
Pyriméthanil+fluquinconazole	1	1	18 L	104 L à 20 %
Cyprodinil	2	1	16,2 kg	9,3 kg à ? %
Acaricides				
Abamectine	1	12	297 kg	1 713 kg à 2 %
Propargite	1	12	255 kg	1 470 kg à 31 %
Herbicides				
Aminotriazole	1	9	1 309 L	7 549 L à ? %
Glufosinate	1 à 4	11	683 L	1 470 kg à 31 %
Glyphosate	1 à 4	12	566 L	3 264 L à 36 %
Clopyralid	1	1	7,2 L	41,5 L à ? %
Sulfosate 2-4 D	1 à 2	1	20,8 L	120 L à ? %
Norfluorazon	1	1	16 L	92,3 L à 80 %
Starane	5	1	28,8 L	166 L à ? %

5.3 Concentrations en pesticides dans l'air extérieur

5.3.1 Méthodes

Les concentrations en substances ont été mesurées pendant la période d'épandage du 1^{er} avril au 31 décembre 2003 au centre du village, à 250 m des premiers vergers (campagne de fond). Les substances ont été sélectionnées à partir des réponses au questionnaire sur l'utilisation et selon la faisabilité analytique.

Une exploitation du canton a également été choisie parmi plusieurs arboriculteurs volontaires pour effectuer des mesures de proximité, le 5 juin et le 17 juin 2003 (campagne de proximité).

5.3.1.1 Campagne de fond

L'appareil utilisé est un préleveur Partisol moyen débit (1 m³/h) dont les supports sont adaptés aux méthodes américaines de prélèvement et d'analyses des pesticides (EPA TO-4 et EPA TO-10).

Les pesticides ont été sélectionnés en fonction des possibilités d'analyses et de l'expérience de Lig'air et à partir de la liste issue de l'enquête réalisée auprès des exploitants volontaires.

Sur les 38 substances recherchées, 8 sont citées comme étant utilisées par les exploitants lors de la campagne 2002 :

- 3 insecticides : endosulfan, parathion-méthyl, phosmet ;
- 4 fongicides : captane, tolylfluanide, cyprodinil, krésoxym-méthyl ;
- 1 acaricide : propargite.

Le mancozèbe n'a pas été recherché pour des raisons de faisabilité analytique.

5.3.1.2 Campagne de proximité

Les mesures ont été effectuées à l'aide de deux préleveurs haut débit (15 m³/h) DA80.

Pour chaque préleveur, trois échantillons ont été constitués : avant épandage, pendant la pulvérisation, après pulvérisation par un épandeur à turbine. Deux campagnes ont été prévues à deux dates différentes afin de s'assurer de la répétitivité des mesures.

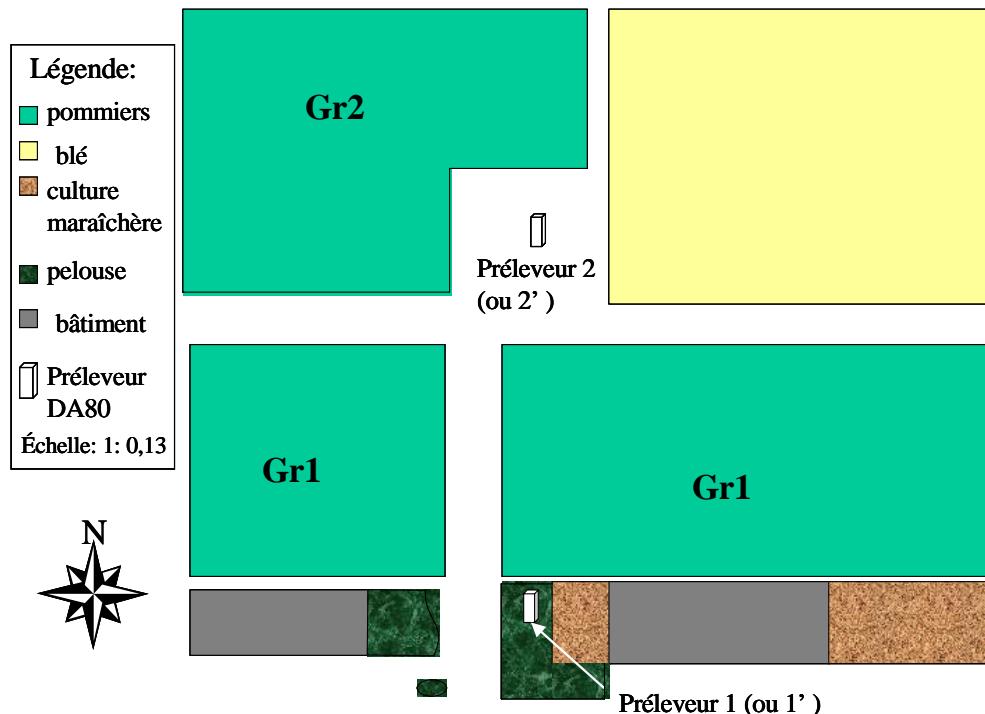
Deux composés ont été choisis en croisant les données de l'enquête des pratiques (quantités de produits utilisés) et la toxicité des produits pour les mesures de proximité :

- captane ;
- phosmet.

Les contraintes du calendrier d'épandage et la disponibilité du matériel de prélèvement n'ont pas permis de mesurer l'endosulfan qui est épandu entre les mois de mars et d'avril.

Pour chaque campagne, deux préleveurs ont été disposés, l'un situé entre deux parcelles considérées comme étant à l'intérieur d'un même verger (préleveur 1), l'autre à 15 mètres d'un autre verger (préleveur 2).

Figure 4 : Localisation des préleveurs dans l'étude de proximité à Saint-Martin d'Auxigny dans le cher



5.3.2 Résultats

5.3.2.1 Campagne de fond

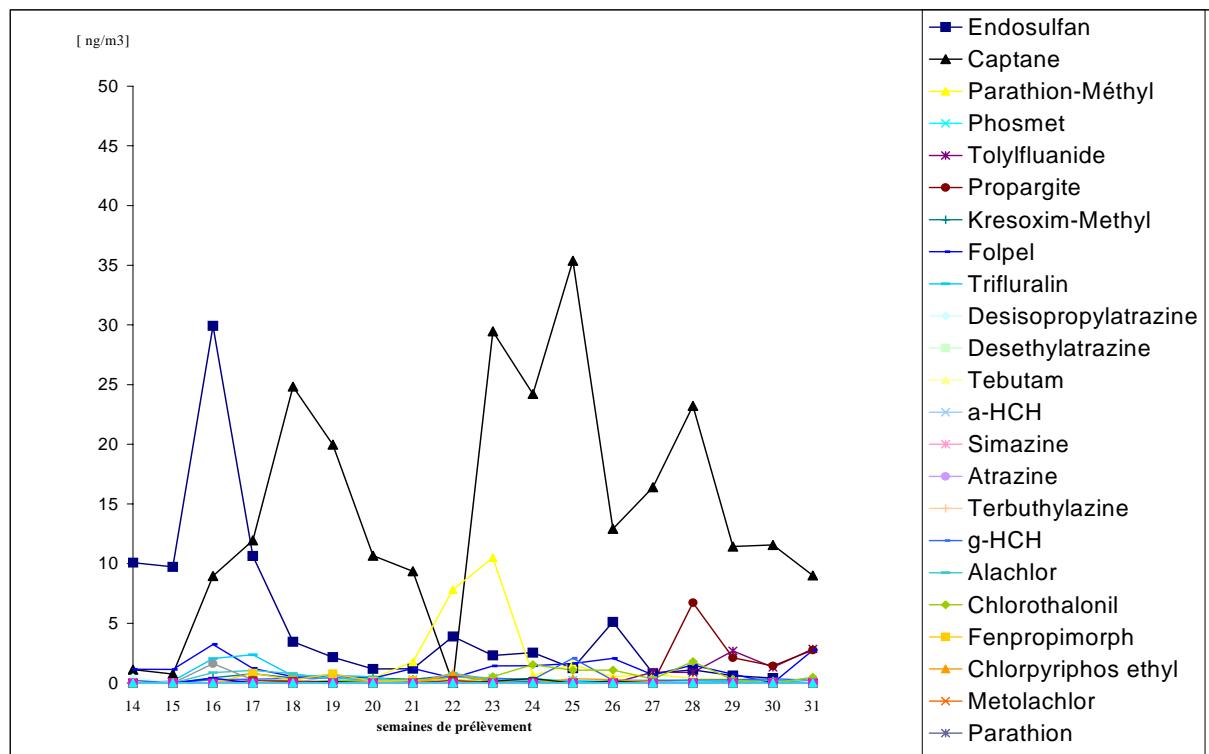
Les principales substances retrouvées sont celles citées par les arboriculteurs.

Les concentrations des produits captane et endosulfan sont les plus élevées avec des valeurs de 30 et 35 ng/m³ respectivement. La variation des teneurs de ces deux produits au cours des semaines correspond aux calendriers renseignés lors de l'enquête auprès des arboriculteurs. Le captane est notamment appliqué entre 4 et 10 fois selon les arboriculteurs.

Le tolylfluanide et le parathion-méthyl sont également présents en quantités non négligeables, de l'ordre de 10 ng/m³. Le cyprodinil également cité n'a pas été détecté.

Le folpel, non cité par les arboriculteurs, est également retrouvé, comme d'autres substances en faibles quantités provenant probablement de l'influence des grandes cultures voisines du site de Saint-Martin d'Auxigny.

Figure 5 : Mesures de fond en zone arboricole à Saint-Martin d'Auxigny dans le Cher en 2003



Les concentrations observées sont comparables à d'autres sites urbains ou semi-urbains, à l'exception des concentrations d'endosulfan, dont les teneurs maximales sont plus élevées à Saint-Martin :

- site semi-urbain de Mareau : teneurs maximales proche de 7 ng/m³ pour l'alachlore, 6 ng/m³ pour l'endosulfan, 5 ng/m³ pour le chlorothalonil et le tolylfluanide ;
- Orléans : concentrations de l'ordre de 2 à 5 ng/m³ pour le chlorothalonil, l'endosulfan ou la trifluraline [3].

5.3.2.2 Campagne de proximité

Le captane et le phosmet ont le même comportement. Les mesures de concentrations pendant l'épandage mettent en évidence des concentrations maximales de 1 209 ng/m³ pour le phosmet et de 7 893 ng/m³ pour le captane (préleveur 2, situé au milieu des vergers), qui diminuent rapidement après épandage. Lors du 1^{er} traitement, le préleveur 1 en bordure de champ montre des concentrations très faibles en raison de la direction des vents qui n'ont pas dirigé le panache vers le capteur.

On peut observer que l'ordre de grandeur de l'exposition en proximité d'un verger à moins de 15 m et pendant un passage de pulvérisateur est de plusieurs microgrammes par m³, c'est à dire 100 à 1 000 fois supérieur à ce qui est mesuré en moyenne en fond, à plus de 250 m des vergers. En revanche, les concentrations diminuent sensiblement après épandage.

5.4 Conclusion

Cette étude a permis une quantification de la contamination aérienne par les pesticides du bourg de Saint-Martin d'Auxigny.

Celle-ci met en évidence la présence de produits phytosanitaires utilisés en arboriculture (endosulfan, captane, parathion-méthyl, propargite, tolylfluanide) dont les concentrations sont significativement plus élevées que les substances plus ciblées vers d'autres cultures. L'influence des vergers situés à plus de 250 m est manifeste d'autant que la présence de ces substances coïncide avec les périodes d'utilisation de ces produits d'après l'enquête auprès des exploitants. Les concentrations les plus fortes en moyenne hebdomadaire s'élèvent à plus de 30 ng/m³ (captane, endosulfan). Des produits utilisés en céréaliculture et en viticulture ont également été détectés mais dans une moindre mesure.

Les mesures effectuées à proximité immédiate d'un verger ont permis de montrer que l'ordre de grandeur des concentrations en captane et phosmet était de plusieurs µg/m³ pendant l'épandage avec une baisse rapide 24 h après, soient des concentrations 100 à 1 000 fois supérieures à ce qui est mesuré en niveau de fond. Ces résultats mettent en évidence une forte influence des conditions climatiques et en particulier du vent sur les concentrations mesurées.

Ces concentrations ne représentent cependant pas l'exposition aérienne de l'ensemble de la population du canton, résidant à différentes distances des vergers, et exposée différemment en fonction de l'activité.

Par ailleurs, il n'existe pas de valeur toxicologique de référence pour la voie respiratoire, sauf pour les substances suivantes :

- captane : valeur moyenne d'exposition au travail = 5 mg/m³, soit 1000 fois la concentration en proximité d'un verger pendant un épandage. Cette valeur calculée pour un adulte et pour une exposition de 8 heures par jour ne peut être appliquée à la population générale ;
- endosulfan : valeur moyenne d'exposition au travail = 0,1 mg/m³ ;
- lindane-g : VME = 0,5 mg/m³ et VTR inhalation = 0,1 µg/m³ .

La réalisation d'une évaluation des risques sanitaires n'est donc pas envisageable à ce stade, l'estimation du risque par transfert de voies n'étant pas pertinente au vu des connaissances actuelles.

Enfin, il serait également important de connaître les risques associés aux transferts dans les autres milieux (eau, sols, produits cultivés...) pour les populations habitant à proximité immédiate.

Cette étude suggère néanmoins la nécessité de se protéger et protéger les autres :

- protections individuelles ;
- prise en compte de la climatologie pour épandre ;
- réduire les doses d'application et les dérives ;
- rechercher l'emploi d'autres substances moins toxiques et moins rémanentes, notamment pouvant remplacer l'endosulfan.

6 Les pesticides en zone viticole en Gironde

Avec une superficie de 10 725 km², la Gironde est le plus grand département de France. Le vignoble girondin qui s'étend sur une superficie de 123 000 hectares constitue le plus vaste vignoble de France, avec 57 appellations d'origine contrôlées (AOC) différentes rassemblées en six groupes (Bordeaux et Bordeaux supérieur ; Médoc et Graves ; Saint-Emilion, Pomerol et Fronsac ; Côtes rouges ; Blancs secs ; Blancs doux). La récolte totale d'AOC a atteint plus de 6 millions d'hectolitres en 2004. Le nombre d'exploitants en 2004 était de 10 539 et la filière viticole correspondait à 1 emploi sur 6 en Gironde.

D'une manière générale, la filière viticole est une des premières utilisatrices de produits phytosanitaires. Ainsi en 2002, la viticulture représentait 15,6 % du marché français des pesticides, alors que le vignoble ne constituait que 3,2 % de la surface agricole utile (SAU).

6.1 Objectifs

L'objectif était d'estimer l'exposition aux produits phytosanitaires par voie atmosphérique des populations résidant à proximité des zones viticoles en Gironde. Pour cela, il était prévu de réaliser :

- un recueil des données disponibles sur les produits phytosanitaires utilisés dans le département pour le traitement des vignes : nombre de traitements à l'année et quantité moyenne de produit utilisée par hectare lors d'un traitement ;
- une cartographie des expositions à partir des données recueillies, à l'aide d'un système d'information géographique (SIG).

