

Z

E

D

R

O

C

# Les produits phytosanitaires dans l'air



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE,  
DE L'ÉNERGIE,  
DU DÉVELOPPEMENT DURABLE  
ET DE L'AMÉNAGEMENT  
DU TERRITOIRE

MINISTÈRE  
DE L'AGRICULTURE  
ET DE LA PÊCHE



**CORPEN**

COMITE D'ORIENTATION POUR DES PRATIQUES AGRICOLES  
RESPECTUEUSES DE L'ENVIRONNEMENT

GRUPE AIR'PHYT  
2007



# LE CORPEN

## COMITE D'ORIENTATION POUR DES PRATIQUES AGRICOLES RESPECTUEUSES DE L'ENVIRONNEMENT

[www.ecologie.gouv.fr/](http://www.ecologie.gouv.fr/) puis compléter la rubrique CHERCHER avec le mot CORPEN et cliquer sur OK

Le CORPEN a été créé en 1984, sur décision des ministres chargés de l'environnement et de l'agriculture. Son domaine d'action visait la pollution de l'eau par les nitrates et les phosphates provenant des activités agricoles. Il a été étendu en 1992 aux pollutions par les produits phytosanitaires. En 2001, son domaine d'action est élargi et devient les pratiques agricoles respectueuses de l'environnement (aquifères, milieux aquatiques, air et sols).

### SES OBJECTIFS ET SES MISSIONS

- Le CORPEN est un **lieu de concertation** entre tous les acteurs concernés par les relations entre agriculture et environnement.
- Le CORPEN fait aux ministres chargés de l'agriculture et de l'environnement toutes **suggestions** qui lui paraissent appropriées pour réorienter, compléter ou renforcer les politiques publiques.
- Il élabore des **outils** servant aux agriculteurs pour modifier leurs pratiques en vue d'une réduction de leur incidence environnementale, en tenant compte de leur impact sur l'économie de l'exploitation.
- Il fournit des **éléments techniques** à l'administration et l'aide ainsi à adapter ses politiques publiques aux contextes locaux et à participer aux négociations internationales.

### SES CIBLES

- Les agriculteurs par l'intermédiaire de leurs conseillers et prescripteurs
- Les formateurs de l'enseignement agricole
- Les administrations et les élus

### SON MODE DE TRAVAIL

- **Des groupes** réunissant des experts de tous les organismes concernés par le sujet traité font la synthèse des connaissances scientifiques et techniques disponibles. Ils proposent ensuite des recommandations techniques pour les agriculteurs, ils évaluent leur coût de mise en œuvre et ils examinent leur incidence en terme de gestion de l'espace.
- **Un bureau**, qui se réunit trois ou quatre fois par an, approuve, sur la base des propositions des groupes, les messages faisant l'objet d'un consensus. Les recommandations formulées constituent les meilleures pratiques environnementales et font l'objet de publication.
- **Un comité plénier annuel**, en présence des représentants des ministres, évalue le travail effectué dans l'année écoulée et fixe les priorités pour l'année suivante.

### SA COMPOSITION

- 1 - **Des organisations professionnelles** : Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture (APCA) - Agriculture biologique (FNAB) - Association Nationale des Industries Agro-alimentaires (ANIA) - Association Française de Protection des Plantes (AFPP) - Comité d'Etudes et de Liaison des Amendements minéraux basiques (CELAC) - Comité Français d'Etude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée (COMIFER) - Fédération Nationale des Groupements de Protection des Cultures (FNGPC) - Fédération des entreprises du Commerce et de la Distribution (FCD) - Fédération du Négoce Agricole (FNA) - Fédération Française des Coopératives Agricoles de Collecte, d'Approvisionnement et de Transformation (FFCAT) - Mutualité, Coopération, Crédit (CNMCCA) - Syndicats agricoles (FNSEA, JA, Coordination rurale, Confédération Paysanne) - Syndicat Professionnel des Distributeurs d'Eau (SPDE) - Union des Industries de la Fertilisation (UNIFA) - Union des Industries de la Protection des Plantes (UIPP).
- 2 - **Des organisations d'usagers** : Association des Maires de France (AMF) - Confédération de la Consommation, du Logement et du Cadre de Vie (CSV) - Fédération Nationale des Collectivités Concédantes et Régies (FNCCR) - France Nature Environnement (FNE) - Union Fédérale des Consommateurs (UFC) - Union Nationale pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique (UNPPMA).
- 3 - **Des instituts et centres techniques agricoles** : ACTA - ARVALIS (maïs, céréales et fourrages), ANITTA (tabac) - CETIOM (oléagineux) - CTIFL (fruits et légumes) - ITAB (agriculture biologique) - ITAVI (aviculture) - Institut de l'Elevage - ITB (betterave) - IFIP (porc) - ITV (vigne).
- 4 - **Des établissements publics de recherche** : BRGM - Cemagref - IFREMER - INERIS - INRA.
- 5 - **Des agences de l'eau et autres établissements publics** : ADEME - CSP - IFEN.
- 6 - **Des ministères** : Agriculture - Écologie - Santé - Économie - Finances - Industrie - Intérieur.
- 7 - **Des acteurs d'opérations pilotes de terrain** : Ferti-Mieux - Irri-Mieux - Phyto-Mieux - FARRE.
- 8 - **Des personnalités qualifiées.**

## NITRATES ET PHOSPHATES

- Programme d'action pour la réduction de la pollution des eaux par les nitrates et les phosphates provenant des activités agricoles (1984)
- Amélioration des pratiques agricoles pour réduire les pertes de nitrates vers les eaux (1986 et actualisations en 1989 et 1993)
- Bilan de l'azote à l'exploitation (1988)
- Cahier des charges des opérations de conseil aux agriculteurs en vue de protéger l'eau contre la pollution nitratée (1991)
- Interculture (1991)
- Recueil des bases de préconisations de la fertilisation azotée (1992)
- Propositions pour le Code des Bonnes Pratiques Agricoles (1993)
- L'élu face aux nitrates (1994)
- Programme national de réduction de la pollution des eaux par les nitrates provenant des activités agricoles (1994)
- Estimation des rejets d'azote et de phosphore des élevages de porcs - Impact des modifications de conduite alimentaire et des performances techniques (1996) + plaquette (4 p.)
- Estimation des rejets d'azote par les élevages avicoles (1996)
- Bien choisir et mieux utiliser son matériel d'épandage de lisiers ou de fumiers (1997)
- Estimation des rejets de phosphore par les élevages avicoles - Propositions de références provisoires (1997)
- Programme d'action concernant la maîtrise des rejets de phosphore provenant des activités agricoles (1998) + plaquette (6 p.)
- Fertilisation azotée de trois légumineuses : le haricot, la luzerne et le pois protéagineux (1999)
- Estimation des flux d'azote, de phosphore et de potassium associés aux vaches laitières et à leur système fourrager (1999)
- Estimation des rejets d'azote et de phosphore par les élevages cynicoles (1999)
- Estimation des flux d'azote, de phosphore et de potassium associés aux bovins allaitants et aux bovins en croissance et à l'engrais, issus des troupeaux allaitants et laitiers et à leur système fourrager (2001)
- Les émissions d'ammoniac d'origine agricole dans l'atmosphère. Etat des connaissances et perspectives de réduction des émissions (2001)
- Estimation des rejets d'azote, de phosphore, de potassium, de cuivre et de zinc des porcs - Influence de la conduite alimentaire et du mode de logement des animaux sur la nature et la gestion des déjections produites (2003)
- Des indicateurs Azote pour gérer des actions de maîtrise des pollutions à l'échelle de la parcelles, de l'exploitation et du territoire (2006)
- Estimation des rejets d'azote - phosphore - potassium - calcium - cuivre et zinc par les élevages avicoles (2007)

## PRODUITS PHYTOSANITAIRES

- Programme d'action contre la pollution des eaux par les produits phytosanitaires provenant des activités agricoles (1994)
- Protection des cultures et prévention des risques de pollution des eaux par les produits phytosanitaires utilisés en agriculture - Recommandations générales (1995) + plaquette (4 p.)
- Qualité des eaux et produits phytosanitaires - Propositions pour une démarche de diagnostic (1996)
- Techniques d'application et de manipulation (TAM) des produits phytosanitaires utilisés en agriculture - Eléments pour prévenir les risques de pollution des eaux (1996)
- Jeu de transparents TAM
- Produits phytosanitaires et dispositifs enherbés - Etat des connaissances et propositions de mise en œuvre (1997) + plaquette (4 p.)
- Désherbage - Eléments de raisonnement pour une maîtrise des adventices limitant les risques de pollution des eaux par les produits phytosanitaires (1999)
- Désherber en limitant les risques de pollution des eaux (plaquette 6 p.)
- Diagnostic de la pollution des eaux par les produits phytosanitaires - Bases pour l'établissement de cahiers des charges des diagnostics de bassins versants et d'exploitations (2001)
- Mesures réglementaires concernant les produits phytosanitaires, leurs utilisateurs et leur incidence sur l'environnement (2003) = actualisation de la partie réglementaire de la brochure "TAM" de 1996
- Eléments méthodologiques pour un diagnostic régional et un suivi de la contamination des eaux liée à l'utilisation des produits phytosanitaires - Utilisation des Systèmes de traitement de l'Information Géographiques (SIG) (2003)
- Des indicateurs pour des actions locales de maîtrise des pollutions de l'eau d'origine agricole : éléments méthodologiques - application aux produits phytosanitaires (2003).
- Techniques d'application et de manipulation des produits phytosanitaires (2006)
- Les fonctions environnementales des zones tampons (2007)
  - plaquette (20 p.)
  - brochure - 1ère édition : les bases scientifiques et techniques des fonctions de protection des eaux

## COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL

Ce document a été élaboré par le groupe "Airphyt" du CORPEN

### Animation

Bernadette RUELLE , *Cemagref Montpellier UMR ITAP*

### Membres et Organismes

Carole BEDOS	<i>INRA Unité environnement et grandes cultures</i>
Bernard BONICELLI	<i>Cemagref Montpellier - UMR ITAP</i>
Olivier BRIAND	<i>AFSSET</i>
Magalie CATHALA	<i>CCMSA</i>
Marc CHEVREUIL	<i>Laboratoire hydrologie et Environnement EPHE UMR 7679</i>
Michel CLEMENT	<i>Ecole Nationale de Santé Publique - Laboratoire d'étude et de Recherche en Environnement et Santé (L.E.R.E.S)</i>
Florence CLOSTRE / Benoît GRANDMOUGIN	<i>APCA-SDATI Service Agronomie Environnement</i>
Tiphaine DELAUNAY	<i>ATMO Nord-Pas-de-Calais</i>
Stéphane LAUCHER	<i>Secrétariat du CORPEN</i>
Anne-Christine LE GALL	<i>INERIS Unité MECO</i>
Maurice MILLET	<i>Université Louis Pasteur / CNRS</i>
Hervé PERNIN	<i>ADEME</i>
Pierre PERNOT	<i>AirParif</i>
Olivier PETRIQUE	<i>Lig'air Centre</i>
Dominique POUJEAUX	<i>MEEDDAT / DPPR</i>
Benoît REAL	<i>ARVALIS Institut du végétal</i>
Joël ROCHARD / Sébastien CODIS	<i>IFVV (ex.ITV)</i>
Jean-Claude TOURNAYRE	<i>UIPP</i>
Ludovic TUDURI	<i>EPCA - LPTC - Université de Bordeaux 1</i>
Franziska ZAVAGLI	<i>CTIFL</i>

Maquette : MAP/DGFAR/MAG-Communication interne - Evelyne Simonnet

Le groupe de travail remercie l'ensemble des personnes qui ont apporté leur aide à la réalisation de ce document.

## MANDAT POUR LE GROUPE DE TRAVAIL CORPEN DÉDIÉ À LA POLLUTION DE L'AIR PAR LES PRODUITS PHYTOSANITAIRES : « AIR'PHYT »

### CONTEXTE

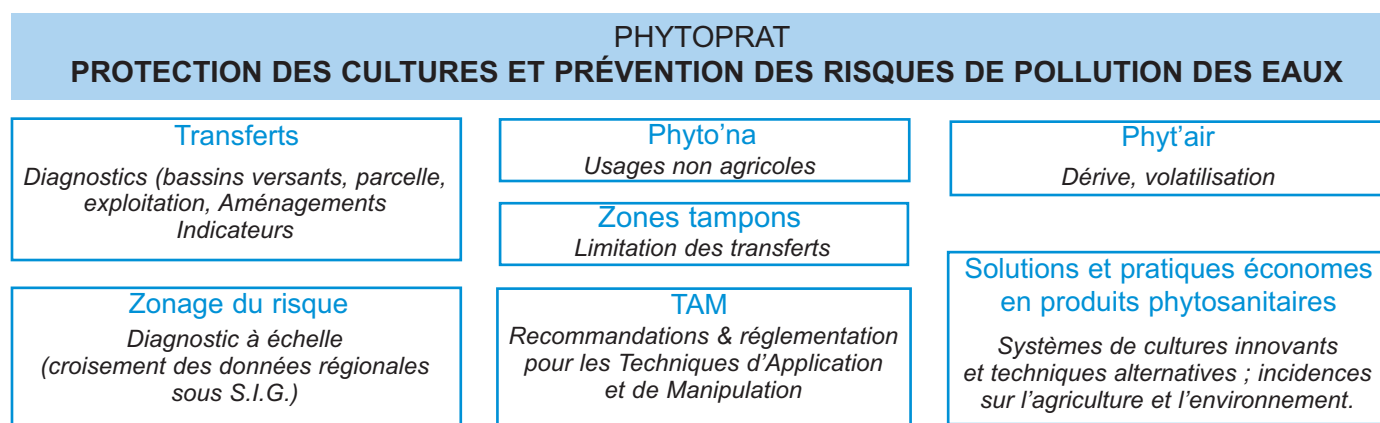
23 septembre 2005

#### ● Position du CORPEN en général et du groupe PhytoPrat (Pratiques Phytosanitaires, réduction des risques de contamination encourus) en particulier :

Le CORPEN a pour mandat général d'émettre des propositions relatives à la problématique de la contamination de l'environnement par les intrants agricoles en privilégiant le consensus entre acteurs et les perspectives de démarche volontaire. Ces propositions sont fondées sur la fiabilité scientifique. A travers des groupes de travail et de validation reflétant la diversité des acteurs, il a en particulier établi et publié un ensemble de références, démarches et préconisations au service de la réduction de la pollution de l'eau par les phytosanitaires utilisés en agriculture et les a diffusées en direction de « cibles » à même de s'en servir pour l'action (les agriculteurs, leur conseil ou encadrement, gestionnaires, instances consultatives au niveau national et territorial, voire européen). Le CORPEN a acquis une autorité morale et une reconnaissance technique qui le rendent apte à porter les éléments de progrès auprès d'acteurs et sur le terrain.

En réunion plénière du CORPEN de 2001, il a été décidé (vœux des deux ministères de tutelle : le MAAPAR et le MEDD) de ne pas se limiter à la pollution du compartiment « eau » et particulièrement d'aborder la problématique de la pollution de l'air par les intrants agricoles étudiés. Des travaux ont déjà été faits par le groupe ad hoc en ce qui concerne l'intrant « Azote ».

#### *Domaines de publications et de compétences (produits phytosanitaires et eau) dans le groupe « PhytoPrat » et ses sous-groupes de travail depuis 10 ans :*



► Le groupe d'experts réunis le 22 septembre 2005 a considéré que les éléments existant relativement à la pollution de l'air permettaient d'engager un nouveau sous-groupe de travail de PhytoPrat.

#### ● Éléments de cadrage de la problématique « Air'Phyt »

Il se développe un intérêt certain pour cette problématique ; quelques constats et perspectives d'intervention se dessinent ; des avancées récentes apportent des éléments. Citons :

- ◆ le colloque ADEME-UIPP début 2002,
- ◆ les journées APCA-Air de décembre 2003,
- ◆ les colloques GFP,
- ◆ les travaux de divers laboratoires de recherche publique,
- ◆ les études régionales conduites par les AASQA (Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air),
- ◆ les études à initiative locale (élus,...),
- ◆ groupe de travail Focus-Air (DG SANCO)
- ◆ séminaire organisé par l'ADEME sur « Les pesticides dans l'air ambiant » (12 mai 2005)
- ◆ rapport du groupe de travail institutionnel en charge de la saisine AFSSE « l'épandage aérien des produits antiparasitaires » (juin 2005),
- ◆ l'étude DGFAR-INERIS « Détermination des pesticides à surveiller dans le compartiment aérien ; approche pour une hiérarchisation » rendu le 06 octobre 2005,
- ◆ l'expertise INRA-CEMAGREF « Pesticides, agriculture et environnement : réduire l'usage des pesticides et limiter les impacts environnementaux » du 15 décembre 2005.
- ◆ le colloque : « Pesticides : comment réduire les risques associés ? » MEDD, Avignon, novembre 2005



## PRODUCTION(S) ENVISAGÉE(S)

A partir des acquis présentés, une (des) publication(s) pourrait utilement récapituler des ensembles consolidés et opérationnels (exemple : méthode d'échantillonnage et d'analyses, interprétation, base de données pertinentes, appréciation des mécanismes en jeu, méthode d'identification des pesticides les plus susceptibles de contaminer l'air, spécifications des buses limitant efficacement la dérive,...), et recenser par ailleurs les connaissances et limites actuelles ainsi que les questions précises suscitées au niveau du terrain.

### ● Exemples d'ouvrages « modèles » :

On peut viser un ouvrage de synthèse à caractère pédagogique (envers les cibles du CORPEN citées plus haut), de teneur similaire à celle de brochures déjà produites pour l'eau. Exemples :

➤ « Classement des substances actives phytosanitaires en vue de la surveillance de la qualité des eaux – Fonctionnement de la méthode et recommandations pour une application régionale », CORPEN et Comité de Liaison « eau / produits antiparasitaires », 50 p.

Note : Les effets toxicologiques sont englobés dans la démarche SIRIS présentée par cette brochure.

➤ « Guide méthodologique relatif au suivi des pesticides dans les eaux au service des diagnostics préalables et de l'évaluation de situation en vue d'un programme d'action contre la pollution des eaux par les produits phytosanitaires », DGAL+DE, 50 p, incluant :

- ◆ Mise en place d'un programme de mesures sur un bassin versant en vue d'un diagnostic et du suivi d'un plan d'action : Choix des substances actives à surveiller, Programme d'échantillonnage, Modalités pratiques de prélèvement,
- ◆ Les moyens analytiques : aspects analytiques, tests Elisa,
- ◆ Interprétation des mesures : outil Sisyphe, eaux superficielles, eaux souterraines,
- ◆ Suivi biologique des cours d'eau.

➤ Fiche n°6 de la brochure « Indicateurs » du CORPEN - « Mesure de la qualité des eaux : interprétation des résultats des campagnes d'analyses » : dont méthodologie de calcul, présentations synthétiques des résultats, expression. Groupe PhytoPrat, 10 pages.

### ● En termes récapitulatifs, il s'agit de faire un « point de connaissances et références », toujours à caractère pédagogique et utilitaire.

## THÉMATIQUES POSSIBLES

- processus de transfert des produits phytosanitaires dans l'atmosphère,
- recherche des produits phytosanitaires dans l'air (prélèvement échantillonnage, analyses et interprétation), et stratégie d'évaluation de la contamination de l'air- bilan des données
- recommandations pour le suivi de la contamination de l'air.
- risques liés aux substances actives sur la santé humaine, et sur l'environnement (y compris éléments sur la gravité des effets selon les doses présentes de diverses substances)
- risques liés à la mise en oeuvre (mode et circonstance d'application, etc),
- mesures à préconiser

La finalité des travaux concernant l'air est de rapporter des relations de cause à effet et d'aboutir à un conseil agronomique (exemple: bonnes pratiques de pulvérisation, recherche d'autres modes d'application pour certaines substances, choix et précautions selon les types de substances, ...).

Toutefois on peut se diriger vers ce but par étapes, la première donnant les premières références (sans encore permettre des préconisations) et apportant les premiers éléments d'une démarche de diagnostic.

## PROCÉDURE DE TRAVAIL PROPOSÉE

1° Réunion du groupe dans une composition initiale marquée par l'expertise scientifique et l'implication concrète sur cette problématique, pour préciser en particulier les thèmes abordables, compléter les ressources du groupe (voir liste).

2° Développement des travaux

Des sous-groupes thématiques selon les thèmes retenus sont à prévoir. Prise en compte des aspects sociaux-économiques et des différenciations selon les grands types de systèmes de cultures.

**L**es risques liés à la contamination des eaux par les produits phytopharmaceutiques font depuis longtemps l'objet de préoccupations de la part des consommateurs, des citoyens et des pouvoirs publics.

Ainsi, en 1992, les deux ministres en charge de l'agriculture et de l'environnement ont décidé d'élargir le champ des compétences du CORPEN aux pollutions de l'eau par les produits phytosanitaires d'origine agricole alors qu'auparavant il se consacrait à la réduction de la pollution des eaux par les nitrates et les phosphates. Les premiers documents émanant de ce Comité, consacrés à la mise en place d'un programme d'action contre la pollution des eaux par les produits phytosanitaires provenant des activités agricoles, puis à des recommandations générales sur ce même sujet, ont été diffusés en 1993 et 1995.

En 2001, les missions du CORPEN ont été réorientées vers la promotion de pratiques agricoles respectueuses de l'environnement en se préoccupant de l'ensemble des compartiments (aquifères, milieux aquatiques, air, sol). Cette même année, plusieurs Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) ont mis en œuvre des campagnes de mesures de pesticides dans l'air, avec le soutien technique de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS) et de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME).

Afin d'établir des recommandations pour limiter les émissions dans l'air de ces substances soit par dérive lors de l'application, soit par volatilisation postérieure, il a été décidé fin 2005 de constituer un groupe du CORPEN sur ce thème. Le mandat du groupe, porté en annexe de ce document, prévoyait de dresser un état des connaissances des mécanismes de la contamination atmosphérique par les pesticides, d'explicitier les méthodes de prélèvement et d'analyse afin de pouvoir mieux interpréter les résultats correspondants, et si possible d'en déduire, dans le domaine agricole, les recommandations les plus pertinentes à promouvoir pour limiter les principaux risques mis en évidence.

Même si un grand effort de normalisation des méthodes, de hiérarchisation des critères de choix dans les molécules à rechercher et de collecte des informations a été déployé, l'absence de données de toxicité à long terme liée à l'inhalation des substances actives les plus souvent détectées empêche d'évaluer le risque sanitaire correspondant. Le présent rapport correspond à une première étape essentielle, consistant à faire le point des connaissances. Il permet déjà de classer les molécules en fonction de leur fréquence de détection et de leur concentration moyenne dans l'atmosphère au droit des stations de mesures, ce qui incite à porter une attention particulière à l'application des substances les plus souvent retrouvées dans l'air.

A l'issue de cette première étape, en l'absence de données objectives sur l'évaluation du risque molécule par molécule, les recommandations à l'égard des agriculteurs restent relativement générales et visent à limiter les émissions vers l'air des produits phytosanitaires toutes substances confondues.



Siglier  
Introduction générale



## Partie I

# Origine et processus de dispersion des pesticides dans l'atmosphère 17

Introduction

<b>1. Sources et émissions</b>	<b>18</b>
1.1. Emissions directes et phénomènes de dérive : Influence des techniques d'application	19
1.2. Emissions indirectes : processus et dynamique	20
1.2.1 - Transfert particulaire	20
1.2.2 - La volatilisation	21
<b>2. Comportement atmosphérique</b>	<b>25</b>
2.1. Distribution des pesticides entre la phase gazeuse et les aérosols particulaires ou liquides	25
2.2. Dégradation et durée de vie des pesticides dans l'air	26
2.2.1 - Chimie troposphérique en phase gazeuse	26
2.2.2 - Chimie troposphérique au niveau des aérosols	29
2.3. Diffusion : transport et dépôts atmosphériques en post-application	29
2.3.1 - Notion d'échelle	29
2.3.2 - Dispersion de la phase gazeuse issue de la volatilisation et dépôt sec	29
2.3.3 - Dépôt humide à moyenne et longue distance	30
<b>3. Les avancées de la recherche</b>	<b>33</b>
3.1. Stratégies d'acquisition de données et développements méthodologiques	33
Stratégie d'acquisition de données	
Développements méthodologiques	
3.2. Outils prévisionnels : les modèles	35
Pourquoi modéliser ?	35
Quels sont les modèles disponibles ?	36
<i>Annexes de la partie I</i>	
1. Glossaire	38
2. Références bibliographiques	39
3. Les équipes de recherche et leur domaine d'activité	40



## Partie 2

# Connaissance de la contamination atmosphérique : acquisition de données, analyse et communication des résultats

41

<b>1. Organisation de la surveillance de la contamination atmosphérique</b>	<b>42</b>
1.1. Historique des campagnes de mesure	42
1.2. Le dispositif actuel de mesure des pesticides dans l'air	43
1.3. Des analyses pour répondre aux préoccupations sociétales	45
1.4. Des analyses pour répondre aux préoccupations sanitaires et environnementales	46
<b>2. Stratégies de choix des molécules à suivre en priorité dans l'atmosphère</b>	<b>46</b>
2.1. L'organisation du suivi des pesticides	46
2.2. Le mode de sélection des produits phytopharmaceutiques à rechercher	46
2.3. Représentativité des produits phytopharmaceutiques recherchés	49
<b>3. Les techniques de prélèvements et d'analyses</b>	<b>53</b>
3.1. Méthodologie de prélèvement	54
Principe	
Durée du prélèvement et choix du débit	
Transport et stockage des échantillons	
Validation de la méthode d'analyse	
3.2. L'analyse	56
3.3. Comparaison analytique entre laboratoires	57
3.4. Techniques alternatives de prélèvements pour évaluer la contamination de l'atmosphère par les pesticides	58
L'échantillonnage passif	
Mesures des niveaux de produits phytopharmaceutiques dans les eaux de pluie	
Bioindicateurs	

<b>4. Stratégies d'échantillonnage spatiales et temporelles</b>	<b>61</b>
4.1. Stratégie d'échantillonnage observé lors des campagnes de mesures 2002-2005	61
4.2. Stratégie d'échantillonnage spatiale Influence de la micro et macro-implantation du préleveur Représentativité des mesures	62
4.3. Stratégie d'échantillonnage temporelle	65
4.4. Conclusions	67
<b>5. Bilan des mesures et éléments d'interprétation</b>	<b>67</b>
5.1. Bilan des campagnes de mesures des produits phytopharmaceutiques dans l' l'air réalisées par les AASQA de 2002 à 2005	67
5.2. Niveaux et fréquences observés	68
5.3. Interprétations générales La présence confirmée des produits phytopharmaceutiques dans l'air Corrélation avec les constantes physico-chimiques Des concentrations mesurées représentatives de l'activité agricole Des cycles saisonniers	69
<b>6. Comment communiquer les résultats de cette surveillance ?</b>	<b>77</b>
6.1. Encadrement scientifique des travaux	77
6.2. Disponibilité des résultats	78
6.3. Forme des résultats	79
6.4. Précautions Elaboration des indicateurs Lien avec un risque pour la santé	79
<i>Annexes de la partie 2</i>	
1. Liste des AASQA	82
2. Répartition des données	83
3. Références bibliographiques	89



## Partie 3

### Recommandations pratiques pour limiter les émissions des produits phytosanitaires dans l'air

Avant propos	92
Modalités d'autorisation de mise sur le marché des produits de protection des plantes	
Transfert dans l'air	
Recommandations	
<b>1. Etat de l'art</b>	<b>94</b>
1.1. Considérations générales	94
1.2. Recommandations générales du groupe de travail TAM liées aux applications	95
1.3. Facteurs particuliers influant sur la dérive de pulvérisation	95
1.4. Revue des dispositifs réglementaires déjà mis en oeuvre	97
<b>2. Moyens d'action sur la dérive et la volatilisation</b>	<b>99</b>
2.1. Eléments pratiques à considérer pour limiter la dérive	99
2.2. Influence des différents types de préparations phytopharmaceutiques sur la dérive et la volatilisation	100
2.3. Autres pratiques permettant de limiter la volatilisation	101
<b>3. Aspect cultures : Principaux paramètres influant sur la dérive et la volatilisation</b>	<b>101</b>
<b>4. Fiches de recommandations</b>	<b>102</b>
Fiche 1 : Recommandations pratiques spécifiques aux <b>grandes cultures</b>	102
Fiche 2 : Recommandations pratiques relatives à l' <b>arboriculture</b>	106
Fiche 3 : Recommandations pratiques relatives à la <b>viticulture</b>	108
Fiche 4 : Recommandations pratiques relatives aux <b>cultures sous abri</b>	114
<i>Annexes de la partie 3</i>	
1. Références bibliographiques	115
2. Essais sur la qualité de la pulvarisation	117
3. Essais sur la mesure de la dérive des pulvérisations	118
4. Délais de réentrée	118
<b>Synthèse et recommandations</b>	<b>120</b>
Contact CORPEN	122

AASQA : Associations Agréées de Surveillance pour la Qualité de l'Air

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

AFSSA : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments

BDQA : Base de Données Technique du Système d'information sur la Pollution Atmosphérique

CEMAGREF : Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement

CIVC : Comité Interprofessionnel du Vin de Champagne

CNRS : Centre National de Recherche Scientifique

CORPEN : Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement

CTIFL : Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes

DDASS : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales

DGAL : Direction Générale de l'Alimentation

FREDON : Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles

GRAPP : Groupe Régional d'Action contre les Pollutions par les Produits phytosanitaires

IFEN : Institut Français de l'Environnement

IFVV : Institut Français de la Vigne et du Vin (ex.ITV)

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

LCSQA : Laboratoire Central de la Surveillance de la Qualité de l'Air

LERES : Laboratoire d'Etude et de Recherche en Environnement et Santé

MEDAD : Ministère de l'Ecologie du Développement et de l'Aménagement Durable

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

SRPV : Service Régional de la Protection des Végétaux

UIPP : Union des Industries de la Protection des Plantes

**L**es progrès dans la protection des plantes depuis la seconde guerre mondiale ont largement contribué à l'augmentation des rendements et à la régularité de la production agricole en France. Ceci a permis d'assurer les besoins alimentaires de la population et a favorisé l'intégration des agriculteurs dans un système concurrentiel.

Les produits phytopharmaceutiques (ou phytosanitaires) de synthèse ont ainsi connu un très fort développement au cours des décennies passées, les rendant quasiment indispensables à la plupart des pratiques agricoles. Ainsi la France, quatrième consommateur mondial, est le premier utilisateur de l'Union Européenne du fait de sa position de leader en terme de superficie agricole utile au sein de l'Union et au quatrième rang européen pour la consommation par hectare cultivé hors prairies permanentes.

Les études menées par les scientifiques indiquent que l'utilisation des produits phytopharmaceutiques peut entraîner une contamination des denrées alimentaires et des principaux compartiments de l'environnement (eau, sol, air). Cette contamination est mise en évidence pour les milieux aquatiques au travers des différents rapports de l'IFEN.

La problématique de l'usage des "pesticides" et de leur dispersion dans l'environnement tient donc une place importante en France. Face à cette situation, les pouvoirs publics ont mis en place une politique de surveillance et de contrôle de leur utilisation. L'expertise scientifique collective INRA-Cemagref de décembre 2005 fait le point sur les connaissances disponibles concernant les conditions d'utilisation des produits phytopharmaceutiques en agriculture, les moyens d'en réduire l'emploi et d'en limiter les impacts environnementaux. D'autre part l'axe 4 du Plan interministériel de réduction des risques liés aux pesticides 2006-2009 et l'action 36 du Plan National Santé Environnement 2004-2008 indiquent l'importance de compléter les données scientifiques, techniques et statistiques actuellement disponibles pour estimer l'exposition de la population et de l'environnement aux produits phytopharmaceutiques et pour déterminer les risques à court et à long termes de cette exposition au travers de l'Observatoire des Résidus de pesticides. <sup>(1)</sup>

Cependant, les contaminations de l'environnement par les pesticides restent souvent difficiles à quantifier. Si le compartiment « eau » est actuellement bien documenté en France, avec différents réseaux qui assurent un dispositif de suivi des concentrations de produits

---

(1) Site Internet : <http://www.observatoire-pesticides.gouv.fr>



phytopharmaceutiques dans les eaux de surface et souterraines (IFEN, 2006 ; ministère de la Santé et des Solidarités, 2005), des mesures de concentrations dans les compartiments « air » et « sol » ont plus récemment été engagées. Différentes études sur les concentrations de pesticides relevées dans le compartiment « air » ont ainsi été entreprises en France à partir des années 80. Les résultats de recherches sur le comportement des micropolluants organiques de toutes natures dans l'environnement ont révélé que l'atmosphère, en milieu rural comme en milieu urbain, pouvait être également contaminée par une multitude de composés potentiellement toxiques.

En Europe, les scientifiques ont montré au début des années 90 que l'atmosphère n'était pas seulement contaminée par les produits phytopharmaceutiques organochlorés (DDT, lindane, hexachlorobenzène, etc...) mais aussi par des produits phytopharmaceutiques d'autres familles chimiques. Cette possibilité a été par exemple mise en évidence avec la découverte de résidus d'herbicides dans les eaux de lacs alpestres ou dans les précipitations de pays où ces molécules n'étaient pas ou plus utilisées depuis plusieurs années (Norvège, Suède, Allemagne, Suisse...). Les produits phytopharmaceutiques peuvent en effet contaminer l'atmosphère directement lors du traitement, mais aussi après leur application en se volatilisant ou encore en s'y disséminant par les phénomènes d'érosion. Ainsi, en dehors du risque sanitaire direct induit par leur présence dans l'air ambiant, les produits phytopharmaceutiques transportés et déposés par la voie atmosphérique constituent un risque de contamination des écosystèmes situés à proximité ou à l'écart des zones de traitement.

Les résultats des premières études de contamination de l'atmosphère effectuées par des équipes scientifiques en Ile-de-France, Alsace ou Bretagne, ont conduit à prendre aujourd'hui en considération les risques d'exposition de l'homme et des écosystèmes non cibles par cette voie. Ces premières mesures exploratoires menées par des scientifiques ont ensuite été poursuivies et développées par les Associations Agréées de Surveillance pour la Qualité de l'Air (AASQA) dans différentes régions de France. La première réunion pluridisciplinaire sur le sujet s'est tenue en Janvier 2001 sur la proposition de l'UIPP et de l'ADEME. En 2001, les AASQA des régions Centre, Poitou-Charentes et l'INERIS ont débuté des campagnes de mesure de pesticides dans l'air. Des campagnes de mesure se sont ensuite progressivement mises en place dans la plupart des régions de France dans le cadre des Plans Régionaux de la Qualité de l'Air.

Bien que les chiffres de l'OMS semblent indiquer que la contamination des aliments par les produits phytopharmaceutiques serait la voie d'exposition majoritaire sauf exception et bien qu'aux niveaux national ni européen, il n'existe pas d'obligation de contrôle de ces substances dans l'atmosphère, l'exposition des agriculteurs, de la population générale et des écosystèmes aux produits phytopharmaceutiques dans l'air doit à présent être évaluée.

Dans ce contexte, le CORPEN a réuni un groupe d'une vingtaine d'experts d'origines institutionnelles diverses (scientifiques et professionnels) ayant pour mission de réaliser un document permettant de faire le point des études menées en France sur la contamination de l'air par les produits phytopharmaceutiques et sur les conséquences pratiques pour la mise en place de réseaux de surveillance et les utilisateurs de produits phytopharmaceutiques. Il s'est appuyé sur les publications scientifiques disponibles et sur les travaux réalisés par les principaux acteurs dans ce domaine : instituts de recherche, AASQA, universités, agences, instituts techniques, firmes phytosanitaires...

Dans ce document les trois points suivants sont abordés :

- ▶ **Origine et processus de dispersion des pesticides dans l'atmosphère**
- ▶ **Mesure et connaissance de la contamination atmosphérique par les pesticides**
- ▶ **Recommandations pratiques pour l'agriculture pour limiter les émissions des produits phytosanitaires dans l'air**

**Avertissement** : De façon à clarifier la signification des termes « pesticides » et « produits phytopharmaceutiques ou produits phytosanitaires » ils sont définis en annexe 1 partie I.

# Origine et processus de dispersion des pesticides dans l'atmosphère



Le compartiment atmosphérique constitue le principal milieu de dispersion et de dégradation de nombreux produits phytopharmaceutiques, à l'instar d'autres composés organiques de synthèse. L'entraînement dans l'air ambiant par transfert direct lors du traitement, puis indirect à partir des surfaces traitées (érosion éolienne, volatilisation) (fig. 1a et b), pourrait dépasser, selon certaines publications, les pertes dues à l'ensemble des processus de dégradation, de ruissellement et de percolation qui se produisent dans les horizons superficiels du sol. Ainsi, à l'échelle de la parcelle cultivée ou du bassin versant expérimental, les bilans d'exportation de résidus de produits phytopharmaceutiques vers les eaux superficielles se limitent, le plus souvent même pour les plus stables, à quelques pourcents des doses appliquées. Ces derniers peuvent toutefois engendrer des pollutions significatives des eaux. En revanche, les pertes vers l'atmosphère peuvent dépasser cet ordre de grandeur, notamment lorsque les conditions matérielles ou météorologiques de traitement sont inappropriées.

Ce chapitre présente un état des lieux des connaissances acquises concernant les principales voies de transferts des produits phytopharmaceutiques vers l'atmosphère dans un contexte agricole, puis des processus impliqués dans le devenir de ces pesticides dans l'atmosphère.

## 1 - Sources et émissions

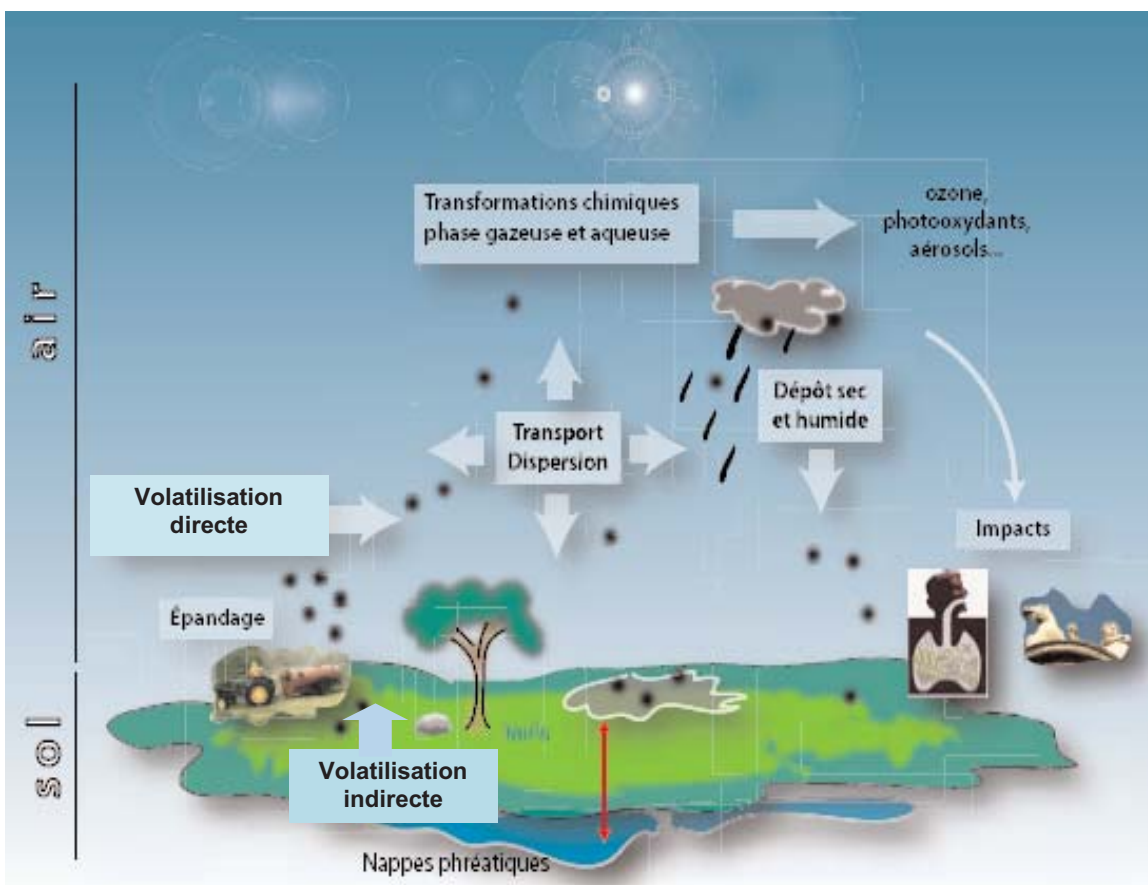


Figure 1a Principaux processus intervenant dans l'émission et le devenir des produits phytopharmaceutiques dans l'air (source MELLOUKI - CNRS Orléans)

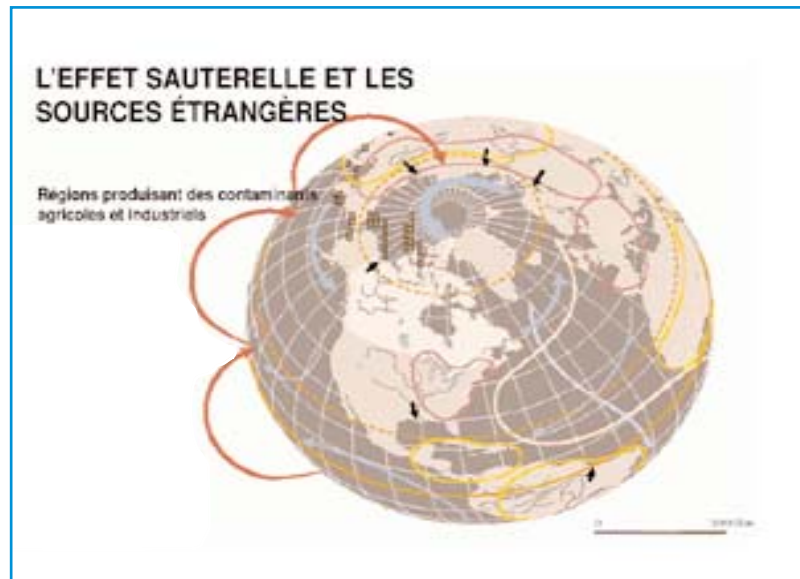


Figure 1b Effet sauterelle, circulation sur une longue distance

## I. 1 - ÉMISSIONS DIRECTES ET PHÉNOMÈNES DE DÉRIVE : INFLUENCE DES TECHNIQUES D'APPLICATION

Les traitements à base de produits phytopharmaceutiques sont principalement réalisés par pulvérisation. Quel que soit le mode d'épandage, son principe et ses performances, il faut tout d'abord rappeler qu'un certain nombre de conditions sont nécessaires pour le réaliser dans de bonnes conditions : maintenir l'appareil d'épandage dans un état de fonctionnement correct, optimiser ses réglages en fonction de la culture à traiter, respecter des conditions climatiques standardisées (vent faible, humidité élevée) et éviter les phénomènes météorologiques ponctuels pouvant précéder ou suivre le traitement.