6.2 Données recueillies

6.2.1 Cartographie des zones viticoles

L'objectif était de recenser et de localiser les grands types de cultures ou d'usages des sols en Gironde et plus particulièrement la localisation des zones viticoles.

Pour chaque commune, la superficie totale, la SAU, la surface cultivée en vigne et le nombre d'exploitation ont été recherchées.

Ces données sont accessibles sur la base de données Agreste à partir du dernier recensement agricole datant de l'année 2000, disponible en ligne. L'interrogation de cette base à l'échelle départementale permet d'obtenir les surfaces cultivées (en ha) et le nombre d'exploitations par type de cultures. L'interrogation à l'échelle communale permet d'obtenir la superficie agricole utilisée des exploitations, la superficie des terres labourables et la superficie en herbe.

Les données suivantes ont été obtenues par commune et par canton : la surface totale en ha, la SAU en ha, la surface cultivée en vignes en ha, le nombre d'exploitations, la localisation des cultures de vignes et les types de cépages utilisés ainsi que l'ancienneté des cultures.

6.2.2 Nature et quantité des traitements phytosanitaires utilisés

L'objectif était d'obtenir la liste des substances actives utilisées dans le traitement des vignes et leurs modalités d'usage : préconisations d'usage, nombre de traitements à l'année et quantité moyenne de produit utilisée par hectare lors d'un traitement (quantité moyenne/hectare/an/substance), type d'épandage (aspersion, traitement au sol, etc.), nombre de passages à l'année, période d'épandage.

6.2.2.1 Nature des traitements phytosanitaires

La liste de substances actives les plus utilisées dans la filière viticole a été obtenue sur avis d'experts par les agents du SRPV de la Draf Aquitaine. Ces données peuvent être comparées à la liste des substances actives utilisées et retrouvées dans les eaux (en concentration au moins supérieure au seuil de détection), qui a pu être établie à partir du bassin expérimental de la Barbanne (proche de Saint-Emilion). Néanmoins, des différences non négligeables peuvent apparaître selon les zones viticoles (AOC) et selon les années, subissant une pression plus ou moins grande de ravageurs ou maladies (tableau 10).

Tableau 10 : Pesticides les plus utilisés en zone viticole en Gironde

	Rang d'utilisation selon avis d'expert	Pesticides retrouvés dans les eaux (bassin de la Barbanne)
Insecticides		
Flufénoxuron	1	
Chlorpyriphos éthyl	2	X
Deltaméthrine	5*	
Tébufénozide	5*	
Fongicides		
Fosetyl aluminium	1	X
Soufre	2	
Mancozèbe	2	
Cuivre	3	X
Cymoxanil	3	X
Folpel	3	X
Métiram zinc	3	
Azoxystrobine	4	X
Diméthomorphe	5*	X
Pyrimethanil	5*	X
Fluazinam		X
Fludioxonol		X
Tebuconazole		X
Vinchlozoline		X
Herbicides		
Glyphosate sulfosate	1	X
Diuron	2	X
Terbutylazine	2	X
Flazosulfuron	3	
Flumioxazine	3	
Aminotriazole		X
Oryzalin		X

Source : Service régional de la protection de végétaux de Draf Aquitaine.

Rang 5 : utilisation possible mais mal connue.

6.2.2.2 Quantité de traitements phytosanitaires utilisée

À ce jour, le nombre de traitements à l'année et la quantité moyenne de produit utilisé par hectare lors d'un traitement (quantité moyenne hectare/an/substance) n'ont pu être obtenus pour chaque substance d'intérêt. Néanmoins la Fredon, dans le cadre du Grap et de son groupe de travail « zonage régional », ont pu élaborer des indicateurs de pression phytosanitaire ou pression polluante pour l'ensemble des cultures et par type de culture, dont la vigne.

Deux types d'indicateurs ont été élaborés, sous forme de couches d'informations devant alimenter un SIG :

- la surface développée traitée (SDT) : elle représente pour chaque canton le nombre de traitement par culture multiplié par la superficie de cette culture ;
- le facteur de charge phytosanitaire : il s'agit de la SDT divisée par la SAU du canton.

Ces données qui appartiennent à la FREDON se trouvent sur une base qui n'a pas été transmise à la Cire pour des raisons techniques. Seules les données de SDT ont pu être utilisées pour l'élaboration d'une cartographie (figure 7).

Un choix a été fait selon avis d'expert pour sélectionner les cultures les plus représentatives d'Aquitaine. Les données sur les SAU ont été obtenues grâce aux fichiers des statistiques agricoles. La détermination du nombre de traitement pour chaque culture a elle aussi été réalisée selon avis d'experts et a été répartie selon les catégories d'usage (herbicides, fongicides, insecticides). Pour la vigne, les traitements les plus fréquemment cités sont : 2 herbicides, 14 fongicides et 3 insecticides.

La Fredon, chargée de cette étude, a répertorié les cultures représentatives de la région Aquitaine et leur a affecté un nombre de traitements moyen par type de culture et par catégorie de produit phytosanitaire (insecticide, herbicide, fongicide). Ce travail a été réalisé « à dire d'expert » entre le SRPV et la Chambre régionale d'agriculture.

D'autres sources de données quantitatives ont également été utilisées pour ce travail :

- l'étude de métrologie des pesticides dans l'air, réalisée en 2004 d'avril à novembre sur le site de Rauzan en Gironde qui peut être considéré comme un site représentatif des cultures viticoles (paragraphe 7) ;
- la base de données e-phy du ministère de l'Agriculture, donnant accès à un catalogue des matières fertilisantes précisant pour chaque substance active autorisée les doses recommandées par apport, et le nombre d'apport par an ;
- la liste des 37 substances prioritaires établie en 2003 par la Diren, complétant la liste Siris par des substances récentes (toxicité et propriétés physico-chimiques non prises en compte).

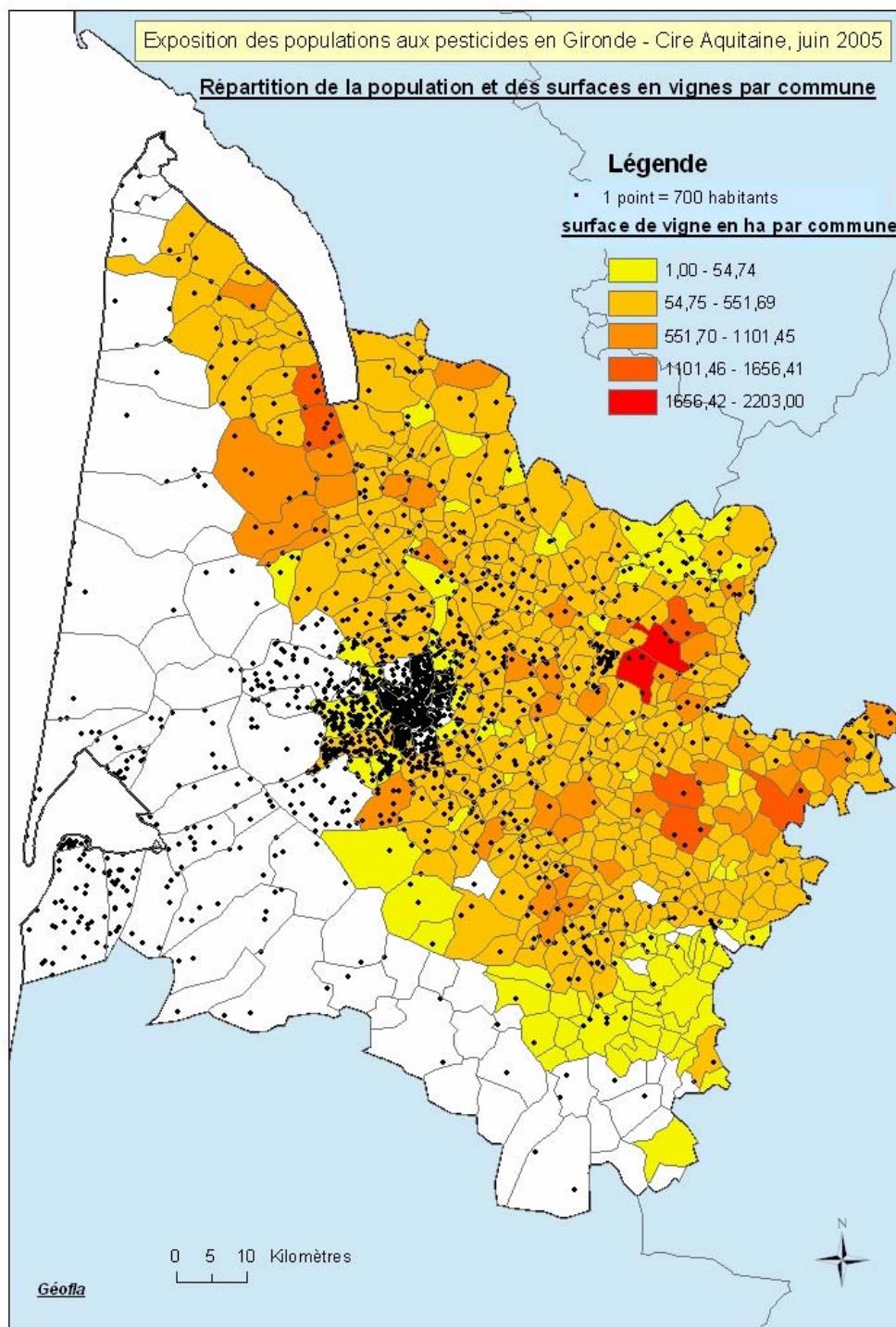
6.2.3 Données démographiques

L'objectif était de définir les zones habitées potentiellement exposées.

Le nombre d'habitants par commune et canton ainsi que les zones géographiques d'habitation ont été fournis par le service statistique de la Ddass de Gironde (recensement Insee 1999). La base de données de cartographie Corine Land Cover pour la Gironde a été obtenue auprès de l'Ifen.

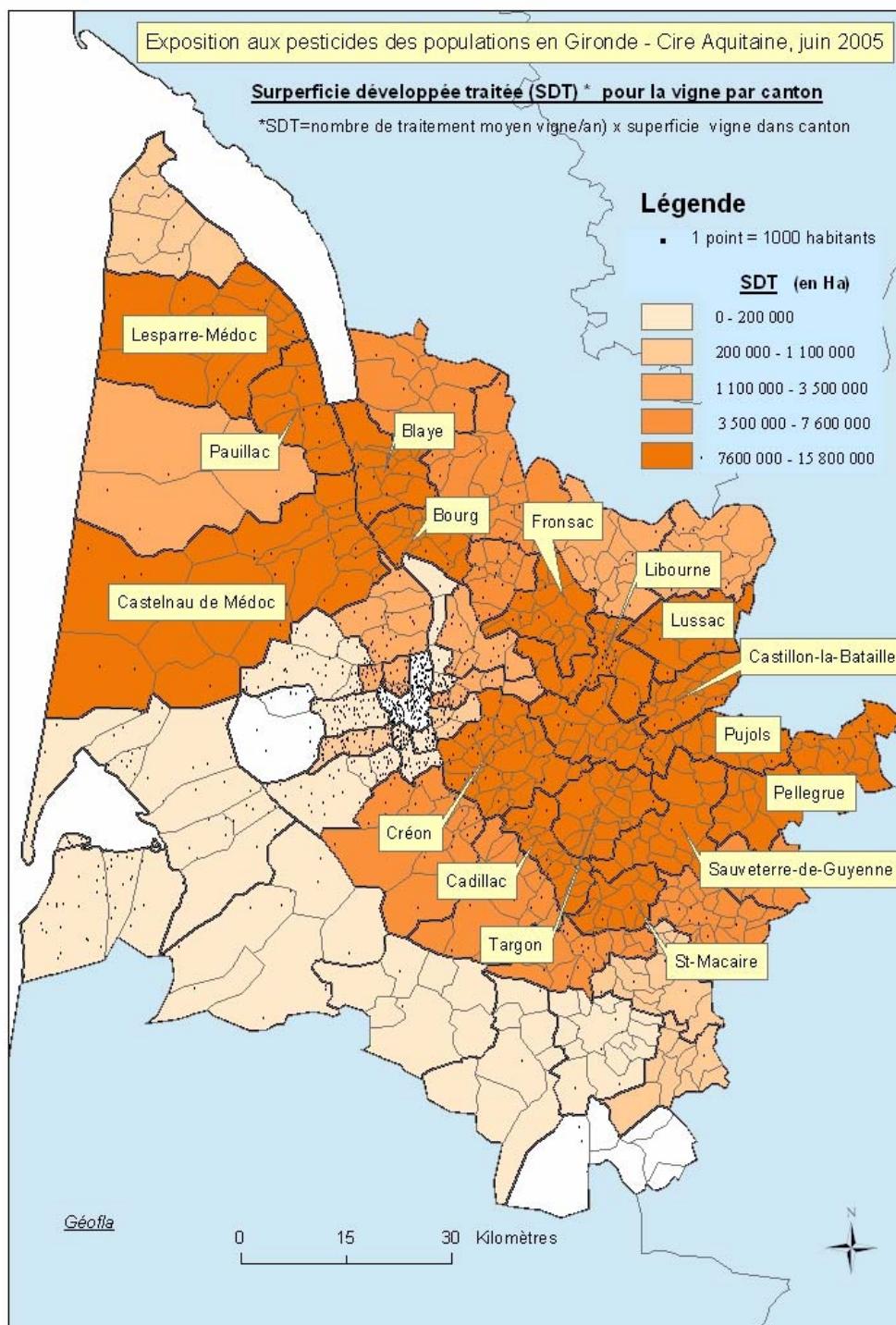
6.3 Cartographie de l'exposition

Figure 6 : Répartition des cultures de vignes en hectare par commune et nombre d'habitants par commune en Gironde en 2005



Source : données Géofla, statistiques démographiques et agricoles

Figure 7 : Surface traitée en pesticides totaux pour la vigne et répartition des populations en Gironde en 2005



Source : données cartographique géofla et données SDT, FREDON

6.4 Conclusion et perspectives

Si certaines données ont pu être obtenues (démographie, répartition des cultures, données qualitatives sur les produits phytosanitaire), la quantification des expositions aux produits phytosanitaires n'a pu être entièrement réalisée. En effet, pour chaque substance d'intérêt, le nombre de traitements à l'année et la quantité moyenne de produit utilisée par hectare lors d'un traitement n'ont pas pu être obtenus.

Néanmoins, la participation de la Cire au groupe de travail « Organiser l'exploitation des données existantes pour estimer l'exposition de la population aux pesticides » dans le cadre du PRSE en Aquitaine pourrait faciliter l'échange de données avec les autres acteurs impliqués dans cette problématique.

La viticulture est une culture fragile qui nécessite une fréquence de traitements phytosanitaires relativement élevée pouvant aller jusqu'à 14 traitements par saison. Ces traitements sont généralement effectués de mai à septembre [4].

L'évaluation des différentes techniques de pulvérisation, pouvant varier d'une exploitation ou d'une AOC à l'autre, n'a pas été réalisée dans cette étude.

Certains points nécessiteraient un approfondissement, telle que la définition de zones homogènes pouvant présenter des différences en termes d'exposition aux pesticides. Celles-ci pourraient notamment prendre en compte l'AOC, le type de machinisme et de traitement utilisés.

Enfin des données climatologiques et de dispersion des substances dans l'atmosphère (dérive, évaporation, érosion éolienne, volatilisation) pourraient être incluses afin de mieux estimer l'exposition réelle des populations aux pesticides.

7 Surveillance de la contamination aérienne par les phytosanitaires : étude de faisabilité dans trois régions

7.1 Objectifs

Cette étude a estimé les concentrations aériennes de certaines substances actives épandues dans trois communes rurales situées en Aquitaine, en région Centre et en Poitou-Charentes, à partir d'un protocole commun ayant les objectifs suivants :

- estimer les concentrations en pesticides dans l'air extérieur ;
- connaître l'évolution des concentrations au cours du temps, en fonction des traitements ;
- identifier une substance pouvant servir d'indicateur d'exposition pour une future surveillance environnementale et/ou des études épidémiologiques.

Cette étude financée par l'InVS a été réalisée en partenariat avec les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) choisies pour leurs spécificités agricoles et en raison de leur savoir-faire dans le domaine de la mesure des pesticides dans l'air ambiant, Airaq en Aquitaine, Lig'air en région Centre et Atmo en Poitou-Charentes.

7.2 Matériel et méthodes

7.2.1 Zones d'étude et sites de mesurage

7.2.1.1 Aquitaine

L'Aquitaine fait partie des premières régions agricoles françaises. Les neuf dixièmes de son territoire sont occupés par des zones forestières et agricoles. Cependant, la viticulture reste une des productions agricoles majeure de l'Aquitaine, notamment en Gironde où elle est prédominante.

Le site sélectionné, situé sur la commune de Rauzan (33), petite ville située à une cinquantaine de kilomètres à l'est de Bordeaux, est typique des cultures viticoles. Le préleur a été installé au sein de la coopérative agricole, dans un environnement à la fois résidentiel et viticole.

Figure 8 : Localisation du site de prélèvement dans la coopérative agricole de Rauzan



7.2.1.2 Région centre

La région Centre est l'une des régions les plus importantes en superficie dans l'hexagone (environ 40 000 km²). 62 % de la superficie totale sont dédiés aux activités agricoles (cultures céréalières, viticulture, arboriculture, etc.). Environ 4 180 tonnes de produits phytosanitaires y ont été épandues en 2002. Le site sélectionné présente des cultures diverses : arboriculture, viticulture, grandes cultures, avec une prédominance pour l'arboriculture. Il est situé sur la commune de Mareau-aux-Prés, à une quinzaine de kilomètres au sud-ouest d'Orléans.

7.2.1.3 Poitou-Charentes

Bien qu'il existe en région Poitou-Charentes une diversification des cultures, l'activité majoritaire est celle des grandes cultures : blé, maïs, colza, tournesol, etc.

Les prélèvements ont été effectués sur un site typique des grandes cultures, sur la petite ville de Mougon, proche de Niort. Le centre de Niort a présenté des quantités non négligeables de pesticides dans l'air, dans une précédente étude réalisée d'août 2002 à juin 2003.

Une enquête de la Fredec fournit les données d'utilisation de pesticides pour la région Centre en 1996 et met en évidence une utilisation plus importante d'herbicides par rapport aux données nationales (41,5 % des pesticides utilisés), devant les fongicides (41,5 %) et les insecticides (6,15 %) .

Tableau 11 : Quantité de substances actives utilisées en Poitou-Charentes en 2001

Substances actives	Quantités utilisées en Kg	Substances actives	Quantités utilisées en Kg
Huile minérale	723	Metaldehyde	70
Soufre	504	Pendimethaline	67
Isoproturon	401	Cuivre du sulfate	65
Alachlore	390	Prochloraz	64
Glyphosate	379	Metazachlore	61
Trifluraline	373	Chlorothalonil	59
Atrazine	321	Polyoxyethylene amine	56
Metolachlore	271	Carbendazime	51
Mecoprop	225	Huile parafinique	49
Sulfate d'ammonium	184	Bromoxynil (Ester, Octanoate)	47
Tebutame	170	Sulcotrione	42
2,4-MCPA (Sels)	150	Azoxystrobine	41
Flurochloridone	148	2,4-D (sels)	41
Aclonifen	98	Carbofurane	40
Chlormequat	89	Linuron	36
Fenpropimorphe	83	Chlorure de choline	36
Epoxiconazole	82	Flusilazole	26
Cyprodinil	75	Dimethenamide	24
Ioxynil (ester, sel)	74	Chlortoluron	23

7.2.2 Elaboration de la liste des pesticides recherchés

La liste des produits phytosanitaires les plus utilisés en 2004 a été établie dans les trois régions. Chaque réseau de mesure de la qualité de l'air a eu une démarche adaptée aux particularités locales, tenant compte de l'expérience acquise et des contacts éventuellement établis avec notamment les Chambres d'agriculture, le Service régional de la protection des végétaux (SRPV), les acteurs locaux (coopérative agricole...). En Aquitaine, des contacts avec les responsables du site viticole ont permis d'affiner cette sélection.

Les listes définitives ont été établies en fonction de la faisabilité technique et analytique, les paramètres physico-chimiques, comme la constante de Henry qui conditionne la présence possible dans l'atmosphère de chaque substance (le produit est considéré comme volatil quand cette constante est supérieure ou égale à 1×10^{-5} Pa.m³/mole), ou encore les substances à étudier prioritairement au niveau national selon les travaux du Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA) et de l'Ineris [5,6]. Les listes de pesticides recherchées dans chaque région présentées en annexe.

7.2.2.1 Méthodes de mesures et plan d'échantillonnage

Les concentrations en pesticides étant très influencées par les conditions météorologiques, l'utilisation de deux stratégies de mesures complémentaires a permis d'orienter le choix de la méthode la plus appropriée après analyse des résultats :

- des prélèvements journaliers permettant de connaître l'amplitude des variations des concentrations et d'établir une corrélation plus fine avec les données météorologiques ;
- des prélèvements hebdomadaires estimant les concentrations moyennes sur une semaine, permettant de s'affranchir de l'influence des conditions météorologiques.

Deux types d'échantillonnage ont donc été réalisés sur deux des sites de mesures :

- prélèvements hebdomadaires par le préleur Partisol 2 000 à un débit de 1 m³/h ;
- prélèvements quotidiens par le préleur DA 80 pendant 24h à un débit de 30m³/h.

En l'absence de normes nationales ou européennes régissant l'échantillonnage et l'analyse des pesticides dans l'air ambiant, les prélèvements ont été effectués selon les deux méthodes américaines EPA TO-4A et EPA TO-10A traitant de l'ensemble des étapes de la mesure, du prélèvement à l'analyse (annexe 1). L'échantillonnage concerne les phases gazeuse et particulaire.

Tableau 12 : Plan d'échantillonnage de l'étude de faisabilité dans trois régions

	Aquitaine	Centre	Poitou-Charentes
Prélèvements journaliers	12/07/04 au 14/09/04	Aucun	6/09/04 au 7/10/04
Nombre de prélèvements	31 prélèvements	0	24 prélèvements
Nombre de blancs de terrain	5 blancs	0	3 blancs
Prélèvements hebdomadaires	12/07/04 au 16/09/04	27/07/04 au 30/11/04	13/04/04 au 26/10/04
Nombre de prélèvements	13 prélèvements	18 prélèvements	26 prélèvements
Nombre de blancs de terrain	1 blanc	2 blancs	2 blancs

7.2.2.2 Conditions météorologiques

Lors de l'application des produits phytosanitaires, une proportion très variable se retrouve dans l'atmosphère (de quasiment 0 à plus de 90 % des produits appliqués). Ils peuvent être présents sous forme gazeuse, particulaire ou être incorporés au brouillard ou à la pluie.

Les transferts dépendent ensuite d'un ensemble de conditions liées aux propriétés physico-chimiques des produits phytosanitaires, des sols et des végétaux, mais également des conditions techniques et climatiques au moment de leur application. Ainsi, les gouttelettes les plus fines peuvent être transportées sur de longues distances par le vent, puis s'évaporer. Les précipitations peuvent également fortement modifier les teneurs mesurées dans l'atmosphère.

Les conditions météorologiques ont été relevées en Aquitaine et dans le Centre. En Aquitaine, celles-ci ont été relativement favorables à la volatilisation des produits phytosanitaires durant les premières semaines de prélèvements. En région centre, le début de l'étude a été marqué par des températures élevées et un fort ensoleillement. À partir de la semaine 36, on assiste à une diminution progressive de l'ensoleillement et de la température. Pendant la période d'étude, la situation météorologique était caractérisée par des vents faibles de sud-ouest et nord-est. Ces données n'ont cependant pas pu être exploitées dans ce rapport.

Aucune donnée météorologique n'a été renseignée en Poitou-Charentes.

7.3 Résultats

7.3.1 Concentrations en pesticides dans l'air

Les tableaux 12 à 14 indiquent pour chaque région la fréquence de détection des substances recherchées ainsi que les médianes, minimums et maximums des concentrations pour les prélèvements journaliers et hebdomadaires.

7.3.1.1 Région Aquitaine

Seize produits phytosanitaires ont été fréquemment détectés et quantifiés. Environ 75 % des fongicides recherchés sont retrouvés alors qu'on ne détecte que 30 % des herbicides.

Seules 7 substances actives n'ont pas été détectées : 3 insecticides (parathion méthyl, deltaméthrine, lambda cyhalothrine), 2 herbicides (simazine et napropamide) et 2 fongicides (fludioxonil et tétraconazole).

Le phosmet et le bromoxynil octanoate sont détectés pour moins de 25 % des mesures journalières, et pour aucune des mesures hebdomadaires. C'est le cas également pour l'atrazine, substance interdite d'utilisation. On peut supposer que leur présence dans l'air reste très fugace. Sur une période plus longue, les quantités piégées sont probablement insuffisantes pour être détectées.

Tableau 13 : Concentrations en pesticides dans l'air de juillet à septembre 2004 à Rauzan

Molécules	Prélèvements journaliers				Prélèvements hebdomadaires			
	Fréquence de détection	Med en ng/m ³	Min	Max	Fréquence de détection	Med en ng/m ³	Min	Max
Folpel	100 %	34,36	6,96	605	100 %	37,64	19,66	61,09
Chlorpyriphos éthyl	100 %	0,57	0,03	217,2	100 %	1,82	0,47	42,30
Terbutylazine	97 %	0,09	0,03	0,62	100 %	0,15	0,05	0,33
Chlorothalonil	90 %	0,2	0,09	2,92	100 %	0,38	0,09	0,60
Métalaxyl	87 %	0,16	0,04	0,97	100 %	0,35	0,08	0,60
Endosulfan alpha	71 %	0,135	0,04	0,64	100 %	0,23	0,06	0,39
Fenhexamide	61 %	0,43	0,19	2,98	67 %	0,55	0,21	0,89
Vinchlozoline	61 %	0,14	0	6,05	89 %	0,31	0,05	0,48
Krésoxim méthyl	45 %	0,21	0,04	0,55	56 %	0,24	0,05	0,30
Iprodione	39 %	0,11	0,05	0,21	44 %	0,06	0,04	0,08
Tébuconazole	39 %	0,15	0,07	0,64	67 %	0,16	0,06	0,24
Fluzilazole	29 %	0,1	0,04	0,14	33 %	0,07	0,05	0,09
Azoxystrobine	26 %	0,11	0,07	1,37	22 %	0,21	0,10	0,32
Triadimenol	13 %	0,31	0,09	0,46	33 %	0,18	0,18	0,18
Alachlore	10 %	0,04	0,04	0,07	22 %	0,05	0,04	0,06
Phosmet	3 %	0,09	0,09	0,09	ND		0,00	0,00
Lindane	ND	-	-	-	0 %	-	-	-
Bromoxynil_octanoate	32 %	-	-	-	ND	-	-	-
Atrazine	10 %	-	-	-	ND	-	-	-
Simazine	ND	-	-	-	ND	-	-	-
Parathion méthyl	ND	-	-	-	ND	-	-	-
Tétraconazole	ND	-	-	-	ND	-	-	-
Napropamide	ND	-	-	-	ND	-	-	-
Fludioxonil	ND	-	-	-	ND	-	-	-
Lambda cyhalothrine	ND	-	-	-	ND	-	-	-
Deltaméthrine	ND	-	-	-	ND	-	-	-

7.3.1.2 Région Centre

Au total, 13 pesticides sur les 33 recherchés, ont été détectés au moins une fois durant cette étude (tableau 13). Trois substances sont observées sur presque la totalité des prélèvements (trifluraline, lindane et oxadiazon). La tolylfluanide a été détectée dans 56 % des prélèvements.

Tableau 14 : Concentrations en pesticides dans l'air de juillet à novembre 2004 à Mareau-aux-Prés

Molécules	Prélèvements journaliers		Prélèvements hebdomadaires		
	Fréquence de détection	Fréquence de détection	Méd en ng/m ³	Min	Max
Trifluraline	ND	94 %	1,24	0,15	9,90
Lindane-g	ND	83 %	0,25	0,12	0,45
Oxadiazon	ND	83 %	0,68	0,28	4,03
Tolyfluanide	ND	56 %	5,57	0,54	50,41
Chlorpyriphos éthyl	ND	39 %	0,32	0,08	1,36
Endosulfan - a	ND	39 %	0,36	0,18	1,22
Pendiméthaline	ND	39 %	0,50	0,15	3,16
Metazachlore	ND	28 %	0,32	0,14	3,55
Chlorothalonil	ND	22 %	0,48	0,18	0,68
Folpel	ND	11 %	4,43	3,33	5,52
Captane	ND	6 %	1,31	1,31	1,31
Diazinon	ND	6 %	0,49	0,49	0,49
Phosmet	ND	6 %	0,58	0,58	0,58
Aclonifen	ND	0 %	-	-	-
Alachlore	ND	0 %	-	-	-
Atrazine	ND	0 %	-	-	-
Azoxystrobine	ND	0 %	-	-	-
Cypermethrine I	ND	0 %	-	-	-
Cypermethrine II	ND	0 %	-	-	-
Cypermethrine III et IV	ND	0 %	-	-	-
Cyprodinil	ND	0 %	-	-	-
Dichlobenil	ND	0 %	-	-	-
Dichlorvos	ND	0 %	-	-	-
Diflufenicanil	ND	0 %	-	-	-
Fenpropimorphe	ND	0 %	-	-	-
Kresoxim méthyl	ND	0 %	-	-	-
Lindane-a	ND	0 %	-	-	-
Malathion	ND	0 %	-	-	-
Méthyl parathion	ND	0 %	-	-	-
Métolachlore	ND	0 %	-	-	-
Parathion éthyl	ND	0 %	-	-	-
Propargite	ND	0 %	-	-	-
Tébutame	ND	0 %	-	-	-

7.3.1.3 Poitou-Charentes

15 substances sur les 40 recherchées n'ont pas été détectées.