Par ailleurs, on peut considérer que tout traitement occasionne des émissions directes dans l'air suivies d'une dispersion à plus ou moins longue distance. Ces émissions dépendent des paramètres précités et du procédé mis en œuvre (jet : projeté, porté, pneumatique, centrifuge, électrostatique ; traitement aérien ; traitement de semence ; fumigation ; traitement lors de l'irrigation ; traitement en serre). Lors des pulvérisations, ces pertes sont constituées par des nuages de gouttelettes de différents diamètres dont les plus fines peuvent être entraînées dans l'atmosphère, les plus grosses retombant au sol essentiellement à proximité du lieu d'application. On considère ainsi que les gouttes d'un diamètre inférieur à 100 µm tendent à se disperser dans l'air et à s'évaporer.

La quantité de liquide ainsi perdue varie avec les conditions climatiques (température et humidité relative, vent). S'il n'est pas possible de mesurer le taux d'évaporation sur le terrain, la perte est généralement estimée à partir de modèles qui restent à valider. Ce phénomène est le plus souvent abordé par la description du comportement d'une goutte mono-composant, sphérique et isolée dans un flux d'air et de vapeur en régime permanent et en considérant que seul le solvant s'évapore (de l'eau en général).

A faible distance, des modèles dits de "dérive" s'attachent à prédire l'ampleur de la dispersion et du dépôt de gouttes en dehors de la parcelle traitée et à proximité de celle-ci. Ces modèles, essentiellement basés sur des données expérimentales, permettent généralement de calculer le déplacement, la dispersion et la sédimentation d'un nuage de gouttes. Pour les épandages aériens, des calculs de trajectoires de gouttes soumises à des forces externes sont effectués. Les modèles diffèrent ainsi suivant le type de pulvérisation (traitement en grande culture, arboriculture, viticulture ou traitement aérien). Dans tous les cas, on n'estime que l'évaporation des gouttes.

D'une manière générale, la quantification a priori des pertes immédiates dans l'air reste difficile car très dépendante des conditions locales lors de l'application (configuration de la végétation, réglage des appareils, topographie et aménagement des parcelles, conditions atmosphériques). Dans tous les cas, les pertes s'effectuent à la fois sous forme d'aérosols liquides (fines gouttes) et en phase vapeur.

Les études dites de dérive ne traitent généralement que de la première forme et ne considèrent que le dépôt au sol. Elles ne prennent pas en compte la proportion de composé dispersé dans l'atmosphère. Les mesures directes de contamination de l'air sont plus adaptées pour évaluer ce dernier type de perte, mais sa quantification précise reste difficile à l'heure actuelle.

En grande culture, les techniques d'épandage sont relativement plus faciles à maîtriser et produisent de plus faibles pertes directes dans l'air que dans le cas des cultures pérennes et du maraîchage. Ces dernières sont par contre caractérisées par une grande variabilité de l'usage des produits phytopharmaceutiques et par la forte évolution du couvert végétal. Dans ce cas, les pertes dans l'air sont potentiellement plus importantes qu'en grandes cultures, notamment si le passage du pulvérisateur couvre plusieurs rangs. Ainsi, quel que soit le procédé, les traitements à faible distance et face par face peuvent contribuer à minimiser les pertes directes dans l'air.

## 1. 2 - ÉMISSIONS INDIRECTES : PROCESSUS ET DYNAMIQUE

### 1. 2 -1 Transfert particulaire

L'érosion éolienne de particules du sol sur lesquelles s'est adsorbé le produit peut contribuer à la dissémination de pesticides dans l'air ambiant. Certains auteurs en ont relevé l'existence pour l'atrazine et la simazine, tout en indiquant que la quantité ainsi perdue était relativement faible (<1 %). D'autres auteurs indiquent au contraire que cette voie de dissipation n'est pas négligeable et peut être supérieure aux pertes par ruissellement (estimation de pertes entre 1,4 et 6,7 % de la dose appliquée pour 6 herbicides, en notant un effet de l'incorporation qui diminue les concentrations en surface). Toutefois, peu de données scientifiques permettent de quantifier ou d'évaluer l'importance de ce mécanisme en climat tempéré. En effet, les étu-



des effectuées sur le continent Nord-Américain concernent des secteurs agricoles où les facteurs géographiques, climatiques et agronomiques sont différents de ceux rencontrés en France en terme de pédologie, localisation, vitesse et fréquence des vents et nature des cultures. De ce fait, leurs résultats concernant l'estimation du phénomène ne sont généralement pas directement transposables. Ainsi, son importance est considérée comme négligeable pour les agrosystèmes dont le sol ne reste pas nu sur de longues périodes. Selon une évaluation de l'INERIS (2005), l'incidence de l'érosion éolienne reste généralement en dessous d'une proportion de l'ordre de 1 %, en raison de la faible fréquence des épisodes de vents qui pourraient survenir après traitement. L'existence d'un effet lié à la formulation de la spécialité commerciale est plus ou moins probable selon les spécialistes (voir partie III).

L'utilisation de produits phytopharmaceutiques pour le traitement de semences peut être à l'origine de transferts vers l'atmosphère ; les semoirs peuvent engendrer des abrasions qui génèrent des poussières potentiellement dispersables dans l'atmosphère. Des études sont en cours pour en évaluer l'importance et déterminer les facteurs impliqués dans ce transfert.

L'érosion éolienne et particulaire des produits déposés sur les feuilles paraît possible notamment avec des préparations à base de cuivre ou du soufre. Elle est supposée faible, mais mériterait des travaux plus approfondis.

## 1. 2 - 2 La volatilisation

### ◆ Processus

Le processus de volatilisation d'un produit phytopharmaceutique à partir d'une surface traitée - sol, plante ou surface aquatique - est un phénomène extrêmement complexe dont l'intensité ne dépend pas seulement de sa pression de vapeur saturante. En effet, les produits phytopharmaceutiques de synthèse entrent dans la catégorie des composés organiques peu volatils ou semi-volatils (pression de vapeur inférieure à  $10^{-5}$  Pa ou comprise entre  $10^{-5}$  Pa et  $10^{-1}$  Pa ) et dans leur grande majorité, ils seraient donc peu susceptibles de se volatiliser à température ambiante. Ainsi, la trifluraline est l'un des rares herbicides à être relativement volatil à l'état solide ( $P_v : 6,1 \text{ mPa}$ ). Les fumigants constituent une exception, ils sont caractérisés par des pressions de vapeur élevées et leur transfert dans le sol se fait donc essentiellement en phase gazeuse. Afin de limiter leur perte vers l'atmosphère, il est nécessaire d'employer des méthodes d'application spécifiques, telles que : l'injection dans le sol en profondeur, l'utilisation d'un film plastique en surface, la compaction du sol, l'augmentation du contenu en eau du sol ...

Toutefois, divers paramètres régissent le devenir d'une molécule entre les constituants du sol, l'eau et l'air, c'est-à-dire sa répartition aux interfaces des phases solide, liquide et gazeuse. Les paramètres intervenant directement sur la répartition du pesticide entre ces trois phases sont (fig. 2) :

- ses caractéristiques physico-chimiques : pression de vapeur saturante, solubilité, affinité pour la surface; pour le sol ou la surface traitée,

- sa composition en matières minérales et organiques, son état (teneur en eau, température) dont l'évolution est elle-même dépendante de celle des facteurs climatiques,
- enfin les pratiques culturales qui se surimposent à ces paramètres.

Ainsi, selon ces caractéristiques et les conditions environnantes, une proportion plus ou moins grande de composés peut se volatiliser.

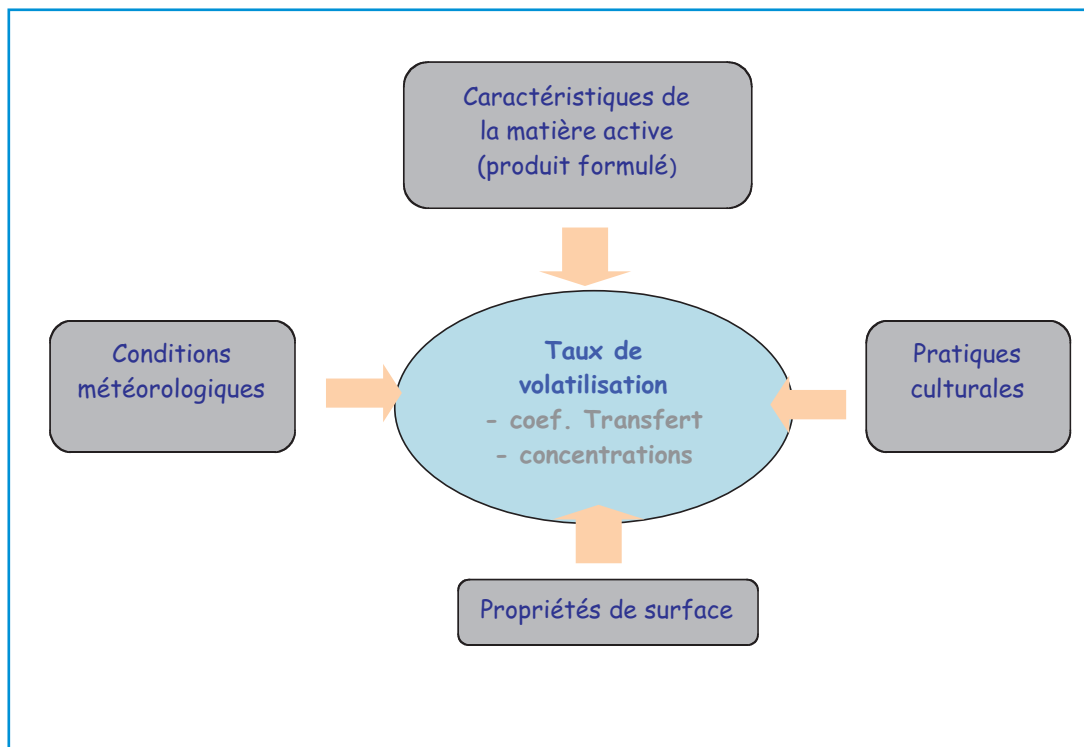


Figure 2 Facteurs influençant le flux de volatilisation (C Bedos )

En terme d'intensité, les flux de volatilisation mesurés dans différentes situations ont des valeurs variant, le jour de l'application, entre  $0.1 \text{ g ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$  à  $100 \text{ g ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . La volatilisation peut durer de quelques jours à quelques semaines, avec des flux pouvant décroître dans le temps ou non. Les pertes totales peuvent représenter de quelques 0.1 % jusqu'à quelques dizaines de pourcents de la dose appliquée en particulier pour les fumigants tout en dépendant du mode d'application.

La volatilisation depuis une surface aqueuse contaminée concerne notamment la riziculture et les fossés de drainage. Cependant, ce processus est peu documenté pour les pesticides, les études ayant plutôt concerné d'autres composés toxiques volatils et très persistants utilisés dans des activités industrielles. Il semblerait que la volatilisation constitue une voie majeure de dissipation des produits phytopharmaceutiques peu solubles appliqués en surface. Ce processus qui se limite alors à la fine couche superficielle de l'eau est moindre dès que le pesticide progresse en profondeur.

#### ◆ Dynamique à l'échelle de la parcelle et effets des conditions locales

La dynamique de volatilisation d'un pesticide dépend de l'évolution de l'ensemble des conditions climatiques dont l'alternance de périodes sèche ou humide et des propriétés physico-chimiques des composés. Certains composés, plus volatils, présentent un pic de volatilis-

tion depuis le sol juste après leur application, puis le flux de volatilisation décroît dans le temps, tandis que d'autres, relativement moins volatils, présentent un flux plus faible au départ mais qui demeure plus « stable » dans le temps. La dynamique de volatilisation d'un pesticide appliqué au sol présente souvent un cycle diurne qui est en fait essentiellement régi par celui de la température ambiante et le taux d'humidité initial du sol. (fig. 3)

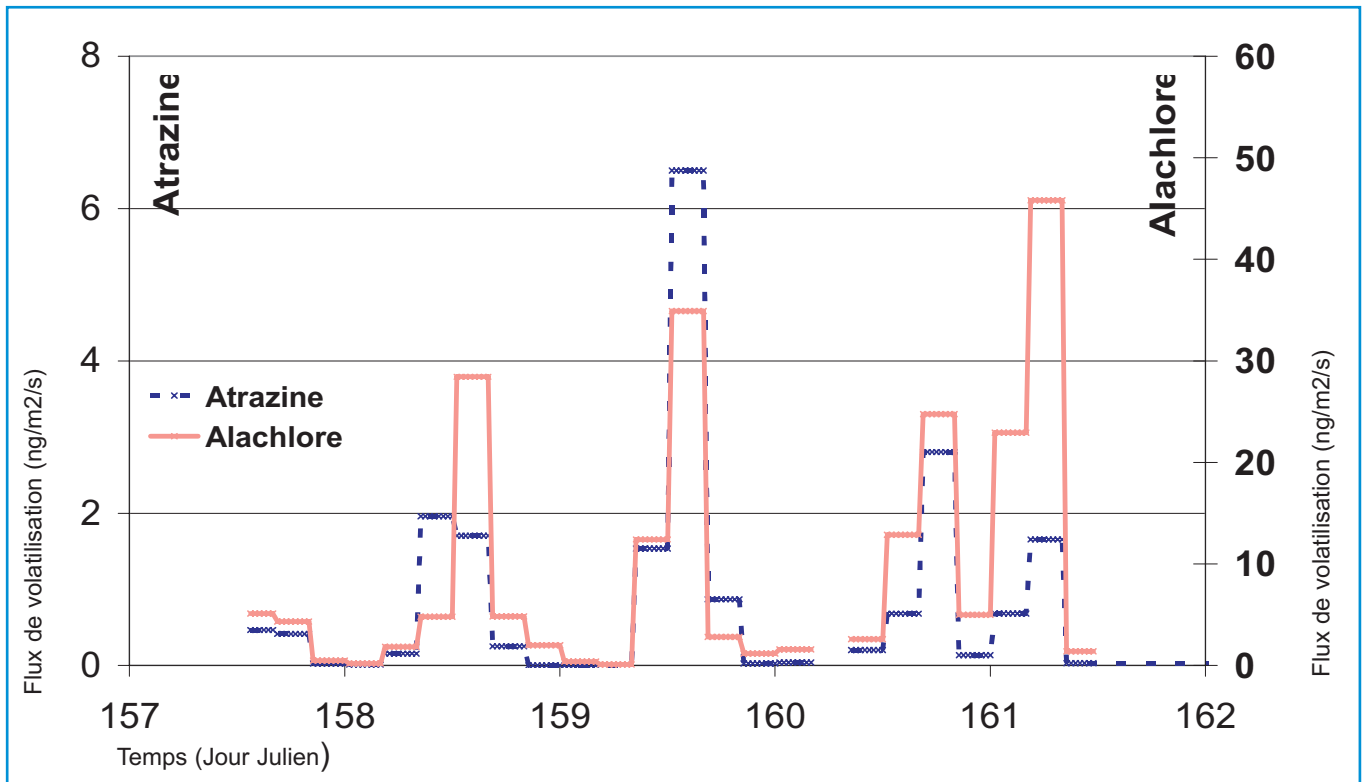


Figure 3 Cycle journalier de la volatilisation de l'atrazine et de l'alachlore suivant la température ambiante (LERES/INRA EGC)

La température joue un rôle complexe dans la volatilisation, en intervenant à plusieurs niveaux. En général, les caractéristiques physico-chimiques des pesticides dépendent de la température. Ainsi, son élévation augmente la volatilité du pesticide et sa diffusion dans le sol. Par contre, elle peut aussi accroître l'assèchement du sol, favorisant ainsi l'adsorption du pesticide sur la phase solide du sol, en défaveur de la volatilisation. Si l'adsorption est réversible, une réhumidification du sol entraînerait une reprise de la volatilisation bien que la formation de "résidus liés" puisse limiter ce processus par adsorption aux éléments du sol.

Ainsi, sur sol desséché en surface, le processus de volatilisation du pesticide est en général plus faible que sur sol humide. Sur sol humide, le transfert sol-air par volatilisation résulte d'un déplacement d'équilibre entre la phase dissoute dans l'eau du sol et la phase gazeuse. Cet équilibre est décrit par la [loi de Henry](#). (cf. encadré)

Par ailleurs, l'évaporation de l'eau du sol augmente les concentrations de pesticides en solution, déplaçant ainsi l'équilibre des concentrations entre les phases liquide et gazeuse et entraînant les solutés par convection. Cela favorise la migration des pesticides vers la surface du sol. Dans ces conditions, des travaux ont montré que les pesticides de faible constante de Henry pourraient s'accumuler vers la surface pour se volatiliser peu à peu, avec des temps de volatilisation très différents selon les molécules (quelques semaines à

quelques mois). Pour les pesticides dont la valeur de la constante de Henry est élevée, la période de volatilisation est de quelques jours après l'application avec une diminution progressive de la volatilisation au cours du temps.

Au niveau du feuillage des végétaux, les émissions par volatilisation sont en général plus importantes que celles observées lors d'une application au sol. En présence d'un couvert végétal, dans les 24 heures suivant l'application, l'émission peut être de 5 à 13 fois plus importante selon les pesticides. Les hypothèses avancées pour expliquer ce phénomène sont une plus forte turbulence de l'air autour du végétal, une adsorption plus faible sur la partie aérienne et une évapotranspiration plus élevée de l'eau à la surface du feuillage, ainsi qu'une surface développée plus grande.

#### ◆ Effet des pratiques

La dynamique peut être très variable suivant les cas d'étude, car les propriétés de la molécule et les paramètres environnementaux ne sont pas les seuls paramètres impliqués. Le mode d'application du produit phytopharmaceutique participe également à l'évolution du processus de volatilisation sur le long terme comme sur le court terme. La diversité des traitements auparavant autorisés pour le lindane en donne un exemple. Un traitement de surface provoque une volatilisation immédiate dont le flux décroît très rapidement, pour cesser après 90 jours. Par contre, si cet insecticide est incorporé à l'application, le flux d'émission la première année devient faible. Un travail du sol en deuxième année entraîne une reprise de la volatilisation, cependant le flux cumulé sur deux ans reste inférieur à celui de l'application sans incorporation. La diminution des pertes par volatilisation, par incorporation du produit au sol, telle que préconisée par les règles de bonnes pratiques, a été récemment mesurée pour la trifluraline en conditions réelles.

La formulation du pesticide représente un paramètre important conditionnant la disponibilité de la matière active aux transferts : l'encapsulation conduit à une réduction plus ou moins importante de la volatilisation selon le pesticide. Cependant, peu de travaux ont été consacrés à la connaissance de l'influence des adjuvants sur le comportement des pesticides en post-application.

En cas de simplification du travail du sol, non-labour/présence d'un "mulch", la volatilisation peut être influencée par une modification des conditions locales (humidité, température) et de la compétition entre processus, conséquence directe de l'interception des pesticides par le "mulch". Les amendements organiques semblent limiter la volatilisation en favorisant la dégradation.

**La loi de Henry** définit les concentrations à l'équilibre des molécules de pesticides en solution dans la phase aqueuse et la phase gazeuse de l'air environnant.

La constante de Henry à 20 °C (H) peut être définie à saturation, par le rapport de la pression de vapeur du composé (Pascal) sur sa solubilité ( $\text{mol}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Le flux de volatilisation du pesticide de l'eau interstitielle vers l'air augmente avec la valeur de H.

A titre d'exemple le DDT, parmi les pesticides organochlorés, est classé comme semi-volatile ( $P_v : 5 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}$ ) et l'un des moins solubles avec une solubilité aqueuse de  $: 6 \cdot 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ , (soit  $0,04 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ). Il possède néanmoins une valeur de H environ 60 fois supérieure à celle du lindane (g HCH) un autre composé organochloré qui est pourtant 5 fois plus volatil ( $P_v : 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ Pa}$ ). Cela explique que le DDT ait pu être davantage diffusé à l'échelle globale par le milieu atmosphérique que par la circulation des masses d'eau.

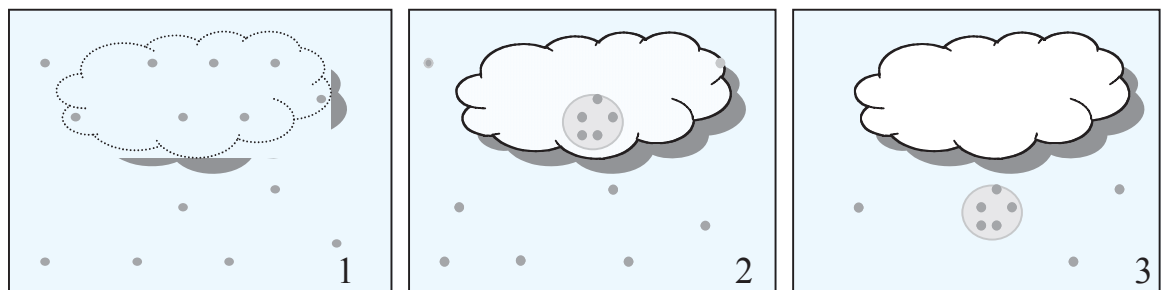
Cette différence de comportement a suscité la définition de trois classes de potentiel de volatilisation (volatil, semi-volatile, non volatil) selon la valeur attribuée à la constante de Henry du composé, classification souvent citée dans la littérature.

Au niveau des pays européens, le processus de post-volatilisation au niveau des cultures ou des sols après traitement, dépasserait nettement en importance les émissions dans l'air qui surviennent au cours des traitements, contrairement à ce qui est communément supposé : ce phénomène pourrait représenter plus de 80 % de l'émission dans l'air.

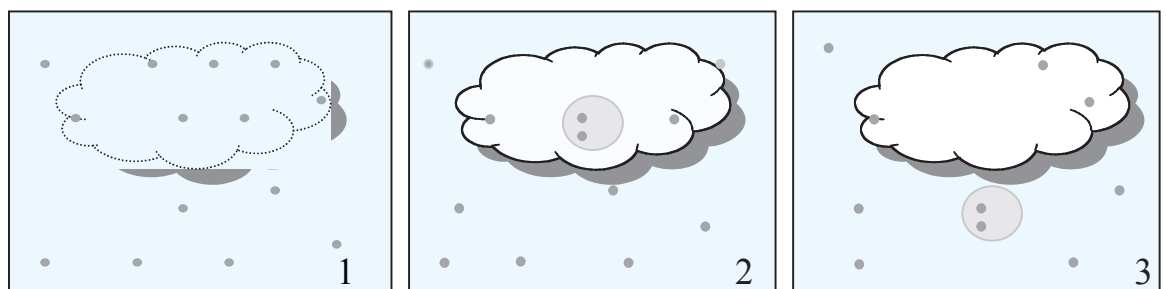
A noter que s'il est possible de limiter les pertes directes au cours de l'application par des progrès techniques, par contre c'est plus compliqué pour la volatilisation car ce phénomène dépend de nombreux facteurs.

## 2 - Comportement atmosphérique

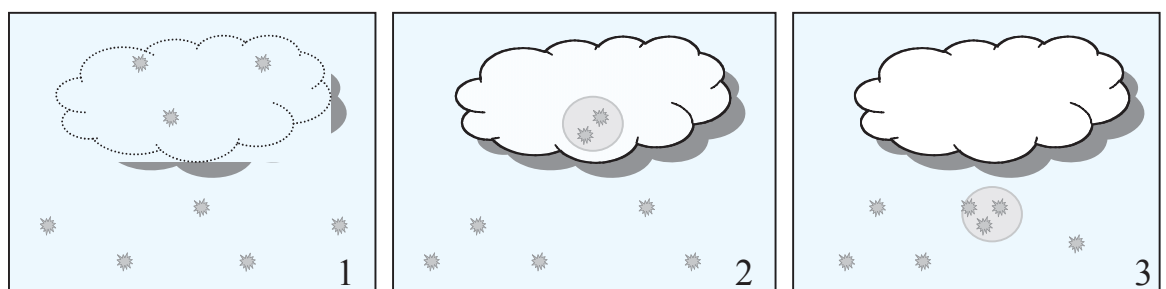
### 2.1 - DISTRIBUTION DES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES ENTRE LA PHASE GAZEUSE ET LES AÉROSOLS : PARTICULAIRES OU LIQUIDES



**Pesticides sous forme gazeuse, fortement solubles**



**Pesticides sous forme gazeuse, faiblement solubles**



**Pesticides sous forme particulaire.**

1. Avant la formation du nuage      2. Lors de la formation du nuage      3. Lessivage lors de la pluie

Figure 4 Illustration des phases de lessivage de l'atmosphère par les pluies (d'après Asman, 1999)

Les pesticides émis à l'état gazeux par volatilisation à partir des sols et/ou des végétaux peuvent ensuite être diffusés dans les basses couches de l'atmosphère et se répartir entre la phase gazeuse et les aérosols particuliers (fig. 4). La répartition des pesticides entre les phases gazeuse, particulaire et liquide obéit à un équilibre complexe qui dépend à la fois de leurs propriétés physico-chimiques (solubilité, pression de vapeur saturante) et des conditions atmosphériques ambiantes (température, humidité de l'air, composition, concentration et taille des aérosols particuliers). Cette répartition est très importante car elle conditionne le devenir du pesticide et l'impact de sa présence dans l'air ambiant. En règle générale, les composés organiques présents dans la phase gazeuse semblent plus sensibles à la photodégradation, mais en contrepartie ils sont susceptibles d'être plus largement dispersés que ceux qui se trouvent à l'état adsorbé sur particules. En effet, les aérosols particuliers auront tendance à se redéposer plus rapidement, surtout si leur diamètre est supérieur à 5 µm. Par ailleurs, des composés majoritairement présents à l'état gazeux sont plus facilement inhalés et présentent une biodisponibilité supérieure à celle de composés adsorbés sur particules.

Selon les résultats des études réalisées dans l'air ambiant, les pesticides - à quelques exceptions près - semblent majoritairement présents dans la phase gazeuse selon les protocoles de mesure les plus courants. Avec un dispositif classique de prélèvement constitué d'un filtre à particules, suivi d'un adsorbant des produits phytopharmaceutiques à l'état gazeux (résine Amberlite XAD ou mousse polyuréthane), il ressort que les produits phytopharmaceutiques sont majoritairement voire exclusivement décelés à l'état gazeux. Cependant, une réserve importante concerne le fait qu'une partie des produits phytopharmaceutiques décelés dans le second piège puisse provenir de la désorption de particules du filtre ou de molécules initialement présentes sur les particules, entraînant ainsi une forte incertitude quant à la capacité à déterminer précisément cette répartition à l'aide de ces systèmes.

La possibilité de surestimation de la phase gazeuse par rapport à la phase particulaire a été confirmée par des scientifiques ayant utilisé un dispositif de prélèvement différent de type "denuder". Ce dispositif est constitué d'un tube retenant les molécules à l'état gazeux par diffusion moléculaire. Il est suivi d'un filtre à particules, puis d'un matériau classique d'adsorption des molécules présentes à l'état gazeux.

## 2. 2 - DÉGRADATION ET DURÉE DE VIE DES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES DANS L'AIR

### 2. 2 -1 Chimie troposphérique en phase gazeuse

L'atmosphère est un milieu oxydant où la quasi-totalité des réactions chimiques est initiée par le rayonnement solaire et s'effectue par un mécanisme radicalaire. Les radicaux qui interviennent dans les processus de dégradation de composés chimiques sont formés pour la plupart à partir de la photolyse par le rayonnement solaire de composés minoritaires tels que le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), l'ozone (O<sub>3</sub>) et le formaldéhyde (HCHO).

Les pesticides tout comme les autres composés organiques sont dégradés en phase



gazeuse par photolyse, réaction avec les radicaux hydroxyles « OH• » (principalement de jour), réaction avec les radicaux nitrates « NO<sub>3</sub>• » (principalement de nuit) et les réactions avec l'ozone « O<sub>3</sub> ». Ces processus de dégradation conduisent à la formation d'ozone et d'autres polluants qui peuvent être plus néfastes pour l'environnement que les composés de départ (voir les exemples du dichlorvos et de la chloropicrine en encadré).

### ◆ Photolyse et principaux photooxydants atmosphériques

#### - Photolyse par le rayonnement solaire

Notre planète ne reçoit pas la totalité du rayonnement du soleil, car il est absorbé dans certains domaines de longueurs d'onde lors de la traversée des différentes couches de l'atmosphère. A part une très faible absorption par l'ozone vers 600 nm, l'atmosphère est transparente dans le visible et le proche UV (290-800 nm). Ce rayonnement peut donc atteindre le niveau du sol. Le domaine de longueurs d'onde d'intérêt pour la chimie troposphérique correspond en fait au domaine 290-800 nm. Les composés chimiques qui absorbent de la lumière dans ce domaine du rayonnement solaire sont susceptibles d'être photo-dissociés.

#### - Photolyse indirecte

Le radical hydroxyle (OH•) joue un rôle primordial dans la chimie troposphérique. Il est produit à partir de la photolyse par le rayonnement solaire sur l'ozone en présence de la vapeur d'eau. C'est la principale espèce oxydante, elle contrôle donc la durée de vie et par conséquent la concentration d'un grand nombre d'espèces chimiques dans l'atmosphère. Ce radical réagit avec l'ensemble des pesticides contenant au moins un atome d'hydrogène ou possédant des doubles liaisons (>C=C< par exemple).

L'ozone (O<sub>3</sub>) troposphérique est majoritairement d'origine photochimique (≈ 90 %) mais peut également être issue du transport depuis la stratosphère. L'ozone est produit lors de la réaction d'un atome d'oxygène "O" (issus de la photodissociation de NO<sub>2</sub>) avec une molécule d'oxygène O<sub>2</sub>. Les réactions avec l'ozone représentent un important processus d'oxydation atmosphérique pour les composés contenant des doubles et triples liaisons (>C=C<, -C≡C-), ainsi que pour certains composés contenant des atomes d'azote.

Le radical libre nitrate (NO<sub>3</sub>•) est issu de la réaction de l'ozone avec le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>). Il s'agit d'un radical nocturne puisqu'il est photolysé très rapidement par le rayonnement solaire le jour. Le radical NO<sub>3</sub>• réagit avec de nombreux composés organiques mais d'une manière plus efficace avec les composés contenant des doubles et triples liaisons (>C=C<, -C≡C-), ou des atomes de soufre ou d'azote, et avec les composés phénoliques.

### ◆ Durée de vie atmosphérique

La vitesse à laquelle la molécule d'un pesticide est dégradée par un oxydant dépend de la valeur de la constante de vitesse de la réaction (qui est fonction de la structure du composé chimique) et de la concentration atmosphérique de l'oxydant considéré, notée [X]. On peut ainsi calculer la durée de vie des molécules de pesticides, ce qui nous permet d'estimer leur persistance dans l'atmosphère. Cette durée de vie,  $\tau$ , est définie comme étant le temps au

bout duquel la concentration de l'espèce étudiée est réduite de 37 % de sa concentration initiale.

La durée de vie atmosphérique d'un composé vis-à-vis de la photolyse est fournie par :

$$\tau = 1/J$$

où  $J$  est la constante de photolyse (mesurée au laboratoire ou estimée en prenant en considération l'absorption de la lumière par le composé et le flux lumineux). La durée de vie des pesticides vis-à-vis de la réaction avec des oxydants est estimée à partir de :

$$\tau = 1/(k.[X])$$

où  $[X]$  est la concentration de l'espèce oxydante ( $\text{OH}^\bullet$ ,  $\text{O}_3$  ou  $\text{NO}_3^\bullet$ ) et  $k$  la constante de vitesse caractéristique de la réaction considérée. Les concentrations des oxydants sont déduites de modèles ou mesurées directement dans l'atmosphère, elles dépendent de la composition chimique de la masse d'air (plus élevées en milieu urbain qu'en milieu rural). Les constantes de vitesse,  $k$ , sont mesurées au laboratoire ou estimées.

Pour évaluer la persistance et l'impact des pesticides dans l'atmosphère, il est donc nécessaire de connaître avec précision ces paramètres cinétiques et photochimiques. Or, comme les pressions de vapeur de ces produits sont très faibles, peu d'études expérimentales ont été réalisées à ce jour sur leur dégradation en phase gazeuse et les données existantes sont généralement estimées (1). Cependant, comme ces estimations sont basées sur un nombre limité d'espèces et comme les structures chimiques des produits phytopharmaceutiques sont généralement complexes, les paramètres cinétiques obtenus par le calcul peuvent être en grand désaccord avec ceux mesurés expérimentalement (pour certaines espèces l'accord est très bon). Il est à noter qu'à ce jour, seules les mesures expérimentales sont capables de fournir les données pour évaluer l'importance des processus de photolyse des pesticides dans l'atmosphère.

Les études menées jusqu'à présent dans différents laboratoires indiquent que les réactions vis-à-vis des radicaux libres  $\text{NO}_3^\bullet$  ainsi que l'ozone sont des processus lents pour la majorité de ces molécules, tandis que la réaction avec les radicaux  $\text{OH}^\bullet$  semble être le processus majoritaire d'oxydation d'un grand nombre de produits phytopharmaceutiques. Pour certains produits phytopharmaceutiques, la photolyse est clairement mise en évidence comme étant le processus majeur de dégradation dans l'atmosphère (trifluraline, chloropicrine).

(1) <http://www.syrres.com/esc/aop.htm>

### Exemples de dégradation en phase gazeuse

Pour illustrer les principales voies de dégradation atmosphérique des produits phytopharmaceutiques en phase gazeuse, deux exemples (aujourd'hui d'usage interdit) sont représentés schématiquement ci-dessous :

- **Dichlorvos** ( $\text{C}_4\text{H}_7\text{Cl}_2\text{O}_4\text{P}$ ) : la principale voie de dégradation du dichlorvos est sa réaction avec les radicaux  $\text{OH}^\bullet$ . L'étude cinétique de cette réaction a permis de déduire une durée de vie atmosphérique du dichlorvos de l'ordre d'une dizaine d'heures. Par conséquent, ce composé est dégradé principalement près des sources d'émission. Les études en laboratoire ont aussi mis en évidence la formation du phosgène à partir de cette réaction. Le phosgène ( $\text{Cl}_2\text{C}(\text{O})$ ) est particulièrement toxique, il pourrait aussi être transporté dans l'atmosphère loin des sources du dichlorvos.



- **Chloropicrine** ( $\text{Cl}_3\text{CNO}_2$ ) : la molécule est principalement dégradée dans l'atmosphère par photolyse par le rayonnement solaire (durée de vie de l'ordre de quelques heures). Ici aussi, le phosgène ( $\text{Cl}_2\text{C}(\text{O})$ ) est le principal produit de dégradation.



## 2. 2 - 2 Chimie troposphérique au niveau des aérosols

Les rares travaux relatifs à la dégradation de pesticides adsorbés sur les aérosols solides démontrent l'influence de la nature du support sur les cinétiques et les voies de dégradation. Dans les gouttelettes d'eau, la dégradation des pesticides peut se poursuivre par photolyse et/ou hydrolyse suivant la nature des espèces chimiques. Cependant, les expérimentations étant effectuées dans des liquides et non sur des gouttelettes en suspension dans l'air, les résultats de tels travaux sont difficilement transposables à l'atmosphère ambiante.

## 2. 3 - DIFFUSION : TRANSPORT ET DÉPÔTS ATMOSPHÉRIQUES EN POST-APPLICATION

### 2. 3 -1 Notion d'échelle

La dispersion atmosphérique de composés gazeux ou particulaires doit être considérée au moins à deux échelles car les processus en jeu sont différents : à courtes distances (échelle locale, < 1 km) et à moyennes/longues distances. A courtes distances, l'échelle de temps est de l'ordre de quelques minutes à une heure, ainsi la dégradation atmosphérique peut être négligée. A longues distances (> 1000 km), l'échelle de temps est plutôt de l'ordre de quelques heures à quelques jours ou plus, nécessitant alors de prendre en compte l'éventuelle dégradation du composé dans l'atmosphère. En terme de dépôt, nous distinguons les dépôts « humides » des précipitations, des dépôts dénommés « secs », liés au dépôt de molécules soit à l'état gazeux, soit à l'état adsorbé sur la phase particulaire qui est constituée par les aérosols atmosphériques. On suppose généralement qu'à courtes distances les dépôts humides ne sont pas prédominants (les applications ayant a priori lieu en dehors d'épisodes pluvieux immédiats), seuls les dépôts secs sont à considérer. En revanche, à longues distances, les dépôts des épisodes humides et secs se superposent.

### 2. 3 - 2 Dispersion de la phase gazeuse issue de la volatilisation et dépôt sec

A l'échelle locale (moins de 1 km), proche d'une source (la parcelle traitée est vue comme une source de pesticides émis sous forme gazeuse par volatilisation), les concentrations atmosphériques en phase gazeuse peuvent être élevées, engendrant après dispersion atmosphérique des flux de dépôts secs significatifs au voisinage immédiat des champs traités. Ceux-ci pourraient atteindre des niveaux du même ordre de grandeur que les dépôts par dérive ayant lieu pendant l'application, voire supérieurs dans certaines conditions. En général, les dépôts par dérive décroissent rapidement lorsque l'on s'éloigne de la parcelle, la dérive prédomine à quelques mètres de la parcelle, puis la contribution du dépôt sec aux dépôts totaux (dérive + dépôts secs gazeux) augmente avec la distance au champ. Des travaux ont été réalisés en laboratoire ou avec des tunnels (notamment une étude avec un tunnel placé au champ portant sur 10 composés se déposant sur une surface aquatique) et quelques-uns au champ. En général, un nombre limité de composés et de surfaces a pu être appréhendé. Les auteurs s'accordent pour dire que le dépôt sec dépend des caractéristiques physico-chimiques des composés et des conditions météorologiques locales. Une étude a

également porté sur une comparaison des dépôts secs aux dépôts humides (liés à la pluie). Ainsi, les auteurs de cette étude ont pu noter en zone d'application, un effet de la contamination locale par dépôts secs pour certains composés et ce, pour un certain nombre de composés appliqués localement ou non.

La prise en compte de cette source de contamination commence à apparaître dans les études en vue de l'homologation des produits (qui jusqu'alors ne considéraient que la dérive) dans certains pays (Allemagne, Danemark). Toutefois, on peut souligner un manque crucial de jeux de données de dépôts secs pour les pesticides. Ainsi, des études doivent être poursuivies pour mieux comprendre le processus de dépôt, mal connu actuellement, notamment en recherchant à coupler mesure de la volatilisation et mesure du dépôt en proximité de la zone traitée.

## 2. 3 - 3 Dépôt humide à moyenne et longue distance

### ◆ Dynamique à l'échelle régionale

*(Ile-de-France, Bretagne, Alsace, Nord-Pas-de-Calais)*

Les précipitations constituent un élément intégratif de l'origine et de l'évolution des transferts de pesticides vers l'atmosphère et de leur impact sur le niveau de contamination atmosphérique à plus large échelle.

Les travaux réalisés par des organismes de recherche sur la contamination de l'air ambiant et des dépôts humides atmosphériques par des herbicides (triazines, urées substituées, chloroacétanilides) montrent que la période de contamination concerne essentiellement la période d'application de printemps avec une détection des molécules s'étendant de fin mars à fin juillet. Au cours de la période d'application, on a pu observer en Brie comme en Champagne une augmentation graduelle des concentrations en atrazine et de celles de ses deux métabolites (DEA et DIA), issus de sa dégradation dans le sol (MEDD, 2003). Ces molécules présentaient les plus fortes concentrations à la fin du mois de mai, période où l'essentiel des applications de cet herbicide avait déjà été réalisé.

Dans le Pas-de-Calais, la présence d'atrazine dans les précipitations en 2000 et 2001 était également associée à celle de ses métabolites (Institut Pasteur de Lille, 2006). Ces métabolites étant uniquement issus de l'activité microbienne du sol, leur présence dans l'atmosphère ne peut résulter que d'une émission de post-application. De plus, en Champagne, en 2004 (Piren Seine, 2005), l'atrazine et la simazine étaient encore décelées après leur interdiction à des concentrations relativement faibles (10-30 ng/l). Ceci confirme la possibilité d'une volatilisation différée des pesticides rémanents à partir des sols traités. C'est le cas maintes fois évoqué des produits phytopharmaceutiques organochlorés et notamment du lindane dont les plus fortes concentrations observées dans les précipitations en Alsace, de mars 2002 à juillet 2003, correspondaient à des périodes de température et de rayonnement plus élevées. Dans cette région, le diuron, l'un des herbicides les plus rémanents dans le sol, a été décelé sur toute cette période dans les échantillons de pluies et tous les échantillons d'air prélevés en période d'application de printemps ou d'automne. Par contre, la possibilité d'une volatilisation différée se limite à la période consécutive à l'application pour d'autres produits phytopharmaceutiques moins rémanents dans le sol (méthyl-parathion, chlorfenvinphos, alachlore, diflufénicanil, phosalone).