Le nombre de substances détectées est plus faible pour les prélèvements journaliers par rapport aux prélèvements hebdomadaires en raison de la période à laquelle ils ont été effectués, en septembre. En effet, les substances sont détectées en plus grand nombre au printemps.

Tableau 15 : Concentrations en pesticides dans l'air d'avril à octobre 2004 à Mougon

Molécules	Prélèvements journaliers 06/09/04 au 7/10/04				Prélèvements hebdomadaires 13/04/04 au 26/10/04			
	Fréquence de détection	Med en ng/m ³	Min	Max	Fréquence de détection	Med en ng/m ³	Min	Max
Trifluraline	100 %	0,64	5,08	96	96 %	1,46	0	6,77
Lindane	92 %	0,00	0,44	96	96 %	0,2	0	0,63
Pendiméthaline	83 %	0,00	0,37	96	96 %	0,37	0	6,48
Endosulfan	75 %	0,00	0,36	87	87 %	0,21	0	3,16
Folpel	75 %	0,00	1,18	83	83 %	0,26	0	2,88
Tolyfluanide	83 %	0,00	0,17	70	70 %	0,03	0	0,26
Alachlore	33 %	0,00	0,31	70	70 %	0,12	0	2,73
Chlorothalonil	21 %	0,00	0,10	61	61 %	0,09	0	1,76
Aclonifen	ND	-	-	-	57 %	0,1	0	0,58
Acétochlore	ND	-	-	-	52 %	0,03	0	1,72
Cyprodinil	ND	-	-	-	43 %	0	0	1,05
Flurochloridone	ND	-	-	-	43 %	0	0	0,29
Fluzilazole	ND	-	-	-	35 %	0	0	0,12
Métolachlore	ND	-	-	-	35 %	0	0	0,32
Atrazine	ND	-	-	-	30 %	0	0	1,18
Diméthénamide	ND	-	-	-	30 %	0	0	0,12
Epoxiconazole	ND	-	-	-	26 %	0	0	0,17
Terbutylazine	ND	-	-	-	22 %	0	0	0,04
Métazachlore	75 %	0,00	0,58	17	17 %	0	0	0,21
Tébutame	38 %	0,00	0,52	13	13 %	0	0	0,2
Tébuconazole	ND	-	-	-	9 %	0	0	0,29

7.3.1.4 Comparaison des données hebdomadaires et journalières

En région Poitou-Charentes, les valeurs moyennes hebdomadaires estimées à partir des prélèvements journaliers réalisés pendant les semaines 37 à 41 à Mougon ont été comparées avec les valeurs issues des prélèvements hebdomadaires de la même période. Les valeurs hebdomadaires n'étant pas disponibles pour la semaine 40, celle-ci n'a pas été utilisée pour la comparaison.

Le tableau suivant reprend les principaux paramètres permettant la comparaison entre les valeurs hebdomadaires et journalières pour les concentrations de 9 substances pour lesquelles on dispose d'au moins 4 résultats de mesures.

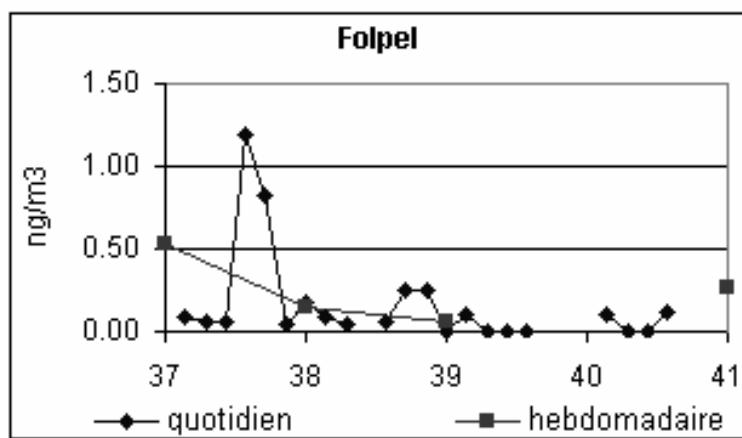
Tableau 16 : Comparaison entre les prélèvements journaliers et hebdomadaires à Mougon

Sustances	Fréquence de détection journalière	Corrélation	Moyenne hebdomadaire	Moyenne journalière	Maximum hebdomadaire	Maximum journalier
					en ng/m ³	
Trifluraline	100 %	0,33	1,98	2,29	3,78	3,48
Lindane	92 %	-0,08	0,17	0,12	0,23	0,28
Pendiméthaline	83 %	0,57	0,12	0,11	0,17	0,16
Endosulfan	75 %	0,83	0,10	0,11	0,21	0,25
Folpel	75 %	0,91	0,25	0,17	0,54	0,35
Tolyfluanide	83 %	0,00	0,05	0,05	0,07	0,07
Alachlore	33 %	0,99	0,03	0,02	0,12	0,09
Métazachlore	75 %	0,98	0,08	0,10	0,21	0,24
Tébutame	38 %	0,94	0,04	0,08	0,15	0,30

La corrélation entre les concentrations hebdomadaires et les concentrations journalières semble correcte pour l'endosulfan, le folpel (figure 9), lalachlore, le métazachlore et le tébutame.

En revanche pour le lindane, la pendiméthaline, le tolyfluanide et la trifluraline, la comparaison entre les deux séries de résultats n'apporte pas d'éléments fiables pour la comparaison entre les deux types de prélèvement, la corrélation entre les deux séries de mesures étant très mauvaise. Des problèmes analytiques ont pu intervenir pour certains d'entre eux, notamment des problèmes de perçage pour les prélèvements de lindane pouvant entraîner une sous-estimation des concentrations ou encore des problèmes de blancs contaminés pour la trifluraline et le lindane.

Figure 9 : Evolution comparée des prélèvements hebdomadaires et journaliers pour le folpel



En région Aquitaine, les séries de mesures journalières et hebdomadaires sont cohérentes et mettent en évidence une forte variabilité des teneurs en produits phytosanitaires sur un même échantillon de mesure. Elles montrent aussi une tendance à la baisse au cours du temps pour tous les composés mesurés, probablement liées à l'influence des périodes de traitement agricole autour de la zone d'étude.

Globalement, ces analyses montrent donc une bonne concordance entre les mesurages journaliers et hebdomadaires, qui devra être confirmée sur une plus longue période.

7.3.2 Mise en évidence de périodes de plus moins forte contamination

7.3.2.1 En région Aquitaine

Les mesures effectuées mettent en évidence une forte variabilité des teneurs en produits phytosanitaires sur un même échantillon de mesure, de fopel un jour donné. Cette forte dispersion des teneurs journalières est constatée pour la majorité des dates de prélèvement.

Le fopel et le chlorpyriphos éthyl sont prédominants par rapport aux autres produits phytosanitaires, détectés à des teneurs beaucoup plus faibles et caractérisées par une plus grande incertitude.

L'écart entre les teneurs hebdomadaires de fopel (61 ng/m^3) et d'endosulfan ($0,35 \text{ ng/m}^3$) est plus faible que celui observé avec le préleveur journalier ($0,2 \text{ ng/m}^3$ d'endosulfan à 600 ng/m^3).

Elles montrent également une tendance à la baisse à partir de la 2e quinzaine du mois d'août, constatée pour tous les composés mesurés, qui est probablement liée à l'influence des périodes de traitements agricoles autour de la zone d'étude.

Ceci est cohérent avec les informations transmises à Airaq par les responsables du site viticole indiquant la fin des traitements.

On peut ainsi distinguer deux périodes correspondant à des évolutions des teneurs en produits phytosanitaires différentes :

- une période exposée entre le début de la campagne de mesure et fin août. Cette période correspond aux traitements agricoles intensifs et aux teneurs en substances actives mesurées dans l'air ambiant les plus élevées ;
- une période moins exposée entre le 25 août et la fin de la campagne de mesure. Cette période correspond à l'arrêt des traitements agricoles et aux teneurs en substances actives mesurées dans l'air ambiant les plus faibles.

Figure 10 : Evolution des concentrations journalières de juillet à septembre 2004 à Rauzan

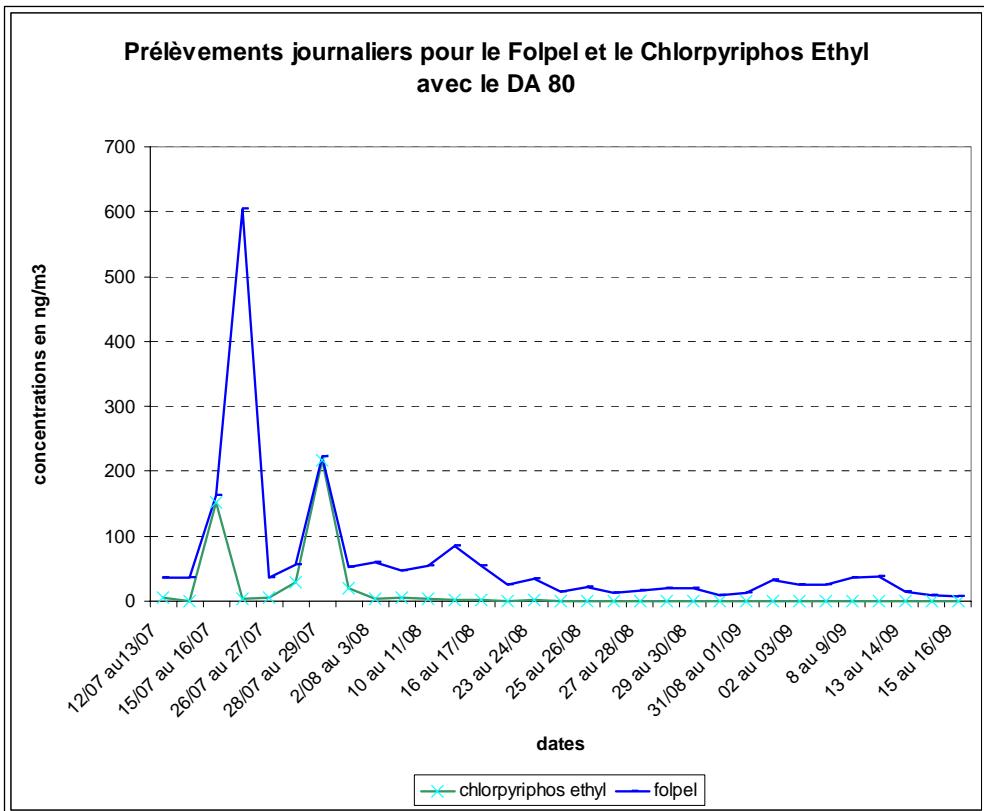
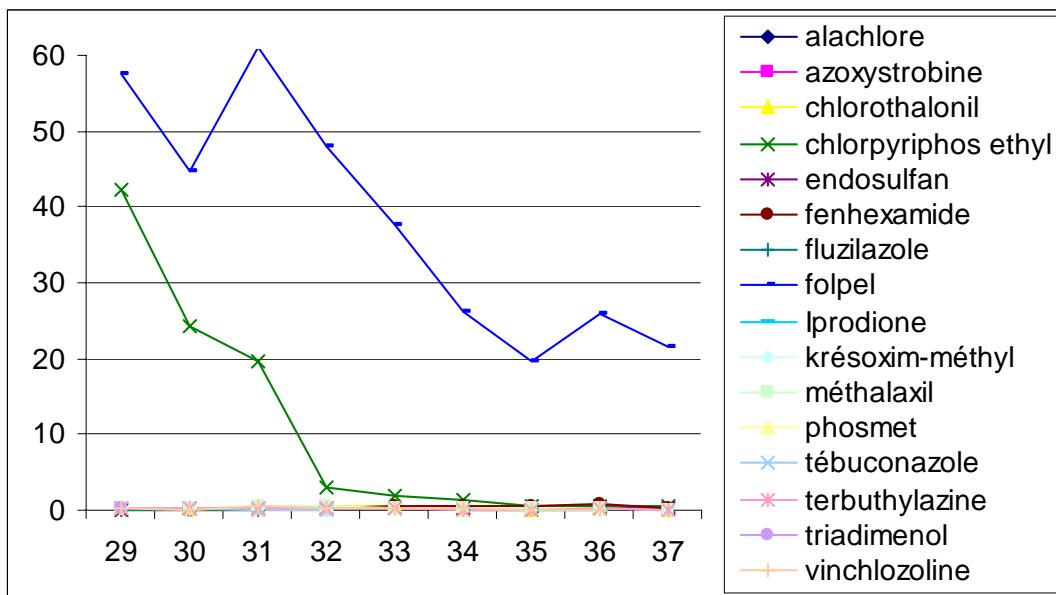


Figure 11 : Evolution des concentrations hebdomadaires de juillet à septembre 2004 à Rauzan



7.3.2.2 Région centre

La période du début de la campagne jusqu'à fin septembre est celle où les teneurs en pesticides sont les plus élevées. Le tolylfluanide est la substance qui a présenté les concentrations les plus élevées dans cette étude, avec un pic à 50,4 ng/m³. Le chlorpyriphos éthyl, l'endosulfan, le chlorothalonil et le tolylfluanide ont été détectés essentiellement durant ces premières semaines.

Cependant la trifluraline et l'oxadiazon sont présents dans presque tous les prélèvements à des quantités faibles, en lien avec leur fréquence d'utilisation qui va respectivement de janvier à octobre et de février à octobre d'après les avertissements agricoles du SRPV.