Des études effectuées à ce jour en zone de cultures tendent à démontrer une prédominance de la volatilisation en post-application sur l'émission directe pendant application. En Bretagne, l'exploitation de résultats obtenus suivant des conditions climatiques contrastées d'une année sèche (1996) et d'une année humide (2000) montre également que c'est l'intensité des transferts surface traitée-air liés à la volatilisation de post-application qui gouverne le niveau de contamination atmosphérique. En 2000, en période d'application, la contamination des pluies et les flux de produits phytopharmaceutiques déposés étaient plus faibles. La saturation des parcelles en eau et l'importance des transferts hydriques ont pu alors favoriser l'infiltration des produits phytopharmaceutiques dans le sol. De plus, un taux élevé d'humidité atmosphérique et des précipitations importantes peuvent réduire l'intensité et la durée de la volatilisation à partir des cultures.

#### ◆ Dynamique à l'échelle interrégionale ou transfrontalière (*longue distance*)

Les observations de concentrations dont les niveaux sont variables selon la distance à l'application et la saison et dans des lieux où aucun pesticide n'est appliqué (pôles, lacs de montagne) mettent en évidence l'existence du transport atmosphérique des produits phytopharmaceutiques (cas des Grands Lacs nord-américains).

En France, au début des années 90, la contamination de l'atmosphère par le lindane était encore relativement importante. Plusieurs scientifiques ont pu mettre en évidence avec cet insecticide la possibilité de superposition d'émissions locales ou régionales à une pollution atmosphérique de fond à l'échelle globale. En effet, après l'interdiction de ce pesticide en 1998, il s'est avéré que la contamination des précipitations, mesurée en limite océanique à Ouessant augmentait d'ouest en est, jusque dans la zone d'agriculture intensive de l'est de la région Ile-de-France (fig. 5) suggérant des émissions différées à partir des sols agricoles français.

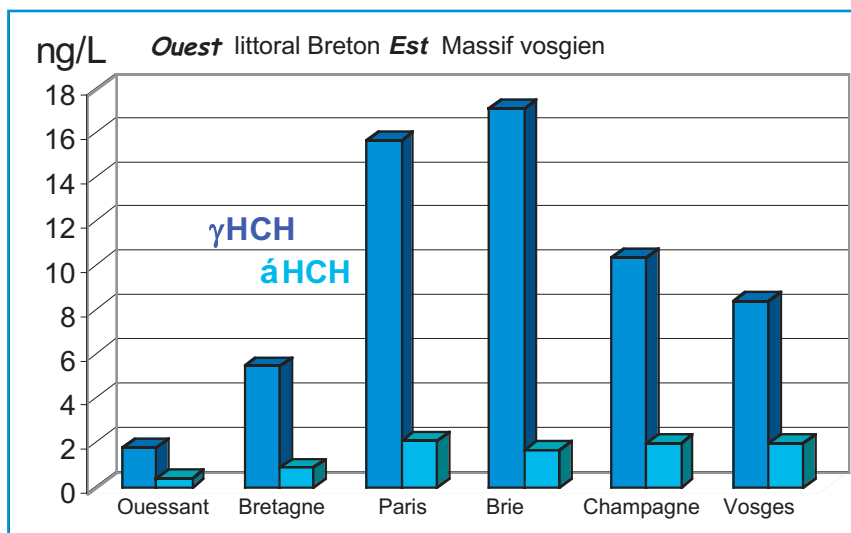


Figure 5 Concentration en lindane ( $\gamma$  HCH) et ( $\alpha$  HCH) dans les dépôts humides en France en 1999  
Source : Laboratoire Hydrologie et environnement - EPHAÉ

De même, ces composés étaient également présents dans des eaux de pluie de pays où leur utilisation était interdite (exemple de l'atrazine en Allemagne interdite dès 1991). L'analyse du potentiel de transport atmosphérique à grande distance de composés chimiques à l'état gazeux ou particulaire passe par :

- (1) une analyse de leur transport en tant que tel. Cette dernière peut être faite pour tout composé chimique en utilisant les outils disponibles tels que les modèles météorologiques

de transport à diverses échelles. Elle repose également sur une agrégation des sources, requérant ainsi une bonne connaissance des émissions

- (2) ainsi qu'une analyse de l'origine de leur disparition dans l'atmosphère (en général spécifique du composé considéré) : transformation, dépôts secs (particulaire et gazeux) et humides.

Ainsi, cette analyse reste-t-elle encore relativement incertaine pour les pesticides au vu du manque de connaissances concernant leur potentiel de dégradation, leur partition entre les différentes phases de l'atmosphère (gaz/aérosol) ou leur mode d'incorporation dans les gouttes de pluie (lors de la formation des gouttes ou lors de l'évènement pluvieux, par lessivage par les gouttes de pluie du pesticide présent dans les basses couches atmosphériques (voir paragraphe 2.1 et 2.2)). En effet, selon qu'un composé se trouve sous forme gazeuse ou sous forme particulaire, son dépôt sera différent : dans le premier cas, il dépend fortement de ses caractéristiques physico-chimiques, dans le second, ce sont les caractéristiques de la particule qui vont être prédominantes. De même, sa dégradation sera différente dans les deux phases. A l'heure actuelle, le potentiel de transport à longue distance d'un composé est souvent estimé à partir de sa DT50 air (liée aux transformations) : si elle est supérieure à 2 jours, alors le composé est susceptible d'un transport à longue distance. Par ailleurs, une fois déposés, les produits phytopharmaceutiques peuvent se revolatiliser (fig. 1b, page 13) si les conditions environnementales changent (par exemple lors d'une diminution des concentrations atmosphériques).

## Les Polluants Organiques Persistants (POPs)

Certains produits phytopharmaceutiques anciens dont l'utilisation est interdite depuis de nombreuses années maintenant (l'aldrine, le chlordane, la dieldrine, le DDT, l'endrine, l'heptachlore, le mirex, le toxaphène) ainsi que d'autres familles de molécules (dont les PCBs, les dioxines et les furanes), font partie des Polluants Organiques Persistants (POPs). Ce terme recouvre un ensemble de substances organiques qui réunissent 4 propriétés :

- **1) la persistance** : la substance résiste à la dégradation dans l'environnement pendant de longues périodes ;
- **2) la bioaccumulation** : la substance « s'accumule » au sein des êtres vivants dans les tissus adipeux ;
- **3) la toxicité** : l'exposition à la substance provoque des effets nocifs pour l'homme, la faune et la flore ;
- **4) la mobilité sur de grandes distances** : la substance est propagée dans l'air, l'eau et les espèces migratrices par delà les frontières internationales et déposée loin de sa source (en Arctique par exemple).

**Plusieurs réglementations internationales ont été mises en place pour limiter les impacts de ce type de substances sur la santé humaine et sur l'environnement :**

- **La convention de Stockholm** entrée en vigueur le 17 mai 2004 vise une interdiction progressive de la production et de l'utilisation de 12 POPs (les « 12 salopards »), [http://www.pops.int/documents/convtext/convtext\\_fr.pdf](http://www.pops.int/documents/convtext/convtext_fr.pdf).
- **Le protocole d'Aarhus de la Convention de Genève** sur la pollution atmosphérique transfrontière ([http://www.unece.org/env/lrtap/pops\\_h1.htm](http://www.unece.org/env/lrtap/pops_h1.htm)) vise à contrôler, réduire ou éliminer les émissions de 16 substances dans l'environnement : les 12 POP de la convention de Stockholm, ainsi que le chlordécone, l'hexabromobiphényle, l'hexacyclohexane, les HAP.

**Le règlement européen (CE) 850/2004 du 29 avril 2004 intègre les dispositions de la convention de Stockholm et du protocole d'Aarhus au sein de la réglementation européenne.**

L'intégration de ces dispositions dans la réglementation européenne a pour conséquence la disparition prochaine du marché de tout produit phytosanitaire actuellement commercialisé et présentant les critères de l'annexe D de la Convention de Stockholm relatifs à la persistance, la bioaccumulation, le potentiel de propagation à longue distance, et aux effets nocifs pour l'homme et l'environnement.



## 3 - Les avancées de la recherche

### 3.1 - STRATÉGIES D'ACQUISITION DE DONNÉES ET DÉVELOPPEMENTS MÉTHODOLOGIQUES

#### ◆ Stratégie d'acquisition de données

L'influence des caractéristiques physiques des liquides pulvérisés (tension de surface et viscosité) sur les mécanismes de formation des gouttes est importante. En dehors de quelques cas théoriques, les approches expérimentales sont encore très insuffisantes pour balayer l'ensemble des combinaisons possibles et des développements méthodologiques restent nécessaires. Les phénomènes de fragmentation des liquides au voisinage direct des dispositifs d'atomisation (buses, pastilles...) nécessitent ainsi la mise au point de techniques très diverses allant de l'ombroscopie à la vélocimétrie laser (PLIV) en passant par quelques techniques intrusives. A plus grande distance (quelques dizaines de centimètres de la buse) les techniques de caractérisation des « sprays » sont mieux maîtrisées et principalement effectuées par granulométrie laser (PDA). Il reste qu'à ces échelles la quantification de la phase vapeur est difficile même si elle est généralement considérée comme peu importante.

De même, les méthodes de prélèvement de terrain pour quantifier les dépôts de pesticides sont rarement parfaites et leur efficacité est très variable suivant les produits étudiés. Deux approches sont généralement menées :

- ▶ l'étude des dépôts directs de produits sur le sol et la végétation
- ▶ le prélèvement des particules ou des gaz présents dans l'air.

D'un point de vue analytique, les molécules ou les traceurs dosés influencent très fortement la qualité et la comparabilité de ces études.

Dans tous les cas la dispersion des gouttes dans l'air ou l'atmosphère est complexe à aborder. Les études en milieu confiné (soufflerie, salle blanche), qui permettent de mieux maîtriser les conditions ambiantes, ne reproduisent que très partiellement les conditions réelles. De même, les études de terrain en conditions réelles, compte tenu de la variabilité des conditions ambiantes (température, hygrométrie, turbulence du vent au ras du sol), sont très peu précises et difficilement reproductibles. Il en ressort une difficulté pour évaluer correctement les flux de transfert dans l'environnement. Dans tous les cas le positionnement géographique des collecteurs / préleveurs et les durées de prélèvement sont très interdépendants des phénomènes et des échelles étudiés :

- ▶ les dépôts au sol ou sur la végétation après l'épandage,
- ▶ les flux de particules ou la qualité de l'air au voisinage direct de l'application pendant quelques dizaines de minutes,
- ▶ les dépôts au sol ou la qualité de l'air en bordure de parcelle pendant quelques heures ou après plusieurs journées,
- ▶ la qualité de l'air à plus grande distance des parcelles sur des périodes plus longues.



#### ◆ Développements méthodologiques

Les travaux de recherche effectués par les équipes scientifiques appartenant à des établissements de l'enseignement public (Universités, Ecoles, Instituts..) ou d'autres organismes (CNRS, INRA, Cemagref....) couvrent un ensemble de thématiques très diversifiées. Leur objectif est de mieux appréhender le comportement des polluants et l'évolution des contaminations afin d'améliorer les connaissances sur les relations pouvant exister entre l'utilisation de produits phytopharmaceutiques et le risque de contamination des écosystèmes ou d'exposition des populations.

Les premières stations de mesures de produits phytopharmaceutiques dans l'air ambiant ou des dépôts atmosphériques initialement exploitées par les seules équipes scientifiques et qui ont fourni les premières indications sur l'état de la contamination de l'air à l'écart ou à proximité de lieux d'épandage sont actuellement complétées par les réseaux de mesures régionaux des AASQA.

Ainsi aujourd'hui, les travaux actuellement réalisés dans le cadre des établissements de recherche concernent en premier lieu l'amélioration des connaissances sur la dynamique spatio-temporelle de la contamination du compartiment atmosphérique, ainsi que des flux émis et déposés en fonction des paramètres environnementaux et des pratiques agricoles. La communauté scientifique française qui se préoccupe de la dispersion des produits phytopharmaceutiques par la voie atmosphérique travaille dans divers domaines qui leur sont spécifiques, à savoir :

##### • *Mise au point de techniques innovantes*

Elles concernent des méthodologies d'échantillonnage de l'air ambiant permettant soit d'en simplifier la mise en œuvre, soit d'en améliorer les performances.

##### • *Pilotes de laboratoire*

Leur utilisation est destinée à déterminer soit les propriétés physiques des produits phytopharmaceutiques (pression de vapeur, constante de Henry...), soit leur potentiel de volatilisation, soit leur persistance. Ainsi, l'Europe dispose depuis quelques années d'une grande installation expérimentale unique au monde où certaines études sur la dégradation des produits phytopharmaceutiques ont été réalisées récemment avec succès (dichlorvos, chloropicrine, trifluraline, ...). Il s'agit d'une chambre de simulation atmosphérique à irradiation naturelle de 200 m<sup>3</sup> de volume, située à Valencia (Espagne).

##### • *Etude des transferts de contaminants entre l'air ambiant et les dépôts, ou de la dynamique spatio-temporelle de la diffusion aux échelles locales ou inter-régionales*

Des réseaux expérimentaux sont également conçus et équipés par les équipes de recherche afin d'améliorer les connaissances sur les relations existant entre l'importance et la nature des activités agricoles, les conditions hydroclimatiques et la diffusion de produits phytopharmaceutiques via l'atmosphère. Ces réseaux temporaires comprennent à la fois des collecteurs d'air ambiant et des échantillonneurs de précipitation. Ils sont établis à l'échelle d'une région (Bretagne, Ile-de-France, Champagne, Alsace), ou sur plusieurs régions. Leur exploitation par des laboratoires appartenant à des universités ou d'autres instituts de recherche contribue à la compréhension de l'incidence des pratiques culturales sur la contamination de l'air ambiant en relation avec les paramètres hydro-climatiques. Les résultats permettent également de définir l'incidence de la contamination de l'air ambiant sur

celle des précipitations et d'évaluer l'importance des transferts de produits phytopharmaceutiques par les dépôts atmosphériques à différentes échelles locales ou inter-régionales.

• **Parcelles expérimentales équipées pour étudier le processus de volatilisation ou l'exportation hors zone d'application**

Des méthodes expérimentales pour mesurer la volatilisation existent à plusieurs échelles : au laboratoire, avec ou sans éléments marqués, en tunnels de ventilation, au champ.

Les tunnels de ventilation permettent une estimation expérimentale du transfert massique de composés chimiques à l'interface sol - plante - atmosphère en conditions semi-contrôlées. Ainsi, certains facteurs peuvent être contrôlés (vitesse du vent, ...) et l'on peut avoir un suivi fin d'un ensemble de facteurs climatologiques pour acquérir des jeux de données pour des scénarios numériques. Ils sont particulièrement bien adaptés à l'étude du déterminisme du processus de volatilisation.

Les méthodes au champ reposent sur des méthodes micro-météorologiques classiques utilisées depuis longtemps pour d'autres composés chimiques. Les incertitudes résultent de celles concernant la mesure des concentrations dans l'atmosphère, des pertes depuis les surfaces traitées pendant l'application et juste après (souvent les mesures de volatilisation commencent à la fin de l'application afin de limiter la confusion avec les pertes par volatilisation depuis les gouttelettes de pulvérisation).

Les coordonnées des équipes scientifiques et les mots-clés de leurs thématiques sont indiqués en fin de partie (annexe I).

### 3. 2 - OUTILS PRÉVISIONNELS : LES MODÈLES

◆ **Pourquoi modéliser ?**

Les outils informatiques permettent :

- d'améliorer les connaissances en aidant l'interprétation des observations et en permettant d'extrapoler les études à des situations non explorées expérimentalement
- de fournir des outils d'aide à la décision, qu'il est toutefois bon de valider (figure 6).

Observations et modèles sont étroitement liés.

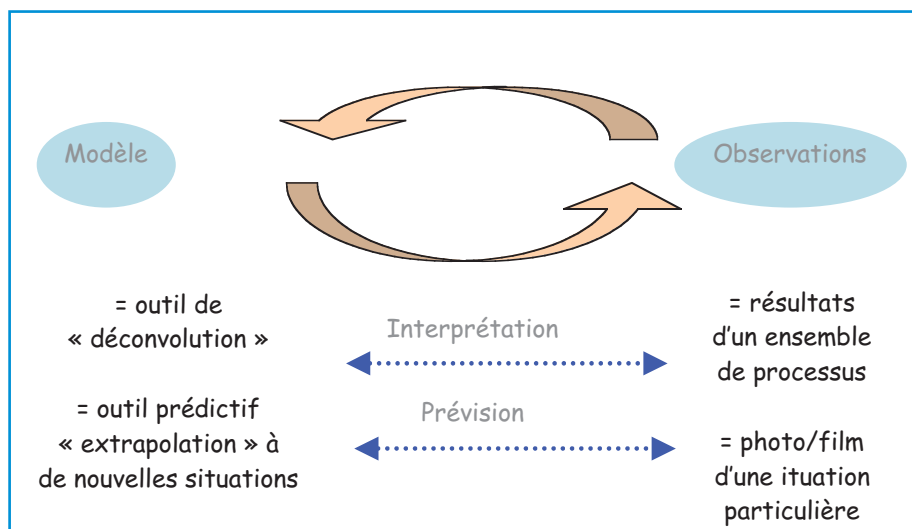


Figure 6  
Démarche  
de modélisation  
(C. Bedos)

Les observations permettent d'acquérir une photo ou un film d'une situation donnée.

La modélisation permet d'extrapoler les études à d'autres situations et constitue ainsi un outil prédictif. De plus, les observations donnent des informations sur une situation résultant d'un ensemble de processus couplés. Leur interprétation requiert un outil de « déconvolution » pour découpler les processus et en analyser ainsi leur effet individuel. Les modèles constituent un tel outil.

En parallèle, les données expérimentales sont nécessaires pour évaluer la fiabilité des résultats fournis par les modèles.

#### ▣ Quels sont les modèles disponibles ?

##### a) Pendant l'application

Des modèles sont en cours de développement pour décrire les dépôts dans le végétal et au sol, les départs au-dessus de la végétation puis la dispersion du nuage sous le vent de l'application. Ces modèles sont généralement établis à partir d'observations expérimentales à l'échelle de la végétation, de la machine ou de la parcelle. Ces expérimentations visent la bonne prise en compte de la variabilité des conditions d'épandage : stade de développement de la végétation, procédé de pulvérisation, réglage et vitesse du pulvérisateur, conditions ambiantes (température, hygrométrie, vent). Pour certains cas particuliers comme les épandages aériens, des modèles lagrangiens sont parfois utilisés pour décrire la trajectoire des gouttes. Dans tous les cas les phénomènes d'évaporation sont peu pris en compte. D'autre part ils nécessitent une caractérisation préalable du spray émis par le dispositif de pulvérisation.

Ainsi, à une échelle plus petite, des expérimentations permettant de décrire l'influence des caractéristiques physiques des produits pulvérisés sur les nuages de gouttes émises par le dispositif de pulvérisation (diamètre et vitesse de gouttes) sont indispensables. Pour améliorer la compréhension et l'importance des phénomènes mis en jeu, des modèles mécanistes sont en cours de développement. C'est à partir des connaissances développées dans d'autres domaines (combustion, aéronautique et automobile) que ces modèles sont construits.

##### b) En post-application : volatilisation

Les modèles décrivant le comportement des produits phytopharmaceutiques dans l'environnement y compris les transferts vers l'atmosphère par volatilisation sont divers :

- ▲ relations empiriques : relations établies à partir d'observations expérimentales
- ▲ modèles mécanistes développés pour étudier un processus plus spécifiquement : description des processus impliqués à l'aide de lois physiques ou chimiques avec résolution numérique ou analytique des équations
- ▲ modèles décrivant le comportement des produits phytopharmaceutiques dans l'environnement en général (tous compartiments environnementaux) préconisés pour l'homologation.

La majorité des modèles disponibles pour les produits phytopharmaceutiques s'applique à l'échelle locale (celle du m<sup>2</sup>, du profil de sol, de la parcelle).

Les modèles récents développés spécifiquement pour étudier la volatilisation sont des modèles mécanistes. Ils ont des échelles de temps adaptés au processus de volatilisation (c'est-à-dire infra-horaire), ils permettent de décrire globalement la dynamique du flux, malgré des améliorations nécessaires.

Pour la volatilisation depuis la plante, si des modèles ont été développés, ils sont confrontés au manque de jeux de données complets pour les valider ainsi qu'au manque de connaissance des processus en compétition avec la volatilisation (ad(b)-sorption par la plante, (photo)-dégradation, lessivage par la pluie ...).

De manière générale, une incertitude porte sur la précision et la fiabilité des valeurs indiquées dans les bases de données pour les caractéristiques physico-chimiques des composés et leur évolution avec la température.

De plus, peu d'études portent sur les métabolites.

### c) Dispersion atmosphérique et voies de dépôts

L'estimation de la concentration résultante dans l'atmosphère nécessite un couplage des modèles d'émission (pendant l'application, post-application) avec des modèles de dispersion atmosphérique.

La dispersion atmosphérique à courte distance a fait l'objet de nombreux travaux expérimentaux et de modélisation pour les gaz-traces – c'est à dire présents dans l'atmosphère à faibles concentrations – avec une panoplie de modèles (eulériens, lagrangiens) de complexité variable. Cependant, les jeux de données sont rares, la plupart des modèles ont été validés sur des données avec des traceurs ( $\text{SO}_2$  ou  $\text{SF}_6$ ).

Comparativement, il existe moins d'études couplant dispersion et dépôt gazeux en lien avec la difficulté pour réaliser ce couplage et pour décrire le dépôt, processus résultant de la combinaison de phénomènes de diffusion, d'équilibres thermodynamiques chimiques à l'interface, dépendant des caractéristiques physico-chimiques du composé et de la surface, de la température et de l'hygrométrie. L'application aux produits phytopharmaceutiques de modèles existants développés pour d'autres composés ne pose pas de problèmes conceptuels à condition que l'on connaisse les caractéristiques d'échange de surface, ce qui n'est pas vraiment encore le cas pour les produits phytopharmaceutiques vu le manque de jeux de données évoqués précédemment.

A l'échelle régionale, il existe des tests de modélisation à partir de modèles de fugacité dont un des objectifs est d'estimer la répartition du composé entre différents compartiments environnementaux, ou à partir de modèles de transport atmosphérique (eulérien ou lagrangien) dont l'objectif est d'estimer les champs de concentrations dans l'atmosphère et le dépôt à la surface terrestre. Mais peu de données permettent de valider ces modèles (quelques tests – encourageants – ont porté sur les concentrations dans les eaux de pluie). De plus, des sources d'incertitudes résident dans les émissions (méconnaissance des usages à l'échelle d'un pays, de l'effet des méthodes d'application et des facteurs d'émission), les interactions à la surface ainsi qu'aux incertitudes sur les caractéristiques physico-chimiques des composés (y compris leur potentiel de dégradation) et celles associées aux mesures.

## Glossaire

### **Aérosol**

Particules solides et/ou liquides en suspension dans l'atmosphère, à l'exception des gouttelettes de nuages ou de pluie et des cristaux de glace.

### **Biocides** (définis dans la directive dite "biocides" 98/8/CE)

Ce sont des substances actives et des préparations contenant une ou plusieurs substances actives utilisées, par exemple dans des applications comme la conservation du bois, la désinfection ou la lutte anti-parasitaire, pour détruire, repousser ou rendre inoffensifs les organismes nuisibles, en prévenir l'action ou les combattre de toute autre manière par une action chimique ou biologique.

### **Demi-vie** (DT50)

Temps correspondant à la diminution de 50 % de la quantité du pesticide présent dans le compartiment environnemental considéré.

### **Dérive**

Dispersion atmosphérique ayant lieu pendant l'application des gouttelettes de spray voire de la phase gazeuse. Souvent quantifiée en mesurant les dépôts au sol des gouttelettes de spray proches de la parcelle traitée.

### **Fumigant**

On entend par fumigant une substance se trouvant sous forme de gaz ou générant par un quelconque mécanisme (ex : hydrolyse) un ou des gaz.

### **Modèle mécaniste**

Ce terme qualifie les modèles conçus à partir de lois décrivant les processus physico-chimiques. Il s'oppose au terme « empirique » qui qualifie les modèles basés sur des relations issues de mesures expérimentales.

### **PCBs**

Polychlorobiphényles.

### **Pesticides**

Insecticides, herbicides, fongicides, nématicides, acaricides, algicides, rodenticides et les produits antimoisissures organiques ainsi que les produits apparentés (notamment les régulateurs de croissance), leurs métabolites, produits de dégradation et de réaction pertinents.

### **Pression de vapeur saturante (Pv)**

La pression de vapeur saturante est la pression à laquelle la phase gazeuse de la substance est en équilibre avec sa phase liquide ou solide. Ce paramètre qui augmente exponentiellement avec la température, peut être utilisé pour estimer la tendance du composé considéré à s'évaporer.

### **Produits phytopharmaceutiques** (au sens de la Directive 91/414/CE ou **produits phytosanitaires**)

Ils sont utilisés principalement pour la protection des végétaux en agriculture ou dans d'autres secteurs (sylviculture, aménagement des paysages et entretien des abords d'axes de transport, jardinage amateur).

Préparations contenant une ou plusieurs substances actives qui sont destinées à :

- protéger les végétaux ou les produits végétaux contre tous les organismes nuisibles ou à prévenir leur action
- exercer une action sur les processus vitaux des végétaux
- assurer la conservation des produits végétaux
- détruire les végétaux indésirables
- détruire les parties de végétaux, freiner ou prévenir une croissance indésirable des végétaux.

### Résidus liés

Ce terme qualifie des résidus de produits phytopharmaceutiques fortement adsorbés aux composés minéraux et organiques du sol et ne pouvant pas ou peu être extraits par l'eau.

## Références bibliographiques

AGRITOX, base de données sur la toxicité des molécules

[www.inra.fr/internet/Produits/agritox](http://www.inra.fr/internet/Produits/agritox)

INERIS (2005). Détermination des pesticides à surveiller dans le compartiment aérien : approche par hiérarchisation, 141 p.

Institut Pasteur de Lille (2006). <http://www.pasteur-lille.fr/fr/expertises/eau/publications.htm>

MEDD (2003). Programme Evaluation et réduction des risques liés à l'utilisation des produits phytopharmaceutiques Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable - DGAD / SRAE, 20 avenue de Ségur, 75302 Paris 07 SP

<http://www.environnement.gouv.fr/actualités>

Piren Seine (2005). Rapport d'activité

<http://www.sisyphe.jussieu.fr/internet/piren/>

Calvet R., Barriuso E., Bedos C., Benoit P., Charnay M.P., Coquet Y. - 2005 - Devenir des produits phytopharmaceutiques dans les sols. Editions France Agricole, Paris, 637 p.

Aubertot, J.N., J.M. Barbier, A. Carpentier, J.J. Gril, L. Guichard, P. Lucas, S. Savary, I. Savini, and M. Voltz. 2005. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux. Expertise scientifique collective INRA et Cemagref, rapport de synthèse, 68 p.

[http://www.inra.fr/les\\_recherches/exemples\\_de\\_recherche/produits\\_phytopharmaceutiques\\_agriculture\\_et\\_environnement](http://www.inra.fr/les_recherches/exemples_de_recherche/produits_phytopharmaceutiques_agriculture_et_environnement)



## Les équipes de recherche et leurs domaines d'activité

Equipe	Chercheurs	Thématique
Laboratoire d'Electrochimie moléculaire, Université Paris 7-Denis Diderot, associé au CNRS, UMR 7591	Jean Jacques Aaron	Métrologie des pesticides dans l'atmosphère
Laboratoire Hydrologie et Environnement- UMR 7619 Paris Ecole pratique des hautes études	Marc Chevreuil Hélène Blanchoud	Métrologie des pesticides dans l'atmosphère Etude des niveaux de contamination Air et dépôts – Transport aux échelles régionale et inter-régionale
Unité Mixte INRA/AgroParisTech, Environnement et Grandes cultures, (Grignon), INRA	Pierre Cellier, Carole Bedos, Benjamin Loubet, Enrique Barriuso	Métrologie des pesticides dans l'atmosphère Caractérisation/modélisation des dépôts par volatilisation depuis les zones traitées (grandes cultures)
Institut de Combustion, Aérothermique, Réactivité et Environnement- CNRS Orléans	Wahid Mellouki	Photodégradation atmosphérique
Equipe atmosphère, Laboratoire de physico-chimie de l'atmosphère (LPCA), Université Louis Pasteur de Strasbourg	Maurice Millet	Métrologie des pesticides dans l'atmosphère Caractérisation/modélisation des dépôts depuis les zones traitées (vignes)
Equipe périgourdine de Chimie analytique (EPCA), Université de Bordeaux	Michel Montury Ludovic Tuduri	Métrologie des pesticides dans l'atmosphère
Equipe atmosphère, laboratoire d'étude et de recherche en environnement et santé (LERES) Ecole nationale de la santé publique de Rennes	René Seux Michel Clément (Olivier Briand)	Métrologie des pesticides dans l'atmosphère Réactivité photochimique des Mesure de l'exposition professionnelle aux pesticides Caractérisation des dépôts depuis les zones traitées (grandes cultures, arboriculture) Contamination des pluies – phénomènes de transport
Equipe Chimie de l'Atmosphère Laboratoire Chimie et Environnement FRE 2704 Université de Provence- CNRS	Henri Wortham	Comportement et réactivité photochimique des pesticides dans l'atmosphère. Partition Gaz/Particules
INERIS	Anne-Christine Le Gall Aurélien Gouzy Fabrice Marlière	Développements métrologiques, soutien technique aux AASQA, Outils d'aide à la décision
Laboratoire Santé Travail Environnement, Institut de santé publique et d'épidémiologie, Université Victor Segalen de Bordeaux	Isabelle Baldi	Étude des effets retardés des pesticides sur la santé (neurologie, cancer) Mise au point d'outils de mesure de l'exposition professionnelle aux pesticides
Département Chimie-Environnement, Ecole des Mines de Douai. Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA)	Patrice Codeville	Réseau MERA Métrologie des pesticides dans l'atmosphère
Institut Pasteur de Lille	Pierre Lacoste	Etude des niveaux de contamination des pluies – phénomènes de transport
UMR Information et Technologies des agro-procédés, Cemagref Montpellier	Bernard Bonicelli Bernadette Ruelle Carole Sinfort Vincent Polveche	Caractérisation/modélisation des dépôts lors de l'application
Centre François Baclesse de Caen	Pierre Lebailly	Étude des effets retardés des pesticides sur la santé (neurologie, cancer) Mesure de l'exposition professionnelle



# Connaissance de la contamination atmosphérique

acquisition de données, analyse  
et communication des résultats



# 1 - Organisation de la surveillance de la contamination atmosphérique

## I. 1 - HISTORIQUE DES CAMPAGNES DE MESURE

En France, les premières mesures ont été effectuées par des laboratoires de recherche dès les années 80, inspirées des méthodes américaines (EPA TO-4 et EPA TO-10). Ces mesures exploratoires ont été ensuite reprises par certaines associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'air (AASQA). En 2001, Lig'Air (l'association pour la région Centre), ATMO Poitou-Charentes et l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS) ont ainsi débuté des campagnes de mesure de produits phytopharmaceutiques dans l'air et un plus grand nombre d'AASQA ont fait de même dès 2002.

Par ailleurs, un groupe de travail national réunissant plusieurs AASQA sur le thème de la mesure des pesticides dans l'air ambiant, le LCSQA et l'ADEME a été créé en avril 2002. Ce groupe avait pour objectif de développer les outils nécessaires à la mesure des pesticides dans l'air. Il a eu également une fonction d'échanges d'expérience entre les acteurs impliqués dans ces travaux.

Plus précisément, les objectifs de ce groupe de travail étaient :

### Éléments de réglementation

La surveillance de la qualité de l'air ambiant est assurée en France par les AASQA chargées de la mise en œuvre des moyens de surveillance sur le territoire, pour le compte de l'Etat et des pouvoirs publics.

Les associations sont agréées par le ministère chargé de l'environnement, lequel est en charge également de la définition des orientations stratégiques de la surveillance. Pour sa part l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) exerce une mission de coordination technique, en liaison avec le ministère précité.

Regroupées au sein du dispositif **ATMO**, les AASQA exercent leurs activités sur des zones géographiques pouvant s'étendre, selon les cas, de l'agglomération à la région.

Les AASQA sont chargées, entre autres :

- ▶ de mettre en œuvre et de gérer le dispositif technique de mesure (gestion des stations de mesure et des autres moyens techniques de surveillance) ;
- ▶ de collecter, de valider et d'interpréter les données issues des stations mises en place dans leur zone de compétence ;
- ▶ d'assurer une large diffusion des informations recueillies ;
- ▶ de transmettre aux autorités compétentes les informations relatives à la prévision et à la détection des dépassements des niveaux et seuils préalablement définis ;
- ▶ de transmettre leurs données à la banque nationale des données de la qualité de l'air (BDQA) gérée par l'ADEME. Pour les pesticides, pour des questions techniques, ces données sont actuellement rassemblées par l'INERIS en vue d'une intégration ultérieure dans la BDQA.

Le laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA) est une des composantes du dispositif français de surveillance de la qualité de l'air. Il apporte un appui technique aux AASQA en réalisant des études théoriques et expérimentales afin d'améliorer la qualité des mesures, et de développer et d'harmoniser les méthodes et les moyens mis en œuvre dans les réseaux aux niveaux national et européen.

*à court terme* : de développer une méthodologie de hiérarchisation des pesticides à mesurer prioritairement dans l'air ambiant, de valider les protocoles de prélèvement et d'analyse, de centraliser les résultats des mesures, de s'associer avec les programmes nationaux ou locaux existants...

*à moyen terme* : de mieux comprendre la dispersion des polluants d'origine agricole ; de mieux connaître l'exposition réelle des populations ;

*à long terme* : d'orienter efficacement les politiques de prévention des risques liés à l'usage des produits phytopharmaceutiques.

## I. 2 - LE DISPOSITIF ACTUEL DE MESURE DES PESTICIDES DANS L'AIR

En 2006, 14 AASQA de France métropolitaine ont ou avaient conduit des mesures de pesticides dans l'atmosphère (fig.7). Certaines d'entre elles disposent même d'un système de surveillance permanent. De nombreuses réflexions sont également en cours dans les AASQA n'ayant pas encore conduit d'études.

Les études concernant directement les mesures de pesticides dans l'air ont été rassemblées sur le site de l'ORP et sur les sites internet des AASQA.

Ces initiatives régionales ont permis de constituer une base de données importante, qui, bien que très hétérogène, a peu d'équivalent en Europe mis à part aux Pays-Bas.

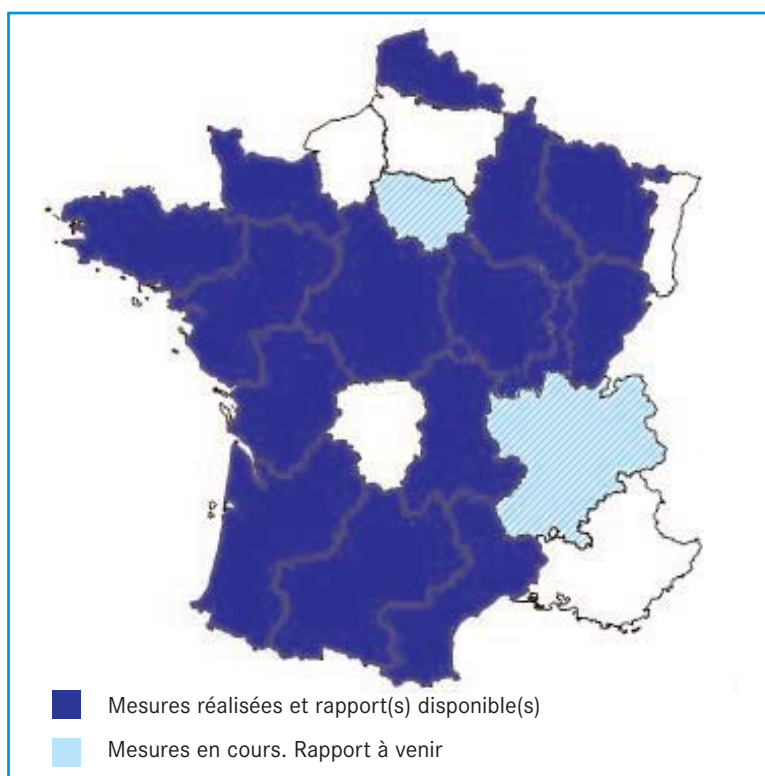


Figure 7 Carte des AASQA ayant publié un rapport sur la présence des pesticides dans l'air ambiant au 31/12/2006

Par ailleurs, l'INERIS a mis en place un outil de hiérarchisation des produits phytopharmaceutiques à mesurer prioritairement dans l'air et les travaux du groupe de travail ont permis de développer des méthodologies de prélèvement et d'analyse qui ont abouti à la préparation de normes par l'association française de normalisation (AFNOR).

## ◆ Répartition régionale des campagnes des mesures

Les AASQA n'ont aucune obligation de contrôle des pesticides dans l'air, du fait de l'absence de valeurs limites de qualité et d'un plan national de mesures. Cette situation a donc favorisé les initiatives des régions, notamment celles à forte dominante agricole, soutenues par les collectivités locales et territoriales.

Par ailleurs, les régions qui ont inscrit une orientation sur la thématique "produits phyto-pharmaceutiques" dans leurs programmes régionaux pour la qualité de l'air (PRQA) et également pour les PRSE (Plan Régional Santé Environnement) ont aussi encouragé ces mesures de produits phytopharmaceutiques en zone rurales et/ou urbaines, pour connaître l'exposition des agriculteurs et de la population générale à ces produits et pour pouvoir, à terme, étudier l'impact des produits phytosanitaires sur la santé.

Régions	2001-2003	2004	2005	2006
AQUITAINE	OUI	OUI		
AUVERGNE			OUI	
BASSE-NORMANDIE		OUI		OUI
BOURGOGNE	OUI		OUI	
BRETAGNE	OUI	OUI	OUI	OUI
CENTRE	OUI	OUI	OUI	OUI
CHAMPAGNE-ARDENNE	OUI	OUI	OUI	OUI
FRANCHE-COMTE		OUI		OUI
ILE-DE-FRANCE				OUI
LANGUEDOC-ROUSSILLON	OUI			OUI
LORRAINE	OUI			
MIDI-PYRENEES	OUI	OUI	OUI	OUI
NORD - PAS-DE-CALAIS		OUI	OUI	OUI
PAYS DE LA LOIRE	OUI	OUI		
POITOU-CHARENTES	OUI	OUI		OUI
RHÔNE-ALPES				OUI

### PRQA

Les programmes régionaux pour la qualité de l'air (PRQA) ont été introduits par la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996 et précisé par le décret 98-362 du 6 mai 1998. Il consiste à fixer les orientations à moyen et long terme permettant de prévenir ou de réduire la pollution atmosphérique afin d'atteindre les objectifs de la qualité de l'air définis dans ce même plan.

L'élaboration du PRQA a été confiée aux Conseils Régionaux par la loi relative à la démocratie de proximité du 27 février 2002.

Tableau 1

Répartition des campagnes de mesures, réalisées par les AASQA, selon les années

## ◆ Des sources de financement complexes et variées

Les mesures de pesticides sont onéreuses, car elles nécessitent (i) un matériel de prélèvement spécifique (bien que celui-ci puisse être également utilisé pour mesurer les hydrocarbures aromatiques polycycliques, les composés organiques volatils et les métaux lourds) ; (ii) une sous-traitance des mesures à des laboratoires indépendants, possédant des appareils d'extraction et de mesures pointues et une grande expérience analytique, et enfin (iii) une logistique importante, les cartouches étant à changer manuellement sur le site chaque jour ou chaque semaine.

Eu égard aux limites de quantification atteintes, le coût d'une analyse « classique » des pesticides dans l'air par chromatographie en phase gazeuse ou en phase liquide couplée à une détection par spectrométrie de masse (qui permet de garantir l'identité des composés) approche les 300 à 400 euros par échantillon (pour généralement 20 à 30 produits différents recherchés par échantillon, hors cas particulier du glyphosate). Ce montant n'inclut pas les coûts de prélèvement (matériel, fourniture, logistique, etc.). Dans la mesure où les mesures de produits phytopharmaceutiques ne sont pas ou peu financées par les services centraux du gouvernement, les AASQA ont dû diversifier leurs sources de financement.

Ces sources de financement vont influencer de manière directe l'ampleur et les objectifs des campagnes de mesures. Du fait des coûts d'analyse, certaines AASQA vont être amenées à réduire le nombre de sites ou la durée des prélèvements.

### 1.3 - DES ANALYSES POUR RÉPONDRE AUX PRÉOCCUPATIONS SOCIÉTALES

Comme l'indique l'étude de l'institut de recherche pour la sûreté nucléaire (IRSN) sur la perception des risques, les Français et les institutionnels sont particulièrement sensibles à la problématique "pesticides" et à la pollution atmosphérique. Il s'ensuit donc le développement d'un certain nombre de travaux concernant le suivi des pesticides dans l'air ambiant.

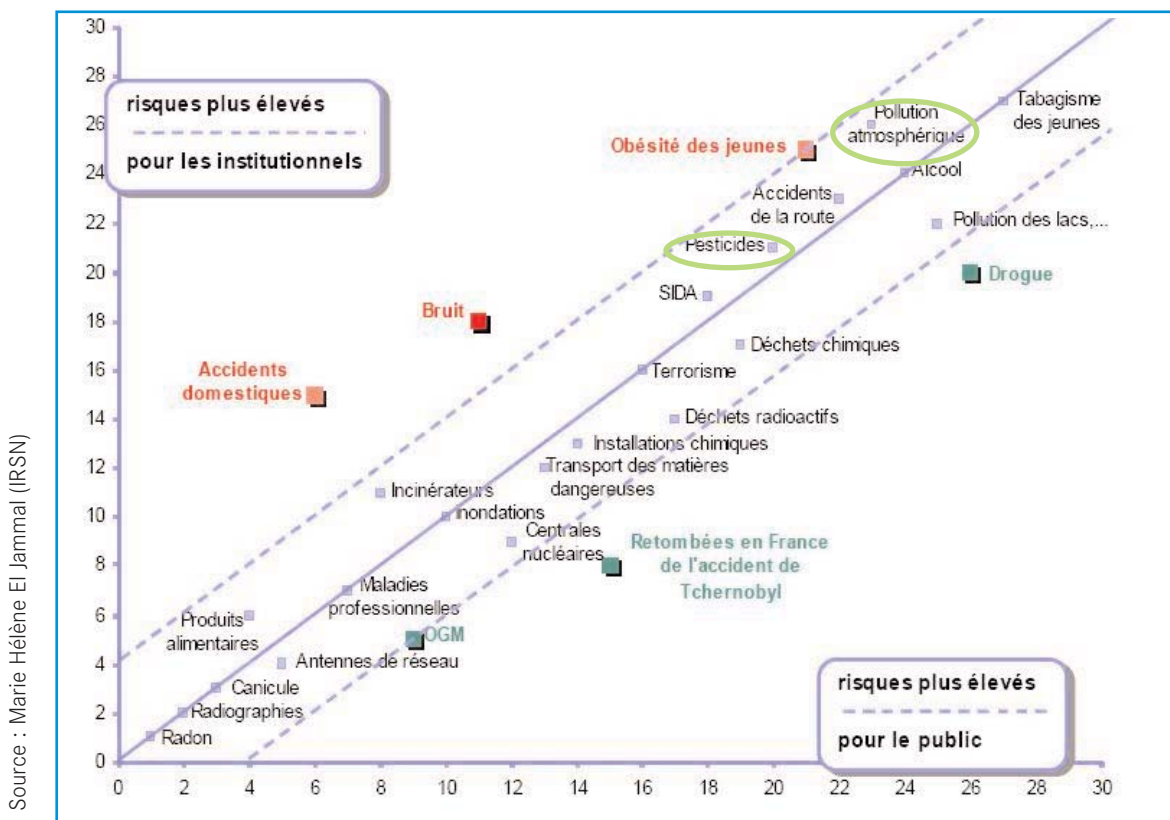


Figure 8 Experts-public : les différences de perception face au risque. (Indices de perception des risques )

## 1. 4 - DES ANALYSES POUR RÉPONDRE AUX PRÉOCCUPATIONS SANITAIRES ET ENVIRONNEMENTALES

La mesure des pesticides dans l'air contribue à une meilleure connaissance de la contamination de l'air. Elle permet de rassembler les informations nécessaires sur les distributions spatiales et temporelles des produits phytopharmaceutiques dans l'air. Les interprétations de ces campagnes doivent permettre de comparer les stratégies de mesure et de cibler le développement des capacités analytiques des laboratoires (limites de quantification, répétabilité des mesures).

Une meilleure connaissance des niveaux moyens de concentration dans les différents milieux, permettra d'affiner les connaissances des expositions de la population et l'environnement et donc d'évaluer les impacts de ces micro-polluants sur l'homme et les écosystèmes.

## 2 - Stratégies de choix des molécules à suivre en priorité dans l'atmosphère

### 2. 1 - L'ORGANISATION DU SUIVI DES PESTICIDES

A l'heure actuelle, il n'existe pas de disposition réglementaire française ou européenne fixant des limites de qualité pour les pesticides dans l'air ni d'obligation de contrôle de ceux-ci.

Cependant, 14 AASQA ont entrepris de réaliser des campagnes de mesure exploratoires sur les pesticides dans l'air ambiant en France Métropolitaine, généralement, sur la base d'initiatives régionales. Ces mesures visent à compléter les données scientifiques disponibles pour mieux comprendre la dispersion des polluants d'origine agricole dans l'atmosphère.

### 2. 2 - LE MODE DE SÉLECTION DES PESTICIDES À RECHERCHER

Compte tenu du nombre élevé de produits phytopharmaceutiques autorisés et utilisés (environ 400 substances actives utilisées recensées par la Direction générale de l'alimentation (DGAL) entrant dans la composition de près de 6 000 spécialités commerciales) et du coût des analyses, les AASQA ont besoin de cibler les produits phytopharmaceutiques à rechercher dans l'air. En moyenne, 46 molécules sont recherchées par campagne de prélèvement.



La réflexion sur le choix des substances actives à rechercher dans l'air intègre des données d'usage, des données physico-chimiques, des données toxicologiques, des critères de faisabilité.

**Les données d'usage** sont récoltées à partir des informations disponibles sur les quantités utilisées ou vendues à l'échelle du pays, de la région ou du canton, des périodes d'application, du type de culture majoritaire de la zone étudiée et du mode d'application. Il n'existe actuellement pas de base de données nationale qui référence l'ensemble des volumes de vente ou d'utilisation.

**Des données de vente** sont toutefois disponibles auprès de l'Union des Industries de Protection des Plantes (UIPP) dans certaines conditions de confidentialité liées au respect des règles de concurrence régissant la profession. Suite à la mise en place de la loi sur l'eau du 30 décembre 2006, les Agences de l'Eau et les pouvoirs publics disposeront des données de ventes des produits phytosanitaires à partir de 2008. Ces données seront fournies par les distributeurs (tels que les coopératives agricoles, les magasins de jardinage...).

Des données d'usage peuvent provenir des Services Régionaux de la Protection des Végétaux (SRPV) qui disposent d'informations à l'échelle régionale réactualisées tous les 4-5 ans et d'autres organismes tels que les Fédérations Régionales de Défense contre les Organismes Nuisibles (FREDON), syndicat professionnel à vocation technique, les Groupes Régionaux d'Action contre la Pollution par les Produits phytosanitaires commissions pluridisciplinaires chargées d'acquérir des connaissances et des moyens de lutte contre la pollution par les pesticides (GRAPP) les Chambres d'Agriculture, les Directions Départementales des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS).

Notons aussi que l'utilisation des produits phytopharmaceutiques en zone non agricole (usages domestiques, urbains, de voirie...) est généralement peu considérée dans l'élaboration des listes de produits à chercher, en raison du manque de données notamment quantitatives dans ce domaine.

**Des données physico-chimiques** du composé étudié jouent un rôle essentiel pour déterminer la capacité de celui-ci à contaminer l'atmosphère. La pression de vapeur et la constante de Henry sont ainsi des indicateurs très utilisés pour apprécier le phénomène de volatilisation : près de la moitié des AASQA indiquent intégrer un de ces deux paramètres pour le choix des molécules à suivre.

**Des données toxicologiques** comme critère de danger. La Dose Journalière Admissible (DJA) est prise en compte et constitue en effet le seul indice de toxicité à long terme disponible pour la plupart des substances ; par ailleurs, en vue de s'assurer du risque pour les opérateurs, une concentration acceptable pour l'opérateur (AOEL) est systématiquement calculée par les fabricants, puis confirmée ou modifiée par les instances d'homologation.

Enfin, le coût des analyses et la faisabilité analytique sont également deux critères influençant le choix des composés à rechercher dans l'air. Ainsi, près de 70 % des AASQA indiquent que les critères de faisabilité de prélèvement ou d'analyse interviennent dans le choix des molécules à suivre. Des soucis de répétabilité, de limites de quantification ou l'obligation de recourir à des conditions spécifiques de collecte, d'extraction et/ou d'analyse, comme par



exemple pour le glyphosate, restreignent en effet le choix des molécules recherchées.

La capacité analytique des laboratoires d'analyse en nombre de pesticides pouvant être recherchés dans les prélèvements atmosphériques s'est accrue dans les cinq dernières années. Les méthodes multi-résidus se sont largement étendues et c'est aujourd'hui entre 40 et 100 produits différents qui peuvent être recherchés par une seule méthode d'analyse.

Afin de favoriser et d'optimiser le choix des produits phytopharmaceutiques à rechercher dans l'air, une méthode de hiérarchisation « **Sph'Air** » a été mise au point par un groupe de travail piloté par l'INERIS. Cet outil permet de hiérarchiser les substances actives à mesurer prioritairement dans l'air. Sph'Air est construit sur le même principe que l'outil basé sur la méthode Système d'Intégration des Risques par Interaction des Scores (SIRIS) développée pour classer les produits phytopharmaceutiques à mesurer dans les ressources en eau depuis la fin des années 1990.

### Les bases de données sur les produits

Les informations relatives aux données physico-chimiques et toxicologiques des produits phytopharmaceutiques peuvent être trouvées dans les bases de données suivantes :

▣ **Agritox** : Cette base de données pour 413 substances a été créée par le département de Phytopharmacie et d'Ecotoxicologie de l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) et est actuellement gérée par la Direction du Végétal et de l'Environnement (DIVE) de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (AFSSA), nouvelle unité en charge de l'évaluation et de la mise sur le marché des produits phytosanitaires. 80 % des informations proviennent des dossiers de demande d'autorisation de mise sur le marché déposés par les industriels au niveau français et européen et 20 % sont de source bibliographique. Les mises à jour ont lieu après chaque séance de la commission d'étude de la toxicité des produits antiparasitaires à usage agricole.

▣ **E-Phy** : Catalogue des produits phytopharmaceutiques et de leurs usages, des matières fertilisantes et des supports de culture homologués en France (environ 2000 entrées tout produits confondus). Cette base de données est gérée par le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche.

▣ **Pesticides Manual** : Régulièrement réactualisés, le livre et le CD-Rom, édités par British Crop Protection Council (BCPC) répertorient les informations sur les produits phytopharmaceutiques de façon indépendante (858 substances actives pour le livre).

▣ **L'index phytosanitaire** de l'Association de Coordination Technique Agricole (ACTA) réactualisé chaque année, cet index reprend la plupart des substances actives homologuées et commercialisées en France (près de 550 substances actives dans son édition de novembre 2006).

L'application de cette méthode permet d'obtenir une liste nationale directement utilisable. De même, la souplesse de l'outil Sph'Air permet également une application régionale reflétant notamment les activités agricoles locales à travers les quantités de produits phytopharmaceutiques vendues.

Notons qu'une réflexion sur l'utilisation d'une liste de base des substances à rechercher commune à l'ensemble des AASQA est en cours, notamment afin de faciliter la comparaison et la communication des différents résultats.

## METHODE SPH'AIR

Cet outil, résultant d'un travail collectif, est détaillé dans le rapport INERIS 2005 « Détermination des produits phytopharmaceutiques à surveiller dans le compartiment aérien : approche par hiérarchisation ». La hiérarchisation repose sur 4 critères : Quantité (Q), Résidence (R), Source pour l'atmosphère (S) et Toxicologie (T). Le critère Quantité utilisé correspond au tonnage de substance active vendu dans la région étudiée. Le temps de Résidence (R) s'appuie, pour partie, sur des modèles spécifiques relativement simples. Le critère Source pour l'atmosphère est déterminé à partir de la répartition moyenne post-application du composé entre le sol, l'air et la plante. Il est estimé en fonction du type de matériel de traitement utilisé, de la culture considérée et de la fréquence d'usage (note semi-quantitative attribuée par un groupe de travail). Le critère Toxicologique s'appuie sur la DJA (Dose Journalière Admissible), seul indice de toxicité à long terme disponible pour la plupart des substances.

L'ensemble des critères a été défini pour être exhaustif, minimal et non redondant. La méthode de hiérarchisation des données correspondantes aux quatre critères est réalisée avec le logiciel Electre III/IV. Celui-ci, développé par le laboratoire LAMSADE de l'Université Paris Dauphine repose sur une méthode d'aide à la décision utilisant des critères quantitatifs ou qualitatifs comparés par des relations de surclassement (Roy, 1985). Déclinable à l'échelle régionale, actualisable et évolutif, l'outil Sph'Air permet de définir les produits phytopharmaceutiques à surveiller de façon prioritaire dans le compartiment aérien. L'outil utilise une base de données rassemblant environ 400 molécules couvrant la majorité des substances actives à usage agricole, utilisées en France en 2005.

Comme tout modèle, la fiabilité des résultats de cet outil est corrélée à l'incertitude existant sur les données d'entrée. Des améliorations de l'outil sont actuellement envisagées, en particulier pour prendre en compte l'impact des produits phytopharmaceutiques sur l'environnement. L'outil a été validé en comparant ses résultats à ceux des campagnes de mesures de la Région Centre.

## 2. 3 - REPRÉSENTATIVITÉ DES PRODUITS PHYTOPHARMACEUTIQUES RECHERCHÉS

Depuis 2001, 186 substances actives et métabolites ont été recherchés par les AASQA et 121 ont été quantifiés. Ces recherches montrent que la proportion de molécules détectées dans l'air est bien corrélée avec les substances recherchées (65 %). Il en découle que les méthodes de sélection des substances utilisées par les AASQA et celle que propose Sph'Air sont plutôt bien adaptées à la problématique.

Les 12 substances actives les plus recherchées par les AASQA sont pour la période 2001-2006 :

Molécule recherchée	Fréquence de recherche	Usage	Situation réglementaire	Usages principaux (actuels et/ou passés)
Alachlore	81%	Herbicide	Décision de non inscription du 18 /12/06 (retrait AMM au 18 juin 07 max)	Grandes cultures (maïs...)
Atrazine	79%	Herbicide	Interdite en France depuis le 30/09/03 (avis au J.O. du 27.11.01) et en Europe depuis le 16/03/04: commission decision of 10 March 2004, Official Journal of the European Union L 78 EN 16.3.2004 p.53). Index phytosanitaire Acta 2004 & e-phy au 22/07/2005	Grandes cultures (maïs...) / n'est plus retrouvé actuellement dans l'air depuis son interdiction
Chlorothalonil	76%	Fongicide	Directive d'inscription du 16 sept 2005	Essentiellement sur grandes cultures (blé, maïs, tournesol...), cultures légumières, un peu sur vigne
Dichlorvos		Insecticide	Non inscription au 6 juin 2007	Traitements des grains stockés
Fenpropimorphe	72%	Fongicide	Ancienne substance toujours en cours d'évaluation UE	Essentiellement sur grandes cultures (blé, orge, triticales, tournesol...)
HCH gamma = lindane	88%	Insecticide	Interdite en France depuis le 01/07/98 (avis au J.O. du 04.07.97, p. 10190) et en Europe depuis le 20/12/00 (commission decision of 20 December 2000, Official Journal of the European Union L 324 FR 21.12.2000 p.42) Index phytosanitaire Acta 2004 & e-phy au 22/07/2005 mais des usages pourraient encore persister en France.	Utilisation antérieure sur toutes cultures, notamment sur maïs (également sur blé, orge...)
Métolachlore	77%	Herbicide	Interdiction en France depuis le 31/12/03 (avis au J.O. du 18.08.02). Index phytosanitaire ACTA 2005 & e-phy au 12/12/06 A été remplacé par le s-métolachlore	Utilisation antérieure sur grandes cultures (maïs essentiellement, également soja, tournesol...)
Parathion méthyl	71%	Insecticide	Interdite en Europe depuis le 10/03/03 (commission decision of 10 March 2003, Official Journal of the European Union L 67 FR 12.3.2003 p.18) et en France depuis le 31/12/03 (J.O. 74 du 28.03.03)	Utilisation antérieure sur vergers, colza et vignes/ n'est plus retrouvé depuis son interdiction

Molécule recherchée	Fréquence de recherche	Usage	Situation réglementaire	Usages principaux (actuels et/ou passés)
Pendiméthaline	74 %	Herbicide	Directive d'inscription du 11 avril 2003	Grandes cultures (blé, maïs, tournesol...) majoritairement
Terbuthylazine	75 %	Herbicide	Interdiction en France depuis le 30/09/03 (sur vigne depuis le 30/06/04) (avis au JO du 27.11.01) et en cours de révision en vue de l'inscription à l'annexe I de la directive 91/414/CEE. Index phytosanitaire Acta 2004 & e-phy au 22/07/2005	Utilisation antérieure essentiellement sur maïs. Egalement sur vergers (pommiers), vignes/ n'est plus retrouvé depuis son interdiction
Trifluraline	71 %	Herbicide	Décision de non inscription en cours de publication (décision mars 07)	Essentiellement sur colza et tournesol. Egalement sur blé, orge, triticale...
Vinchlozoline	26 %	Fongicide	Retrait au 01/01/2007	Cultures légumières et pois

Tableau 2 Liste des 12 molécules les plus recherchées par les AASQA période du 2001 - 2006

Certaines substances sont davantage recherchées que d'autres selon les cultures présentes sur la zone d'étude. Ainsi sur les zones à dominantes viticole et arboricole, certaines substances ont été plus souvent recherchées (tableau 3).

Molécule recherchée	Fréquence de recherche	Usage	Usages principaux
Captane	11%	Fongicide	Arboriculture, viticulture, grandes cultures, cultures légumières
Chlorpyrifos ethyl	67%	Insecticide	Arboriculture, viticulture, grandes cultures, cultures légumières
Cyprodinil	69%	Fongicide	Arboriculture, viticulture, grandes cultures, cultures légumières
Endosulfan	52%	Insecticide	Toutes cultures
Folpel	67%	Fongicide	Arboriculture, viticulture, grandes cultures, cultures légumières
Hexaconazole	48%	Fongicide	Arboriculture, viticulture, grandes cultures, cultures légumières
Kresoxim-methyl	66%	Fongicide	Arboriculture, viticulture, grandes cultures, cultures légumières
Phosmet	15%	Insecticide	arboriculture
Tebuconazole	61%	Fongicide	Arboriculture, viticulture, grandes cultures, cultures légumières
Tolyfluanide	12%	Fongicide	Viticulture, arboriculture et cultures légumières
<b>REMARQUE :</b> - Endosulfan : décision de non inscription du 02/12/05 avec retrait des AMM au 01/06/06, utilisation possible jusqu'au 30/05/07 - Hexaconazole : décision de non inscription du 22/11/06 - Tolyfluanide : suspension fin mai 07 de l'utilisation (malgré directive d'inscription du 17/01/06)			

Tableau 3 Liste indicative de substances actives plus spécifiquement recherchées pour les sites sous influence viticole et arboricole:

Il est cependant difficile de vérifier si les listes de produits phytopharmaceutiques choisis et mesurés donnent une image représentative de la contamination de l'air par les produits phytopharmaceutiques. En effet, les substances recherchées sont choisies à partir de critères agrégés à l'échelle de l'année et de la région (quantités utilisées) alors que la contamination dépend des périodes et des lieux de traitement ; elle est donc soumise à des variations saisonnières et locales.

Notons toutefois, que ces deux éléments peuvent être nuancés : le comportement atmosphérique des produits phytopharmaceutiques peut jouer un rôle important notamment dans le cas des molécules dont la persistance dans l'atmosphère est élevée. Ceci peut conduire à des phénomènes de transport et de contamination qui influencent les aspects temporels (détection au-delà des périodes d'épandage) et spatiaux (influence uniquement des cultures avoisinantes). Pour illustration, des campagnes de mesures annuelles ou pluriannuelles montrent que certaines molécules peuvent être détectées sur près de 90 % de la période d'échantillonnage. Ainsi la trifluraline peut être retrouvée dans l'atmosphère pendant environ 11 mois de l'année et sur des sites aux typologies contrastées, alors que d'autres molécules comme le chlorothalonil ou l'endosulfan seront présentes principalement pendant leurs périodes d'application.

Les listes de produits phytopharmaceutiques à rechercher dans l'air ambiant doivent donc évoluer, pour prendre en compte l'évolution des pratiques agricoles, la réglementation en matière d'homologation et surtout l'expérience et les connaissances accumulées au cours des campagnes passées. Par exemple, un retour d'expérience sur les cinq années de mesures réalisées par les AASQA montre que des composés comme l'atrazine, le parathion-éthyl et le parathion-méthyl ne sont pratiquement plus retrouvés dans l'atmosphère depuis leur interdiction en 2003. A l'inverse, le lindane interdit depuis 1998, mais bien connu pour sa forte persistance, est encore très fréquemment décelé dans l'atmosphère.

Enfin, la mise en place de liste(s) de pesticides à rechercher dans l'atmosphère permet de cibler les efforts des laboratoires d'analyse pour développer la métrologie de nouvelles substances actives. Ces listes représentent alors une réelle aide au développement analytique. D'un point de vue économique, le coût de l'analyse dépend généralement du nombre de filières analytiques utilisées plutôt que du nombre de composés recherchés. Toutefois, il peut devenir utile de supprimer l'analyse de composés jamais détectés dans l'atmosphère après plusieurs campagnes de mesures, afin de diminuer l'importance des bases de données et de faciliter l'interprétation des mesures.

Ces démarches doivent forcément être accompagnées par l'utilisation d'une méthode de prélèvement et d'analyse performante qui permet la recherche efficace d'un grand panel de substances actives.

## 3 - Les techniques de prélèvements et d'analyses

Le principe retenu pour l'échantillonnage des pesticides dans l'air repose sur le passage de l'air sur des cartouches spécifiques contenant un filtre en quartz et une mousse en polyuréthane, qui vont retenir respectivement les composés présents en phase particulaire (c'est-à-dire fixés sur des poussières) et en phase gazeuse. L'air est prélevé au moyen d'une pompe à débit constant et connu. Les micro-polluants sont ensuite décrochés du support par un solvant et analysés quantitativement généralement par chromatographie en phase gazeuse (CPG) à l'aide de détecteurs spécifiques (N, P, détecteur à capture d'électrons, détecteur de masse) ou liquide sous haute pression (CLHP) couplé à un spectromètre de masse, à un détecteur à barrettes de diodes ou à fluorescence.

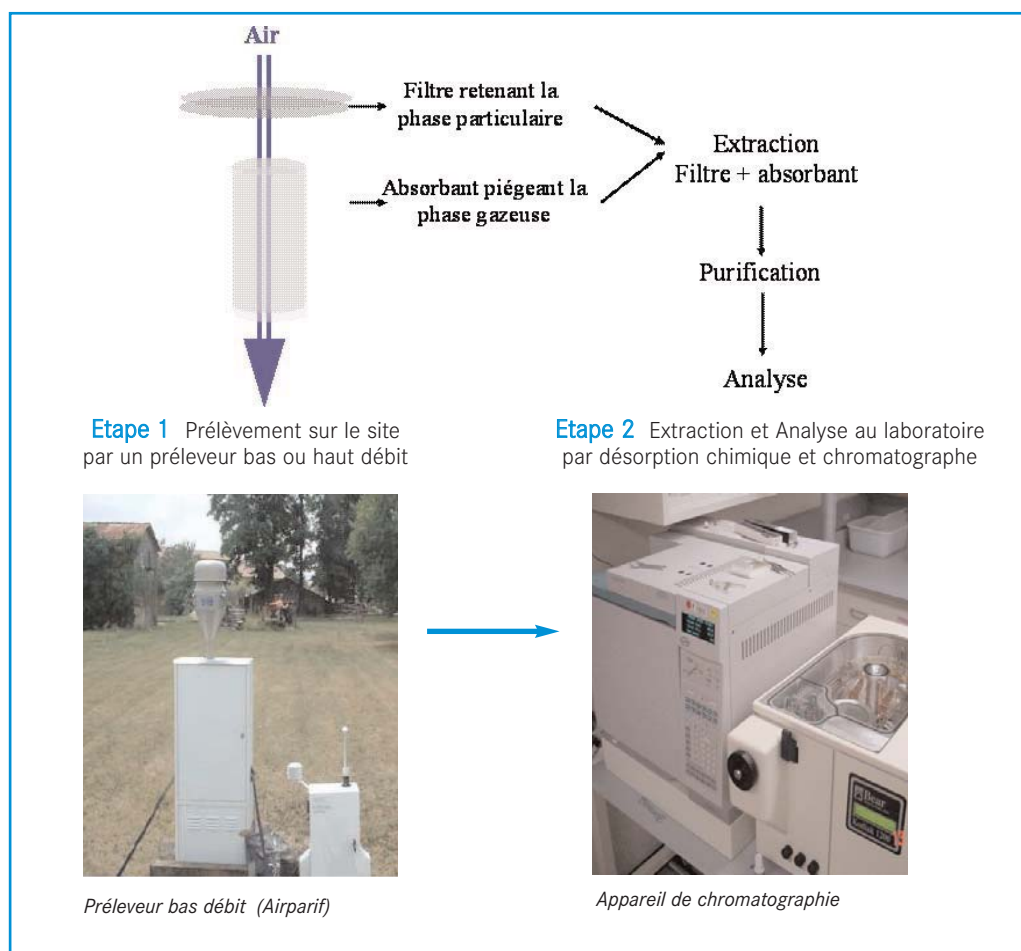


Figure 9 Prélèvement - schéma de principe

Sur la base des travaux du groupe d'apprentissage sur la mesure des pesticides dans l'air créé en 2002, des protocoles de prélèvement et d'analyse, inspirés des méthodes américaines (EPA TO-4 et EPA TO-10), ont été évalués et proposés à normalisation. Ainsi les normes AFNOR NF X 43-058 et 43-059 ont été récemment validées.



### 3. 1 - MÉTHODOLOGIE DE PRÉLÈVEMENT

#### ◆ Principe

La méthode de prélèvement retenue pour le dosage collectif des pesticides est applicable aux prélèvements dans l'air ambiant pour une étendue de concentration de l'ordre de 0,1 à 100 ng.m<sup>-3</sup>.

L'air est aspiré à un débit connu au travers d'un filtre à particules, qui retient les composés fixés sur les poussières puis d'un matériau en mousse de polyuréthane (PUF). Ces deux éléments peuvent être regroupés dans un module de prélèvement commun.

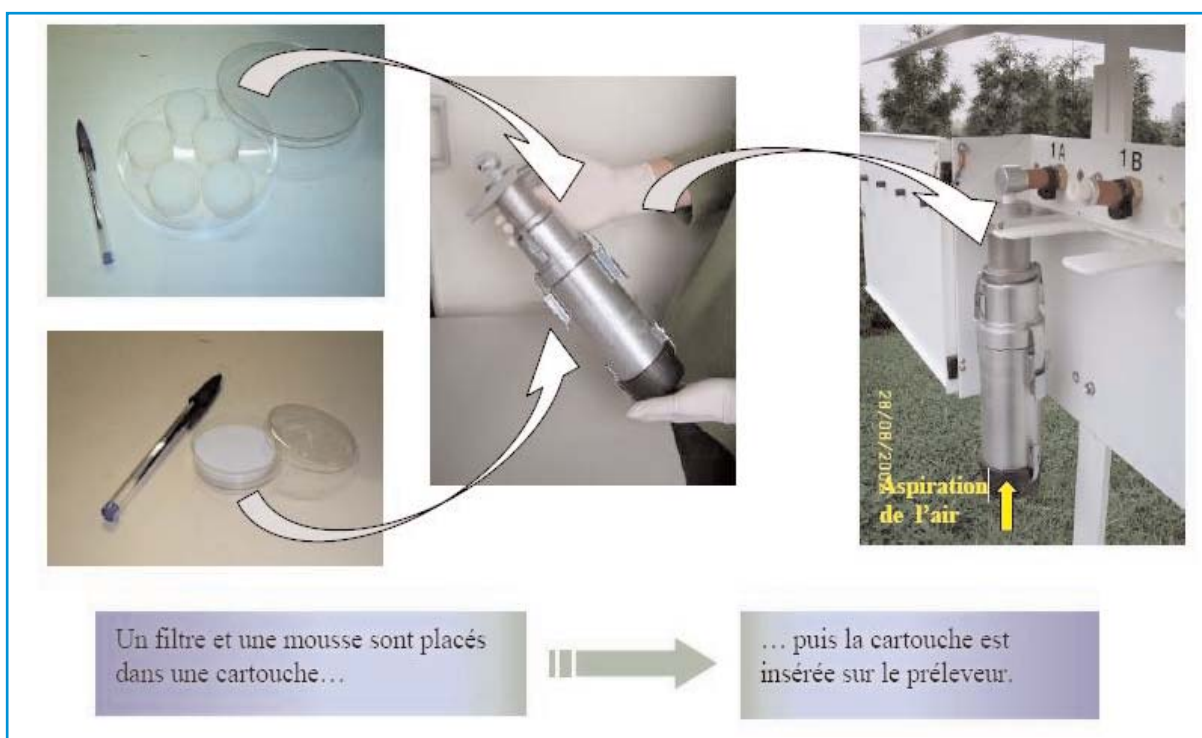


Figure 10 Mise en place des supports de prélèvement sur le préleveur.  
(source Atmo Nord-Pas-de-Calais)

La préparation et le conditionnement des modules de prélèvement avant leur utilisation sur le terrain sont réalisés en laboratoire.

#### ◆ Durée du prélèvement – choix du débit de prélèvement

Le choix du couple durée/débit de prélèvement conditionne la gamme des concentrations accessibles par la méthode.

Les préleveurs de matières particulaires les plus souvent employés fonctionnent à deux niveaux possibles de débit, le bas débit « LVS » et le haut débit « HVS », dont le choix est aussi conditionné par la durée souhaitée d'une période de surveillance.

Les ordres de grandeur de ces débits sont les suivants :

▶ Appareil LVS : de l'ordre de 0,5 à 3 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> (fig. 11a) utilisé habituellement pour des prélèvements hebdomadaires.



Un appareil de prélèvement à bas débit comprend un support de filtre capable de recevoir un filtre circulaire soutenu par un tamis en acier inoxydable, et un cylindre capable de recevoir une cartouche absorbante. Le Partisol 2000® a été choisi pour des raisons de logistique. Il existe une adaptation du Partisol+ avec, en aval du système de filtres, un module en acier amovible, pouvant contenir 4 mousses cylindriques de 40 x 20 mm soutenues par un tamis en acier (fig. 11b).



Figure 11a  
Préleveur LVS (Ecomesure)

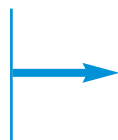


Figure 11b  
Détail du module

► Appareil HVS : de l'ordre de  $15 \text{ à } 30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  (fig. 12a), utilisés habituellement pour des prélèvements journaliers.

Le Digital DA80 est un appareil haut débit qui peut recevoir simultanément un filtre en microfibre de quartz et une mousse en polyuréthane. Un support recevant un cylindre de verre (ou nacelle), destiné à recevoir mousses ou résines en grande quantité, y a été ajouté. (fig. 12b) :



Figure 12a  
Préleveur HVS (Megatech)

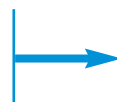


Figure 12b  
Détail du module

### ◆ **Transport et stockage des échantillons**

Avant prélèvement, les supports sont conditionnés par les laboratoires afin d'éliminer toute trace résiduelle de pesticides avant exposition. Les cartouches sont stockées dans des emballages étanches et protégés de la lumière et le prélèvement doit être réalisé dans les quinze jours qui suivent l'assemblage du module.

Après le prélèvement, la cartouche est récupérée, protégée dans un emballage hermétique et à l'abri de la lumière, et placée dans une glacière dont la température ne doit pas excéder 4°C pour le transport jusqu'au laboratoire. Les échantillons sont ensuite stockés au laboratoire à -18°C, extraits et quantifiés dans un délai de 7 jours.

### ◆ **Validation de la méthode de l'analyse**

L'exploitation du résultat émis par le laboratoire d'analyse nécessite la connaissance des points suivants :

- ⇒ la valeur du « blanc laboratoire », qui indique le cas échéant une contamination potentielle des supports de prélèvements lors de leur préparation au laboratoire ;
- ⇒ la valeur du « blanc terrain », qui indique le cas échéant une contamination potentielle des supports de prélèvements lors de leur manipulation ou leur stockage pendant la campagne de mesures ;
- ⇒ le rendement d'extraction du pesticide : défini pour chacune des substances actives, il indique le pourcentage de la molécule que la technique d'extraction permet de décrocher du support de prélèvement ;
- ⇒ la masse de pesticide retenue sur le support lors du prélèvement, que l'on peut ensuite convertir en concentration dans l'atmosphère à partir des informations sur les volumes prélevés sur le terrain (durée du prélèvement et débit et éventuellement températures et pressions moyennes) ;
- ⇒ les limites de détection et de quantification de la méthode qui correspondent respectivement à la masse de substances actives que la technique de prélèvement et d'analyse permet de détecter ou de quantifier.

## 3. 2 - L'ANALYSE

Après prélèvement d'un volume d'air défini, le filtre à particules et la mousse subissent une extraction. Suite à cette opération, les produits phytopharmaceutiques en solution dans un solvant organique sont concentrés afin d'atteindre les limites de quantification des méthodes analytiques.

Cet extrait est ensuite analysé par chromatographie en phase gazeuse et/ou liquide.

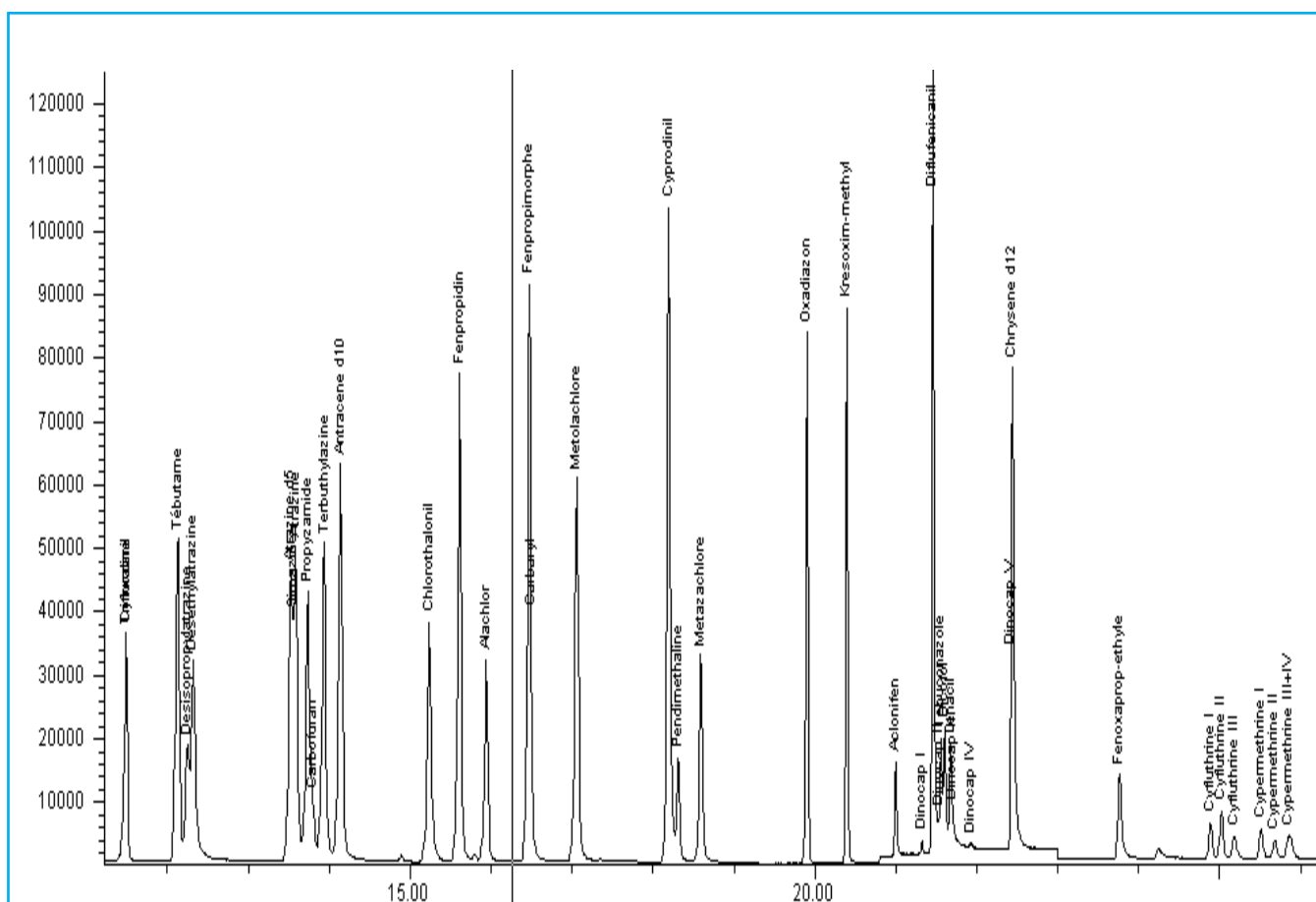


Figure 13 Exemple de chromatogramme type obtenu en analyse par GC/MSD

La technique permet d'identifier et de quantifier chacune des substances actives présentes dans l'extrait à partir d'un échantillon de référence de composition et de concentration connue.

### 3. 3 - COMPARAISON ANALYTIQUE ENTRE LABORATOIRES

La diversité des pesticides utilisés, leur présence à la fois en phase vapeur ou adsorbés sur une phase solide, leurs concentrations très variables dans l'atmosphère, l'apparition de nouvelles substances et les limites de détection et de quantification de l'analyse conduisent à mener quasiment en permanence des travaux permettant l'amélioration de l'échantillonnage et de l'analyse de ces micro-polluants.

Dans le cadre du LCSQA, en vue du recensement des méthodes analytiques mises en œuvre et dans le but d'observer les écarts ou équivalences des résultats, l'INERIS a mené deux campagnes d'intercomparaison analytique auprès de laboratoires volontaires en 2003 et 2005.

Les exercices d'inter-comparaison de laboratoires ont pour but de vérifier que les méthodologies utilisées leur permettent d'obtenir des résultats cohérents. Une douzaine de laboratoires volontaires ont participé à ces exercices. Ils sont répartis sur l'ensemble du territoire national et sont susceptibles de réaliser les analyses de pesticides présents dans les prélèvements d'air ambiant pour les AASQA.

L'expérimentation a porté sur dix échantillons de mousse dopés à différentes concentrations et sur l'analyse de 20 composés. Les laboratoires étaient informés de la liste des molécules à rechercher, ainsi que des gammes de concentrations. Parmi cette liste, chaque laboratoire a analysé les composés pour lesquels il possédait un savoir-faire, ce dernier ne couvrant pas forcément le domaine de l'air.

Globalement, il ressort que l'ensemble des substances sélectionnées au cours de ces exercices est analysé de manière correcte et qu'il n'apparaît pas nécessaire de revoir les procédures d'analyse mises en œuvre. Quelques laboratoires se distinguent par leurs très bons résultats, d'autres présentent des limites de détection insuffisantes, d'autres encore montrent des difficultés analytiques pour quelques composés. La présence d'impuretés atmosphériques a semblé gêner quelques laboratoires. On notera que certains laboratoires n'obtiennent des résultats que sur un nombre restreint de composés. Pour ces laboratoires, il conviendrait d'élargir leurs possibilités d'analyses, compte-tenu du nombre important de molécules généralement recherchées par les AASQA. Enfin, une amélioration globale de la qualité des résultats entre 2003 et 2005 est observée pour les laboratoires ayant participé.

### 3. 4 - TECHNIQUES ALTERNATIVES DE PRÉLÈVEMENTS POUR ÉVALUER LA CONTAMINATION DE L'ATMOSPHÈRE PAR LES PESTICIDES

Les préleveurs couramment employés pour la collecte de ce genre de composés dans l'atmosphère sont ceux décrits ci-dessus, avec des systèmes de pompage d'air à bas ou haut volume. Ils permettent de collecter les polluants en phases particulaire et gazeuse et de contrôler les paramètres de prélèvement.

Cependant, compte tenu du coût d'installation, de logistique et des difficultés d'installation des préleveurs, des méthodes alternatives originales et innovantes permettant le prélèvement et l'analyse de pesticides dans l'atmosphère ont été étudiées.



Figure 14 Tube passif utilisé pour la mesure du benzène

#### ◆ L'échantillonnage passif

L'échantillonnage passif, déjà utilisé en routine par les AASQA pour certains composés organiques volatils (COVs) comme les BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylènes), le formaldéhyde et autres polluants primaires ( $\text{NO}_x$ , ammoniac  $\text{NH}_3$ , ...) constituerait une méthode alternative simple, facile d'utilisation et peu onéreuse.

**L'échantillonnage passif** est réalisé à l'aide de tubes de diffusion.

Toute technique de prélèvement peut être qualifiée de « passive » dès lors qu'un flux non forcé de composés s'établit entre le milieu échantillonné et le support d'échantillonnage. Ce flux est induit par une différence de concentrations entre deux milieux, un compartiment qualifié de contaminé (celui que l'on cherche à décrire) et un compartiment non-contaminé (le support d'échantillonnage). Ces techniques sont communément appelées, « échantillonneur diffusif », « capteur passif » ou encore « techniques d'échantillonnages intégratives » selon les chercheurs. Ce flux perdure jusqu'à atteindre un équilibre entre les deux milieux, ou bien jusqu'à ce que l'échantillonnage soit interrompu par l'utilisateur.

Si la méthode « active » permet de rechercher un grand nombre de composés en un point de prélèvement, la méthode passive se concentre sur quelques composés (surtout gazeux) mais présente l'avantage de réaliser un nombre important de prélèvements (à coût égal). Ils sont appréciés pour étudier les variations de concentrations atmosphériques.

Le prélèvement est réalisé sur des périodes longues, les concentrations de produits pesticides dans l'air étant généralement faibles, et intègre les variations de concentrations. La durée d'exposition ainsi que la température ambiante sont prises en considération pour la détermination des concentrations en pesticides.

Si le concept et la théorie concernant les capteurs passifs sont maintenant bien maîtrisés, il reste beaucoup de travail à faire, tant fondamental qu'appliqué, en particulier sur les processus d'extraction et de purification après l'échantillonnage et sur la calibration de ces capteurs passifs avant de les appliquer à l'échantillonnage de composés organiques polaires comme peuvent l'être certains pesticides. En effet, les recherches actuelles ne se sont intéressées jusqu'à maintenant qu'aux molécules lipophiles plus faciles à extraire et analyser. Ainsi des développements récents ont permis d'utiliser la technique pour un suivi des variations spatio-temporelles de pesticides organochlorés (OCs) au Royaume Uni, dans les pays scandinaves et en Amérique du nord.