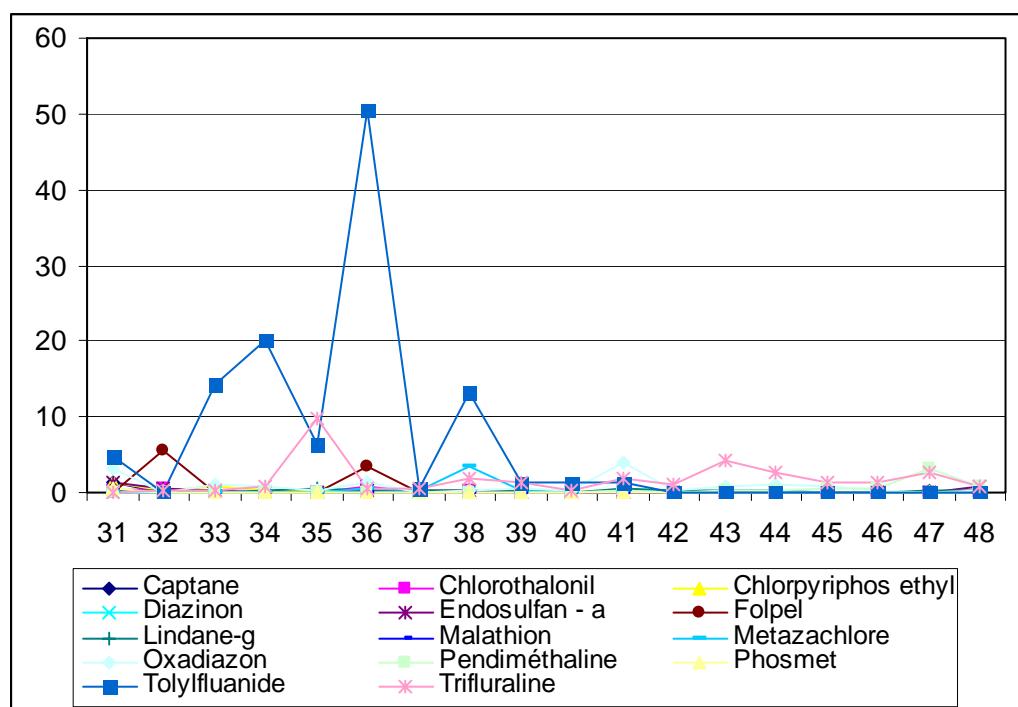
Les différences de concentrations des ces deux substances peuvent être liées aux variations des conditions météorologiques. Les faibles concentrations en trifluraline sont en effet généralement observées durant les semaines les plus ensoleillées.

Même si la période d'utilisation de cet herbicide s'étend de janvier à octobre, la pendiméthaline n'a été détectée que dans les dernières semaines de l'étude (à partir de la semaine 41). De précédentes études sur le site de Mareau-aux-Prés, ont montré que cette substance n'a jamais été détectée pendant la période estivale.

Enfin le metazachlore a été détecté uniquement entre les semaines 36 et 41.

Le lindane, substance interdite à l'utilisation, est également retrouvé systématiquement mais à des niveaux relativement faibles et présentant une très faible variation hebdomadaire. Les concentrations observées peuvent s'expliquer par une revolatilisation à partir du sol en fonction des conditions météorologiques.

Figure 12 : Evolution des concentrations hebdomadaires de juillet à novembre 2004 à Mareau-aux-Prés



7.3.2.3 Région Poitou-Charentes

Il est possible d'identifier deux périodes distinctes. La première va de mi-avril à fin juin (semaine 16 à 26) et correspond à la présence de plusieurs pesticides en concentration importante (concentration supérieure à 1 ng/m³). La deuxième concerne la période de mi-août à fin octobre (semaine 33 à 43) pendant laquelle on observe la prépondérance d'une substance : la trifluraline.

Figure 13 : Evolution des concentrations journalières de septembre à octobre 2004 à Mougon

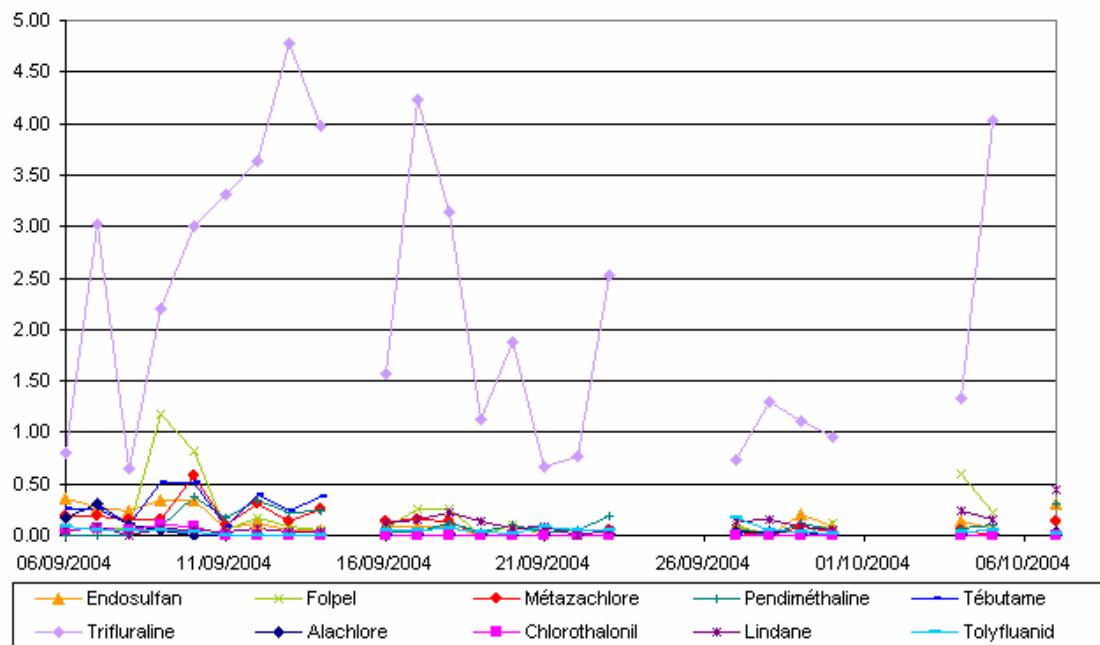
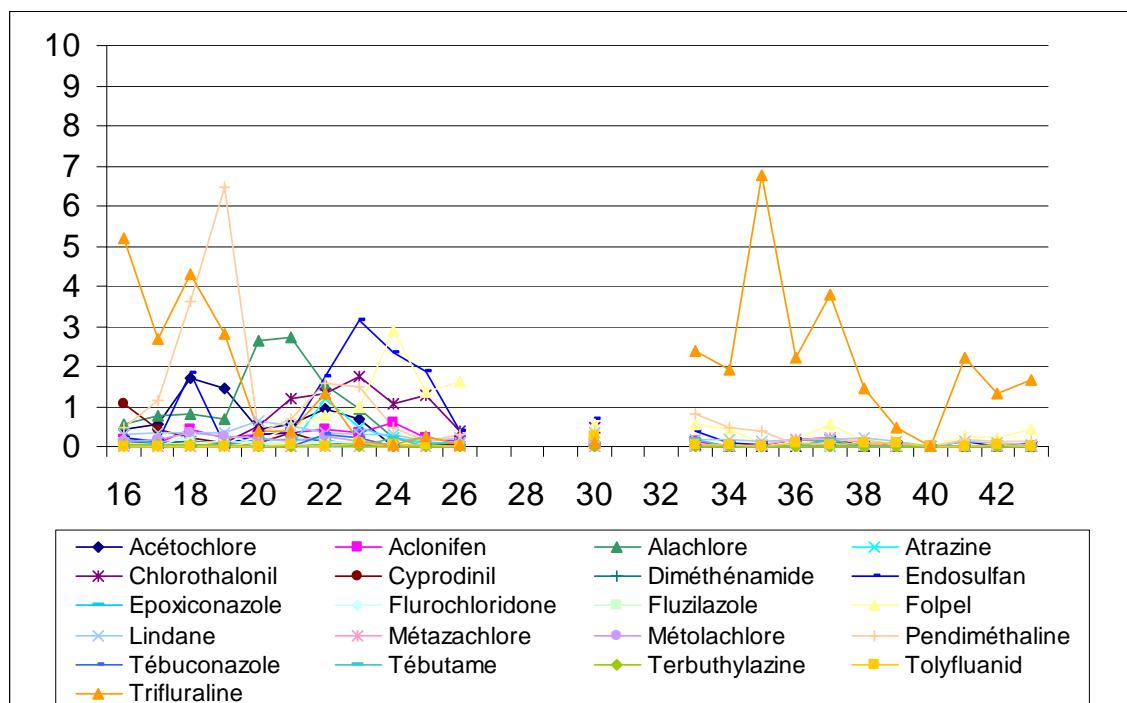


Figure 14 : Evolution des concentrations hebdomadaires de septembre à octobre 2004 à Mougon



7.4 Conclusions

Cette étude a permis la mise au point d'un protocole de mesurage qui pourra être réutilisé. Différents profils ont été observés selon le type de culture, la contamination phytosanitaire apparaissant liée à l'activité agricole.

Il est possible de mettre en évidence des périodes de plus ou moins forte pression phytosanitaire :

- teneurs les plus élevées de avril (semaine 13) à fin août (semaine 40) ;
- teneurs plus faibles sur le reste de l'année.

Les fortes variations de concentrations mises en évidence par cette étude montrent qu'une étude plus fine des différentes périodes d'épandage tout au long de l'année serait cependant nécessaire. Elles montrent qu'il n'existe pas de période strictement non exposée, avec l'existence d'un bruit de fond toute l'année. Certaines substances comme la trifluraline et l'endosulfan sont en effet détectées quelle que soit la période.

La comparaison des données moyennes journalières et hebdomadaires, bien que s'appuyant sur un petit nombre de mesures et une période relativement courte, confirme l'intérêt des mesures hebdomadaires, moins lourdes à mettre en œuvre que les mesures journalières.

Enfin, le recensement des substances réalisé dans ces études pourra être utile dans le cadre de la réalisation d'études d'exposition de la population voir d'études d'exposition globale aux pesticides.

8 Discussion

8.1 Connaissance de l'exposition aux pesticides

Les produits phytosanitaires sont très utilisés depuis de nombreuses années en agriculture, ainsi que dans de nombreuses autres situations professionnelles et non professionnelles. Leurs teneurs dans les eaux de consommation et dans les aliments font actuellement l'objet d'un suivi et de contrôles réguliers conformément à la réglementation, contrairement à leur concentration dans l'air pour laquelle aucune norme n'est encore établie. C'est pourquoi un état des lieux concernant les concentrations en pesticides dans l'air était nécessaire et a abouti aux résultats suivants pour les différentes étapes.

La première étape destinée à identifier les partenaires locaux susceptibles d'apporter un avis d'expert sur les utilisations de pesticides dans les régions a été menée de façon satisfaisante. Dans de nombreux cas, l'adhésion de partenaires comme les chambres d'agriculture, les confédérations professionnelles ou même les distributeurs a permis de mettre en place un partenariat positif.

En ce qui concerne la deuxième étape comprenant la définition et le recueil des données nécessaires, des difficultés ont pu être rencontrées. L'utilisation des pesticides reste encore très mal connue. Les données de ventes sont agrégées au niveau national et aucune régionalisation de celles-ci n'est disponible actuellement. D'après l'expertise réalisée par l'Inra et le Cemagref, la connaissance des pratiques culturales, quand elle existe, reste trop limitée à une analyse statistique du nombre de traitements sans étude des déterminants de ces pratiques [7]. Cependant les données recueillies ont parfois pu être confrontées aux concentrations mesurées, notamment dans le Cher.

Concernant la sélection des substances actives, une réflexion a été initiée sur la hiérarchisation des substances à surveiller en priorité.

Enfin, une cartographie des utilisations à l'aide d'un SIG a pu être réalisée dans deux régions.

En parallèle, il était intéressant de confronter ces données avec les données de contamination du compartiment air par les pesticides. Des campagnes de mesures à grande échelle ont ainsi été mises en place et permis de faire progresser la connaissance sur le comportement des produits phytosanitaires dans l'air.

Quel que soit le site de mesurage, les résultats ont montré la présence d'un mélange de produits phytosanitaires dont les concentrations allaient du seuil de détection à plusieurs centaines de ng/m³. Cependant, des gradients de concentrations ont pu être mis en évidence, en fonction des pratiques culturales à l'échelle régionale, et en fonction du moment et du lieu d'épandage à l'échelle locale.

8.1.1 Quel est l'apport des données atmosphériques ?

8.1.1.1 A l'échelle régionale : une signature de l'activité agricole actuelle ou passée

D'un point de vue qualitatif, on observe une grande variabilité des résultats de mesures. Chaque région présente des profils de concentrations différents, qui apparaissent comme une signature de l'activité agricole pendant la période de mesurage.

Dans les régions viticoles, notamment en Aquitaine et en Champagne-Ardenne, les fongicides sont les produits retrouvés les plus fréquemment, systématiquement pour le folpel, très utilisé pour lutter contre le mildiou. Les moyennes hebdomadaires varient entre 30 et 1 200 ng/m³ selon la région. Le chlorothalonil est la deuxième substance retrouvée en Champagne.

Les insecticides sont également retrouvés en quantité importante, comme le chlorpyriphos éthyl en Aquitaine, très utilisé en viticulture pour lutter contre la flavescence dorée [8]. On retrouve également des substances non utilisées en viticulture, comme l'endosulfan, insecticide principalement utilisé en arboriculture, et l'alachlore, herbicide utilisé essentiellement en maïsculture, phénomène qui peut être lié à la volatilisation et au transport de ces produits phytosanitaires par les masses d'air [9].

Des concentrations comparables ont été retrouvées sur le site viticole d'Arbois en Franche Comté pour le folpel 20 à 40 ng/m³, et le chlorpyriphos éthyl < 1ng/m³ [10]. En Pays de Loire, les pesticides détectés en pays du Muscadet sont le folpel pour les traitements fongicides anti-mildiou, le cyprodinil et la vinchlozoline pour les traitements fongicides anti-botrytis, le chlorpyriphos éthyl pour les traitements insecticides et la terbutylazine pour les traitements herbicides [11].

Concernant les régions de grandes cultures, les substances les plus fréquemment retrouvées sont les herbicides trifluraline et pendiméthaline et l'insecticide endosulfan en Poitou-Charentes, l'herbicide trifluraline, fongicide tolylfluanide et l'insecticide endosulfan en région Centre [12,13].

Ces résultats sont cohérents avec les mesures effectuées dans d'autres régions à proximité de sites de grandes cultures où l'alachlore, l'endosulfan, le chlorothalonil, le lindane et la trifluraline ont été fréquemment mesurés, ainsi que les fongicides fenpropimorphe et fenpropidine (10 à 20 ng/m³) [14].

Des phénomènes de volatilisation à partir des sols peuvent expliquer la présence de substances interdites d'utilisation actuellement, comme la terbutylazine interdite depuis septembre 2003 à l'exception de la viticulture en avril et en mai, le lindane, interdit d'utilisation depuis 1998 pour les usages agricoles, ou encore l'atrazine, interdite d'utilisation en zone agricole depuis juin 2003.

8.1.1.2 A l'échelle locale : des variations spatio-temporelles

Les différentes études ont mis en évidence des gradients de concentration dans l'espace en fonction de la zone de prélèvement. Il est intéressant de noter que l'on retrouve les mêmes pesticides en milieu urbain, à des concentrations plus faibles que dans les centres de villages. Comme on pouvait s'y attendre, les zones limitrophes des exploitations viticoles ou agricoles sont soumises aux concentrations les plus élevées.

Dans le Cher, les concentrations aériennes à plus de 250 mètres sont liées à l'influence des vergers, la présence des substances détectées coïncidant avec leur période d'utilisation d'après l'enquête auprès des exploitants. Les concentrations les plus fortes en moyenne hebdomadaire s'élèvent à plus de 30 ng/m³ (captane, endosulfan). Des produits utilisés en céréaliculture et en viticulture ont été détectés à des concentrations plus faibles. Des niveaux de concentrations de l'ordre de 10 à 60 ng/m³ sont également mesurés dans les régions viticoles ou de grandes cultures.

En milieu urbain, les herbicides trifluraline, pendiméthaline ou alachlore, les fongicides chlorothalonil et folpel et les insecticides lindane et endosulfan fréquemment retrouvés à des concentrations voisines de 1ng/m³, soit 100 à 1000 fois inférieures aux teneurs en zone viticole pour le folpel à Reims par exemple, d'après des études réalisées à Tours, Chartres, Rennes, Besançon ou Reims [10,13,15-17].

Des périodes de plus ou moins forte pression phytosanitaire ont également pu être identifiées. Le nombre et la quantité de substances détectées sont plus importants pendant les périodes de traitement. L'observation de pics journaliers illustre l'influence directe des activités de traitements agricoles sur la contamination de l'air ambiant.

Durant les périodes plus éloignées des jours de traitement, les variations des teneurs en produits phytosanitaires sont moins marquées mais des pesticides sont détectés plusieurs semaines après la fin théorique de leur utilisation. Cela pourrait correspondre à des phénomènes de volatilisation post-application, qui semblent dépendre des conditions météorologiques.

Des substances non appliquées en milieu viticole mais appliquées dans les cultures avoisinantes peuvent également être détectées, attestant le rôle joué par les phénomènes de transport par les masses d'air dans la présence des produits phytosanitaires dans l'air ambiant.

Enfin en région Centre ainsi qu'en Poitou-Charentes, l'herbicide trifluraline est détecté sur toute la période d'étude, mettant en évidence l'existence d'un bruit de fond concernant au moins une partie des pesticides.

8.1.1.3 Identification d'un indicateur d'exposition

Les mesurages des concentrations en pesticides dans l'air ont un coût relativement élevé et il apparaît donc intéressant de sélectionner des matières actives à surveiller pour élaborer un ou plusieurs indicateurs de contamination de l'air par les pesticides. Cependant, compte tenu du faible nombre de prélèvements et du caractère non représentatif de certaines substances épandues, aucun indicateur n'a pu être défini lors de cette étude.

Les résultats des mesurages dans les trois régions montrent qu'il semble peu pertinent de construire un indicateur à partir d'une seule substance. En effet, aucune substance ne peut être utilisée comme référence sur l'ensemble de l'année ; il faudrait utiliser au minimum une substance prédominante par période caractéristique, et à condition que celle-ci soit corrélée à la concentration totale en pesticides. Cela constituerait un indicateur plutôt lourd à gérer.

De plus, il est probable que les concentrations en pesticides évoluent avec les pratiques agricoles, ce qui nécessite une mise à jour régulière.

Enfin, l'intérêt serait également d'approcher une teneur globale en pesticides, qui peut se révéler supérieure en ville par rapport à la campagne, avec un bruit de fond présent toute l'année. Cette approche peut être intéressante dans l'hypothèse où des effets synergiques existent entre les différents pesticides.

8.1.1.4 Conclusion

L'intérêt principal de l'ensemble de ces travaux est d'avoir donné une estimation des niveaux de contamination en pesticides dans l'air, alors même que ceux-ci ne font l'objet d'aucune réglementation et étaient largement méconnus jusqu'à ces dernières années.

Ils confirment la forte utilisation de produits phytosanitaires en viticulture et en arboriculture, cultures fragiles et dépendantes de ces produits. De plus, ces deux cultures présentent une proximité entre culture et habitation pouvant conduire à une exposition plus importante de la population.

Si les concentrations en pesticides mesurées sont susceptibles de servir de base à une estimation de l'exposition des populations, il faut garder à l'esprit que certains pesticides très utilisés n'ont pas pu être mesurés pour des raisons de faisabilité analytique. En Champagne notamment, le fosetyl-aluminium et le cymoxanyl sont deux fongicides très souvent utilisés en association avec le folpel, de même que le mancozèbe. L'herbicide glyphosate également utilisé n'a pas pu être mesuré.

Ces études mettent en évidence qu'il n'y a pas de période strictement non exposée mais donnent en revanche un aperçu des gradients de concentrations en fonction des périodes et des régions qui pourraient permettre de proposer des modalités d'estimation de l'exposition différentes selon le type d'étude envisagée. On pourrait ainsi par exemple comparer les périodes de forte pression phytosanitaire au reste de l'année pour des études sur des pathologies liées à court terme avec l'exposition. Des périodes de prélèvements plus courtes réparties sur toute l'année pourraient en revanche être utilisées pour estimer une valeur moyenne annuelle, afin d'étudier des pathologies dont la latence est plus longue.

Enfin, les déterminants des concentrations observées ont été très peu étudiés et devraient l'objet d'études ultérieures :

- quantités utilisées
- conditions météorologiques (ensoleillement, l'hygrométrie ou direction du vent) ;
- type d'épandage : tracteur, rampe, jet porté, hélicoptère, avion, etc.

Les données de ce rapport sont cohérentes avec les résultats des autres études de mesures des concentrations en phytosanitaires dans l'air. Ils contribuent à alimenter une base de données métrologiques nécessaire aux études sur l'impact sanitaire lié à la présence de ces produits dans l'air.

8.1.2 Connaissance des autres sources d'exposition aux pesticides

8.1.2.1 L'alimentation

D'après l'OMS, 80 % de l'exposition aux pesticides serait attribuable à l'alimentation contre 10% à l'eau [1]. Cependant si l'apport par l'alimentation est reconnu comme la source principale d'apport de pesticides, aucune référence ne permet d'affirmer ou d'infirmer la prépondérance de la voie orale par rapport aux autres voies d'exposition.

Le rapport publié en 1993 du National Research Council « Pesticides in the diets of infants and children » reconnaît cet apport comme source majoritaire mais recommande que les autres sources soient également prises en compte dans l'analyse de l'exposition totale ou agrégée, notamment chez l'enfant [18].

A la suite de ce rapport, le Food Quality Protection Act de 1996 préconise l'estimation de l'exposition de toutes les sources et voies d'exposition dans l'étude de la tolérance aux pesticides, avec une attention particulière pour les enfants. En effet, les concentrations retrouvées dans les études de repas dupliqués semblaient montrer une exposition supérieure pour les jeunes enfants par rapport à celle des enfants de plus de 10 ans et des adultes, en tenant compte de la quantité de nourriture et boisson rapportée au poids, du type d'aliment (forte consommation d'eau et de jus de fruit) et de leur comportement plus à risque (jeux, activité main-bouche) [19,20].

D'après un mémoire de l'école nationale de santé publique, la contamination de produits de jardin par les pesticides de l'atmosphère ne semble pas contribuer significativement à l'exposition de la population au-delà de 200 mètres des lieux d'épandages. Une étude des habitudes de consommation à proximité directe des épandages serait cependant précieuse pour mieux caractériser l'exposition [21].

8.1.2.2 L'eau

La présence des pesticides dans les eaux, et en particulier les eaux destinées à la consommation humaine est réglementée par le code de la santé publique en application de la directive européenne 98/83/CE. Les limites de qualité sont fixées à :

- 0,10 µg/L pour chaque pesticide, à l'exception de l'aldrine, la dieldrine, l'heptachlore et l'heptachloroépoxyde, limités à 0,03 µL ;
- 0,50 µg/L pour le total des pesticides mesurés.

Les pesticides sont recherchés au niveau des ressources en eaux destinées à la production d'eau potable et à la sortie des installations de production d'eau potable, les fréquences des contrôles dépendant du débit d'eau distribué et de la population desservie.

Selon un rapport de la direction générale de la santé, sur les 369 pesticides recherchés de 2001 à 2003, 332 ont été détectés dans les eaux mises en distribution, représentant 11,7 % des mesures. L'atrazine, l'atrazine-déséthyl et la simazine sont les pesticides les plus souvent détectés. 99 % des mesures sont néanmoins inférieures aux limites réglementaires. Seuls 4 pesticides, l'atrazine, l'atrazine-déséthyl, le chlordécone et le lindane, ont été mesurés à plus de 10 reprises à des concentrations dépassant le seuil de 20 % de la valeur sanitaire maximum.

En 2003, des informations sur la qualité des eaux ont été obtenues pour deux tiers des unités de distribution (68 %) alimentant 92,5 % de la population française. Pour 9 % de la population, l'eau du robinet a été au moins une fois non conforme au cours de l'année 2003 [22].

La qualité de l'eau s'améliore depuis quelques années en raison notamment :

- du renforcement de la protection des captages d'eau et de l'abandon des plus pollués ;
- de l'évolution des pratiques d'utilisation des phytosanitaires ;
- de la mise en œuvre de traitements spécifiques des eaux.

Cependant, les efforts doivent être poursuivis, concernant notamment les eaux souterraines plus souvent à l'origine de dépassements des normes, ainsi que les petits captages, moins souvent contrôlés et qui ne font pas toujours l'objet de mesures correctives.

Des progrès sont également à faire pour améliorer la représentativité des mesures, préalable indispensable à leur utilisation pour estimer l'exposition de la population [23].

8.1.2.3 Le sol

Les connaissances sur la contamination des sols français par les pesticides sont inexistantes, alors que ceux-ci pourraient jouer un rôle central dans la rétention et le transfert des pesticides vers d'autres milieux.

D'après la littérature étrangère, la contamination des poussières par les organophosphorés peut provenir d'une utilisation domestique pour contrôler fourmis ou araignées à l'intérieur ou à l'extérieur de la maison, des épandages agricoles réalisées dans la commune [24], ou des transferts par les parents à l'intérieur du logement [25], même si cela n'est pas retrouvé dans toutes les études [26].

Chez les enfants en particulier, le potentiel d'exposition peut être important par le transfert des résidus des mains à la bouche. Celui-ci a été estimé à 1 µg/kg/jour. La dose journalière acceptable de l'EPA (Rfd) pour le chlorpyrifos est de 3 µg/kg/jour [24,26,27].

8.1.2.4 Part de chacune des sources

Différentes études américaines ont effectué des mesurages biologiques et dans les différents milieux afin de mieux comprendre la part de chacun d'eux dans l'exposition [28-31].

Les résultats de ces études sont contradictoires et suggèrent que la contribution de chacune des sources dans l'exposition globale aux pesticides est extrêmement variable selon les substances considérées (usage agricole, domestique ou mixte, concentrations dans l'alimentation et l'eau de boisson, etc.) mais aussi en fonction des caractéristiques des individus (lieu de résidence rural ou urbain, enfants ou adultes, activité professionnelle agricole ou non, etc.).

En France, la seule étude d'exposition aux pesticides de la population générale à notre connaissance s'est intéressée à la pollution de l'environnement intérieur, la contamination cutanée et à la dose interne d'exposition par les organophosphorés des enfants franciliens. Le lindane, l'alpha-HCH et le propoxur étaient les pesticides les plus fréquemment retrouvés dans l'air, mais aucune corrélation n'a été retrouvée avec les niveaux de métabolites urinaires, suggérant un rôle important de l'apport alimentaire, qui ne faisait pas l'objet de cette étude [32].

8.1.3 Exposition réelle aux pesticides

Il est impossible d'affirmer que les concentrations observées dans l'air extérieur reflètent à elles seules l'exposition individuelle aux pesticides des riverains.

Certaines études ont montré que la proximité de l'habitation aux champs dans les communes agricoles ou l'évolution temporelle en fonction des périodes d'épandage pouvait avoir une influence sur l'exposition. Les substances émises à l'extérieur peuvent se retrouver à l'intérieur où elles s'accumulent dans les poussières et sont susceptibles d'être remises en suspension dans l'air. L'exposition par inhalation de chlorpyriphos après une application extérieure a été estimée à 0,05 µg/kg/jour [33,34].

L'étude de Lu a mis en évidence l'influence d'un verger situé à proximité de l'habitation, à la fois dans les concentrations en organophosphates des poussières de la maison et les concentrations urinaires en métabolites, malgré une grande variabilité dans les résultats. La détection chez tous les sujets d'azinphos méthyl, pesticide utilisé seulement en agriculture, montre que le transport des substances depuis le site d'application constitue une source de contamination non négligeable [24].

La proximité d'un verger est également associée à des concentrations plus élevées en diethyl-organophosphate dans les poussières de la maison, mais les enfants ne semblent pas avoir d'exposition plus élevée au vu des concentrations urinaires en métabolites dans une étude concernant le chlorpyriphos et le parathion [19].

La détection systématique de pesticides organophosphorés dans l'air dans l'étude de Lu 2004 est à mettre en lien d'après l'auteur avec l'utilisation domestique, même si les concentrations sont peu élevées, notamment chez les familles urbaines [27].

L'évaluation des risques liés à l'exposition devrait prendre en compte l'ensemble des voies d'exposition, inhalation, ingestion et/ou contact cutané, à partir des différents milieux de dispersion des pesticides :

- alimentation : ingestion d'aliments contaminés par des résidus de pesticides, notamment les fruits et légumes ;
- sol : dépôt sur le sol des gouttelettes de l'aérosol, entraînant une exposition par ingestion de poussière (notamment chez les jeunes enfants) ou de produits cultivés ;
- eau : contamination des ressources en eaux par entraînement à travers le sol ou ruissellement ;
- air : dérive aérienne de l'aérosol entraînant une exposition par inhalation et contact cutané.

Les étapes suivantes sont nécessaires à l'estimation de l'exposition de la population aux pesticides selon l'International Programme on Chemical Safety coordonné par l'OMS :

- estimation de la proportion de la dose totale provenant des différents milieux : atmosphère à l'intérieur des locaux, air ambiant, alimentation, eaux, poussières ;
- détermination de la dose ou de l'exposition attribuable à chaque milieu, en prenant en compte les volumes théoriques absorbés par l'homme (poids corporel, volume d'air absorbé).

L'exposition de la population dépend également des modalités de contact avec le milieu contaminé, notamment le temps de contact qui peut être estimé par le budget espace-temps (BET). Une information sur l'activité du sujet est donc nécessaire pour obtenir une évaluation de l'exposition chronique dans les situations non professionnelles.

L'étude de Pang montre que les sujets passaient en moyenne 16 h par jour sur leur lieu de résidence, ce qui suggère que l'exposition résidentielle constitue une part importante de la l'exposition totale [30]. Les résultats de l'étude montrent également qu'un mesurage à un moment donné d'un individu basé sur un mesurage environnemental et des facteurs d'exposition ne constitue pas une estimation fiable de l'exposition chronique de cet individu. Ceci est dû en particulier à la grande variabilité des concentrations ingérées par l'alimentation. De même selon Echols un mesurage unique à court terme ne peut représenter l'exposition moyenne annuelle au regard des activités exposant particulièrement comme l'application de pesticides ou le contact avec l'herbe ou le sol [35].

Enfin si les campagnes de mesurage ont apporté des informations sur la nature et la quantité des pesticides présents dans l'atmosphère, les connaissances sont encore très insuffisantes sur le comportement des substances présentes dans l'air :

- les produits de dégradation ;
- les transferts vers le sol, les poussières, l'eau, les produits cultivés ;
- les effets synergiques des substances en mélange.