### ◆ Mesures des niveaux de pesticides dans les eaux de pluie

Parallèlement aux mesures des pesticides dans l'air ambiant, plusieurs équipes (de recherche ou de certaines AASQA) ont mesuré les pesticides dans les eaux de pluie à l'aide de pluviocollecteurs.

Les concentrations observées dans les eaux de pluie traduisent le lessivage de la colonne d'air au-dessus du préleveur, c'est-à-dire l'entraînement par les précipitations des pesticides sous formes d'aérosols ou de gaz mais aussi la contamination initiale de la gouttelette de nuage à l'origine de la pluie.



Figure 15 Pluviocollecteur

Ainsi l'analyse des eaux de pluies permet d'apprécier à la fois les niveaux de contamination des moyennes et basses couches de l'atmosphère (lessivage) et les phénomènes de transport à moyenne et longue distances (niveau initial de contamination de la gouttelette de nuage).

La collecte des précipitations est simple et l'on dispose aujourd'hui de techniques d'analyses extrêmement fines pour rechercher et quantifier un grand nombre de composés à des concentrations très faibles de l'ordre de quelques nanogrammes par litre (un milliardième de gramme).

Néanmoins, il faut encore décrire avec précision les liens qui existent entre les niveaux de concentrations en pesticides dans les pluies et



les niveaux de concentration des pesticides dans le compartiment aérien. C'est à ce prix que l'on pourra faire des eaux de pluie un indicateur pertinent et fiable de la contamination atmosphérique par ces substances. Cette méthode nécessite une pluviométrie régulière sur l'année, ce qui est rarement vérifié. Des extrapolations, tenant compte des hauteurs d'eaux précipitées permettent néanmoins de corriger partiellement cette difficulté.

## ◆ Bioindicateurs

Moins coûteuse, facile à installer, à entretenir, avec un grand nombre d'espèces susceptibles d'être des instruments utiles à cette technique, la biosurveillance pourrait constituer une approche complémentaire d'évaluation de la contamination de l'atmosphère par les pesticides.

Parmi les études réalisées, ATMO Poitou-Charentes (2002) mentionne les difficultés analytiques que représente le fait de mesurer des quantités infimes de pesticides dans une matrice organique végétale nécessitant de développer des techniques d'analyse performantes utilisant une étape de purification poussée. Des réflexions sont en cours pour finaliser les protocoles d'analyse pour une estimation plus précise des limites de détection et de la répétabilité de la mesure et une meilleure évaluation de la stabilité des pesticides dans les mousses végétales.



Figure 16 Tapis de *Scleropodium purum*  
(Source Atmo Poitou- Charentes)

**La biosurveillance** désigne une surveillance biologique par des bio-indicateurs ou des bioaccumulateurs. Un grand nombre d'organismes vivants (bactéries, animaux et végétaux) des milieux terrestres et aquatiques peuvent être utilisés pour la bioindication. Cette méthode ne permet pas de faire des mesures précises des concentrations des polluants dans l'air mais seulement de caractériser des milieux par leur niveau de pollution (Charollais S., 2004).

La biosurveillance peut être passive ou active. Dans le premier cas, les végétaux utilisés sont déjà présents sur le terrain et peuvent ainsi être récoltés ou observés directement ; dans le second, les végétaux sont issus de cultures standardisées ou de sites supposés indemnes de toute pollution et sont implantés de manière artificielle sur différents sites afin d'effectuer des mesures de pollution durant une période donnée.

Pour le biomonitoring passif, les études ont été réalisées généralement sur *Scleropodium purum*, une Bryophyte (mousse) bien répartie sur le territoire, qui présente des particularités anatomiques et des caractéristiques physiologiques particulièrement adaptées à l'étude des polluants atmosphériques. Cependant, seulement 3 molécules ont été détectées sur les 22 recherchées par Charollais S. (2004) (parathion-méthyl, alachlore, lindane) et 4 sur les 26 molécules recherchées par ATMO Poitou-Charentes (2002) (atrazine, cyprodinil, fenpropimorphe, métolachlore).



## 4 - Stratégies d'échantillonnage spatiales et temporelles

Aujourd'hui, la méthodologie de prélèvement et de mesure, élaborée avec les normes NF 43-058 et 43-059, permet d'établir des procédures d'assurance et de contrôle de qualité « standards » concernant les étapes telles que l'échantillonnage par des pompes à bas ou haut débit, le transport et la conservation des échantillons et l'analyse au laboratoire.

Une étape très importante consiste à définir une stratégie d'échantillonnage qui permette d'optimiser la représentativité des mesures et de répondre aux objectifs de l'étude. Il est en effet impossible d'analyser lors d'une même campagne de prélèvement les niveaux de contamination de l'air par les pesticides pour toutes les conditions et toutes les pratiques. Dans tous les cas, se pose le problème de la stratégie d'échantillonnage en terme de « comment atteindre un niveau de connaissance suffisant, par rapport à des objectifs d'étude, avec un minimum de données; quels choix effectuer pour planifier les études (quels sites, où, quand, à quel sujet, pourquoi) ? »

Parler de stratégie d'échantillonnage signifie aussi de prendre en compte des contraintes financières ou de délais, de décider du nombre d'échantillons nécessaires pour atteindre les objectifs de l'étude, de pouvoir programmer les phases successives d'échantillonnage pour mieux lever les incertitudes ou encore de pouvoir intégrer l'ensemble des données existantes pour décider du nombre et de l'emplacement d'échantillons complémentaires. Les questions suivantes sur les points de mesure permettent de faire une première analyse qualitative du dispositif déployé :

- Quelle est la représentativité des lieux de mesures ? ⇨ Stratégie d'échantillonnage spatiale.
- La fréquence des analyses est-elle adaptée ? ⇨ Stratégie d'échantillonnage temporelle.
- Quelle est la pérennité de ces analyses et leurs qualités ? ⇨ Est-ce que toutes procédures appliquées en suivant les normes NF 43-058 et 43-059 ont fait l'objet d'attentions suffisantes en matière d'assurance qualité ?

### 4.1 - STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE OBSERVÉE LORS DES CAMPAGNES DE MESURES 2002-2005

Pour la période 2002-2005, un recensement des études réalisées par les AASQA sur les mesures de pesticides dans l'air ambiant a été engagé. 71 041 données de niveaux de concentration dans l'air ont été rassemblées à partir des rapports techniques, des études

ou des résultats bruts transmises par les AASQA. Ces données permettent de comparer les résultats obtenus en fonction des objectifs des travaux réalisés, de la méthodologie mise en œuvre et des différentes stratégies d'échantillonnage et/ou de prélèvement.

## 4. 2 - STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE SPATIALE

Différentes recommandations pour l'emplacement des préleveurs et la description de plan d'échantillonnage existent, résultant essentiellement de manuels ou de guides généralistes sur les mesures de qualité d'air ou sur l'échantillonnage sur le terrain. Ceux-ci constituent des bases applicables pour l'analyse des niveaux de contamination de l'atmosphère par les pesticides.

L'échantillonnage environnemental étant un domaine complexe où la technologie évolue constamment, ces recommandations sont amenées à évoluer afin de s'adapter aux situations particulières, aux changements apportés par la réglementation, les méthodes et les pratiques normalisées au fur et à mesure qu'elles évoluent.

### ◆ Influence de la micro et macro-implantation du préleveur

#### ▶ MICRO-IMPLANTATION DU PRÉLEVEUR

Au niveau de la micro-implantation, il est nécessaire de s'assurer que le préleveur se trouve, sur une zone dégagée, à une distance minimale de 2 mètres de tout obstacle, avec une bonne circulation de l'air au niveau de la tête de prélèvement.

Ainsi l'**ADEME** recommande de le placer à une hauteur de prélèvement entre 1,50 m et 15 m, à une distance d'au moins 10 m entre le point de prélèvement et les arbres. Si un bâtiment est proche d'un préleveur, le préleveur doit être à une distance supérieure ou égale à deux fois la hauteur entre le haut du préleveur et le haut de l'obstacle.

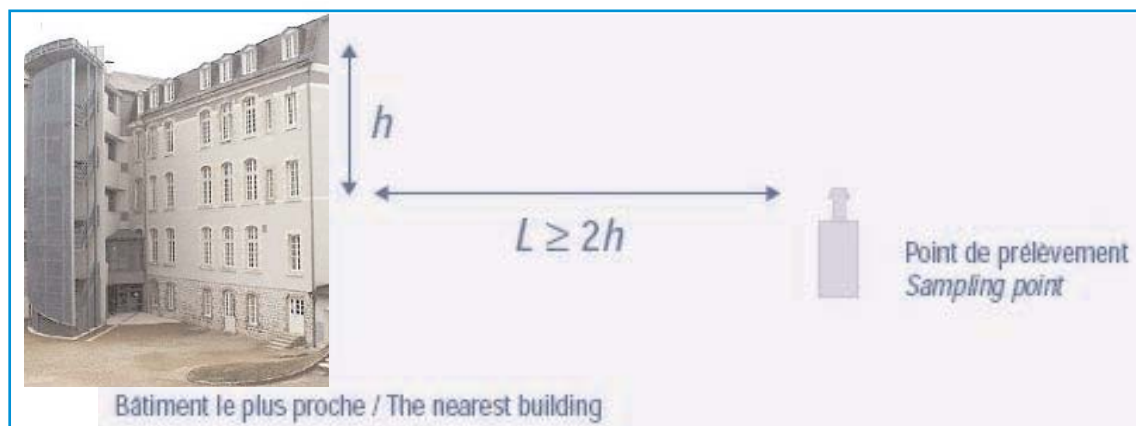


Figure 17 Positionnement du préleveur par rapport à un obstacle. Source ADEME

L'ADEME recommande également d'éviter les lieux d'implantation présentant des ruptures de pente ou en bordure (à moins de 10 m) de cours d'eau, type fleuve ou rivière large. Dans le cas d'une localisation sur un toit, se placer à :

- ▶ une distance minimale de 1 m de toute structure porteuse (mur, plate-forme...) avec un dégagement de 270° libre de tout obstacle ;
- ▶ une distance minimale de 3 m de tout obstacle (murs, terrasses, parapets...) et en dehors de l'influence de sources et de sorties d'aération.

## ▶ MACRO-IMPLANTATION DU PRÉLEVEUR

Dans la description du plan d'échantillonnage, différents éléments permettent de décrire la macro-implantation des préleveurs :

- **Le schéma complet du site** avec un schéma précisant la localisation précise du préleveur, des champs éventuels, et des obstacles.
- **Les coordonnées géographiques** (par exemple : latitude, longitude), localisation sur une carte (carte topographique, photo aérienne ou carte de levé des sols), localisation à l'intérieur du bassin hydrographique, formes de relief, points du paysage, configuration de la surface).
- **Des photos** du préleveur et de l'environnement alentour.
- **Typologie « rural / urbain / périurbain ».**

### Dans le cas d'un site urbain ou périurbain

- Si le préleveur se trouve en périphérie ou en centre-ville, la taille de la ville.
- Les caractéristiques et les distances des principales cultures agricoles environnantes, les pratiques en secteurs non-agricoles.

### Dans le cas d'un site rural

- La caractérisation du milieu physique et de l'occupation des sols (nombre de cultures, étendues géographiques et superficie des cultures), l'identification des pratiques agricoles et non-agricoles (produits phytopharmaceutiques épandus, dates, fréquence et méthodes d'application), les spécificités des stations mesurées (restrictions d'applications, etc.).
- Les distances par rapport au pourtour des champs les plus proches. Dans le cas de mesures de proximité, l'agence californienne pour la protection de l'environnement recommande de se placer à une distance minimale de 20 mètres des sources de produits phytopharmaceutiques pour une étude représentative. La taille des parcelles doit être par ailleurs suffisante, avec des pratiques et des méthodes courantes d'application des produits phytopharmaceutiques.

Les points de prélèvement doivent être représentatifs du site étudié. Le choix des sites est évidemment déterminant, puisqu'on peut malencontreusement, selon le site choisi, ou bien surévaluer une pollution, ou bien la sous-estimer. Dans la mesure du possible, il est intéressant d'avoir un nombre suffisant de points de prélèvement permettant de couvrir la zone d'étude, les principaux types de milieux et de systèmes de culture (répartition spatiale des concentrations pour des sources surfaciques). Pour des raisons de coûts, il est cependant souvent nécessaire de faire un choix parmi les points de prélèvements possibles en tenant

compte des résultats d'analyse déjà existant et en focalisant le suivi de quelques points sur lesquels des concentrations significatives de substances phytosanitaires ont été décelées.

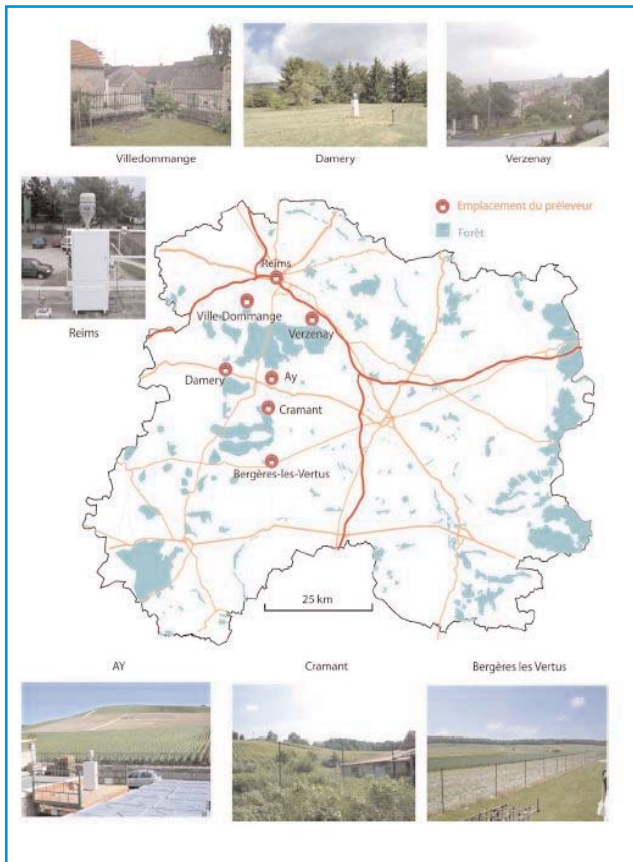


Figure 18 Exemple. Documentation des sites d'emplacement des préleveurs dans la Marne  
ATMO Champagne-Ardenne 2004-2005

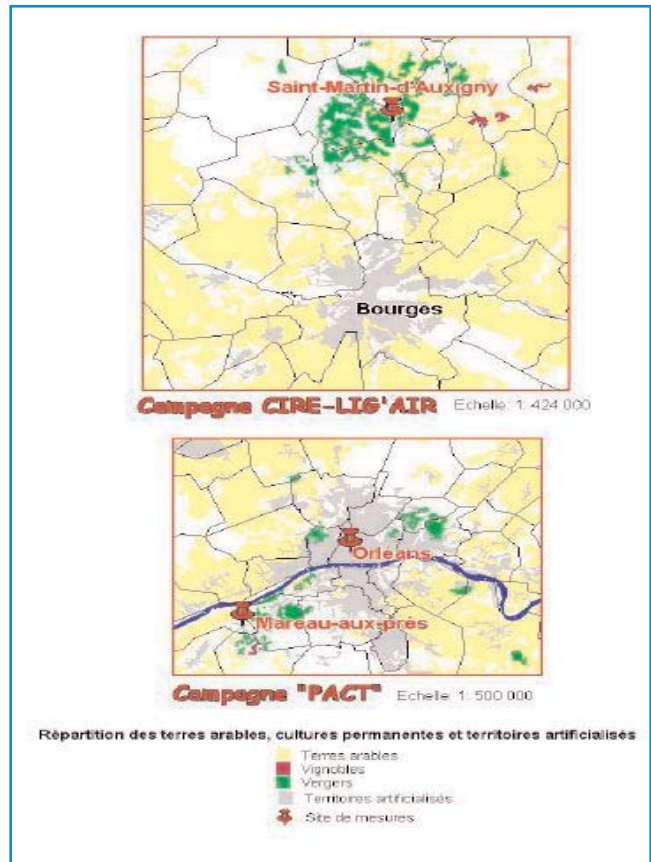


Figure 19 Exemple. Documentation des sites d'emplacement des préleveurs dans la région Centre  
Lig'Air Décembre 2003

### ▶ CONTRAINTES TECHNIQUES

En pratique, pour le choix de l'emplacement des préleveurs, il est parfois difficile de définir une distance minimale trop stricte à respecter entre le préleveur et les obstacles potentiels et les champs alentours. Il faut tenir compte également :

- ▶ de l'accessibilité et de la sécurité des préleveurs,
- ▶ des sources d'alimentations en électricité,
- ▶ des permissions pour l'accès au site,
- ▶ des vents dominants.

### ◆ Représentativité des mesures

#### ▶ EN ZONES RURALES

Pour vérifier si le site est caractéristique de la zone que l'on souhaite étudier et/ou s'il est représentatif des cultures prédominantes de la région, deux méthodes complémentaires peuvent être utilisées :

## Le recensement agricole

Administré par les services statistiques du Ministère de l'agriculture et de la pêche, le recensement qui s'est déroulé d'octobre 2000 à février 2001 en France métropolitaine et dans les départements d'outre-mer permet de définir, par région, département et canton, la structure et les moyens de production des exploitations agricoles.

Ces données permettront notamment de faire des rapprochements entre les observations du terrain et les pratiques cantonales, notamment à l'aide des données de superficies en hectares des cultures principales pour l'ensemble des exploitations (professionnelles et non professionnelles) en France métropolitaine.

## La base de données géographique CORINE Land Cover

Cette base, produite dans le cadre du programme européen de coordination de l'information sur l'environnement (CORINE) et gérée par l'Institut français de l'environnement (IFEN) pour le territoire métropolitain, est un inventaire biophysique de l'occupation des terres, réalisée à partir d'images satellitaires de l'année 2000. La surface de la plus petite unité cartographiée (seuil de description) est de 25 ha avec une interprétation visuelle de l'image satellitaire à l'aide de données complémentaires (photographies aériennes, cartes topographiques IGN et thématiques).

Ces données, disponibles à l'échelle de la région, du département, de la commune ou pour un rayon défini autour d'un point géoréférencé, permettent de mieux connaître les modes d'occupation des sols. Elles reposent sur une nomenclature standard hiérarchisée, avec 44 types d'occupation du sol.

### ► EN ZONES URBAINES

Les études en zones urbaines permettent de mettre en évidence (i) la contamination de l'air par les pesticides utilisés en zones non agricoles ; (ii) les phénomènes de transport des pesticides utilisés en zones rurales.

Il convient par conséquent de se positionner, pour une étude de l'exposition de la population générale sur des terrains bien dégagés, éloignés de tout obstacle potentiel et de faire les mêmes démarches qu'en zones rurales pour déterminer les principales caractéristiques des zones agricoles alentours. Une étude plus approfondie des vents dominants de la région et des usages non agricoles (voiries routières et ferroviaires, espaces urbains, jardins) est également fortement recommandée pour ces études.

## 4. 3 - STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE TEMPORELLE

Le taux de quantification et les valeurs mesurées des pesticides dans l'air dépendent beaucoup des stratégies de mesures temporelles (fréquences, périodes de mesures, proportion d'analyse réalisée en période de forte contamination).

Il est recommandé de renseigner l'articulation du calendrier de prélèvement autour de celui de l'utilisation des pesticides.



La période de prélèvement doit être représentative du niveau de contamination moyen et des pollutions en période de risque. Dans la mesure du possible, il est intéressant d'avoir, pour un certain nombre de points de prélèvements représentatifs de la région, des mesures en continu sur une année permettant de couvrir toutes les situations. Pour des raisons de coûts, il est souvent nécessaire de faire un choix en tenant compte des périodes d'épandage, pour effectuer un suivi des concentrations de substances phytosanitaires sur une période donnée, avant / pendant et après les dates de traitement théoriques (mesures « pollution de fond » et pics de pollution).

### ▶ LES PRATIQUES PHYTOSANITAIRES EN ZONE AGRICOLE ET NON AGRICOLE

Les calendriers d'usage des produits phytopharmaceutiques théoriques sont disponibles pour chaque région auprès des SRPV, des FREDON, des GRAPP, des conseillers agricoles des Chambres d'Agriculture, des DDASS, etc. Des avis d'experts locaux (distributeurs de matériel et de produits phytopharmaceutiques, instituts techniques agricoles, agriculteurs, communauté scientifique, et administrations) peuvent compléter ces informations.

Ces calendriers devraient permettre de renseigner pour chaque pesticide mesuré :

▶ **Les usages agricoles en pratique** : dans l'idéal, le type d'applications (incorporation, semis traités, etc.), le nombre de passages, si le produit phytopharmaceutique est appliqué à la dose maximale proposée conformément au mode d'emploi sur l'étiquette ou à doses réduites. Ces informations peuvent être difficiles à obtenir. Les fabricants et les distributeurs peuvent aussi aider à compléter ces données.

▶ **Les dates de traitement théoriques par type de cultures** : début et fin de traitement recommandés, décalages possibles, écarts en cas de conditions climatiques exceptionnelles.

### ▶ Les conditions environnementales lors des prélèvements

Il est recommandé d'enregistrer sur le site d'étude les conditions environnementales suivantes, celles-ci pouvant influencer les mécanismes d'entrée et de sortie du compartiment atmosphérique :

- précipitations (épisodes pluvieux) ;
- la direction et la force moyenne du vent ;
- la température moyenne de l'air ;
- si possible l'évapotranspiration potentielle, les heures d'ensoleillement et l'intensité du rayonnement solaire, la teneur en humidité du sol, la température moyenne du sol.

Les stations météorologiques de Météo France fournissent généralement ces données. L'influence des épisodes pluvieux et du vent a été bien observée dans les campagnes de mesures. En revanche, il est plus difficile de corréliser les concentrations mesurées avec les courbes de températures, ce qui peut s'expliquer par (i) des mesures majoritairement hebdomadaires qui moyennent les concentrations mesurées (finesse temporelle faible) ; (ii) des comportements qui varient en fonction des caractéristiques physico-chimiques des pesticides mesurés ; (iii) des biais possibles avec les températures présentes à l'intérieur du préleveur ou à l'intérieur des glacières lors des transports des échantillons jusqu'au laboratoire.



## 4. 4 - CONCLUSIONS

Les stratégies d'échantillonnage, complexes à première vue, doivent fournir les éléments nécessaires à l'évaluation des incertitudes et à la prise en compte des interactions entre les facteurs permettant d'interpréter les niveaux de concentration décelés.

Les paragraphes sur la représentativité des mesures ci-dessus visent souvent l'idéal, avec une description exhaustive des sites de mesures, des fréquences et des périodes des campagnes de prélèvement. Il faut cependant tenir compte de la disponibilité de l'information, des contraintes techniques de délais et des limitations des coûts d'analyse. En pratique, les études réalisées jusqu'en 2005 par les AASQA ont souvent utilisé des stratégies d'échantillonnage issues d'une réflexion des praticiens faisant appel à leur bon sens, à leur connaissance d'un site ainsi qu'à leur expérience.

# 5 - Bilan des mesures et éléments d'interprétation

## 5. 1 - BILAN DES CAMPAGNES DE MESURES DES PESTICIDES DANS L'AIR RÉALISÉES PAR LES AASQA DE 2002 À 2005

Une base de données a été créée en 2006 par l'Observatoire des Résidus des Pesticides à partir des informations transmises par les AASQA ou des résultats disponibles dans les rapports, afin d'obtenir un état des lieux des informations et résultats des mesures des pesticides dans l'air entre 2002 et 2005.

Cette base de données contient aujourd'hui 71 041 valeurs de concentrations atmosphériques de substances actives mesurées dans l'air avec 201 substances actives et métabolites recherchés et 127 détectés. 9 228 valeurs de cette base sont supérieures aux limites de quantification, ce qui représente 13 % des données récoltées.

Cette base permettra de comparer à l'aide d'outils statistiques les résultats obtenus en fonction des objectifs des travaux réalisés, de la méthodologie mise en œuvre et des différentes stratégies d'échantillonnage et/ou de prélèvement. Dans l'attente, une première analyse descriptive des données, à l'échelle nationale, permet de décrire les niveaux de concentrations observés et leurs évolutions, parallèlement aux résultats des études régionales menées par les AASQA.

## 5. 2 - NIVEAUX ET FRÉQUENCES OBSERVÉS

Pour chaque pesticide, les principales valeurs caractéristiques peuvent être regroupées dans un tableau dans lequel on retrouve les éléments suivants :

- ▶ Le nombre de mesures réalisées (observations) et le nombre de mesures de concentration supérieure à la limite de détection. La fréquence de détection est égale au nombre d'analyses où la substance a été mise en évidence (seuil de détection) divisé par le nombre total de recherche de cette substance.
- ▶ Les valeurs extrêmes de l'échantillon : le maximum correspond à la concentration maximale observée, le minimum correspond à la première valeur que prend la concentration supérieure à la limite de détection.

Molécule recherchée	Nombre de mesures	Fréquence de détection (%)	Maximum (ng.m <sup>-3</sup> )	Minimum (ng.m <sup>-3</sup> )
Spiroxamine	78	88%	6,80	0,10
Trifluraline	915	80%	69,17	0,02
HCH gamma = lindane	1407	69%	2,08	0,04
Endosulfan	1387	53%	31,50	0,002
Diphenylamide	386	52%	1,28	0,05
Chlorothalonil	1317	50%	155,16	0,03
Folpel	888	49%	3949,3*	0,06
Pendimethaline	1206	43%	93,56	0,01
Fludioxonyl	118	41%	6,80	0,10
Fenpropidine	720	38%	14,96	0,03
Chlorpyriphos ethyl	820	38%	217,20	0,005
Prosulfocarbe	385	37%	28,50	0,05
Oxadiazon	784	34%	5,97	0,002
Dichlobenil	430	31%	2,87	0,03
Fenpropimorphe	1186	29%	23,46	0,02

\*La concentration observée correspond vraisemblablement à la contamination du dispositif de prélèvement par le passage à proximité immédiate du dispositif d'un engin de traitement.

TABLEAU N°4 Fréquence et valeurs des principales substances actives trouvées dans l'air pour l'ensemble des campagnes réalisées des AASQA.

Le tableau n°4 ci-dessus résulte d'une analyse de l'ensemble des données des AASQA. Si l'on s'intéresse uniquement aux campagnes de mesures hebdomadaires de plus de 100 jours (mesures de type « monitoring ») où l'intégralité des résultats était disponible, la classification des résultats en fonction de la fréquence de détection est quelque peu différent (tableau 5).

Molécule recherchée	Nombres de mesures	Fréquence de détection (%)	Maximum (ng.m <sup>-3</sup> )	Minimum (ng.m <sup>-3</sup> )
Trifluraline	431	83%	25,68	0,02
HCH gamma = lindane	809	62%	2,08	0,04
Diphenylamide	383	51%	1,28	0,05
Endosulfan	799	44%	29,91	0,05
Chlorothalonil	805	39%	30,51	0,05
Pendimethaline	756	37%	18,35	0,02
Prosulfocarbe	382	36%	28,50	0,05
Oxadiazon	349	36%	5,97	0,01
Fenpropidine	481	34%	5,89	0,05
Fenpropimorphe	753	25%	9,21	0,03
Tolyfluanide	320	25%	54,23	0,02
Chlorpyriphos ethyl	381	25%	2,73	0,01
Folpel	466	25%	31,64	0,06
Alachlore	725	21%	10,70	0,02

TABLEAU N°5 Fréquence et valeurs des principales substances actives trouvées dans l'air pour les campagnes de plus de 100 jours réalisées des AASQA.

Examinons par exemple le cas de l'endosulfan. L'endosulfan était (utilisation interdite depuis le 30/05/07) un insecticide utilisé pour le traitement des grandes cultures, des vergers, des vignes, des cultures légumières, des cultures ornementales et pour quelques spécialités en zones non agricoles. Il est possible d'analyser les résultats obtenus, à première vue complexes, en fonction des stratégies déployées (emplacement, année, période de mesure, contexte...) pour la campagne 2004.

L'analyse de l'ensemble des résultats des campagnes conduites en 2004, pour l'endosulfan montre que 75 % des valeurs de concentrations supérieures aux limites de détection se situent entre 1 et 5 ng.m<sup>-3</sup>. Ces résultats témoignent d'une faible dispersion des niveaux de contamination aux échelles temporelles et spatiales.

AASQA	Site	Typologie	Class. occupation du sol*	Fréquence détection		Médiane (ng.m <sup>-3</sup> )		
				Nb de recherches	Min (ng.m <sup>-3</sup> )	Max (ng.m <sup>-3</sup> )		
Toutes	Tous			517	55%	0,04	0,13	31,50
Air Breizh	Le Rheu	Rural	TA, ZAC	13	8%	0,80	-	0,80
Air Breizh	Vezein-le-Coquet	Périurbain	TA, ZAC	27	26%	0,15	-	0,63
Airaq	Rauzan	Rural	V	80	38%	0,04	-	0,64
Atmo Auvergne	Clermont-Ferrand	Urbain	TA, ZAC	2	0%		-	-
Atmo Auvergne	Entraigues	Rural	TA	2	0%		-	-
Atmo Champagne-Ardenne	Ay	Rural	V	34	100%	0,20	2,46	23,60
Atmo Champagne-Ardenne	Bergères-les Vertus	Rural	TA, V	4	100%	0,45	0,55	1,05
Atmo Champagne-Ardenne	Celles-sur Ource	Rural	V	4	100%	0,30	0,76	1,04
Atmo Champagne-Ardenne	Châlons-en-Champagne	Urbain	TA	4	100%	3,61	5,66	8,20
Atmo Champagne-Ardenne	Charleville-Mézière	Urbain	ZAC	4	100%	2,70	3,97	12,38
Atmo Champagne-Ardenne	Chaumont	Périurbain	TA	4	100%	0,24	0,66	2,69
Atmo Champagne-Ardenne	Cramant	Rural	V	4	100%	0,38	0,62	1,04
Atmo Champagne-Ardenne	Damery	Rural	V	4	100%	3,03	3,38	3,67
Atmo Champagne-Ardenne	Les Riceys	Rural	V	4	100%	0,22	0,91	1,47
Atmo Champagne-Ardenne	Reims	Urbain	TA	28	100%	0,30	2,47	31,50
Atmo Champagne-Ardenne	Troyes	Urbain	ZAC	4	100%	1,24	1,50	3,12
Atmo Champagne-Ardenne	Verzenay	Rural	V	36	100%	0,10	1,70	20,00
Atmo Champagne-Ardenne	Villedommage	Rural	V	4	100%	0,49	0,70	1,36
Atmo Franche-Comté	Arbois	Rural	V	6	0%	-	-	-
Atmo Franche-Comté	Besançon	Urbain	ZAC	3	67%	0,55	0,55	0,55
Atmo Franche-Comté	Gray	Rural	TA	3	33%	0,13	-	0,13
Atmo Franche-Comté	Pesmes	Rural	TA	2	0%	-	-	-
Atmo Franche-Comté	Tavaux	Rural	TA	6	33%	0,15	-	0,15
Atmo Nord-Pas-de-Calais	Caudry	Périurbain	TA	43	44%	0,05	-	10,29
Atmo Nord-Pas-de-Calais	Courcelles-les-Lens	Périurbain	TA	48	46%	0,06	-	4,90
Atmo Nord-Pas-de-Calais	Lille	Urbain	ZAC	44	43%	0,07	-	3,43
Atmo Poitou-Charentes	Poitiers, les Couronneries	Urbain	TA	19	63%	0,10	0,12	3,09
Lig'Air	Blois	Urbain	TA, ZAC	15	67%	0,10	0,39	2,53
Lig'Air	Mareau-aux-Prés	Rural	TA, ZAC	25	28%	0,18	-	1,22
Lig'Air	Orléans	Urbain	ZAC	7	0%	-	-	-
Lig'Air	Tours - la Bruyère	Urbain	ZAC	34	47%	0,20	-	3,91

TA : Terres arables ; V : Viticulture, ; ZAC : Zones agricoles complexes correspondant à de petites parcelles de cultures annuelles diversifiées de prairies et/ou de cultures permanentes.

**Remarques** : les indicateurs statistiques du tableau sont définis sur la base des seules valeurs supérieures aux limites de détection.

TABLEAU N° 6 Cas de l'endosulfan pour l'ensemble des campagnes 2004

*Remarques* : les indicateurs statistiques du tableau sont définis sur la base des seules valeurs supérieures aux limites de détection.

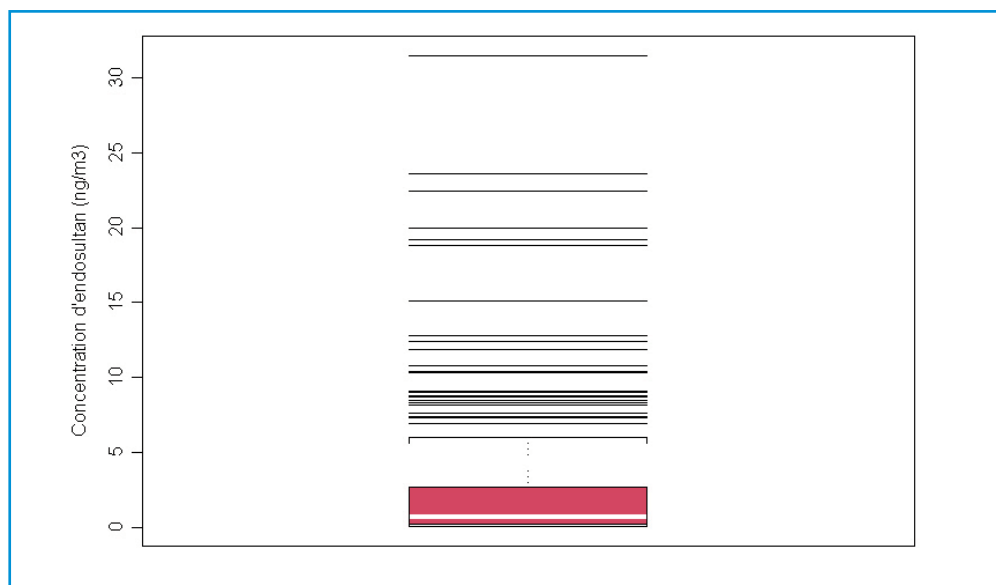


Figure 20 Distribution statistique des concentrations en endosulfan mesurées lors de l'année 2004 (fréquence de détection 59,8 %). La borne inférieure de la zone rouge correspond au premier quartile ( $Q1 = 0,24 \text{ ng.m}^{-3}$ ), la borne supérieure au troisième quartile ( $Q3 = 2,68 \text{ ng.m}^{-3}$ ). La médiane est représentée par la barre blanche ( $Q2 = 0,66 \text{ ng.m}^{-3}$ ).

## 5. 3 - INTERPRÉTATIONS GÉNÉRALES

Une analyse plus fine de la base de données par (i) type de prélèvement (hebdomadaire ou journalier) ; (ii) typologie (rural, urbain, semi-urbain) ; (iii) système de culture (arboriculture, grande culture, viticulture) et par période sera réalisée ultérieurement. Toutefois quelques observations peuvent d'ores et déjà être formulées, elles apportent un éclairage intéressant sur les stratégies de prélèvement mises en œuvre et sur la nature des données disponibles pour caractériser les expositions (cf. annexe 2).

Cependant, en première approche, quelques tendances peuvent se dessiner :

### ◆ La présence confirmée des pesticides dans l'air

Les mesures de pesticides dans l'air montrent que les fréquences de détection en concentrations cumulées (c'est-à-dire la somme de l'ensemble des concentrations mesurées pour chaque produit) ne sont jamais nulles, quelle que soit la campagne de prélèvement (y compris les campagnes de « bruit de fond » réalisées en dehors des périodes théoriques d'épandage dans les centres-villes de grandes agglomérations).

On observe également de façon générale au cours de l'année :

- ▶ Des pics de concentrations de forte amplitude, pouvant généralement être reliés aux périodes d'applications des produits phytosanitaires. L'alachlore par exemple, herbicide utilisé essentiellement sur maïs de mars-avril à fin mai-début juin, montre un pic de concentration pendant les périodes de traitement qui disparaît très rapidement ensuite.

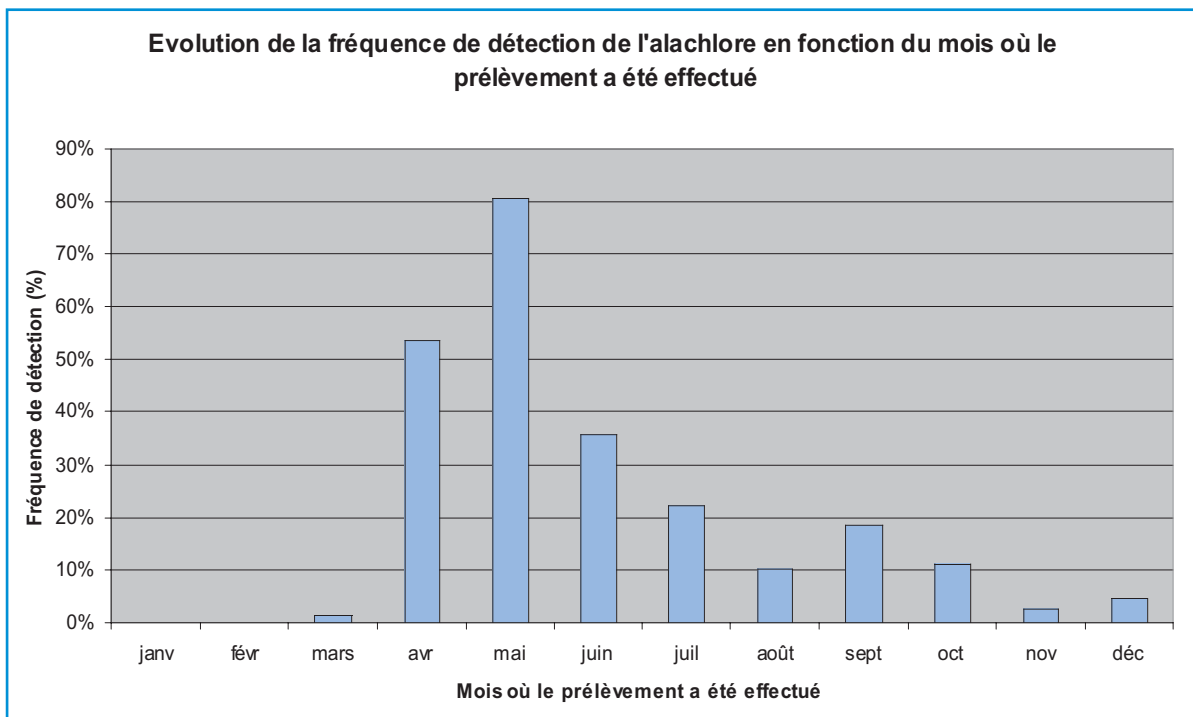
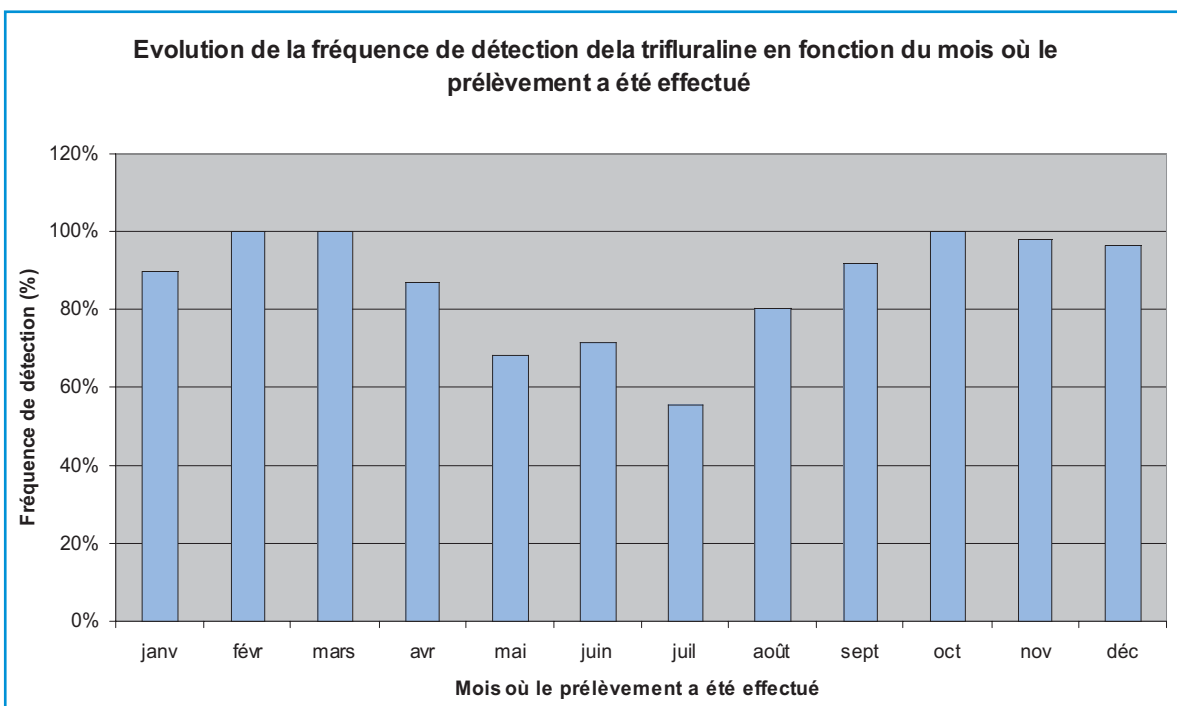


Figure 21 Evolution des fréquences de détection de l'alachlore sur l'année

► Une présence prolongée de certaines substances persistantes par rapport aux périodes de traitements, à des concentrations toutefois plus faibles qu'en période d'utilisation. C'est le cas par exemple de la trifluraline, herbicide dont l'enfouissement est préconisé avant semis, utilisé essentiellement sur tournesol de mi-mars à mai-juin et sur colza de mi-août à septembre-octobre persiste après les périodes d'épandage dans l'atmosphère ou est transféré vers celui-ci avec des successions de périodes de déposition et de revo-latilisation.



► Une forte variabilité des teneurs mesurées, en fonction des produits phytopharmaceuti-

Figure 22 Evolution des fréquences de détection de la trifluraline sur l'année



ques recherchés, de la période analysée mais aussi des techniques de prélèvement et d'analyse employées. Les concentrations mesurées vont du seuil de détection jusqu'à plusieurs centaines de ng.m<sup>-3</sup>. Ainsi, le folpel a été détecté à une concentration de près de 4000 ng.m<sup>-3</sup> en Champagne-Ardenne. Une telle valeur n'a toutefois été observée qu'une fois en France à proximité des vignes d'un coteau (avec un second maximum à près de 3000 ng.m<sup>-3</sup>) et il est vraisemblable que cette teneur soit liée au passage à proximité du préleveur d'un engin de traitement. Cette forte dispersion des valeurs nécessite des interprétations prudentes, notamment pour l'exploitation des concentrations cumulées de l'ensemble des substances recherchées.

- Une diminution des fréquences de détection pour les substances phytosanitaires qui n'ont plus d'autorisation de mise sur le marché.

		2002	2003	2004	2005
Atrazine	Nombre de mesures	186	354	432	287
	Fréquence	58 %	26 %	6 %	1 %
Parathion méthyl	Nb mesures	152	202	279	251
	Fréquence	43 %	19 %	20 %	0 %

*TABLEAU N° 7* Fréquences annuelles de détection de l'atrazine (usage interdit en septembre 2003) et du parathion-méthyl (usage interdit en mars 2008)

Pour le lindane ([tableau n°8](#)), sa présence est toujours mise en évidence aujourd'hui alors que son interdiction en France date de 1998. Le lindane n'est plus utilisé dans l'UE quels que soient les usages (sauf dans certains États-membres comme insecticide vétérinaire sur dérogation de ces États-membres). Il est de plus retrouvé tout au long de l'année. Sa forte volatilité (pression de vapeur égale à 0,0012 Pa et constante de Henry à 0,15 Pa.m<sup>3</sup>.mol<sup>-1</sup>) et sa persistance dans l'environnement pourraient expliquer sa détection dans l'atmosphère plusieurs années après son interdiction.

		2002	2003	2004	2005
Lindane	Nb mesures	218	359	471	359
	Fréquence	96 %	84 %	59 %	52 %

*TABLEAU N° 8* Fréquences annuelles de détection du lindane (usage interdit en 1998)

Certains composés présentent des difficultés de prélèvement et d'analyses particulières, c'est le cas notamment du glyphosate. Celui-ci est en effet très peu adsorbé sur la mousse de polyuréthane du fait de sa polarité. De plus, cette substance nécessite une méthode d'extraction et d'analyse spécifique, ce qui nécessite de doubler les cartouches pour chaque semaine de prélèvement. Seul ATMO Nord-Pas-de-Calais a entrepris de mesurer sa teneur dans l'atmosphère. Sur le site de Caudry, sur la période de mars à octobre 2003-2005 et 2004-2005, le glyphosate n'a été détecté que sur 8 des 59 prélèvements réalisés ce qui correspond à 14% des prélèvements avec des teneurs stables et proches de la limite de quantification.

### ◆ Corrélation avec les constantes physico-chimiques

La mobilité et la persistance des produits phytosanitaires, ainsi que leurs potentiels de volatilité, sont à prendre en compte pour leur suivi dans l'air. Ces paramètres ont par ailleurs été incorporés dans l'outil Sph'Air pour hiérarchiser les substances actives à mesurer prioritairement dans l'air (outil développé par l'INERIS) et par le groupe européen Focus air pour estimer les substances actives et les métabolites ayant une incidence dans l'air pour les dossiers d'autorisation de mise sur le marché.

Des premières études sur la relation entre les concentrations moyennes ou les fréquences de détection et les constantes de Henry ont été réalisées par exemple par AIRAQ 2003, ATMO Poitou-Charentes 2004 et ATMO Nord-Pas-de-Calais. Elles montrent que la corrélation est forte et que les substances détectées systématiquement font partie des molécules les plus volatiles (à l'exception de l'azoxystrobine) même si l'inverse n'est pas forcément vrai. Ainsi, les composés dont la constante de Henry est supérieure à  $10^{-2} \text{ Pa}\cdot\text{m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$  dans l'étude ATMO Nord-Pas-de-Calais montrent une fréquence de détection supérieure à 30 % à l'exception de l'heptachlore.

Le graphique ci-dessous illustre, pour l'ensemble des campagnes de mesures hebdomadaires de plus de 100 jours où l'intégralité des résultats était disponible, la répartition des fréquences de détection observées en fonction de leurs constantes de Henry (échelle logarithmique).

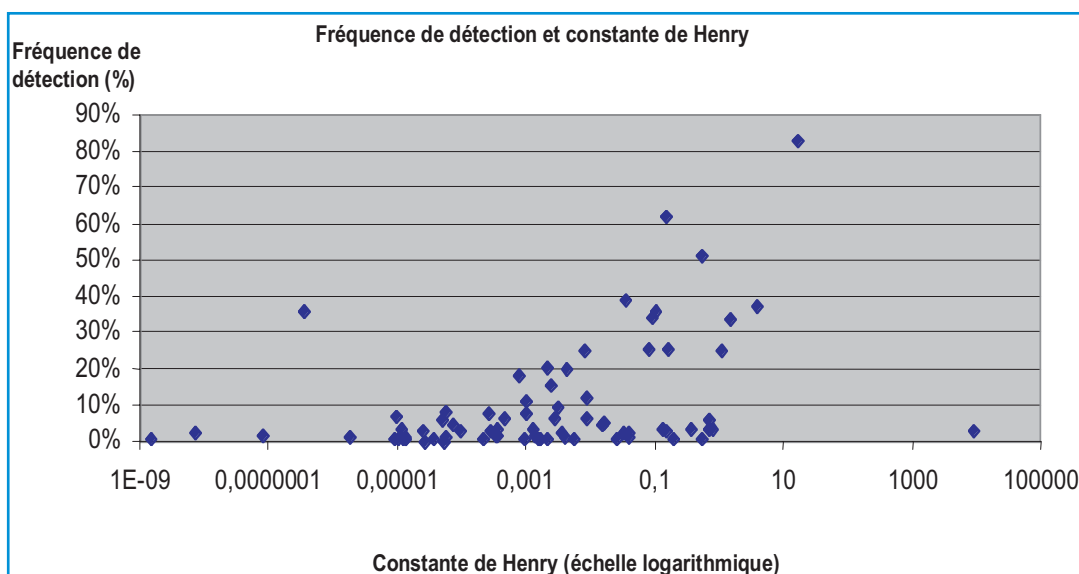


Figure 23 Distribution des fréquences de détection des produits phytopharmaceutiques dans l'atmosphère en fonction de leur constante de Henry

### ◆ Des concentrations mesurées représentatives de l'activité agricole

Même si les gradients de concentration des sites ruraux ou sites urbains sont parfois complexes à étudier et peuvent être influencés par les émissions, la direction du vent et d'autres paramètres météorologiques, les sites ruraux présentent en général des concentrations atmosphériques de produits phytopharmaceutiques plus élevées que les sites urbains. C'est le cas par exemple si on considère les résultats d'analyses pour la trifluraline en 2004. (fig. 24).

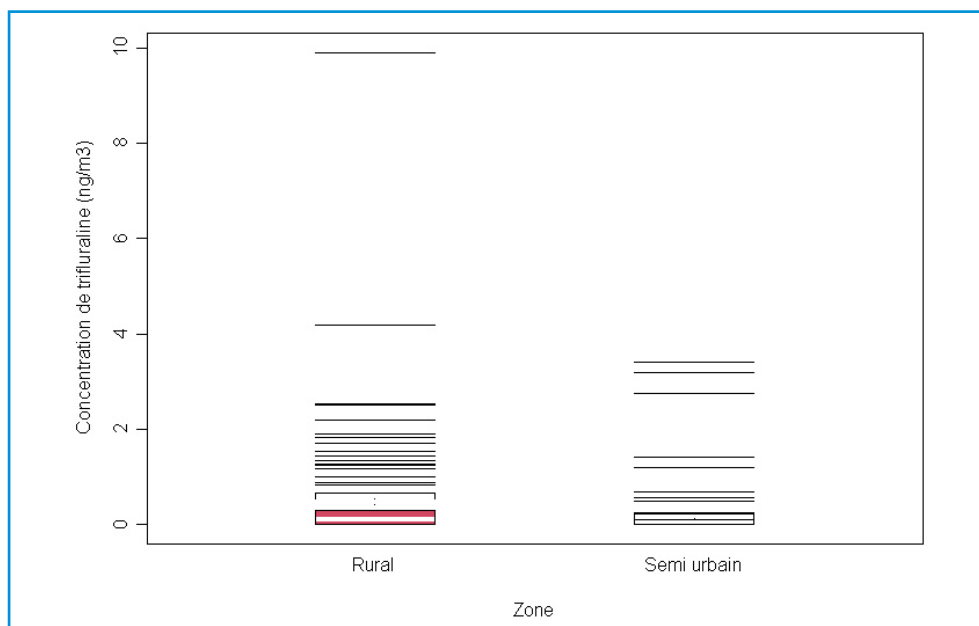


Figure 24 Distribution statistique (box-plot) des concentrations en trifluraline ( $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ ) mesurées pour des sites en environnements rural et semi-urbain en 2004 (fréquences de détection respectives 33,8 % et 58,8 %).

Cette distribution indique que les valeurs de concentrations supérieures aux limites de détection mesurées sont plus élevées dans les sites ruraux que dans les sites semi-urbains. Elles se situent entre 0,03 et 9,9  $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$  dans les sites ruraux, et entre 0,03 et 3,4  $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$  dans les sites semi-urbains. Dans les sites ruraux, 25 % et 50 % des concentrations mesurées sont respectivement inférieures à 0,1 et 0,2  $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ , et 25 % sont supérieures à 0,69  $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ . Dans les sites semi-urbains, ces valeurs sont respectivement 0,05, 0,1 et 0,25  $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ .

La liste des produits phytopharmaceutiques détectés sur les sites ruraux est fortement influencée par les cultures environnantes. Lig'Air 2002 montre ainsi que la succession des concentrations élevées en pendiméthaline, fenpropimorphe, chlorothalonil, etc. correspond à la chronologie des périodes d'applications (mars-avril, avril-juin, mai-juin). En règle générale, la détection de produits phytosanitaires semble cohérente avec les pratiques et les usages.

De plus, à l'intérieur d'une même zone d'étude rurale, il peut exister des gradients de concentrations qui reflètent l'influence de la proximité avec les surfaces traitées. Par exemple, ATMO Champagne-Ardenne (2005) montre qu'il existe, hormis pour l'endosulfan et le chlorothalonil, un gradient de concentration entre les sites « vigne » et « centre » du même village. En effet, l'abattement varie de 50 à 66 % suivant les substances à Ay et de 50 à 85 % suivant les substances à Verzenay.

En zones urbaines, les produits phytopharmaceutiques détectés ne sont pas forcément ceux liés à un usage typiquement urbain. Ainsi, le folpel, l'endosulfan, le fenpropimorphe, le fenpropidine peuvent être mesurés dans des grandes agglomérations, résultant de phénomènes de transport des zones rurales alentours. Air Pays de la Loire (2005) par exemple, montre que l'évolution temporelle des concentrations pour deux produits phytopharmaceutiques à Nantes, le folpel et le chlorpyriphos éthyl, est en accord avec leurs utilisations en zones viticoles, indiquant un impact faible mais visible des traitements agricoles de la région.

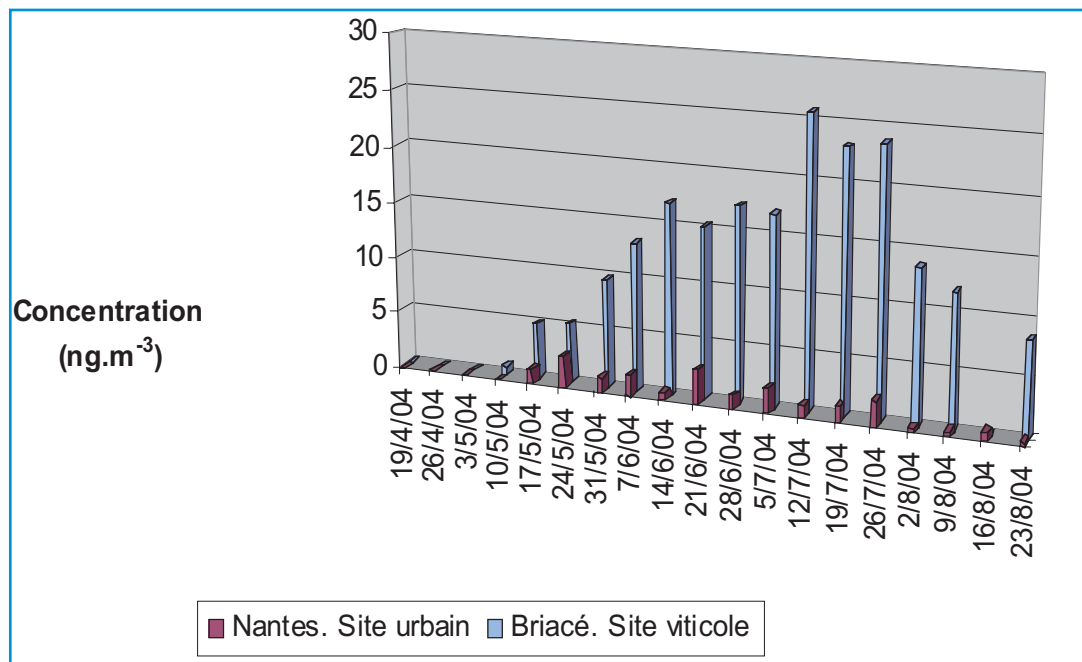


Figure 25 Evolution des concentrations en folpel pour deux sites de typologies différentes (Air Pays de Loire)

### ◆ Des cycles saisonniers

La période la plus chargée en produits phytopharmaceutiques dans l'air est généralement le printemps, en nombre de molécules détectées mais aussi en concentration cumulée, suivi de près par l'automne. Cependant, les mélanges de produits phytopharmaceutiques varient en fonction des saisons et des utilisations. La contamination de l'air par les produits phytopharmaceutiques présente donc un caractère saisonnier, fonction du type de cultures environnantes et des périodes d'épandages pour chaque molécule que l'on souhaite étudier.

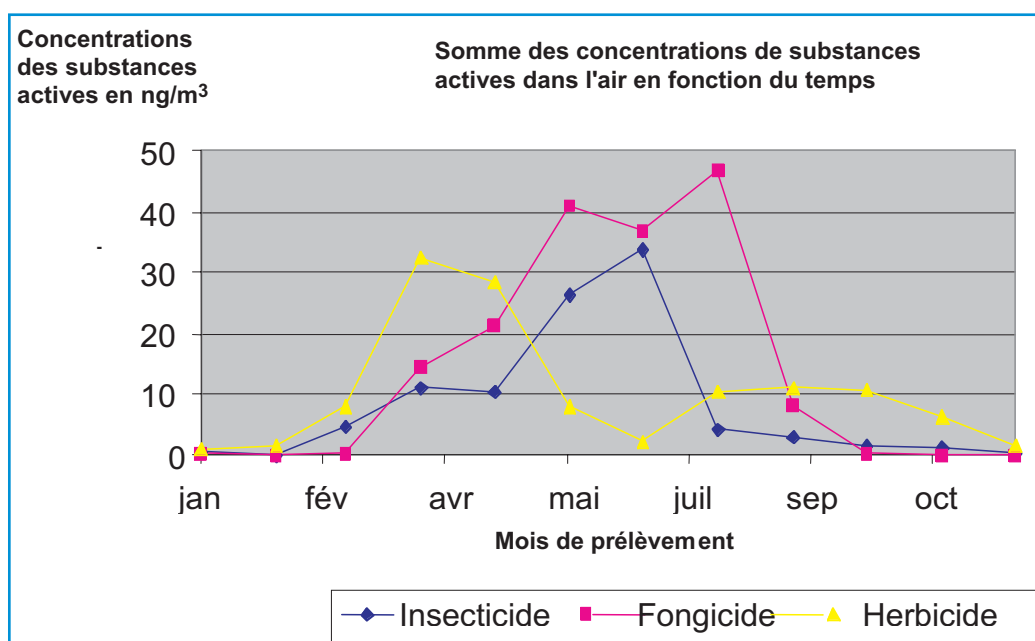


Figure 26 Evolution annuelle des concentrations cumulées de 3 grandes familles de produits phytopharmaceutiques pour l'ensemble des campagnes de mesures françaises sur la période de 2001 à 2006

Toutefois, les comparaisons entre deux années sont plus délicates, ainsi ATMO Poitou-Charentes 2005 et ATMO Nord-Pas-de-Calais 2006 ont réalisé des études qui montrent des décalages de pics, des évolutions de concentrations cumulées et des modifications de la répartition Fongicide / Herbicide / Insecticide entre ces deux années.

Ces différences peuvent être expliquées par (i) des variations climatiques entre les années : une saison particulièrement chaude, par exemple, peut engendrer une précocité de la végétation et par conséquent des traitements et une plus grande volatilisation des produits phytopharmaceutiques en lien avec la température ; (ii) des modifications du comportement des agriculteurs suite aux interdictions de mise sur le marché, aux cycles des nuisibles, etc. ; (iii) des modifications des conditions atmosphériques comme des inversions de températures, des précipitations, la présence d'un vent soutenu, etc. qui peuvent influencer la dispersion par diffusion et transport, et l'élimination par dépôt des produits phytopharmaceutiques dans l'air.

## 6 - Comment communiquer les résultats de cette surveillance ?

Les campagnes de mesures des pesticides dans l'atmosphère menées en France depuis une vingtaine d'années par des laboratoires de recherche puis par de nombreuses AASQA ont abouti à la production de résultats et de données chiffrées en grand nombre.

Ces études sont confrontées à une forte attente de la part du grand public et des décideurs, car elles apportent des informations jusqu'ici peu nombreuses, sur un sujet aujourd'hui encore sensible. De plus, en l'absence d'historique conséquent, de stratégie d'échantillonnage commune et de valeurs réglementaires en air ambiant, il est difficile de qualifier les niveaux mesurés et d'en donner une traduction en termes de risque pour la santé ou les écosystèmes. C'est pourquoi il est nécessaire de communiquer les résultats et leur interprétation de manière claire et précise.

### 6.1 - ENCADREMENT SCIENTIFIQUE DES TRAVAUX

De nombreuses études se sont entourées de comités de suivi, sur l'initiative des commanditaires et/ou des financeurs de l'étude. Les membres de ces comités sont généralement : les AASQA, les directions régionales ou départementales de l'action sanitaire et sociale ; les directions régionales de l'agriculture et de la forêt, les chambres d'agriculture, les cellules inter-régionales d'épidémiologie, les agences de l'eau, les observatoires régionaux de la santé, les Conseils régionaux... Plus ponctuellement on rencontre l'Institut Pasteur, l'Ecole des Mines, le Cemagref, l'Institut national de veille sanitaire, la Mutualité sociale agricole, l'Ecole nationale de la santé publique et quelques associations locales.

Ces comités ont des objectifs variés : définir les modalités de mesures (choix des molécules, des sites, de la méthodologie...) et les axes de communication de l'étude, partager des connaissances autour des produits phytopharmaceutiques et élargir les objectifs des études à l'évaluation de l'impact sur la santé humaine.

Une journée d'échange a été organisée par l'Union des industries de la protection des plantes et l'Ademe en janvier 2001 afin de proposer des recommandations pour réaliser des études présentant un bon niveau de fiabilité.

Un groupe d'apprentissage sur la mesure des produits phytopharmaceutiques dans l'air a été créé en 2002, pour une période de deux ans. Ce groupe comprenait des représentants des AASQA et du LCSQA, ainsi que l'ADEME. Le groupe a eu une fonction d'échanges d'expérience entre acteurs impliqués dans ces travaux et avait également pour objectif de développer les outils nécessaires à la mesure des produits phytopharmaceutiques dans l'air, entre autres les conditions de communication des résultats. Un séminaire de restitution "Les produits phytopharmaceutiques dans l'air ambiant" a été organisé par l'ADEME en mai 2005. Il visait à informer l'ensemble des acteurs professionnels des travaux du groupe ainsi que des travaux réalisés dans les associations de surveillance de la qualité de l'air. Il s'agissait au final de s'interroger sur la poursuite de ce type de mesure : quel intérêt représentent-elles pour des professionnels issus de différents domaines et pour les pouvoirs publics ?

## 6. 2 - DISPONIBILITÉ DES RÉSULTATS

Les résultats des travaux sur la mesure des pesticides dans l'air ont été diffusés massivement. En effet, ce sujet est facilement valorisable de par son caractère innovant et de plus, en ce qui concerne les AASQA, celles-ci ont parmi leurs missions l'obligation de communiquer leurs résultats de manière transparente et accessible à tous les publics. Ainsi, les nombreuses voies de communication utilisées habituellement par les associations de surveillance ont été sollicitées pour la diffusion des résultats de ces études.

La plupart des campagnes de mesures ont donné lieu à un rapport d'étude, dans lequel sont communiqués les résultats et leur interprétation. Certaines études ont fait l'objet d'une annonce avant la parution des résultats, afin de présenter des généralités sur les produits phytopharmaceutiques, une synthèse bibliographique, la méthodologie et les objectifs de l'étude. Des synthèses résumant les conclusions des études ont souvent été réalisées dans le but de diffuser une information plus accessible.

Des articles ont été rédigés et sont parus dans diverses revues techniques : Pollution Atmosphérique, les rapports de l'IFEN, bulletin du GREPPES...

Quelques études ont fait l'objet d'articles de presse, ainsi que d'interviews à la radio ou sur les chaînes de télévision régionales. Les résultats ont été présentés lors de nombreuses conférences, colloques, assemblées diverses notamment dans le cadre des plans de protection de l'atmosphère (PPA) et des PRQA, ou bien auprès d'acteurs concernés par les produits phytosanitaires (acteurs agricoles, chercheurs...)

Enfin, ces informations sont relayées par de nombreux acteurs parmi lesquels l'observatoire des résidus de pesticides, qui offre sur son site Internet la possibilité d'accéder directement par région aux résultats des associations de surveillance de la qualité de l'air.



## 6. 3 - FORME DES RÉSULTATS

Si toutes les études ont fait l'objet de communications, la présentation et la forme des résultats sont variables. En effet, la plupart des recherches conduit à la production d'un grand nombre de données, qu'il convient de synthétiser et d'interpréter.

En général, on préfère orienter la communication sur l'interprétation des résultats plutôt que sur les chiffres en eux-mêmes, afin de rendre l'information plus parlante. Les données sont présentées sous forme d'indicateurs chiffrés, la plupart du temps en termes de pourcentage de détection, ou de somme des teneurs à l'intérieur d'un même échantillon. Les données de base des AASQA restent cependant publiques (accessibles sur simple demande ou fournies en annexes des rapports).

L'interprétation des résultats est basée sur les connaissances régionales et nationales des usages et des pratiques (molécules utilisées, cultures les plus répandues, tonnages). Cependant, l'accessibilité à ce type de données est très variable selon les régions, ce qui peut restreindre fortement les éléments d'interprétation et le degré de réflexion.

## 6. 4 - PRÉCAUTIONS

La majorité des études n'a pas rencontré d'opposition lors de la communication des résultats. Cependant, des réserves ont pu être apportées par des acteurs extérieurs sur la manière de diffuser l'information. Celles-ci portaient sur la communication de termes, de définitions ou d'informations générales. Par exemple, certaines réticences ont pu être constatées localement à l'emploi du terme « pesticides » (au profit de l'emploi de « produits phytosanitaires » ou « phytopharmaceutiques », mais dont la définition réglementaire est différente (cf. lexique annexe partie 1) du fait de sa connotation négative, et de son origine anglophone ; certaines précautions lors de la communication ont dû être prises parfois afin de ne pas cibler l'agriculture comme seule responsable de la présence de produits phytopharmaceutiques dans l'atmosphère.

La principale difficulté rencontrée est de fournir une information chiffrée qui soit à la fois représentative des résultats et compréhensible par le grand public. Elle ne doit toutefois pas perdre son exactitude par la simplification, et permettre de situer les niveaux mesurés afin de correspondre aux attentes publiques.

### ◆ Elaboration d'indicateurs

Les principaux obstacles à une communication claire sont les suivants :

- ◆ Il est difficile de rendre explicite et de traduire la grande quantité de chiffres produite lors d'une campagne. De plus, une présentation des chiffres et une interprétation molécule par molécule devient complexe au-delà d'une dizaine de substances actives.
- ◆ Mais surtout, il n'existe pas encore de valeurs de référence toxicologiques ou réglementaires dans l'air ambiant, ce qui ne permet pas de situer les teneurs mesurées par rapport à un niveau acceptable en terme de risque pour la population ou les écosystèmes.

Quand les modalités de l'étude le permettent, une comparaison spatiale et/ou temporelle peut être réalisée. Il est en effet possible de comparer les teneurs obtenues pour une molécule, entre plusieurs sites ou entre plusieurs régions, ainsi que d'une année à l'autre. Ceci ne donne néanmoins qu'une information relative et non pas qualitative, et présente certaines limites. En effet, la plupart des études se confrontent à une absence d'historique, et souvent les seuls éléments disponibles sont ceux des autres régions. Le problème qui se pose alors, comme pour la comparaison spatiale, est l'hétérogénéité des molécules recherchées et retrouvées et les différences méthodologiques de mises en œuvre des campagnes.

De plus, au-delà d'un certain nombre de composés, il n'est plus possible de faire une comparaison individuelle pour chaque molécule si l'on veut éviter un excès d'information. De nombreux indicateurs évaluant les risques liés à l'utilisation des produits phytopharmaceutiques ont été créés dont une quarantaine a été étudiée pour le compte du ministère chargé de l'environnement (Devilleers et al., 2005). Seulement 19 % d'entre eux comportent une partie relative au compartiment aérien. Cependant, aucun de ces indicateurs n'est applicable à l'objectif de synthétiser les résultats de mesures. D'autres indicateurs ont alors été utilisés en pratique :

- ⇒ le pourcentage de détection par molécule ;
- ⇒ la somme des teneurs de l'ensemble des molécules par échantillon ;
- ⇒ la moyenne annuelle de la somme des teneurs ;
- ⇒ le pourcentage relatif d'un composé par rapport à la somme des autres.

Lig'Air a même proposé un « indice phyto » basé sur les concentrations obtenues dans l'air et une notion de toxicité.

Ces indicateurs présentent certaines limites :

Une somme des concentrations de molécules différentes n'est pas scientifiquement correcte, notamment compte tenu de la variété de familles chimiques que représentent les produits phytopharmaceutiques et la comparaison spatiale ou temporelle

ne reste possible que si les molécules qui constituent la liste sont toujours les mêmes. Ainsi, une somme des teneurs sera rarement comparable d'une région à l'autre, d'une campagne à l'autre, les molécules communes étant peu nombreuses. Il est également possible de se baser sur la somme de ces quelques molécules communes, qui permet d'avoir un élément de comparaison pour évaluer l'évolution dans le temps des teneurs et leur répartition spatiale, tout en excluant cependant les particularités locales.

L'« indice phyto » repose lui aussi sur une somme de molécules. De plus, le facteur d'exposition sanitaire choisi pour le calcul, en l'absence de données toxicologiques par inhalation, est la dose journalière admissible (DJA).

Les fréquences de détection n'ont pas toujours la même période de référence selon les études (variable, de quelques semaines à l'année entière). La comparaison reste possible en réduisant à la période de mesure commune aux différentes études.

Ces indicateurs constituent néanmoins des outils dont l'aspect pratique n'est pas négligea-

*L'indice Phyto, développé par Lig'air, est un indicateur de mesures basé sur la toxicité et les concentrations obtenues dans l'air ambiant. Il a pour but de comparer différents sites de mesures entre eux ainsi que de normaliser le risque sanitaire par rapport à la substance active la plus « dangereuse » en un lieu donné. Son mode de calcul est basé sur la somme du produit entre la concentration de chaque pesticide dans l'air ambiant et son coefficient de toxicité (DJA) normalisé par rapport au pesticide le plus toxique mesuré par Lig'Air à ce jour.*

**Il n'existe pas à ce jour de réglementation** relative à la présence des pesticides dans l'air que nous respirons, ni en termes de plan de surveillance et de contrôles ni en termes des valeurs maximales d'expositions.

Toutefois, il faut rappeler que les activités professionnelles qui exposent le travailleur à des substances en suspension dans l'atmosphère (gaz, vapeurs, aérosols...), qui peuvent être dommageables pour sa santé sont réglementées.

Une exposition nulle à un polluant est pratiquement impossible à mettre en œuvre, en dehors de l'interdiction d'emploi du produit à l'origine de la pollution. Pour prévenir la survenue de pathologies d'origine professionnelle dues à l'exposition à ce polluant, il faut réduire le plus possible cette exposition et fixer une limite à celle-ci.

On définit donc des niveaux de concentration dans l'atmosphère à ne pas dépasser. Ce sont les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP).

Pour quelques 400 produits chimiques, elles sont indicatives et doivent être considérées comme des objectifs minimaux. Pour quelques autres, elles sont contraignantes : poussières, amiante, benzène, chlorure de vinyle, plomb, quartz, etc. Les valeurs limites ne sont pas définitives. Elles sont révisées périodiquement en fonction de l'état des connaissances.

Les valeurs limites sont établies à partir d'informations relatives aux propriétés toxicologiques des substances. Ces informations sont tirées de l'expérience industrielle (observations isolées, enquêtes épidémiologiques) et d'études sur des animaux de laboratoire.

Les valeurs retenues visent à protéger des effets irritants, toxiques... immédiats et à long terme.

Il existe en France deux types de valeurs :

- ▶ valeurs limites d'exposition à court terme (VLCT) : ce sont des valeurs mesurées sur une durée maximale de 15 minutes. Leur respect prévient les risques d'effets toxiques immédiats ou à court terme,
- ▶ valeurs limites de moyenne d'exposition (VME) : mesurées ou estimées sur la durée d'un poste de travail de 8 heures, elles sont destinées à protéger les travailleurs des effets à moyen ou long terme.

Il existe quelques valeurs concernant les produits phytosanitaires dans les usines de production ou de conditionnement de ces produits. Elles sont généralement de l'ordre de quelques  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$  et peuvent donc fournir une indication pour l'interprétation des concentrations observées en air ambiant pour la population générale.

ble, et tout en tenant compte de leurs limites, se sont avérés efficaces en terme de communication car ils constituent un bon compromis entre une information exacte mais synthétique.

## ◆ Lien avec un risque pour la santé

Les mesures en air ambiant menées jusqu'à maintenant dressent un premier état des lieux et nous apportent des indices sur les niveaux rencontrés, leur évolution et leur répartition spatiale et temporelle.

Lier ces données à un risque pour la santé des populations permettrait de donner une réponse à la principale attente des décideurs mais aussi du grand public.

A l'heure actuelle, les études en lien avec les organismes de santé sont rares, mais on observe progressivement un accroissement des réflexions sur les évaluations sanitaires à la fois pour les populations les plus exposées (agriculteurs et leurs familles, travailleurs agricoles) et pour la population générale sans exposition spécifique. On ne peut donner qu'une réponse très partielle sur l'impact des produits phytopharmaceutiques présents en air ambiant sur la santé. Les quelques rapports récemment publiés quant à l'exposition des personnes au voisinage de zones traitées n'ont pas pu montrer l'existence d'un risque avéré pour la population sur la base des données toxicologiques actuellement disponibles en France ou au plan international ; toutefois, il est utile de suivre avec intérêt toute nouvelle publication dans ce domaine. De plus il n'est pas facile de se positionner sur l'impact des produits phytopharmaceutiques par rapport aux autres polluants et sur la part de la voie aérienne par rapport aux autres voies de contamination. Il doit être cependant mentionné lors de la communication des résultats en air ambiant que la voie aérienne n'est pas la seule voie d'exposition aux produits phytopharmaceutiques, la voie alimentaire contribuant également à cette exposition.

## Contacts

### Liste des AASQA en France

Région	AASQA	Site Internet
BASSE-NORMANDIE	AIR COM	<a href="http://www.air-com.asso.fr">www.air-com.asso.fr</a>
PICARDIE	ATMO-PICARDIE	<a href="http://www.atmo-picardie.com">www.atmo-picardie.com</a>
POITOU-CHARENTES	ATMO-POITOU CHARENTES	<a href="http://www.atmo-poitou-charentes.org">www.atmo-poitou-charentes.org</a>
PAYS DE LA LOIRE	AIR PAYS-DE-LA-LOIRE	<a href="http://www.airpl.org">www.airpl.org</a>
NORD - PAS-DE-CALAIS	ATMO NORD - PAS-DE-CALAIS	<a href="http://www.atmo-npdc.fr">www.atmo-npdc.fr</a>
BRETAGNE	AIR BREIZH	<a href="http://www.airbreizh.asso.fr">www.airbreizh.asso.fr</a>
CHAMPAGNE-ARDENNE	ATMO-CHAMPAGNE ARDENNES	<a href="http://www.atmo-ca.asso.fr">www.atmo-ca.asso.fr</a>
CENTRE	LIG'AIR	<a href="http://www.ligair.fr">www.ligair.fr</a>
AUVERGNE	ATMO-AUVERGNE	<a href="http://www.atmoauvergne.asso.fr">www.atmoauvergne.asso.fr</a>
MIDI-PYRENEES	ORAMIP	<a href="http://www.oramip.org">www.oramip.org</a>
LIMOUSIN	LIMAIR	<a href="http://www.limair.asso.fr">www.limair.asso.fr</a>
FRANCHE-COMTE	ARPAM	<a href="http://www.arpam.asso.fr">www.arpam.asso.fr</a>
RHONE-ALPES	AIR APS, AMPASEL, ASCOPARG, ASQUADRA, COPARLY, SUP'AIR	<a href="http://www.atmo-rhonealpes.org">www.atmo-rhonealpes.org</a>
HAUTE-NORMANDIE	AIR NORMAND	<a href="http://www.airnormand.asso.fr">www.airnormand.asso.fr</a>
BOURGOGNE	ATMOSF'AIR BOURGOGNE CENTRE NORD ATMOSF'AIR BOURGOGNE SUD	<a href="http://www.atmosfair-bourgogne.asso.fr">www.atmosfair-bourgogne.asso.fr</a>
ILE-DE-FRANCE	AIRPARIF	<a href="http://www.airparif.asso.fr">www.airparif.asso.fr</a>
LORRAINE	AIRLOR, AERFOM, ALQA, ESPOL	<a href="http://www.atmolor.org">www.atmolor.org</a>
ALSACE	ASPA	<a href="http://www.atmo-alsace.net">www.atmo-alsace.net</a>
LANGUEDOC-ROUSSILLON	AIR LANGUEDOC-ROUSSILLON	<a href="http://www.air-lr.asso.fr">www.air-lr.asso.fr</a>
AQUITAINE	AIRAQ	<a href="http://www.airaq.asso.fr">www.airaq.asso.fr</a>
PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR	QUALIT'AIR AIRMARAIX AIRFOBEP	<a href="http://www.atmo-qualitair.net">www.atmo-qualitair.net</a> <a href="http://www.airmaraix.com">www.airmaraix.com</a> <a href="http://www.airfobep.org">www.airfobep.org</a>
CORSE	QUALITAIR CORSE	<a href="http://www.qualitaircorse.org">www.qualitaircorse.org</a>
MARTINIQUE	MADININAIR	<a href="http://www.madininair.asso.fr">www.madininair.asso.fr</a>
GUYANE	ORA DE GUYANE	<a href="http://www.ora-guyane.org/">www.ora-guyane.org/</a>
REUNION	OBSERVATOIRE REUNIONNAIS DE L'AIR	<a href="http://www.atmo-reunion.net">www.atmo-reunion.net</a>
GUADELOUPE	GWAD'AIR	<a href="http://www.gwadair.org">www.gwadair.org</a>

## Stratégies d'échantillonnage et répartition des données pour les campagnes de mesures 2002-2005

L'ensemble des données produites par les AASQA a été rassemblé en 2006, pour les campagnes 2002-2005.

Compte tenu des circonstances variées dans lesquelles les recherches de pesticides dans l'air ambiant ont été menées, une analyse descriptive de la situation a été réalisée. L'objectif est d'évaluer la nature et l'importance de la répartition des données de façon préliminaire, en amont des choix d'investigations complémentaires à entreprendre et/ou de gestion ou des méthodes de redressement des données.

### Répartition spatiale des données des campagnes de mesures 2002-2005

⇒ Des études prépondérantes dans certaines régions mais de nombreux sites de mesures

Le tableau ci-dessous illustre la répartition du nombre de résultats de concentration atmosphérique en fonction de la répartition géographique des données. Pour quelques AASQA, l'ensemble des résultats n'était pas disponible dans les rapports ou sous forme de fichier Excel, les valeurs des concentrations ont été partiellement récupérées, ce qui peut entraîner une sous-estimation du nombre de résultats disponible pour certaines régions.

Région	Département	Site	Nb de mesures
Aquitaine	33 - Gironde	Floirac	80
		Rauzan	1240
	Total 33 - Gironde		1320
<b>Total Aquitaine</b>			<b>1320</b>
Auvergne	63 - Puy-de-Dôme	Clermont-Ferrand	1590
		Entraigues	1590
	Total 63 - Puy-de-Dôme		3180
<b>Total Auvergne</b>			<b>3180</b>
Bourgogne	21 - Côte-d'Or	Dijon	758
		Nuits-Saint-Georges	870
		Vosne Romanée	58
	Total 21 - Côte-d'Or		1686
<b>Total Bourgogne</b>			<b>1686</b>
Bretagne	35 - Ille-et-Vilaine	Le Rheu	130
		Mordelles	267
		Rennes	430
		Vézin-Le-Coquet	200
	Total 35 - Ille-et-Vilaine		1027
56 - Morbihan	Pontivy	207	
Total 56 - Morbihan		207	
<b>Total Bretagne</b>			<b>1234</b>

Région	Département	Site	Nb de mesures
Centre	18 - Cher	Bourges	280
		Saint-Martin-d'Auxigny	1287
	Total 18 - Cher		1567
	28 - Eure-et-Loir	Chartres	1437
		Oysonville	370
	Total 28 - Eure-et-Loir		1807
	36 - Indre	Chateauroux	280
	Total 36 - Indre		280
	37 - Indre-et-Loire	Joué les Tours	63
		Saint-Martin-Le-Beau	1170
		Tours - la Bruyère	1455
	Total 37 - Indre-et-Loire		2688
	41 - Loir-et-Cher	Blois	495
Total 41 - Loir-et-Cher		495	
45 - Loiret	Mareau-aux-Prés	3079	
	Orléans	2096	
	Saint Jean de Braye	168	
Total 45 - Loiret		5343	
<b>Total Centre</b>			<b>12180</b>
Champagne-Ardenne	08 - Ardennes	Charleville-Mézière	395
	Total 08 - Ardennes		395
	10 - Aube	Celles-sur Ource	300
		Les Riceys	300
		Troyes	407
	Total 10 - Aube		1007
	51 - Marne	Ay	2876
		Bergères-les Vertus	288
		Châlons-en-Champagne	395
		Cramant	300
Damery		300	
Reims		3038	
Somme-Vesles		12	
Verzenay		2732	
Villedommage	300		
Total 51 - Marne		10241	
52 - Haute-Marne	Chaumont	399	
Total 52 - Haute-Marne		399	
<b>Total Champagne -Ardenne</b>			<b>12042</b>
Franche-Comté	25 - Doubs	Besançon	196
	Total 25 - Doubs		196
	39 - Jura	Arbois	392
		Tavaux	392
	Total 39 - Jura		784
	70 - Haute-Saône	Gray	196
Pesmes		132	
Total 70 - Haute-Saône		328	
<b>Total Franche -Comté</b>			<b>1308</b>



Région	Département	Site	Nb de mesures	
Languedoc-Roussillon	34 - Hérault	Montpellier	336	
	Total 34 - Hérault		336	
<b>Total Languedoc -Roussillon</b>			<b>336</b>	
Lorraine	54 - Meurthe-et-Moselle	Nancy	197	
	Total 54 - Meurthe-et-Moselle		197	
	55 - Meuse	Joinville en Woëvre	66	
	Total 55 - Meuse		66	
<b>Total Lo rrairie</b>			<b>263</b>	
Midi-Pyrénées	82 - Tarn-et-Garonne	Montauban lieu dit Saint-Martial	340	
	Total 82 - Tarn-et-Garonne		340	
<b>Total Midi -Pyrénées</b>			<b>340</b>	
Nord-Pas de Calais	59 - Nord	Caudry	10339	
		Lille	10926	
	Total 59 - Nord		21265	
	62 - Pas-de-Calais	Courcelles-les-Lens	11074	
Total 62 - Pas-de-Calais		11074		
<b>Total Nord -Pas de Calais</b>			<b>32339</b>	
Pays de la Loire	44 - Loire-Atlantique	Le Landreau	121	
		Nantes	93	
		St Julien de Concelles	24	
Total 44 - Loire-Atlantique		238		
<b>Total Pays de la Lo ire</b>			<b>238</b>	
Poitou-Charentes	16 - Charente	Cognac	270	
	Total 16 - Charente		270	
	17 - Charente-Maritime	La Rochelle		561
			Total 17 - Charente-Maritime	561
	79 - Deux-Sèvres	Niort	992	
	Total 79 - Deux-Sèvres		992	
	86 - Vienne	Poitiers ludothèque	1108	
		Poitiers, les Couronneries	1644	
Total 86 - Vienne		2752		
<b>Total Poitou -Charentes</b>			<b>4575</b>	
Total			71041	

Ce tableau permet de montrer que trois régions : le Centre, la Champagne-Ardenne et le Nord-Pas-de-Calais représente une large part des données disponibles.