De plus, les méthodologies utilisées dans l'ensemble des campagnes métrologiques ne permettent pas de distinguer la phase gazeuse de la phase liquide sous forme de gouttelettes, ce qui pourrait avoir cependant une influence sur le mode de pénétration dans l'organisme et dont on devrait tenir compte lors de l'évaluation du risque sanitaire éventuel.

8.2 Comment estimer les risques sanitaires liés aux pesticides ?

8.2.1 Pesticides et santé

Les études épidémiologiques font état d'association de diverses pathologies avec l'exposition aux pesticides, notamment de cancers, troubles de la reproduction, troubles neurologiques, plus particulièrement chez les professionnels amenés à manipuler ces produits. D'autres études mettent cependant en doute ces conclusions. Deux revues françaises soulignent les nombreuses incertitudes qui subsistent en matière d'effets des pesticides sur la santé [36,37]. Au vu des données toxicologiques et épidémiologiques disponibles relatives à certains produits phytosanitaires dans les populations de travailleurs, il est cependant légitime de s'interroger sur l'existence d'un risque pour la santé des populations.

Une mise à jour par l'InVS des connaissances épidémiologiques sur le lien entre exposition aux pesticides et santé, ainsi que de l'état de la recherche en France dans ce domaine, sera publiée prochainement.

8.2.2 Réglementation

L'évaluation du risque sanitaire et écologique lié au pesticides est nécessaire pour l'inscription sur la liste positive des substances actives autorisées en Europe (annexe I de la directive 91/414/CE). Cette directive impose également l'évaluation de toute nouvelle substance active mais également de toute substance mise sur le marché avant 1993, le processus de révision étant actuellement en cours et aboutira probablement au retrait d'une grande partie d'entre elles.

Actuellement, la réglementation fixe des seuils limites pour les eaux de consommation humaines ainsi que pour les teneurs maximales en résidus dans les aliments. Une exposition maximale théorique pour le consommateur est fixée en fonction de la consommation alimentaire et des limites maximales de résidus (LMR) dans les végétaux. Les LMR sont elles-mêmes fixées en suivant le devenir des résidus de pesticides dans les plantes. Elles sont disponibles pour chaque couple aliment pesticide et le dépassement de celle-ci implique l'interdiction de vendre le produit. Ces seuils sont fixés par les directives européennes 86/362/CEE et 90/642/CEE.

Il n'existe aucune limite réglementaire concernant les concentrations en produits phytosanitaires dans l'air ambiant.

8.2.3 Réponse locale aux inquiétudes : pertinence de l'évaluation quantitative des risques sanitaires

La pertinence de l'évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS) comme outil de réponse aux interrogations sur les effets sanitaires des pesticides, notamment en zone viticole ou arboricole, est au centre du débat.

L'étape de caractérisation du danger a été réalisée par la majorité des Cire en identifiant les pesticides utilisés en fonction des régions et des types de cultures. Seule la Cire Midi-Pyrénées a discuté de la faisabilité d'une évaluation quantitative des risques pour estimer le risque sanitaire lié à l'épandage de lambda cyhalothrine et de deltaméthrine sur le maïs dans la vallée de l'Adour, qui avait suscité des inquiétudes parmi la population locale. Mais si les valeurs d'exposition observées sont inférieures aux valeurs toxicologiques de référence disponibles pour la voie digestive, ces résultats comportent des incertitudes trop importantes pour être pris en compte [38].

Par ailleurs un travail réalisé conjointement par l'Afsset et l'Ineris avec la collaboration de l'InVS a estimé le risque encouru par un passant qui se trouverait à 50 mètres de la limite d'une parcelle traitée par des phytosanitaires pour six scénarios d'exposition spécifiques par région, reprenant la démarche de la commission d'étude de la toxicité basée sur une exposition directe aiguë par inhalation et contact cutané et indirecte par consommation de résidus déposées sur les aliments du potager, ainsi que par exposition chronique par ingestion d'aliments d'origine locale. Pour ces scénarios, l'indice de risque est considéré comme acceptable au regard des valeurs toxicologiques disponibles [39].

Trop d'incertitude sont liées à la connaissance de l'exposition réelle de la population – c'est-à-dire l'estimation de la dose interne – d'une part, et à la construction des valeurs toxicologiques de références d'autre part pour interpréter les résultats d'une évaluation quantitative des risques sanitaires.

La grande majorité des données toxicologiques disponibles sont basées sur une exposition par ingestion. La connaissance des mécanismes toxicologiques semble encore insuffisante pour que ces données soient utilisées dans une démarche d'évaluation quantitative des risques sanitaires au moyen d'une transposition de voie.

Ces démarches ne sont pas satisfaisantes à l'heure actuelle pour estimer le risque chronique à long terme par inhalation d'une exposition aérienne aux phytosanitaires à faible doses, ou encore le risque pour les populations plus sensibles comme les enfants ou les femmes enceintes, notamment quant à leur potentiel cancérogène. Une réflexion doit être initiée en outre sur les risques encourus par une population exposée de façon répétée quelques semaines par an, compte tenu des capacités d'élimination de l'organisme. La quantification de l'exposition pour des populations relevant de scénarios d'exposition particuliers (exposition dans les zones agricoles, après utilisation de biocide dans les écoles) doit se poursuivre [34].

8.2.4 Perspectives : développement d'outils pour mieux caractériser l'exposition

8.2.4.1 Surveillance de la contamination de l'air extérieur par les pesticides

Il est important de poursuivre les mesures de concentrations atmosphériques des produits phytosanitaires :

- pour valider les résultats des études déjà réalisées ;
- pour identifier les déterminants des concentrations aériennes en pesticides, notamment les pratiques culturales et les modes d'épandages.

Ces premiers résultats pourront servir de base à la création d'indicateurs de contamination aérienne par les pesticides, s'intégrant dans le système plus général de la surveillance de la qualité de l'air. Cette source d'exposition, quoique considérée comme non prépondérante, n'est en effet probablement pas négligeable dans certaines situations au vu des résultats des études métrologiques.

Ces mesurages s'inscrivent dans la mise en place de systèmes de collecte d'information pérennes sur l'utilisation des pesticides et sur leur impact, recommandée par l'expertise Inra-Cemagref, ainsi que la définition d'indicateurs pertinents [17].

Il serait en particulier utile de mettre en place un système de recueil d'information à l'image de celui développé par le California Department of Pesticides Regulation qui assure la régulation des pesticides dans l'état de Californie, comme le fait l'EPA à l'échelle nationale. Il s'agit d'un registre d'utilisation, le Pesticides Utilization Registration (PUR), qui permet la réalisation d'études d'exposition ou fournit des données d'exposition dans le cadre d'études sur l'impact sanitaire des pesticides [40].

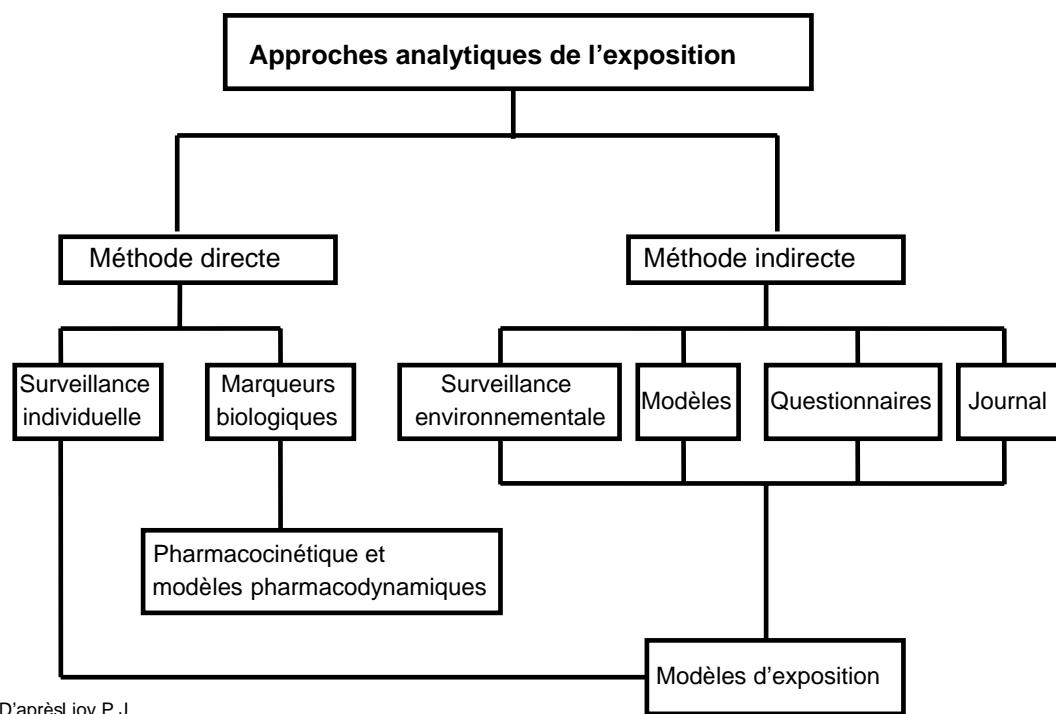
8.2.4.2 Utilisation de modèles d'exposition individuelle aux pesticides

L'estimation des expositions individuelles aux pesticides, nécessaires dans les études sur l'impact sanitaires de ces substances, ne pourra probablement se faire que par l'intermédiaire d'un modèle d'exposition, construit à partir de mesurages environnementaux moins onéreux et moins contraignants et incluant notamment les concentrations atmosphériques ou dans les poussières.

L'exposition serait ainsi fonction de la part attribuable à chacune des sources (alimentation, eau, poussières, air) pour chaque individu, recueillie par différentes méthodes (mesurages environnementaux et questionnaires).

Ce modèle devra avoir été validé par confrontation des données métrologiques et des données d'exposition obtenues par mesurages dans les liquides biologiques (figure 15).

Figure 15 : Méthodes d'estimation de l'exposition



9 Conclusions et perspectives

L'exploration du compartiment aérien a permis de faire progresser la connaissance concernant la caractérisation de l'exposition aux pesticides. Cette source d'exposition, jusqu'alors peu explorée et soumise à aucune réglementation, semble en effet non négligeable en milieu viticole ou arboricole, où les fongicides sont les produits retrouvés les plus fréquemment, notamment le folpel avec des concentrations de l'ordre de 60 ng/m³ à 1 200 ng/m³. Concernant les régions de grandes cultures, les substances les plus fréquemment retrouvées sont les herbicides trifluraline et pendiméthaline et l'insecticide endosulfan avec des concentrations de l'ordre de 1 ng/m³. En région mixte grande culture et arboriculture, l'herbicide trifluraline, les fongicides tolyfluanide, folpel et captane sont retrouvés le plus fréquemment. L'insecticide lindane, bien qu'interdit depuis 1998, est retrouvé sur tous les sites en quantités faible en dessous du ng/ m³.

Il ne paraît pas pertinent à ce stade d'exploiter des données dans une évaluation quantitative des risques sanitaires liés à l'exposition aérienne aux pesticides, en raison de la trop grande incertitude liée au lien entre concentrations dans l'air et exposition réelle d'une part, et aux données toxicologiques de référence pour la voie respiratoire d'autre part.

Les étapes suivantes devront donc s'attacher à faire progresser les connaissances concernant les modalités d'exposition de la population :

- en fonction des conditions climatiques, des modes d'épandages ;
- en identifiant les sources d'exposition principales aux pesticides en fonction des caractéristiques de la population (rurale/urbaine, enfants/adultes, etc.) ;
- en identifiant des populations particulièrement exposées ou particulièrement sensibles ;
- en prenant en compte l'activité par un budget espace-temps.

Il est ensuite indispensable de combler le manque de connaissances concernant les courbes dose-réponse par inhalation et les valeurs toxicologiques de référence (VTR). Cela implique de :

- actualiser le recensement des VTR disponibles ;
- en réaliser une analyse critique (références disponibles, robustesse) ;
- argumenter à partir des études identifiées la possibilité et la méthode de transposition de voie : appliquer les valeurs disponibles pour l'ingestion à une exposition par inhalation ;
- identifier les conditions d'application éventuelles de ces VTR et les éléments d'interprétation des quotients de danger, notamment en fonction du type d'effet considéré ;
- initier une réflexion sur la notion d'exposition subchronique ou chronique répétée.

Enfin, le développement d'outils utilisables dans des études épidémiologiques doit être poursuivi, et en premier lieu par une réflexion sur la construction d'indicateur à des fins de surveillance de la contamination aérienne par les phytosanitaires.

Ces notions seront indispensables pour faire progresser la connaissance de l'exposition aux pesticides et permettront de proposer des actions à mettre en place en priorité dans le cadre d'une gestion des risques sanitaires éventuels.

10 Références

- [1] Risques sanitaires liés à l'utilisation des produits phytosanitaires. Comité de la Prévention et de la Précaution. 2001.
- [2] Chrétien E. Evaluation de la teneur en produits phytosanitaires de l'air dans la zone viticole champenoise. Atmo Champagne-Ardenne. 2005.
- [3] LeBlanc G, Rivière D. Evaluation du potentiel d'exposition aérienne des populations aux produits phytosanitaires;Etude préliminaire dans le canton arboricole de Saint-Martin d'Auxigny. DRASS du Centre. 2004. Orléans.
- [4] Barneaud A. Eléments d'évaluation de l'exposition des habitants du vignoble nantais aux pesticides présents dans l'atmophère. Ecole Nationale de la Santé Publique. 2002. Rennes.
- [5] Marlière F. Pesticides dans l'air ambiant. Institut National de l'Environnement et des RISques, editor. 2005. Verneuil en Halatte.
- [6] Gouzy A, Farret R. Détermination des pesticides à surveiller dans le compartiment aérien : approche par hiérarchisation. 2005. INERIS.
- [7] Aubertot JN, Barbier JM, Carpentier JJ, Gril L, Guichard P, Lucas S *et al.* Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport. INRA et Cemagref. -64. 2005.
- [8] Chaix L. Campagne de mesures des produits phytosanitaires du 12/07/04 au 12/10/04 à Rauzan. Airaq, Atmo aquitaine. 2004.
- [9] Chrétien E. Evaluation de la teneur en produits phytosanitaires de l'air dans la zone viticole champenoise, du 28 juin au 9 juillet 2004 et du 10 au 14 janvier 2005. Atmo Champagne-Ardenne. étude phyto - 04/06-07-EKD/EC. 2005.
- [10] Les pesticides dans l'air franc-comtois, état des lieux, état des connaissances. ATMO Franche Comté. 2005.
- [11] Ducroz F. Mesure de produits phytosanitaires en zones viticoles et urbaines de Loire Atlantique - campagne 2004. Air Pays de la Loire. 2005.
- [12] Petrique O. Métrologie des produits phytosanitaires dans l'atmosphère, site de Mareaux aux Prés du 27 juillet au 30 novembre 2004. Lig'Air. 2004.
- [13] Navel V. Métrologie des produits phytosanitaires dans l'atmosphère de avril à décembre 2004 sur la commune de Mougou. Atmo Poitou-Charentes. 2004.
- [14] Campagne de mesure de produits phytosanitaires à Mordelles (35) et Pontivy (56) du 12 avril au 5 juillet 2005. Air Breizh, editor. 2005.
- [15] Contamination de l'air par les produits phytosanitaires en région Centre : année 2004. Lig'Air,. 2005.
- [16] Contamination de l'air par les produits phytosanitaires en région Centre : année 2005. Lig'Air, r. 2005.
- [17] Houze E. Campagne de mesure des pesticides dans l'air ambiant en milieu urbain du 29 avril au 8 juillet 2003. Air Breizh. 2003.
- [18] National Research Council. Pesticides in the diets of infants and children. National Academy Press, editor. 1993. Washington DC.
- [19] Fenske RA, Kedan G, Lu C, Fisker-Andersen JA, Curl CL. Assessment of organophosphorous pesticide exposures in the diets of preschool children in Washington State. J Expo Anal Environ Epidemiol 2002; 12(1):21-28.
- [20] MacIntosh DL, Kabiru CW, Ryan PB. Longitudinal investigation of dietary exposure to selected pesticides. Environ Health Perspect 2001; 109(2):145-150.
- [21] Charbonnel J. Contribution de l'atmosphère à l'exposition aux pesticides par la consommation de produits de jardin. Mémoire de l'ENSPr. 2003.