Ce tableau montre également la diversité des points de mesures, répartis sur 57 communes situées dans 29 départements. Les régions Bretagne, Champagne-Ardenne, Poitou-Charentes présentent de nombreux points de mesures qui permettent de faire des études sur l'influence de la répartition spatiale sur les niveaux relevés.

⇒ **Des études réparties entre zones rurales et zones urbaines avec une prépondérance pour les zones peuplées (estimation de l'exposition de la population générale)**

Dans le but de connaître les facteurs pouvant influencer la prise en compte de la problématique pesticides dans l'air, l'analyse des campagnes de mesures a permis d'identifier plusieurs profils de mesures. Ainsi trois grands groupes

(urbain, semi-urbain et rural) ont été définis en fonction des critères de classification des stations de surveillance de la qualité de l'air ADEME 2002 <sup>(1)</sup>, éventuellement corrigés à partir de la base de données géographiques CORINE Land Cover.

Le tableau ci-dessous illustre la répartition de ces campagnes de prélèvement en fonction de la typologie urbain / semi-urbain / rural :

Environnement général	Nb de mesures	Pourcentage	Régions
Urbain	27 527	39 %	Aquitaine, Auvergne, Bourgogne, Bretagne, Centre, Champagne-Ardenne, Franche-Comté, Languedoc-Roussillon, Lorraine, Nord-Pas de Calais, Pays de la Loire, Poitou-Charentes
Semi-urbain	24 734	35 %	Bretagne, Centre, Champagne-Ardenne, Midi-Pyrénées, Nord-Pas de Calais, Poitou-Charentes
Rural	18 780	26 %	Aquitaine, Auvergne, Bourgogne, Bretagne, Centre, Champagne-Ardenne, Franche-Comté, Lorraine, Midi-Pyrénées, Pays de la Loire
Total général	71 041	100 %	

On note une prépondérance des études en milieu urbain ou semi-urbain (74 % des études), qui s'accroît lorsque les campagnes sont des campagnes de prélèvement hebdomadaires de longue durée (supérieur ou égal à 2 mois consécutifs). Dans ce dernier cas, 86 % des études ont été réalisées en milieu urbain ou semi-urbain.

⇒ **Des études réparties par type de production agricole avec une prépondérance pour les terres arables (céréales, légumineuses, cultures fourragères, plantes sarclées et jachères)**

A partir de l'inventaire biophysique de l'occupation des terres de CORINE Land Cover fourni par l'IFEN pour toutes les communes où des prélèvements ont été effectués, sept catégories par types de production végétale (terres arables; viticulture ; arboriculture fruitière et petits fruits ; zones agricoles complexes ; terres arables et viticulture; terres arables et zones agricoles complexes ; viticulture et zones agricoles complexes) ont été définies.

Le tableau ci-après illustre la répartition de ces campagnes de prélèvement en fonction du type de production agricole. Il permet de montrer que la majorité des résultats obtenus proviennent de communes présentant une forte proportion de terres arables <sup>(2)</sup> et de zones agricoles complexes <sup>(3)</sup>.

(1) ADEME, 2002, Classification et critères d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air, 64 pages. Disponible sous <http://www2.ademe.fr/servlet/getDoc?cid=96&m=3&id=28136&p1=00&p2=14&ref=12441>

(2) Terres arables : céréales, légumineuses de plein champ, cultures fourragères, plantes sarclées et jachères. Y compris les cultures florales, forestières (pépinières) et légumières (maraîchage) de plein champ, sous serre et sous plastique, ainsi que les plantes médicinales, aromatiques et condimentaires. Non compris les prairies.

(3) Zones agricoles complexes : cultures temporaires (terres arables ou prairies) en association avec des cultures permanentes sur les mêmes parcelles, juxtaposition de petites parcelles de cultures annuelles diversifiées, de prairies et / ou de cultures permanentes complexes, surfaces essentiellement agricoles, interrompues par de la végétation naturelle, cultures annuelles ou pâturages sous couvert arboré composé d'espèces forestières

Type de production agricole	Nb de mesures	Pourcentage
Terres arables	34285	48 %
Zones agricoles complexes	17298	24 %
Viticulture	8742	12 %
Terres arables, Zones agricoles complexes	6588	9 %
Arboriculture fruitière et petits fruits	1287	2 %
Terres arables, Viticulture	1158	2 %
Viticulture, Zones agricoles complexes	1683	2 %
Total général	71 041	100 %

14 % des résultats obtenus proviennent également de zones identifiées comme viticoles et 2% de zones identifiées comme caractéristiques des vergers et petits fruits.

## Répartition temporelle des données des campagnes de mesures 2002-2005

⇒ Des études majoritairement au printemps et en été

Le tableau ci-dessous illustre la répartition du nombre de mesures par mois de prélèvement :

Mois	Nb de mesures	Pourcentage
Janvier	3 307	5 %
Février	2 772	4 %
Mars	4 290	6 %
Avril	5 671	8 %
Mai	7 044	10 %
Juin	14 233	20 %
Juillet	8 228	12 %
Août	6 175	9 %
Septembre	6 095	9 %
Octobre	4 357	6 %
Novembre	4 415	6 %
Décembre	4 454	6 %
Total général	71 041	100 %

Près de 40 % des résultats proviennent des mois de mai, juin, juillet, périodes où de nombreux traitements phytosanitaires ont lieu et où la probabilité de relever des concentrations non nulles dans l'atmosphère est la plus forte.

### ⇒ Des études de durées très variables

Pour les campagnes de **mesures journalières**, la majorité des études ont été conduites du lundi matin au vendredi matin (soit 4 jours de 24 heures). Pour les campagnes de mesures hebdomadaires qui restent majoritaires (75 % des résultats), la **répartition des études est très variable**. Certaines campagnes durent une semaine et d'autres une année.

Durée de la campagne	Nb de mesures	Pourcentage
< 7 jours	7 188	10 %
Entre 1 et 2 semaines	402	1 %
Entre 2 semaines et 1 mois	6 946	10 %
Entre 1 et 2 mois	1 403	2 %
Entre 2 et 3 mois	3 535	5 %
Entre 3 et 4 mois	2 153	3 %
Entre 4 et 5 mois	1 648	2 %
Supérieure à 5 mois	42 200	59 %

Nous pouvons noter cependant que si près de 20 % des résultats proviennent de campagnes qui durent moins de un mois, pour des raisons logistiques ou financières, il existe également un nombre de campagnes de type « monitoring » qui permettent de faire un suivi de l'évolution des teneurs de pesticides dans l'air dans le temps, permettant d'avoir des conditions représentatives de la saison pour ces polluants qui peuvent présenter des variations de concentration élevées.

### ⇒ Une majorité de campagnes qui s'intéressent aux mesures de concentrations dans l'air pendant et hors période de traitement (pollution de fond)

Les campagnes de prélèvement ont été différenciées selon le type de mesures et d'objectifs attendus.

**3 catégories ont été définies.**

Classification	Description	Objectifs décrits	Nombre de mesures
« Bruit de fond »	Définir un point zéro, connaître le niveau de concentration hors période de traitement	Estimer les concentrations en zones protégées, compléter les connaissances, connaître le niveau de fond hors période de traitement	1 768
« Pollution de fond »	Mesurer les concentrations de pesticides dans l'air à la fois pendant et hors période de traitement	Estimer les niveaux d'exposition des populations, montrer la présence des pesticides dans l'air, définir les quantités présentes sur une période donnée et suivre leurs évolutions, estimer la distribution spatiale et temporelle, relever les niveaux de concentration pendant et hors période de traitement, faire un état des lieux, etc.	68 804
« Application »	Mesurer les concentrations de pesticides uniquement pendant la période de traitement, en étant à proximité immédiate de la source d'émission	Estimer les niveaux d'exposition des agriculteurs et des populations résidant en limite de parcelles, estimer les concentrations pendant le traitement	329

On note une forte prépondérance pour les campagnes de type « pollution de fond » qui permettent de mieux comprendre l'évaluation des concentrations de pesticides dans l'air.

## Références bibliographiques

Briand O., 2003. Influence des facteurs environnementaux et des pratiques agricoles sur les variations spatio-temporelles des niveaux de contamination de l'atmosphère par les pesticides. Thèse de doctorat, Université de Rennes, 297 pages.

Charollais S., 2004, Biosurveillance des retombées atmosphériques des pesticides, Etude de faisabilité cartographique en Bourgogne. Rapport de stage Université de Bourgogne, 77 pages.

Devillers J., Farret R., Girardin P., Rivière J-L., Soulas G. 2005. Indicateurs pour évaluer les risques liés à l'utilisation des pesticides. Eds Lavoisier, 278 pages.

Gouzy, A. et Farret, R., 2005. Détermination des pesticides à surveiller dans le compartiment aérien : approche par hiérarchisation. Synthèse du comité de pilotage, Rapport pour le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, INERIS.

Hassink, J., Guth, J.A., Reischmann, F.J., Allen, R., Arnold, D., Leake, C.R., Skidmore, M., Reeves et J.L., 2003, Vapour pressure and volatile losses of plant protection products from plants and soil, in Del Re, A.A.M., Capri, E., Padovani, L., Trevisan, M. (Eds), Proceedings of the XII Symposium Pesticide Chemistry, June 4-6, 2003, Piacenza, Italy, p. 359-366.

Jury, W.A., Spencer, W.F. et Farmer, W.J., 1983. Behaviour assessment model for trace organics in soil: I. Model description. Journal of Environmental Quality, 12, p. 558-564.

Prouvost H, Declercq C, 2005. Exposition de la population aux pesticides dans la région Nord-Pas-de-Calais : apports du programme PHYTO AIR, 73 pages.

Roy, B., 1985. Méthodologie multicritère d'aide à la décision, Ecomonica, Paris.

### ◆ Rapports des AASQA

Atmo Poitou-Charentes, Vallet F., 2002, Mesure des pesticides dans l'atmosphère en Poitou-Charentes, Développement de techniques de biosurveillance des pesticides, 93 pages.

Lig'Air, 2002, Rapport d'étape : Etude de la contamination de l'air par les produits phytosanitaires, Novembre 2002, 22 pages.

AIRAO, 2003, Campagnes de mesures, Produits Phytosanitaires dans l'air ambiant, Rapport n° ET/PP/04/01, 46 pages.

ATMO Poitou-Charentes, 2004, Mesure des pesticides en Poitou-Charentes Septembre 2004, référence second semestre 2002-année 2003, 49 pages.

ATMO Champagne-Ardenne, 2005, Evaluation des teneurs en produits phytosanitaires de l'air en zone viticole champenoise, Etude de la dispersion et persistance des produits phytosanitaires dans l'air, Etude juin-juillet 2005 rapport intermédiaire étude phyto 05/06-07-EKD/EC, 24 pages.

Air Pays de la Loire, 2005, Mesure de produits phytosanitaires en zones viticoles et urbaines de Loire-Atlantique, Campagne 2004, 37 pages.

ATMO Nord-Pas-de-Calais, 2006, Etude de la contamination du compartiment atmosphérique en produits phytosanitaires de la région Nord-Pas-de-Calais de mars 2003 à mars 2005, 134 pages.

L'ensemble des rapports des AASQA est accessible sur le site de l'observatoire des résidus de pesticides.

### ◆ Autres rapports

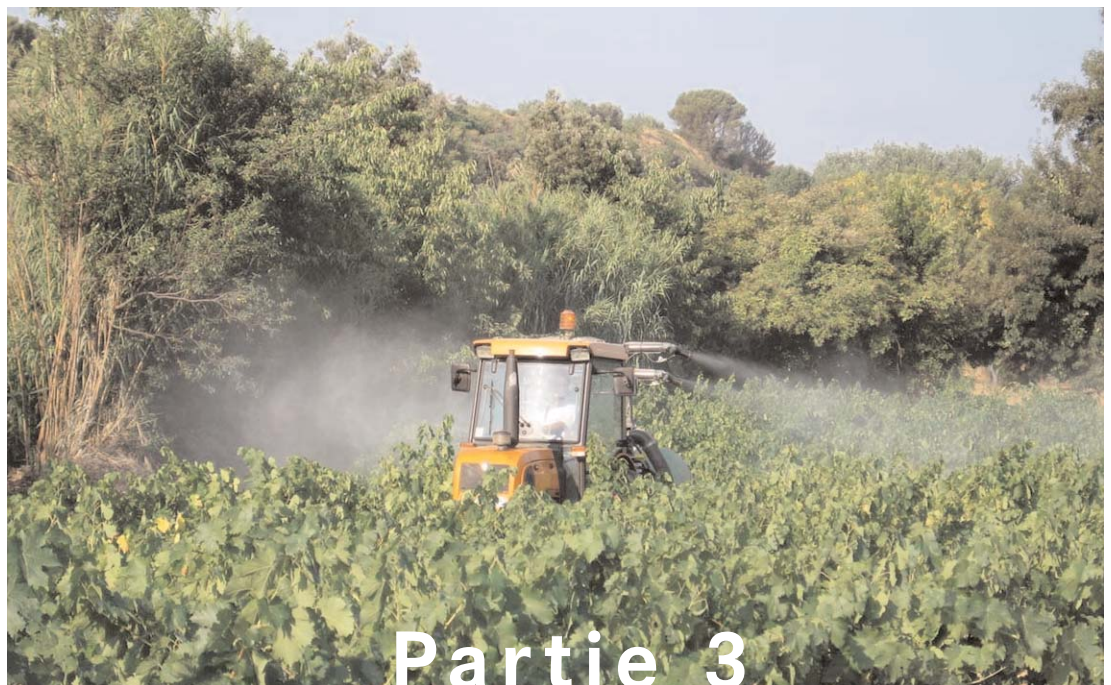
Rapport du CPP - Comité de la prévention et de la précaution - sur les risques sanitaires liés à l'utilisation de produits phytosanitaires, Février 2002.

Normes sur le prélèvement et l'analyse des pesticides dans l'air ambiant : NF 43-058 et NF 43-059

Méthodes américaines relatives au prélèvement et à l'analyse des pesticides dans le compartiment atmosphérique EPATO-4 et EPATO-10



# Recommandations pratiques pour limiter les émissions des produits phytosanitaires dans l'air



# Avant-propos

## ◆ Modalités d'autorisation de mise sur le marché des produits de protection des plantes

De nombreuses études sont réalisées pour étudier le comportement des produits de protection des plantes ainsi que les risques éventuels induits pour l'homme et le milieu sur la base de protocoles d'évaluation développés au plan international par l'OCDE et acceptés par les autorités des pays où sont déposées les demandes d'autorisation de mise sur le marché.

Au sein de l'Union Européenne, la directive 91/414 (Réf. biblio.1) relative à la mise en marché des produits de protection des plantes est en cours de révision. Elle doit être remplacée par un règlement européen, qui permettra d'affiner les évaluations concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques

Les évaluations réalisées dans le cadre de la Directive existante permettent de préciser les risques suivants.

► **Pour le consommateur**, la base d'évaluation est fondée sur une dose journalière admissible (DJA exprimée en mg/kg/j) d'ingestion journalière pour des personnes types (nourrissons, bambins, adultes par exemple) et parfois sur une dose exposition aiguë au travers de l'ARfD (dose aiguë de référence).

► **Pour l'opérateur**, l'approche est réalisée sur la base de l'usage du produit considéré : culture, dose/ha, modalités de mise en œuvre de la préparation. Deux modèles élaborés en Angleterre et en Allemagne (POEM, BBA respectivement), complétés par des informations toxicologiques à moyen terme (90 jours en général), permettent d'exprimer le niveau d'exposition de l'opérateur (AOEL : acceptable operator exposure level, mg/kg/j).

► **Pour l'environnement**, les études éco toxicologiques sont prises en considération et permettent de calculer des concentrations prévisibles dans l'environnement (CEP) et des ratios d'exposition (TER). Cela permet de déterminer l'acceptabilité ou non d'un produit pour un usage donné. Des réflexions sont en cours pour inclure le compartiment atmosphérique dans ces études (cf. rapport du groupe de travail européen FOCUS Air).

Si ces évaluations démontrent l'absence de risque avéré pour le consommateur, l'opérateur ou l'environnement, il est évident que toute nouvelle considération scientifique peut les remettre en cause. Ce principe régit depuis toujours le schéma de l'évaluation des produits et se traduit généralement par la mise en application de nouvelles évaluations en vue de limiter les risques associés.

### ◆ Transferts dans l'air

Les études réalisées à ce jour montrent que les informations sur le transfert dans l'air des substances actives en fonction des systèmes et paramètres d'application sont limitées. Aussi, DG SANCO a constitué un groupe de réflexion, FOCUS Air, qui a remis ses propositions pour permettre une approche raisonnée de cette problématique.

Les transferts de molécules interviennent en effet dans deux processus bien distincts et complexes :

- ▶ lors de l'application, du fait des propriétés intrinsèques des préparations, en particulier leur pression de vapeur (volatilisation) puis lors du transport aérien des gouttes, notamment celles qui n'atteignent jamais la cible ou le sol, C'est dans ce cadre il a été défini une notion de « dérive » qui ne concerne que les gouttes transportées en bordure des parcelles traitées.
- ▶ en post-application par volatilisation à partir du sol ou de la végétation.

C'est pourquoi il est apparu utile d'aborder les techniques de réduction de la dérive de la manière la plus large et pas uniquement d'un point de vue strictement réglementaire (pour le calcul des largeurs des zones non traitées par exemple).

### ◆ Recommandations

Les recommandations pratiques faites à la fin de ce chapitre ont un caractère simple et parfois limité du fait du manque d'informations précité, notamment concernant la dérive ainsi que la variabilité des pratiques et situations dans lesquelles elles s'inscrivent. On peut toutefois considérer que leur prise en compte lors de la préparation d'un traitement conduit à un compromis acceptable dans l'attente de nouvelles données. Elles sont le fruit d'une concertation entre les Instituts Techniques et la Profession.

Leur mise en application sur le terrain nécessite dans la grande majorité des cas des adaptations pour lesquelles tout conseil technique est à rechercher (avis des Services régionaux de la Protection des Végétaux, des représentants locaux des Instituts Techniques, des conseillers agricoles, des distributeurs de produits et des vendeurs de machines). L'actualisation de ces conseils est toutefois nécessaire pour les rendre applicables aux nouveaux produits phytopharmaceutiques mis sur le marché, a priori plus performants en termes d'efficacité, de coût et de respect de l'environnement.

# 1 - Etat de l'art

## 1.1 - CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Depuis de nombreuses années, l'amélioration des performances des techniques de pulvérisation est restée un souci afin de limiter le déport par dérive des produits phytosanitaires en dehors des parcelles cibles ; ce point, résumé sur le schéma (fig. 27), porte sur 25 ans d'évolution des matériels de pulvérisation. Il met en évidence l'apport significatif des buses à injection d'air qui permet de réduire la dérive latérale.

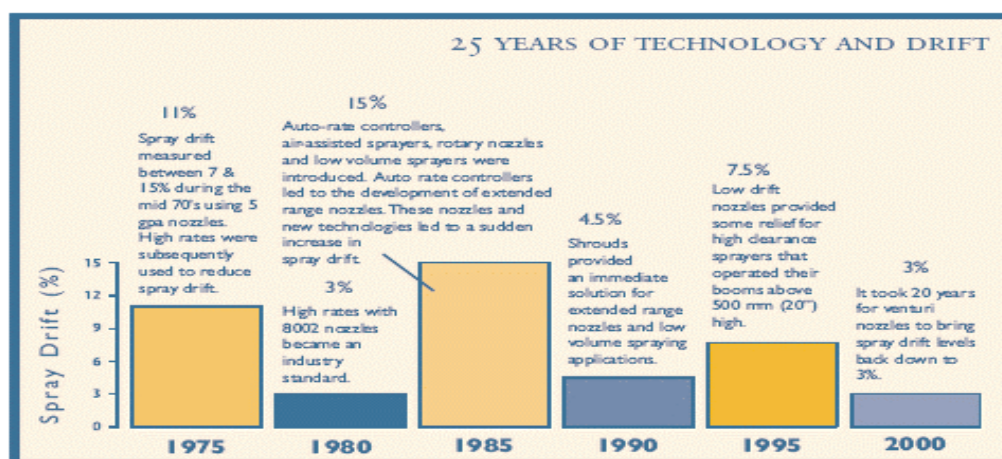


Figure 27 Evolution de la dérive en fonction des techniques de pulvérisation

Ce constat montre que la buse est l'un des éléments essentiel car elle est directement à l'origine de la quantité appliquée, de la forme du jet, de sa répartition et de sa pénétration dans le feuillage (Réf. biblio. 26). Ainsi les buses qui génèrent des populations de gouttes de faible diamètre, notamment en dessous de 100 µm présentent généralement un pourcentage de dérive nettement supérieur aux autres. Cette amélioration est significative pour les buses basse pression, les buses à réduction de pressions et les buses à injection d'air.

A contrario, l'augmentation de la taille des gouttes peut conduire à une perte d'efficacité de produits par une réduction de la couverture des cibles les plus difficiles à atteindre (feuillage denses). Ces pertes d'efficacité sont toutefois rarement constatées.

Rappelons également que la réduction des risques de contamination de l'air et autres milieux naturels est possible par une diminution de l'utilisation de produits phytosanitaires. L'amélioration des pratiques agricoles par la mise en œuvre de diagnostics dans les parcelles et l'utilisation des bulletins de préconisations évite la réalisation de traitements inutiles. La mise en œuvre et le développement d'itinéraires techniques intégrés dans les cultures pérennes et annuelles permettent une économie de traitements. Ce point fait d'ailleurs l'objet d'un groupe de travail du CORPEN.

## I. 2 - RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES DU GROUPE DE TRAVAIL TAM LIÉES AUX APPLICATIONS

Ce groupe de travail du CORPEN a mis à jour récemment (février 2006) ses recommandations (Réf. biblio. 2) en rappelant :

- ▶ les normes et réglementations relatives à la sécurité des applicateurs,
- ▶ les prescriptions techniques relatives aux pulvérisateurs,
- ▶ les meilleures méthodes de préparation et d'application de la bouillie (choix du matériel de pulvérisation, buses, pression...),
- ▶ l'étalonnage du matériel avant toute utilisation avec réglage de la vitesse d'avancement et du débit,
- ▶ la limitation de la dérive en tenant compte de l'importance des conditions climatiques lors de l'application et des types de culture (basse, haute, conduite en rang...).

Ces recommandations sont reprises dans la publication Phytoma de Mai 2006 sous le nom de Bonnes Pratiques pour l'environnement en évoquant en particulier le choix des buses, leur entretien et leur réglage (Réf. biblio. 15).

Enfin, la prévention des intoxications aux produits phytosanitaires doit se faire de façon globale, et de ce fait le risque doit être pris en compte dès le choix de la technique de protection de la culture, et dès le choix du produit si la technique chimique est la plus adaptée. Par ailleurs, l'entretien du matériel, le choix d'un équipement de protection respiratoire adapté sont des éléments incontournables dans la mise en place d'un travail en toute sécurité permettant de préserver sa santé. A noter par ailleurs que les tracteurs à cabines filtrantes sont à préférer aux équipements de protection « individuelle ».

## I. 3 - FACTEURS PARTICULIERS INFLUANT SUR LA DÉRIVE DE PULVÉRISATION

La dérive aérienne des produits lors de la pulvérisation étant un des facteurs prépondérant dans leur contribution à la contamination de l'atmosphère, il est important de préciser que certains facteurs peuvent en limiter les effets.

Une étude méthodologique conduite par T. Arvidsson (Réf. biblio. 23) et des études conduites par d'autres chercheurs ont permis de lister les principaux facteurs déterminant la dérive de pulvérisation ou la limitant.

### ▶ Diamètre des gouttelettes de pulvérisation

Les études conduites par V. Hofman et E. Solseng (Réf. biblio. 4) ont mis en évidence que passer d'une goutte de diamètre 200  $\mu\text{m}$  à 20  $\mu\text{m}$  augmentait significativement la couverture de la bouillie sur le feuillage. En revanche, cela se traduisait par une évaporation complète des gouttes de 20  $\mu\text{m}$  (une seconde de temps de trajet sur une distance de l'ordre de 2.5 cm) alors que celles de 200  $\mu\text{m}$  pouvaient parcourir environ 100 cm et atteindre leur cible plus facilement.



D'un point de vue plus général, on considère généralement que les gouttes dont le diamètre est inférieur à 100 microns tendent à ne pas se déposer et à être entraînées vers l'air alors que celles dont le diamètre est supérieur à 400 microns ruissellent sur les feuillages et tombent au sol (fig. 28a).

Une pulvérisation de qualité dépend donc à la fois de la pression et du calibre de la buse afin de favoriser les gouttes comprises entre 150 et 400 microns (fig.28b).

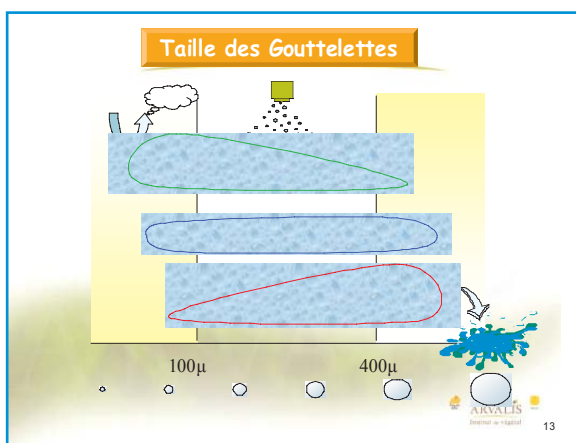


Figure 28a Incidence du diamètre de la goutte sur la tenue sur le feuillage

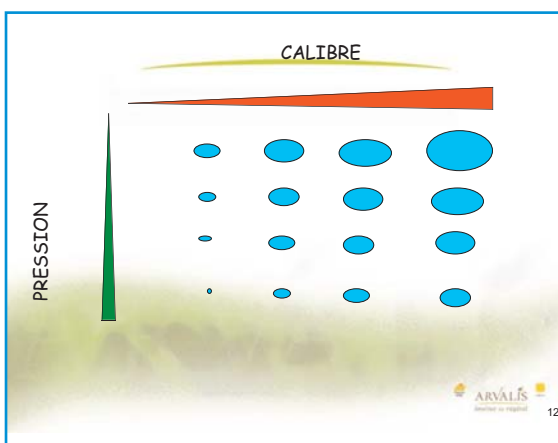


Figure 28b Suggestion du diamètre idéal des gouttelettes

Aux USA, le groupe de travail (Spray Drift Reduction Technology) des industriels américains de la protection des plantes a conduit à recommander certains types de matériel d'application. Parmi leurs recommandations pratiques (Réf. biblio. 5), il est possible de noter en particulier l'utilisation de techniques d'application concourant à la formation de gouttelettes dont le diamètre moyen est aussi supérieur à 150 µm.

### ► Hauteur de rampe, assistance d'air

En minimisant l'emprise du vent sur la bouillie pulvérisée, la réduction de la hauteur de la rampe de pulvérisation par rapport à la culture constitue un facteur de limitation de la dérive (fig. 29). De même les dispositifs à jet porté, en canalisant les flux de gouttes, réduisent l'importance du vent.

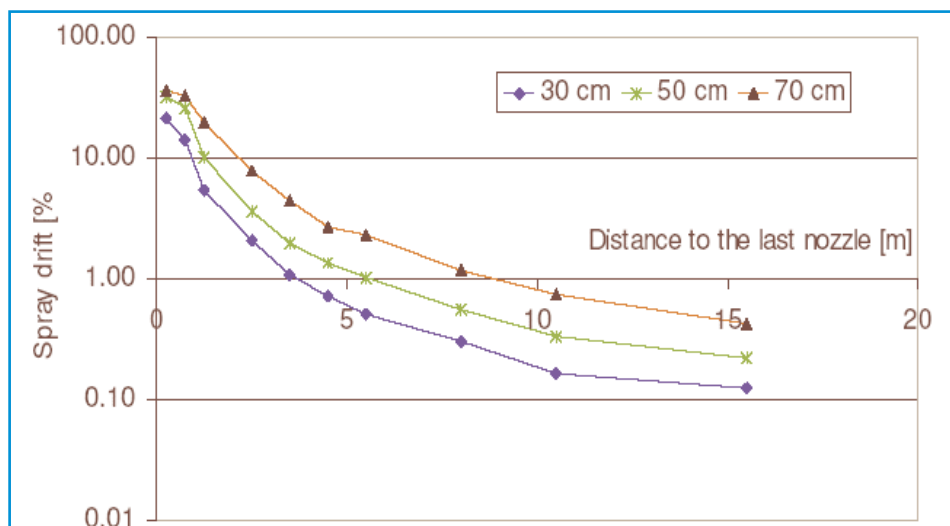


Figure 29 Dérive de pulvérisation en fonction de la hauteur de rampe (de Jong et coll., 2000 ; J.C. de Zande et coll., 2000) (6,7)



### ► Conditions climatiques

Trois facteurs climatiques influencent les pertes vers l'air :

- les mouvements d'air ascendants et horizontaux, leur turbulence, qui déplacent les gouttes les plus fines plus ou moins rapidement
- le couple hygrométrie/température qui joue sur l'évaporation

Il en résulte la nécessité :

- d'éviter les temps secs et de traiter de préférence le matin ou le soir
- d'éviter les vents nuls qui favorisent les ascendances lors des renverses thermiques en fin de matinée
- d'arrêter les traitements lorsque les vents dépassent 5 m/s (niveau 3 échelle de Beaufort)
- d'adapter les traitements à la topographie des lieux afin d'éviter les zones ou les périodes de grande turbulence thermique ou aéraulique.

### ► Aménagements : barrières végétales ou haies, filet paragrêle

A.J. Hewitt (Réf. biblio. 1) a montré l'intérêt des barrières végétales naturelles qui peuvent concourir à un taux de réduction des transferts compris entre 45 et 90 % selon le type de barrières végétales mises en œuvre et de culture considérée.

Ce constat est aussi celui d'une étude réalisée sur 3 ans en Angleterre afin d'évaluer l'intérêt des brise-vent pour réduire le déport de la pulvérisation en dehors des parcelles (Réf. biblio. 20). Cette étude conclut à une réduction comprise entre 38 et 75 % selon le stade de développement de la haie pour atteindre 50 à 95 % dans les stades avancés. Cette étude est liée aux recommandations du LERAP (Local Environment Risk Assessment for Pesticides : voir ci-dessus).

En arboriculture fruitière, E. Garcin et F. Zavagli (Réf. biblio. 8) concluent aussi à l'intérêt des haies pour limiter les pertes en dehors des parcelles traitées. L'utilisation de filets paragrêle est aussi mentionnée comme facteur de réduction.

Par contre des travaux menés par le LERES (Réf. biblio. 33) montrent des effets de concentrations possibles sous le vent des haies, suivant leur hauteur et leur perméabilité, et surtout suivant la force du vent, en accord avec les théories de l'aérodynamique.

## I. 4 - REVUE DES DISPOSITIFS RÉGLEMENTAIRES DÉJÀ MIS EN ŒUVRE

**Au plan international**, l'OCDE a organisé un symposium sur la réduction du risque au travers de meilleures techniques d'application (Réf. biblio. 17). Des représentants de plusieurs pays ont participé à cette manifestation et ont montré l'intérêt des buses à injection d'air.

**En Allemagne**, une réflexion a eu lieu au début des années 2000 ; H. Ganzelmeier et G. Backhaus du Centre Fédéral de Recherche sur l'Agriculture (Réf. biblio. 13) ont permis d'établir les possibilités de réduction de la dérive de 50, 75 ou 90 % suivant les buses et matériels utilisés, notamment les buses à injection d'air (Réf. biblio. 14).

**En Angleterre**, le Pesticide Safety Directorate (UK), dès 2001, a initié une réflexion avec le Department for Environment, Food and Rural Affairs en vue d'élaborer des recommandations conduisant à la limitation de dérive lors de la pulvérisation pour les appareils à rampe (LERAP - Réf. biblio.12). Si la réduction de la contamination de l'eau est particulièrement visée ici, ces recommandations ont un caractère plus général et favorisent toutes les initiatives qui ont pour objectif la limitation de la dérive des brumes de pulvérisation en dehors de la parcelle traitée. Concrètement, une zone tampon de 5 mètres est recommandée pour éviter la contamination des eaux de surface, cette largeur pouvant être réduite à 1 mètre si le pulvérisateur est labellisé « 3 étoiles », équipé de buses appropriées et réglé correctement.

**En Belgique**, dans une publication récente du Service Fédéral de l'Agriculture (Réf. biblio. 8), les autorités belges ont publié un document intitulé « mesures de réduction de la contamination des eaux superficielles par les produits phytosanitaires ».

Ces mesures ont un caractère général mais une partie du document rapporte le pourcentage de réduction de la dérive en fonction de la technique de pulvérisation, qu'il s'agisse de pulvérisation classique, à assistance d'air, à rampe couverte, lors de la pulvérisation en lignes, en bandes ou sous capot. De plus, les références des buses sont indiquées ainsi que le pourcentage de réduction pour la quasi-totalité des cultures. La réduction de dérive, dans de nombreuses situations, peut atteindre 75 à 90 %.

**Au Canada**, un projet de directive est à l'étude pour définir la largeur des zones tampons en milieu sensible ; il tient compte en particulier de plusieurs paramètres comme les conditions météorologiques lors de l'application, la configuration de l'équipement de pulvérisation et enfin du produit antiparasitaire utilisé (Réf. biblio. 21).

**Aux Etats-Unis**, l'Agence de Protection de l'Environnement (US EPA) rend compte dans ses décisions d'homologation des recommandations conduisant à la bonne utilisation du produit en incluant des données sur la dérive sur la base des modèles de dérive existants et sur les informations fournies par le fabricant. Par ailleurs, le modèle AGDRIFT est largement utilisé pour l'évaluation de la dérive lors des diverses méthodes d'épandage des produits (Réf. biblio. 22).

**Aux Pays-Bas** (Réf. biblio. 29), une zone tampon de 14 mètres est recommandée entre la parcelle traitée et toute surface d'eau quel que soit le traitement, celle-ci étant ramenée à 1.5 mètres lors de l'utilisation de buses à dérive limitée.

**En Suède**, un système similaire est mis en œuvre tenant compte par exemple de la vitesse du vent, de la température extérieure, de la finesse de la pulvérisation, de la hauteur de la rampe et de l'existence à proximité de zones cultivées « sensibles » ou « non sensibles ». Une table permet de déterminer la largeur de la bande tampon qui varie de 2 mètres à plus de 50 mètres.

**En Suisse**, Vitiswiss a élaboré des lignes directrices pour la production écologique et intégrée en viticulture où elle fait clairement appel à côté du contrôle régulier des appareils de pulvérisation à l'utilisation de buses à injection d'air (Réf. biblio. 16).

**En France**, l'arrêté du 12 septembre 2006 (Réf. biblio. 30) relatif aux produits visés par l'article L.253-1 du code rural précise diverses dispositions pour une meilleure mise en œuvre de ces produits. Il présente en particulier la liste des buses permettant de diviser par trois la dérive pour les cultures basses et le désherbage des cultures pérennes (arboriculture, viticulture) ainsi que les délais de réentrée pour les opérateurs dans les champs ou cultures sous abri.

Par ailleurs, un groupe de travail piloté par l'INERIS (Réf. biblio. 9) a travaillé sur la hiérarchisation des pesticides à suivre dans l'environnement. Parmi ses conclusions, le groupe fait part des estimations des parts relatives des produits partant vers le compartiment aérien suite à une application de substance pour les cultures annuelles, les cultures pérennes hautes et basses et le maraîchage de plein champ en fonction de la technique d'application (jet porté, jet projeté, pneumatique ou application en milieu confiné). Un classement est fait en fonction du type de matériel utilisé et de leur capacité à réduire les pertes dans les compartiments non cible de l'environnement (sol et air).

## 2 - Moyens d'action sur la dérive et la volatilisation

### 2.1 - ÉLÉMENTS PRATIQUES À CONSIDÉRER POUR LIMITER LA DÉRIVE

Le document guide sur lequel se fondent ces recommandations résulte des travaux du groupe Phytoprati du CORPEN Techniques d'Application et de Manipulation (TAM).

Il ne semble pas utile de reprendre ici l'ensemble des recommandations qui sont disponibles dans la brochure TAM (Réf. biblio. 2) mais de se cantonner à celles qui permettent de limiter la dérive.

La dérive est un phénomène qui concerne avant tout les fines gouttelettes de bouillie de pulvérisation (diamètre inférieur à 100 - 150  $\mu\text{m}$ ) qui peuvent être déviées par le vent et contribuer à la contamination des milieux non cibles. Afin de les limiter, les précautions suivantes doivent être mises en œuvre.

- ▶ **Pression de pulvérisation** : Elle doit être celle qui est recommandée pour la buse considérée.
- ▶ **Vitesse d'avancement** : Une vitesse plutôt faible permet souvent de diminuer la pression de pulvérisation et d'augmenter le diamètre des gouttelettes produites ; la vitesse peut cependant être augmentée mais il faut alors travailler avec des buses de plus gros calibre.
- ▶ **Utilisation d'adjuvant** : Dépourvu d'activité phytosanitaire, il est ajouté de façon extemporanée à la bouillie de pulvérisation, l'adjuvant peut améliorer la rétention de la goutte sur le feuillage, la pénétration de la substance active ou favoriser la diminution de la dérive.

Néanmoins, peu de données sont disponibles sur leur éventuel impact sur la dérive.

► **Volume de bouillie par hectare** : En grandes cultures, le volume de bouillie minimal à appliquer est de l'ordre de 80 à 100 litres par hectare pour obtenir une efficacité satisfaisante.

► **Buses à dérive limitée** : Leur objectif est de produire des gouttes de plus gros diamètre donc moins sensibles à la dérive. Il en existe actuellement 4 types : les buses basses pression, à pastille de calibrage, de type miroir et à injection d'air.

Pour de nombreux traitements, il faudra s'attacher à produire un nombre d'impacts suffisants sur le feuillage pour obtenir l'efficacité désirée (au moins une vingtaine d'impacts par cm<sup>2</sup>) sans que celui-ci soit trop important pour éviter le ruissellement de la bouillie sur le feuillage.

► **Flux d'air** : Afin de limiter la dérive, un dispositif à rideau d'air « canalisant » le flux pulvérisé vers la cible peut être adapté pour limiter l'influence du vent et le transport latéral des brumes de pulvérisation.

La mise en œuvre de ces recommandations permet sans aucun doute de limiter le potentiel de dérive d'une bouillie de pulvérisation mais nécessite une grande attention de la part des opérateurs. Il s'agit souvent de trouver le meilleur compromis entre un type de conduite de la culture, son stade de développement, un matériel de pulvérisation existant et des conditions climatiques variables, .... A cet effet, l'utilisation de papiers hydrosensibles, de plantes tests ou de papiers collants peut aider l'opérateur à faire son choix. Il va de soi par ailleurs que l'utilisation d'un pulvérisateur en parfait état de fonctionnement (sans fuite, propre, buses calibrées...) est aussi et avant tout de nature à générer une pulvérisation de qualité.

## 2. 2 - INFLUENCE DES DIFFÉRENTS TYPES DE PRÉPARATIONS PHYTOPHARMACEUTIQUES SUR LA DÉRIVE ET LA VOLATILISATION

Plusieurs types de préparations phytopharmaceutiques permettent de mettre à disposition de l'utilisateur des formulations qui confèrent à la substance active son potentiel d'efficacité compte tenu de ses propriétés intrinsèques et de sa stabilité physico-chimique. Peu de publications portent sur la volatilisation des substances actives à partir de ces préparations. Toutefois, deux publications d'entre-elles donnent quelques informations sur l'influence de la formulation sur la volatilisation et la dérive.

► **sur la dérive** : Il est généralement admis que les préparations de type granulé offrent un potentiel de dérive inférieur à celui des formulations huileuses puis aqueuses et enfin des poudres (Réf. biblio. 24)

► **sur la volatilisation en fonction de la préparation** : La micro-encapsulation s'est avérée une technique intéressante pour réduire la volatilisation des substances actives, pour les rendre éventuellement moins agressives vis-à-vis des plantes voisines ou pour limiter son transfert potentiel vers l'atmosphère (Réf. biblio. 25). Ce constat a été fait sur la base d'essais de laboratoire et de plein champ. Des facteurs de réduction de la volatilisation de l'ordre de 10 ont été trouvés par rapport à des préparations classiques.

## 2. 3 - AUTRES PRATIQUES PERMETTANT DE LIMITER LA VOLATILISATION

◆ **L'incorporation du produit dans le sol** : elle est toujours recommandée lorsque l'on a affaire à des produits ayant un potentiel significatif de volatilisation et/ou de photodégradation (herbicides du maïs, des céréales, du colza). Des résultats obtenus récemment indiqueraient que cette incorporation doit avoir lieu le plus tôt possible après l'application, afin de limiter les pertes par volatilisation qui peuvent atteindre quelques 10 % de la dose appliquée en 24 h pour des substances actives volatiles pour lesquelles l'incorporation est préconisée (Réf. biblio. 32).

◆ **L'utilisation du paillage** : dans certains usages plus rares (emploi de fumigants), la volatilisation peut en partie être contenue par l'utilisation d'un paillage plastique qui joue le rôle d'écran entre le produit incorporé au sol en profondeur et son contact avec l'atmosphère.

Par ailleurs, il faut citer pour mémoire en attente de confirmation à l'aide d'études plus approfondies, l'éventualité de réaliser le traitement en fin de journée voire la nuit pour bénéficier du refroidissement nocturne pour limiter la volatilisation du produit et pour tirer partie d'une éventuelle humidité souvent propice à la fixation du produit aux éléments du sol. Toutefois, et comme pour les applications de jour, toute précaution est à prendre pour réduire les risques liés à tout traitement phytosanitaire (préparation et réglage du pulvérisateur, respect des distances des zones non traitées, contrôle de la dérive...).