- [22] Balloy G, Herault S, Israel R, Robin A, Saout C, Tracol R. Les pesticides dans l'eau 2001-2003. Direction Générale de la Santé-Ministère de la Santé et des Solidarités. 2006. 2005.
- [23] L'eau potable en france, 2002-2004. Direction Générale de la Santé-Ministère de la Santé et des Solidarités. 2005.
- [24] Lu C, Fenske RA, Simcox NJ, Kalman D. Pesticide exposure of children in an agricultural community: evidence of household proximity to farmland and take home exposure pathways. Environ Res 2000; 84(3):290-302.
- [25] Curl CL, Fenske RA, Kissel JC, Shirai JH, Moate TF, Griffith W *et al.* Evaluation of take-home organophosphorus pesticide exposure among agricultural workers and their children. Environ Health Perspect 2002; 110(12):A787-A792.
- [26] Koch D, Lu C, Fisker-Andersen J, Jolley L, Fenske RA. Temporal association of children's pesticide exposure and agricultural spraying: report of a longitudinal biological monitoring study. Environ Health Perspect 2002; 110(8):829-833.
- [27] Lu C, Kedan G, Fisker-Andersen J, Kissel JC, Fenske RA. Multipathway organophosphorus pesticide exposures of preschool children living in agricultural and nonagricultural communities. Environ Res 2004; 96(3):283-289.
- [28] Andrew CC, Pellizzari ED, Whitmore RW, Quackenboss JJ, Adgate J, Sefton K. Distributions, associations, and partial aggregate exposure of pesticides and polynuclear aromatic hydrocarbons in the Minnesota Children's Pesticide Exposure Study (MNCPES). J Expo Anal Environ Epidemiol 2003; 13(2):100-111.
- [29] Cohen Hubal EA, Sheldon LS, Burke JM, McCurdy TR, Berry MR, Rigas ML *et al.* Children's exposure assessment: a review of factors influencing Children's exposure, and the data available to characterize and assess that exposure. Environ Health Perspect 2000; 108(6):475-486.
- [30] Pang Y, MacIntosh DL, Camann DE, Ryan PB. Analysis of aggregate exposure to chlorpyrifos in the NHEXAS-Maryland investigation. Environ Health Perspect 2002; 110(3):235-240.
- [31] Whitemore RW, Immerman FW, Camann DE, Bond AE, Lewis RG, Schaum JL. Non-occupational exposures to pesticides for residents of two U.S. cities. Arch Environ Contam Toxicol 1994; 26(1):47-59.
- [32] Bouvier G. Evaluation de l'exposition aux biocides de la population dans l'environnement : cas particulier des insecticides organophosphorés. Faculté de Pharmacie PV, INERIS. 2005.
- [33] Occupational and residential exposure assessment for pesticides. Ottowa: 2005.
- [34] Fenske RA, Kissel JC, Shirai JH, Curl CL, Galvin K. Agricultural task not predictive of children's exposure to OP pesticides. Environ Health Perspect 2004; 112(15):A865-A866.
- [35] Echols SL, MacIntosh DL, Ryan PB. Temporal patterns of activities potentially related to pesticide exposure. J Expo Anal Environ Epidemiol 2001; 11(5):389-397.
- [36] Baldi I, Mohammed-Brahim B, Brochard P, Dartigues JF, Salamon R. [Delayed health effects of pesticides: review of current epidemiological knowledge]. Rev Epidemiol Sante Publique 1998; 46(2):134-142.
- [37] Multigner L. Effets retardés des pesticides sur la santé humaine. Environnement, Risques & Santé 2005; Volumme 4, Numéro 3.
- [38] Pouey J, Rivière S. Evaluation quantitative des risques sanitaires liés aux épandages de phytosanitaires utilisés dans la lutte contre la pyrale du maïs, étude de faisabilité. InVS-Cire Midi-Pyrénées. 2006.
- [39] Boudet C, Mandin C. L'épandage aérien de produits phytosanitaires, rapport du groupe de travail institutionnel en charge de la saisine Afsse. Afsset, INERIS. 2005.
- [40] Powell S. New challenges: residential pesticide exposure assessment in the California Department of Pesticide Regulation, USA. Ann Occup Hyg 2001; 45 Suppl 1:S119-S123.

Sites Internet

Données agricoles

Statistiques et études sur l'agriculture, la forêt, les industries alimentaires, l'occupation du territoire, les équipements et l'environnement en zone rurale du ministère de l'Agriculture et de la Pêche
<http://www.agreste.agriculture.gouv.fr>

Catalogue des produits phytopharmaceutiques et de leurs usages des matières fertilisantes et des supports de culture homologués en France du ministère de l'Agriculture et de la Pêche
<http://e-phy.agriculture.gouv.fr>

Association de coordination technique agricole index phytosanitaire 2006. Editions ACTA.
www.acta.asso.fr

Données toxicologiques sur les substances actives phytopharmaceutiques

Inra
www.inra.fr/agritox

Université Paris V
www.upv5.univ-paris5.fr/TELETOX

Fiches internationales de sécurité chimiques
www.cdc.gov/niosh/ipcsnfrn/nfrn0743.html

IPCS INTOX : base de données toxicologiques et écotoxicologiques
www.intox.org

ATDSR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry, USA
www.atsdr.cdc.gov

IRIS : Integrated Risk Information System, base de données de l'US EPA
www.epa.gov.iris

Université de l'Oregon : National Pesticide Information Center
<http://npic.orst.edu>

EXTOXNET : Base de données Extension Toxicology Network
<http://extoxnet.orst.edu/ghindex.html>

Institut national de recherche et de sécurité : fiches de données toxicologiques
www.inrs.fr/dossiers/fichetox/somft.htm

Centre international de recherche sur le cancer
www.iarc.fr

International Programme on Chemical Safety
<http://www.who.int/ipcs/en/>

Annexes

Tableau des substances recherchées dans chaque région

Molécules	Type de culture	Activité principale	Saint-Martin	Aquitaine	Région Centre	Poitou-Charentes
Acétochlore	maïs	herbicide			X	
Aclonifen	tournesol, pois	herbicide	X			X
Alachlore	maïs, soja	herbicide	X	X	X	X
Alpha HCH		herbicide	X			
Atrazine	maïs	herbicide	X	X	X	X
Azoxystrobine	grandes cultures, vigne	fongicide	X	X	X	X
Bifénox	céréales	herbicide				
Bromoxynil octanoate	maïs	herbicide		X		X
Captane	vigne, arboriculture	fongicide	X		X	X
Carbofuran	grandes cultures	insecticide				X
Chlorothalonil	grandes cultures, cultures légumières	fongicide	X	X	X	X
Chlorpyriphos éthyl	vigne et maïs	insecticide		X	X	
Chlortoluron	céréales	herbicide	X			
Cypermethrine I, II, III, IV	toutes cultures	insecticide			X	
Cyprodinil	blé, orge, pommier	fongicide	X			X
Deltaméthrine	toutes cultures, vigne, arboriculture	insecticide	X	X		X
Desethylatrazine		métabolite	X			
Deisopropylatrazine		métabolite	X			
Diazinon	vigne, arboriculture	insecticide			X	
Dichlobénil	vigne, espaces verts	herbicide			X	
Diclofop-méthyl	cultures légumières, céréales	herbicide				X
Dichlorvos	toutes cultures	insecticide			X	X
Diflufenicanil	blé, orge	herbicide	X		X	X
Diméthénamide	maïs	herbicide				X
Diuron	cultures légumières	herbicide	X			
Endosulfan alpha	toutes cultures	insecticide	X	X	X	X
Endosulfan béta	toutes cultures	insecticide	X	X	X	X
Epoxiconazole	grandes cultures	fongicide				X
Fénazaquin	grandes cultures	fongicide	X			X
Fenhexamide	vigne	fongicide		X		
Fénoxaprop-p-éthyl	céréales	herbicide	X			X
Fenpropimorphe	céréales	fongicide	X		X	X
Fludioxonil	vigne	fongicide		X		

Molécules	Type de culture	Activité principale	Saint-Martin	Aquitaine	Région Centre	Poitou-Charentes
Flusilazole	grandes cultures, vigne, arboriculture	fongicide	X	X		X
Flurochloridone	tournesol, tomate	herbicide				X
Flurtamone	tournesol	herbicide				X
Folpel	vigne, pomme de terre, pois pommier, poirier	fongicide	X	X	X	X
Iprodione	grandes cultures, vigne, arboriculture	fongicide		X		
Isoproturon	céréales	herbicide	X			
Krésoxim méthyl	blé, betterave, etc.	fongicide	X	X	X	X
Lambda cyhalothrine	toutes cultures	insecticide		X		X
Lindane	grandes cultures	insecticide	X	X	X	X
Malathion	vigne, arboriculture	insecticide			X	
Métalaxyl	vigne	fongicide		X		
Métaldéhyde		molluscicide				X
Métazaclore	colza	herbicide	X			X
Métolachlore	maïs, soja, tournesol	herbicide	X		X	X
Napropamide	colza	herbicide		X		
Oxadiazon	vigne, arboriculture	herbicide	X		X	
Parathion ethyl	vigne, arboriculture	insecticide	X		X	X
Parathion méthyl	arboriculture	insecticide	X	X		
Pendiméthaline	grandes cultures, légumes, vigne, arboriculture	herbicide	X		X	X
Phosalone	grandes cultures, arboriculture	insecticide				X
Phosmet	arboriculture, pomme de terre	insecticide	X	X	X	X
Propargite			X		X	
Simazine	vigne	herbicide	X	X		
Tébuconazole	céréales, vigne et arboriculture	fongicide	X	X		X
Tebufenpyrad	vigne, arboriculture	insecticide	X			
Tébutame	colza	herbicide	X		X	X
Terbuthylazine	vigne	herbicide	X	X		X
Tétraconazole	céréales, vigne et arboriculture	fongicide		X		
Tolylfluanide	arboriculture	fongicide	X		X	X
Tyriadimenol	vigne	fongicide		X		
Trifluraline	colza, tournesol, soja	herbicide	X		X	X
Vinchlozoline	vigne, arboriculture, légumes	fongicide		X		

Travaux des Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air

Airaq www.airaq.asso.fr

Mesures de Produits phytosanitaires dans l'air ambiant 2003

Air Pays de Loire www.airpl.org

Mesure de produits phytosanitaires en zones viticoles et urbaines de Loire Atlantique - 2004

Atmo Champagne-Ardenne www.atmo-ca.asso.fr

Evaluation des teneurs en produits phytosanitaire de l'air en zone viticole champenoise

Mesure des produits phytosanitaires dans l'air en zone viticole en Champagne-Ardenne en 2004

Mesure des produits phytosanitaires dans l'air en zone urbaine en Champagne-Ardenne en 2004

Mesure des produits phytosanitaires dans l'air en Champagne-Ardenne en mai-juin 2003

Mesure des produits phytosanitaires dans l'air en Champagne-Ardenne hiver 2002-2003

Atmo Franche-Comté www.arpam.asso.fr

Les pesticides dans l'air franc-comtois, état des lieux, état des connaissances 2005

Atmo, Poitou-Charentes www.atmo-poitou-charentes.org

Les pesticides dans l'air sur l'agglomération de Poitiers. 2003 et 2004 : quelles évolutions ?

La mesure des pesticides dans des serres horticoles

Pesticides dans l'air - approche par ville

Airbreizh www.airbreizh.asso.fr

Campagne de mesure de produits phytosanitaires à Mordelles (35) et Pontivy (56) du 12 avril au 5 juillet 2005

Campagne de mesure des produits phytosanitaires dans l'air ambiant au Rhei et à Vezin le Coquet du 27 avril au 27 juillet 2004

Campagne de mesure des pesticides dans l'air ambiant en milieu urbain du 29 avril au 8 juillet 2003 – Rennes

Alpa www.airnormand.asso.fr

Mesures de poussières de céréales d'origine portuaire sur le Port de Rouen

Des mesures de poussières (PM10, PM2.5) ainsi que des analyses de malathion (pesticide utilisé dans le traitement des céréales) sont effectuées pendant l'été 2004 sous les vents des Silos de l'agglomération rouennaise.

Ampadi www.air-lr.asso.fr

Mesure des pesticides dans l'air ambiant : Montpellier - Milieu urbain - Juin 2002

Les pesticides en Languedoc-Roussillon - Première approche - 2002

Lig'air www.ligair.fr

Contamination de l'air par les produits phytosanitaires en région Centre : année 2005

Contamination de l'air par les produits phytosanitaires en région Centre : année 2004

Contamination de l'air par les pesticides en zone pomicole : mars 2004

Etude de la contamination de l'air par les produits phytosanitaires en région Centre - Rapport d'étape décembre 2003

Étude de la contamination de l'air par les produits phytosanitaires : novembre 2002

Étude de la contamination de l'air par les produits phytosanitaires : novembre 2002

Rapport complémentaire - Automne 2001 - au rapport sur les pesticides en région Centre

Les pesticides en milieu atmosphérique : Etude en région Centre

Oramip www.oramip.org

2002 & 2003 - Études pesticides

Objectif : Étude de mars 2002 à mars 2003 en zone rurale (Gers) et en zone périurbaine (Colomiers, Haute-Garonne). 13 phytosanitaires ont été étudiés. Sur les 13, 10 sont détectées en milieux gazeux et particulaire et 8 dans l'eau de pluie.

2003 - Caubiac et Larra - Station rurale régionale

2004 - Montgaillard et Larra Fipronil