## 3 - Aspects cultures : principaux paramètres influant sur la dérive et la volatilisation

Bien qu'à ce jour il n'existe pas d'information chiffrée sur les conséquences de l'utilisation des techniques de pulvérisation mises en œuvre en fonction des cultures, il va de soi que la culture joue un rôle important. Les paramètres suivants sont de nature à influencer sur le transfert par dérive :

- ▶ **pour les cultures annuelles, basses et de plein champ** : hauteur de rampe, pression de pulvérisation, volume de bouillie appliqué, grosseur des gouttes,
- ▶ **pour les cultures pérennes** (viticulture, arboriculture) : le jet doit être dirigé de façon à viser les zones de la plante à protéger en tenant compte de son développement et voire en limitant le volume apporté en fonction du volume de feuillage (pression, jet dirigé sur le feuillage, grosseur des gouttes),
- ▶ **pour le traitement au sol** : hauteur de rampe, pression, diamètres des gouttes, incorporation par travail superficiel, couverture par paillage plastique,
- ▶ **pour les serres** : étanchéité des serres, type de matériel d'application (fumigation, nébulisation, pulvérisation avec rampe verticale pour les cultures palissées ou horizon-

tales pour les cultures à plat), traitement de sol avec ou sans incorporation, avec couverture plastique, aération pour éviter l'eau de condensation, filtration de l'air rejeté, stérilisation du sol à la vapeur / solarisation, goutte à goutte dans eau d'arrosage, panneaux englués, greffage, utilisation d'auxiliaires,

► **pour le traitement de semences** : Les applications de pesticides sous forme de traitement de semence peuvent ne pas être toujours exemptes de transfert vers l'atmosphère ; les semoirs peuvent engendrer des abrasions qui génèrent des poussières de traitements de semences potentiellement dispersées dans l'atmosphère. Des études sont en cours pour en évaluer l'importance et déterminer les facteurs impliqués dans ce transfert.

## 4 - Fiches de recommandations

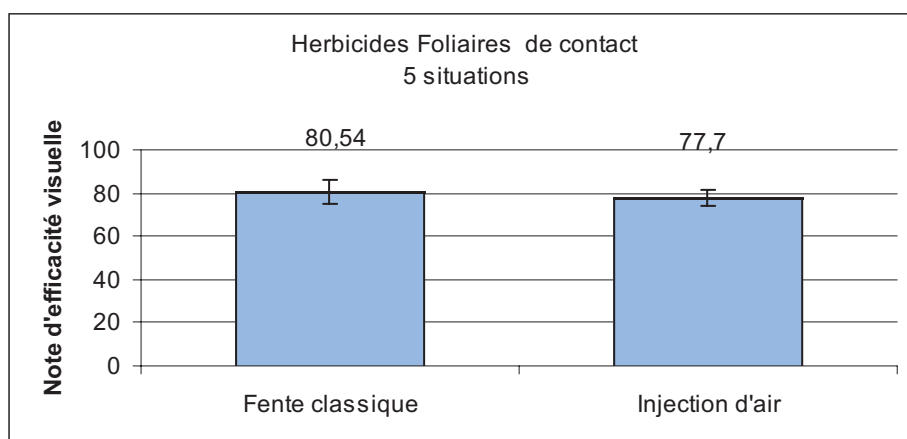
### fiche 1 RECOMMANDATIONS PRATIQUES SPÉCIFIQUES AUX GRANDES CULTURES

Les recommandations présentées dans le paragraphe suivant sont le fruit d'une concertation avec Arvalis Institut du Végétal (contribution de Pierre-Yves Yeme)

#### COLLOQUE AFPP « MIEUX TRAITER », ORLÉANS, 2004

Il a permis de faire un point de situation quant aux performances physiques et biologiques des buses à dérive limitée (Réf. biblio. 27).

L'étude au banc de dérive mettait aussi en évidence la limitation du potentiel de dérive de ce matériel avec une réduction de l'ordre de 70% par rapport à la buse à fente classique. Ceci était aussi confirmé par des essais d'efficacité biologique de plein champ indiquant qu'il n'y avait pas de différence significative entre les buses à fente classique et celles à injection d'air pour les traitements herbicides ou fongicides.





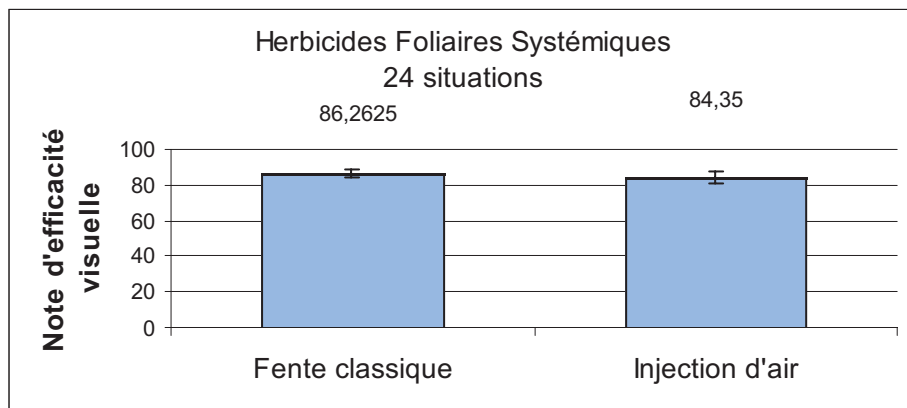


Figure 30 Efficacité biologique et types de buses (à fente, à injection d'air)

Toutefois, pour les traitements herbicides à action de contact l'utilisation de buses à injection d'air nécessite un volume pulvérisé d'au moins 80 litres par hectare.

### HAUTEUR DE PULVÉRISATION ET ANGLE DE JET

La hauteur de la rampe de pulvérisation et l'angle de jet jouent un rôle majeur dans le potentiel de dérive de pulvérisation. Le schéma qui suit le démontre à l'évidence quel que soit le type de buse utilisée.

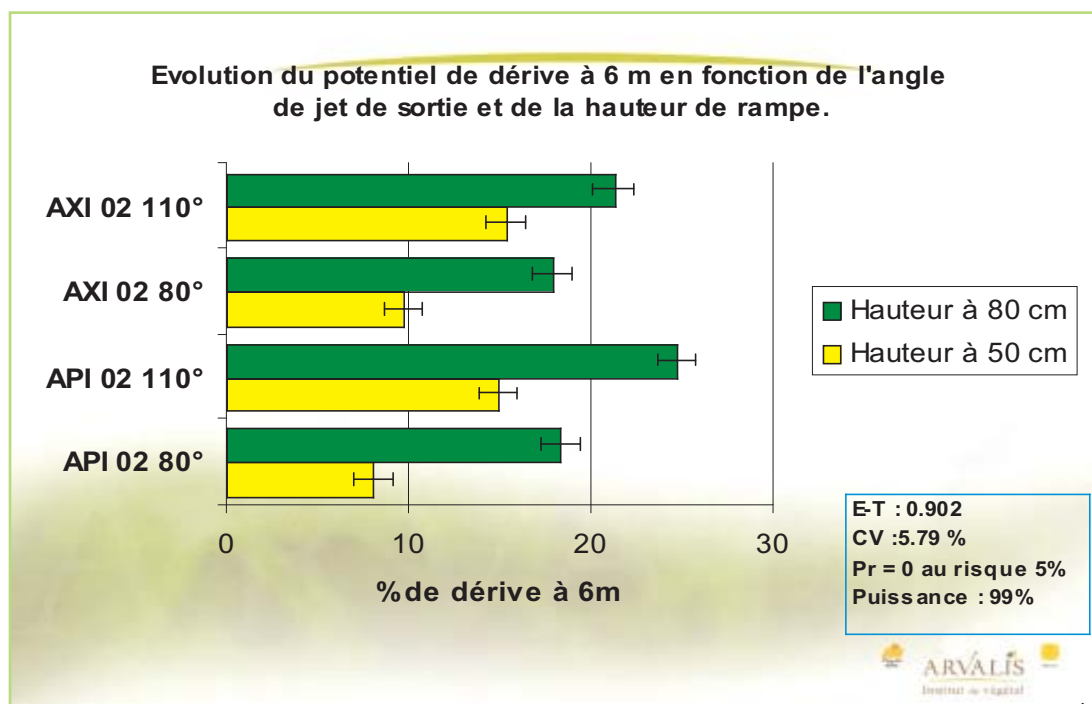


Figure 31 Potentiel de dérive en fonction de l'angle de sortie et de la hauteur de rampe (source Arvalis)

Idéalement, une hauteur de pulvérisation de 50 centimètres au-dessus du feuillage présente un niveau de dérive minimalisé si bien sûr les conditions opératoires de plein champ le permettent (terrain plat en particulier ou vitesse d'avancement réduite, hauteur maximale des rampes permise par le pulvérisateur).

## LES ADJUVANTS

«Les adjuvants sont des produits sans activité phytopharmaceutique mais capables de modifier les propriétés physiques ou biologiques des préparations phytosanitaires» (directive 91/414 de l'Union Européenne).

Ainsi, les mouillants peuvent agir sur l'interaction entre la cuticule et l'eau des gouttelettes de pulvérisation ; les huiles agissent surtout sur la pénétration foliaire des substances actives, quant aux polymères, ils peuvent modifier l'élasticité des gouttelettes en limitant leur rebond sur la feuille (Réf. biblio. 28).

Les essais réalisés par G. Citron (Réf. biblio. 28) ont montré leur intérêt avec les anti-graminées strictement foliaires et avec les foliaires-racinaires en régularisant leur efficacité mais ils sont sans intérêt pour les herbicides anti-dicotylédones.

J.Y. Maufra (Réf. biblio. 28) conclut à un effet limité des adjuvants dans les traitements fongicides céréales.

Quant à l'aspect limitation de la dérive, P.Y. Yeme (Réf. biblio. 28) constate leur effet au cas par cas en fonction de la formulation utilisée. Ils peuvent parfois contribuer à la limitation de la dérive mais il s'avère que l'utilisation d'une buse à dérive limitée (injection d'air) est le moyen généralement le plus efficace.

## CHOIX DES BUSES

Les principaux types de buses sont présentés dans le schéma suivant proposé par Arvalis Institut du Végétal.

Dénomination	Schéma	Principe
Fente classique Standard		Angle formé à partir de 2 bars ◆ <b>Pression d'utilisation : 2-3 bars</b>
Basse pression		Angle formé à partir de 1.2 bar ◆ pression faible = dérive limitée ◆ <b>Pression d'utilisation : 1.5 - 3 bars</b>
A pastille de calibrage		◆ Présence d'une pastille de calibrage ◆ Formation de grosses gouttes ◆ <b>Pression d'utilisation : 2-3 bars</b>
De type miroir		◆ L'orifice de calibrage débouche sur une chambre de décompression ◆ la répartition est assurée par un déflecteur ressemblant aux buses miroir ◆ <b>Pression d'utilisation : 2-3 bars</b>
A injection d'air		Aspiration d'air par effet venturi ◆ les gouttes d'eau, chargées en air, éclateraient sur la cible ? ◆ <b>Pression d'utilisation : 1.5-6 bars</b>

Figure 32 Principaux types de buses (source Arvalis)

Leur étude au banc d'essai (Arvalis) a permis d'étudier leur potentiel de dérive dans des conditions de test comparables (vent latéral de 4.8 m/s, volume pulvérisé de 150 l/ha, vitesse d'avancement de 8 km/h).

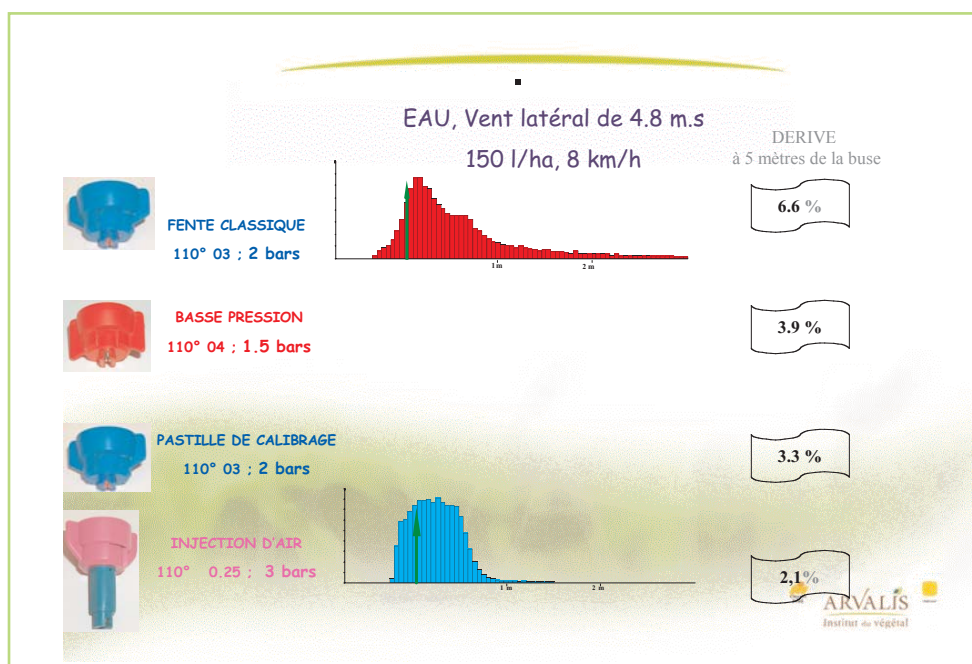


Figure 33 Incidence du vent sur la dérive (source ARVALIS)

L'étude démontre que la dérive de pulvérisation est diminuée en moyenne par un facteur 3 lors de l'utilisation de la technique à injection d'air et par 2 pour les buses « basse pression » ou à pastille de calibrage.

## RECOMMANDATIONS, CONCLUSION

Choisir la qualité de la pulvérisation adaptée à la culture, au type de matériel d'application et au mode d'action de la substance active est le leitmotiv de la publication de PY Yeme et B Beets (Réf. biblio. 19). En effet, il est clairement démontré que l'élément primordial dans le choix d'une buse de pulvérisation reste avant tout le mode d'action de la substance active : un produit pénétrant / systémique sera moins dépendant du nombre d'impacts sur la culture qu'un produit de contact où le nombre de points de chute sera une des conditions de l'efficacité.

Cette efficacité a été mesurée dans des essais de désherbage du maïs à l'aide d'un herbicide de contact ; l'utilisation d'une buse à injection d'air avec réduction du volume de bouillie par hectare a montré la limite de l'exercice en termes d'efficacité. En revanche, l'efficacité est peu affectée par le choix de buses et les paramètres de l'application si l'on a à faire à un herbicide systémique du fait de la mobilité potentielle du produit au sein de la plante. En conséquence, l'utilisation de buses à dérive limitée (injection ou aspiration d'air) peut être préconisée pour diminuer le potentiel de dérive d'une préparation sans amputer de façon inacceptable son efficacité tout en permettant une réduction significative de la zone non traitée.

## fiche 2 RECOMMANDATIONS PRATIQUES RELATIVES À L'ARBORICULTURE

*Le recueil des recommandations pour l'arboriculture fruitière présentées ci-après est le fruit d'une concertation avec le CTIFL.*

*Cet apport, bien que fondé sur des expérimentations mises en place par cette organisation et les stations régionales, ne peut à ce jour être considéré comme assez abouti pour en faire des recommandations ayant une portée générale. Il ne représente que les premiers constats de pratiques encore en cours d'essais et qui méritent confirmation dans les 2 ou 3 années à venir.*

La présente synthèse a été réalisée sur la base des essais conduits sur fruits à pépins (pommiers et poiriers) par les stations régionales (La Morinière et le CIREA), ainsi qu'au Ctifl entre les années 2001 et 2006 (noter qu'il n'y a, à ce jour, aucune expérience sur les grands arbres comme le noyer, les pêchers ou les vergers conduits en plein vent).

Différents objectifs ont été recherchés :

- évaluer la qualité de la pulvérisation obtenue avec différents types de buses, d'appareils de pulvérisation, dans des configurations de vergers avec et sans filet paragrêle,
- mesurer l'impact des haies, filets paragrêle et buses à dérive limitée sur la dérive des pulvérisations
- vérifier les niveaux d'efficacité biologique obtenus avec des buses limitant la dérive.

### MESURES SUR LA QUALITE DE LA PULVERISATION (ANNEXE II)

**MÉTHODOLOGIE** : Pour évaluer la qualité de la pulvérisation, des papiers hydro-sensibles sont agrafés sur les 4 faces supérieures et inférieures des feuilles, à l'intérieur et à l'extérieur des arbres, sur trois à quatre niveaux. La pulvérisation est réalisée à l'eau sur les quatre faces de deux rangs d'arbres. La lecture des papiers hydro-sensibles se fait à l'aide d'une échelle de valeurs préétablies, exprimant le pourcentage de recouvrement.

Cette méthode qualitative (essais 1 à 4) a été complétée par la mise au point d'une approche quantitative (essai 5) pour évaluer le volume de bouillie intercepté par le végétal. La technique consiste à placer des papiers filtres couvrant le sol aux pieds d'une rangée d'arbres, ainsi que de grands papiers filtres disposés sur un cadre de la taille de plusieurs arbres et positionné juste derrière la rangée d'arbres. Un colorant à usage alimentaire est pulvérisé sur un ensemble d'arbres. Par lavage d'un échantillon de feuilles prélevées au hasard dans les arbres et des papiers filtres, le traceur est recueilli et sa concentration est mesurée par spectrophotométrie.

Sur 4 essais de pulvérisation réalisés en arboriculture fruitière entre 2001 et 2004 à la station de La Morinière, il a pu être mis en évidence les tendances suivantes :

- ▶ Les filets paragrêles apportent un effet positif sur la qualité de la pulvérisation en améliorant son homogénéité avec un meilleur recouvrement des parties hautes de l'arbre ; En revanche, les papiers hydro-sensibles placés au sol montrent des impacts plus nombreux liés sans doute à un effet de turbulence et de projection au sol. Aucune différence

n'a été constatée entre les deux types de filets paragrêles.

- ▶ Avec l'AIRDRIVE, la pulvérisation apparaît satisfaisante à tous les étages de la végétation mais la dérive sur les arbres adjacents à la zone traitée paraît plus marquée. Cette observation est directement liée à la pulvérisation horizontale de l'AIRDRIVE. Le filet paragrêle ne semble pas affecter la qualité de pulvérisation de ce type d'appareil.
- ▶ Avec les buses à injection d'air et les prototypes à dérive limitée, la pulvérisation semble plus hétérogène liée à de gros impacts éclatés.
- ▶ Lorsque des volumes élevés de bouillie sont utilisés (700 à 1000 l/ha par rapport à des volumes compris entre 300 et 350 l/ha dans les autres situations), le pourcentage de recouvrement des papiers hydro-sensibles est très élevé signalant un effet de lessivage, les dérives latérales sont plus importantes mais les faces inférieures des feuilles présentent des impacts plus nombreux.

L'approche quantitative réalisée en 2006 par le Ctifl (essai 5) a conduit aux résultats suivants :

- ▶ au sein de la canopée, sur trois hauteurs différentes, on n'observe pas de différence significative entre les buses ATR jaune et les buses à dérive limitée TVI vertes. Cette technique met aussi en évidence que les dépôts de bouillie sont plus importants à l'extérieur de l'arbre qu'à l'intérieur, mais dans les deux cas la quantité moyenne de solution interceptée par le feuillage est supérieure avec la buse TVI verte.
- ▶ au sol et juste derrière la canopée, les quantités moyennes déposées sur les papiers filtres sont plus importantes avec la buse TVI. Ceci s'explique par la taille et le poids des gouttes, plus grosses et plus lourdes avec les buses à dérive limitée.
- ▶ le bilan des volumes interceptés par la canopée, au pied des arbres et juste derrière la canopée montre que 60 % du volume pulvérisé avec des buses à dérive limitée se dépose sur l'arbre et dans son environnement proche, contre 40 % du volume pulvérisé avec des buses dites traditionnelles. Ces premiers résultats montrent qu'il n'y a pas nécessairement une corrélation entre l'aspect visuel de la pulvérisation (pourcentage de surface recouverte par le traitement évalué avec des papiers hydrosensibles) et le volume de bouillie réellement intercepté par le végétal.

## MESURES SUR LA DÉRIVE (ANNEXE III)

**MÉTHODOLOGIE** : Deux méthodes ont été employées. La première (essai 6) utilise des papiers hydro-sensibles agrafés sur des perches placées à 4 ou 6 mètres du rang traité. Les papiers sont disposés sur six hauteurs différentes, allant de 0,5 à 3 mètres. Le traitement est réalisé avec de l'eau et la mesure consiste à évaluer le pourcentage de recouvrement des papiers hydro-sensibles.

La deuxième méthode (essais 7 et 8) s'appuie sur la norme ISO 22866 et consiste à utiliser un traceur fluorescent appliqué avec un pulvérisateur sur un verger donné. Les embruns du traitement sont récoltés dans des collecteurs déposés au sol à des distances allant de 3 à 50 mètres de la zone traitée. La dérive de pulvérisation est le rapport de la concentration du traceur recueilli hors de la zone de traitement ramené à la concentration appliquée sur la culture. L'objectif est de comparer la dérive obtenue avec un moyen « limitant la dérive » à une application dite de référence.

Les tendances suivantes ont été observées (fig. 26 et 27) :

- ▶ la haie ou le filet paragrêle avec des lés retombant au sol semblent, dans les conditions d'essai, constituer un obstacle à la dérive de pulvérisation,
- ▶ les combinaisons « haie + buse à dérive limitée » ou « filet paragrêle + buse à dérive limitée » s'avèrent des moyens significatifs de limitation de dérive au sens de l'arrêt du 12 septembre 2006 (réduction de la dérive par un facteur 3),
- ▶ le brise-vent d'un seul tenant en bordure du verger en remplacement d'une haie provoque un phénomène de turbulence ne permettant pas, a priori, de réduire le pourcentage moyen de dérive. Des essais au CEHM sont en cours portant sur un brise-vent composé de quatre lés disposés horizontalement.

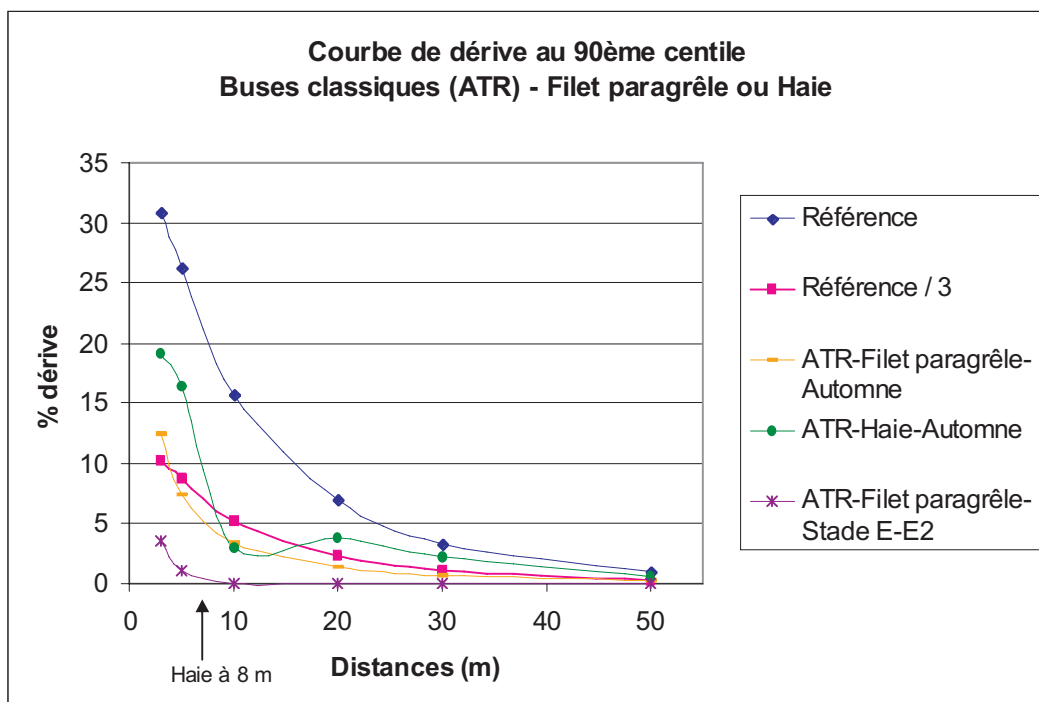


Figure 34 Courbes de dérive de pulvérisation avec des buses classiques (Source CTIFL)

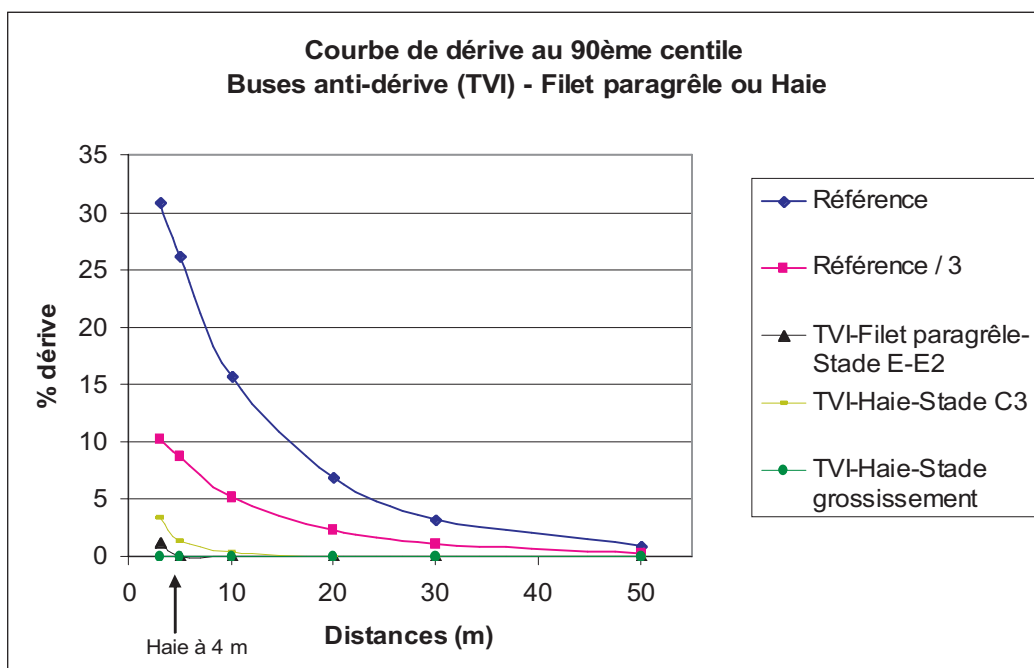


Figure 35 Courbes de dérive de pulvérisation avec buses anti-dérive- (Source CTIFL)



## EFFICACITE BIOLOGIQUE (ANNEXE IV)

**MÉTHODOLOGIE** : Pour évaluer l'efficacité biologique obtenue lors d'une protection phytosanitaire assurée avec des buses à dérive limitée, deux dispositifs ont été mis en place. Le premier (essais 9 et 10) consiste à appliquer tout au long de la saison les traitements sur des « grandes » surfaces en traitant la moitié avec des buses traditionnelles et l'autre avec des buses à dérive limitée. Le deuxième (essais 11) est conduit en blocs avec trois répétitions et vise un seul organisme nuisible afin de dégager des éventuelles différences dans la protection.

Les tendances observées indiquent que dans les conditions de pression de maladie et des ravageurs des années 2003 à 2006 et le choix des programmes de traitements appliqués, aucune différence n'a pu être observée entre les zones traitées avec les buses à dérive limitée et les buses classiques.

Pour l'éclaircissage, seul le CIREA a employé en 2006 les buses à dérive limitée, et la maîtrise de la charge a été similaire à celle atteinte avec les buses à turbulence.

## CONCLUSION

Au plan pratique, il reste nécessaire d'acquérir d'avantages de références pour pouvoir généraliser l'emploi des buses à dérive limitée en arboriculture fruitière, notamment pour les produits à mode d'action de contact ; de plus, une expérimentation additionnelle doit être faite afin de préciser les réglages du matériel de pulvérisation en fonction des différentes conduites d'arbre. L'atteinte de l'objectif affiché de réduction de dérive de pulvérisation peut aussi être le résultat d'un ensemble de mesures qu'il reste à confirmer.

## fiche 3

## RECOMMANDATIONS PRATIQUES RELATIVES À LA VITICULTURE

*Les recommandations présentées dans le paragraphe suivant sont le fruit d'une concertation avec l'ITV et le CIVC*

### PRÉAMBULE

Il n'existe pas pour le moment en viticulture de recommandations sur l'utilisation du matériel qui permettraient dans tous les cas de réduire les risques de dérive lors des applications de produits phytosanitaires.

La difficulté pour trouver des solutions globales provient de la diversité des contextes d'exploitation. La viticulture se caractérise en effet par :

- ▶ une diversité des technologies de pulvérisation (pneumatique, à pression de liquide et à jet porté, à pression de liquide et à jet projeté) et des configurations de matériel pour tenir compte des différents modes de conduite de la vigne ;
- ▶ des situations topographiques des parcelles très diverses. Parfois implantée en plaine, la vigne est souvent située sur des coteaux : les contraintes liées aux manœuvres du matériel sur des parcelles en pente ou présentant du dévers ont contribué au dévelop-

pement de techniques d'application spécifiques, tels les traitements aériens, l'utilisation de turbines et de canons oscillants permettant de traiter de nombreux rangs par passage ;

► des superficies d'exploitations très différentes : une taille d'exploitation importante conditionne le choix du matériel et impose une utilisation privilégiant la maniabilité. Il s'agit dans ce cas de rendre la durée du traitement compatible avec la fenêtre où les conditions météorologiques sont favorables à l'application des produits.

Ce préambule laisse entrevoir que les solutions de réduction de la dérive envisagées devront être modulées au cas par cas avant leur mise en œuvre. Elles devront tenir compte des limites pratiques liées à chaque contexte d'exploitation.

Dans tous les cas, les solutions de réduction de la dérive n'auront de sens que dans la mesure où elles permettent de conserver la qualité de l'application. Le plus souvent, limitation de la dérive et qualité de l'application vont de pair mais il peut en être autrement pour la facilité d'utilisation du matériel.

En viticulture, il est possible de classer les facteurs conditionnant le risque de dérive lors d'une application en 3 groupes :

- les facteurs liés au matériel (technologie de pulvérisation, configuration de la rampe, type de diffuseurs) ;
- les facteurs liés à son utilisation (réglage, orientation des diffuseurs, choix des conditions climatiques, utilisation des adjuvants, nombre de rangs traités) ;
- les facteurs liés à la vigne (mode de conduite et stade végétatif).

Parmi les facteurs évoqués, il faut distinguer ceux qui intrinsèquement sont ou ne sont pas générateurs de dérive (c'est le cas pour la technologie de pulvérisation et la configuration du matériel) des autres facteurs plutôt liés à l'utilisation du matériel et qui permettent, s'ils sont optimisés, de la limiter.

On sait par exemple que l'utilisation de canons ou de turbines oscillants est en lui-même générateur de dérive, et ce quelle que soit son utilisation.

Chacun de ces facteurs joue à des degrés divers sur deux paramètres qui vont déterminer le niveau de dérive : le pourcentage de la pulvérisation intercepté par la végétation d'une part et la capacité des gouttes non interceptées à être transportées hors de la parcelle d'autre part.

### MOYENS ENVISAGÉS POUR RÉDUIRE LA DÉRIVE EN FONCTION DES TECHNOLOGIES DE PULVÉRISATION

En pulvérisation pneumatique, l'intérêt réside dans la finesse du spectre de gouttes émises garant de son bon fonctionnement et de la qualité du traitement. Pour cette technologie de pulvérisation, majoritaire en vignes larges (> 80 % des appareils) et qui tend à se développer en vignes étroites, seule la configuration du matériel interviendra sur le potentiel de dérive en jouant sur la distance diffuseur-cible et donc sur la capacité du jet à être intercepté par la végétation.

**Pour les technologies à pression de liquide** (jet projeté et jet porté), il faut impérativement éviter d'utiliser les buses au-delà de leur plage de pression optimale afin de limiter la proportion de fines gouttelettes sujettes à la dérive et à la volatilisation.

**Pour le jet projeté**, il semblerait que l'utilisation de buses à injection d'air soit un moyen pour limiter la dérive en augmentant la taille des gouttes. Les premiers essais menés par l'ITV et le CIVC en "vignes étroites" avec des pendillards montrent que l'utilisation de buses à turbulence à injection d'air (TVI de Albus) offre le même niveau de protection que l'utilisation de buses à turbulence classique (buses ATR). Ces résultats proviennent à la fois d'essais biologiques et de la comparaison de la quantité d'un traceur à base de cuivre recueillie sur des capteurs déposés dans la végétation.

**Pour le jet porté**, l'intérêt des buses à limitation de dérive apparaît moins évident en particulier pour les configurations de matériels où les diffuseurs sont près de la végétation. Contrairement à la pulvérisation à jet projeté, il semblerait que l'assistance d'air joue un rôle de limiteur de la dérive en canalisant la bouillie vers sa cible.

**L'utilisation d'adjuvants** portant la mention "limitation de dérive" (à base d'alcools terpéniques ou de lécithine de soja), n'ont pas fait l'objet de suffisamment d'essais pour les considérer efficaces dans toutes les situations. En particulier, les données qui évaluent leur efficacité en pulvérisation pneumatique et en jet porté sont trop rares pour faire des recommandations.

Il semblerait que des interactions aux résultats divers puissent exister entre la formulation du produit, l'adjuvant et les caractéristiques de la pulvérisation (type de diffuseur, pression). De ce fait, en l'état actuel des connaissances, il est difficile de se prononcer sur la pertinence de leur utilisation.

## INFLUENCE DE LA CONFIGURATION DU PULVÉRISATEUR SUR LA DÉRIVE

En couverture générale, l'application de produits en utilisant du matériel "face par face" avec les diffuseurs de pulvérisation situés dans l'interligne semble la solution la plus prometteuse pour réduire la dérive. Cette constatation fait suite à de nombreux essais qui montrent que la proximité des diffuseurs avec la végétation est un facteur favorisant la quantité de produits interceptée par la végétation, facteur également de diminution des pertes vers l'environnement.

Les constructeurs proposent aujourd'hui différentes configurations de face par face depuis le "face par face" avec les diffuseurs dans l'interligne (ex: Paralflow de Hardi, AB Most de Berthoud, Turbocoll de Tecnomat...), le "face par face" par le dessus de la végétation (ex : Jet 6000 de chez Bobard, voûte CG de Berthoud...) jusqu'à la voûte non dirigée où les gouttes doivent parcourir une distance supérieure pour atteindre leur cible sur les rangs les plus éloignés.

Ces configurations représentent différents compromis entre maniabilité, précision de l'application et technicité des réglages. Hormis le prix, c'est le plus souvent la topographie des parcelles et la taille de l'exploitation qui guident le choix des viticulteurs vers tel ou tel équipement.

L'ensemble de ces observations a conduit à établir "à dire d'expert" une grille où les matériels sont classés par rapport à leur potentiel de dérive. Toutefois, les recommandations actuelles ne s'orientent pas vers la troisième catégorie de matériel pour des raisons d'efficacité de traitement et des risques de dérive élevés.

Catégories	Définitions	Type d'appareil	Exemples
<b>Classe 1</b>	Appareil à dérive limitée	Appareil face par face	Pendillard, voûtes pneumatiques face par face, Turbocoll
<b>Classe 2</b>	Appareil à dérive moyenne	Diffuseurs traitant plusieurs faces et dirigés vers la cible	voûte araignées, aéro convecteur, Pulvo 2000, Solo Minor
<b>Classe 3</b>	Appareil à dérive forte	Diffuseurs traitant plusieurs faces et non dirigés vers la cible	Canon oscillant, Turbine oscillante, hélicoptère

Tableau 9 Grille de matériel en fonction du potentiel de dérive (Source CIVC, ITV)

## MOYENS SUSCEPTIBLES DE LIMITER LA DÉRIVE EN TRAITEMENT LOCALISÉ

Pour les traitements localisés sur grappe (tordeuses, botrytis...), les Bonnes Pratiques Agricoles recommandent la fermeture des étages de diffuseurs qui ne sont pas orientés en direction de la zone fructifère.

## MOYENS SUSCEPTIBLES DE LIMITER LA DÉRIVE POUR LES TRAITEMENTS DE DÉBUT DE VÉGÉTATION

**En vignes larges**, pour les traitements à réaliser au stade précoce de la vigne, il est préférable de privilégier l'utilisation d'un appareil à jet projeté (ex : rampe delta). Les équipements avec panneaux récupérateurs de bouillies sont les mieux adaptés en remettant en circulation le produit qui a manqué sa cible en raison du peu de volume qui intercepte le jet de pulvérisation.

Le traitement peut être effectué avec une bouillie préparée en concentration. Cette bouillie peut être pulvérisée à un volume proche de 200 à 300 litres par hectare.

A défaut, le pulvérisateur à jet porté peut être utilisé en diminuant l'assistance d'air (baisse du régime moteur entraînant la réduction de la vitesse de rotation de la prise de force) et en fermant l'alimentation des diffuseurs qui ne sont pas orientés vers la végétation.

**En vignes étroites**, l'utilisation de panneaux récupérateurs de bouillie est difficilement envisageable. Des temps de chantier raisonnables imposeraient le traitement simultané de plusieurs rangs. Le manque de maniabilité rendrait alors inutilisable ce type de matériel.

Pour le matériel à jet projeté, la limitation de la dérive est obtenue par la fermeture des diffuseurs qui ne sont pas orientés vers la végétation. Cela permet de garder une concentration identique de bouillie mais la superficie couverte avec la même quantité de bouillie préparée sera supérieure ; elle sera inversement proportionnelle au ratio de diminution du volume hectare engendré par la fermeture des diffuseurs.

**Pour les traitements réalisés au stade précoce**, il est donc possible de limiter le risque de dérive en intervenant simultanément sur 2 facteurs :

- ⇒ le facteur matériel : par le choix d'un appareil ou une utilisation du matériel adapté à la morphologie de la vigne ;
- ⇒ la réduction de la quantité de substance active appliquée par hectare.

## fiche 4 RECOMMANDATIONS PRATIQUES RELATIVES AUX CULTURES SOUS ABRI

La disponibilité de données chiffrées relatives aux fuites éventuelles de produits à partir des traitements réalisés sur des cultures sous abri reste limitée aux modèles utilisés par les experts des Pays-Bas (toutefois non validés) et aux quelques expérimentations mises en œuvre par les scientifiques allemands du Ministère de l'Environnement.

Sur ces bases, il semble judicieux de porter une attention particulière aux techniques d'application des bouillies de traitement. Les résultats disponibles ont montré que l'utilisation de techniques favorisant la production de brouillards ou de très fines gouttelettes (diamètre inférieur à 100 microns) conduit à des situations où les quantités de bouillie pouvant être exportées hors des abris (abris non étanches, ouverture des serres avant réentrée par exemple) sont les plus élevées. La quantité exportée a été évaluée à 0.05% de la quantité apportée si l'application était faite sur la base d'une technique "moyen ou grand volume" (de 100 à 300 litres/ha) et de 0.2% sur la base d'une technique ultra bas volume (30 à 50 litres/ha). A noter qu'en cultures légumières, notamment pour les cultures palissées, les volumes peuvent atteindre 800 à 1200l/ha voire plus, en particulier pour les serres en verre très hautes et les produits nécessitant un important mouillage.

Il est donc suggéré de préférer les applications "moyen ou grand volume" plutôt qu'ultra bas volume sauf exigences particulières liées aux nécessités du traitement (application automatisée par exemple).

Les traitements par irrigation localisée (par le goutte à goutte) constituent une solution intéressante à développer pour limiter les quantités exportées dans l'air pour des traitements vis à vis des bioagresseurs des cultures sous abri.

Une application en fin de journée peut aussi être recommandée puisqu'elle peut permettre à la fois un temps de contact suffisant produit - cible et un abaissement de concentration dans l'abri au cours de la nuit, avant toute réentrée.

Au sujet de la protection du personnel travaillant sur une culture donnée et afin de réduire son exposition tant par inhalation que par contact lors de la manipulation éventuelle des plantes traitées, il est bon de rappeler la disposition relative à la rentrée dans les parcelles ou cultures sous abri selon l'arrêté du 12 septembre 2006 (annexe V).

Au plan pratique, le port d'un équipement de protection individuel doit être envisagé ainsi que l'ouverture des ouvrants de la serre et sa ventilation avant toute réentrée du personnel dans l'abri, tout en respectant les délais de réentrée



## Références bibliographiques

- 1 - Directive européenne 91/414 relative à la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques, 15 juillet 1991
- 2 - Techniques d'application et de manipulation des produits phytosanitaires, CORPEN, mise à jour de février 2006-09-24
- 3 - The war on spray drift, Agriculture, Food and Rural Development, Alberta Government, June 23, 2006 [www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/newslett.nsf/all/agin9511](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/newslett.nsf/all/agin9511)
- 4 - V. Hofman, E Solseng : Reducing spray drift, North Dakota State University, June 2001
- 5 - K. Jones : Enhanced efficacy, efficiency and safety through improved application, Crop Life International, November 2005
- 6 - A.de Jong et coll. : Effect of sprayer boom height on spray drift, Medelingen Faculteit Landbewetenschappen, UNniversiteit van Gent, 65/2b, 919-930, 2000
- 7 - J.C. van de Zande et coll. : Drift measurement in the Netherlands as a basis for drift controls strategies, IMAG, Wageningen, the Netherlands, 2000
- 8 - Des mesures de réduction de la contamination des eaux superficielles par les produits phytosanitaires, Service Public Fédéral Belge, Santé Publique, Sécurité de la Chaîne Alimentaire et Environnement, Novembre, 2005 sous la référence : [www.fytoweb.fgov.be](http://www.fytoweb.fgov.be)
- 9 - Détermination des pesticides à surveiller dans le compartiment aérien : approche par hiérarchisation, rapport d'étude DRC-05-45936-95-AGo, octobre 2005
- 10 - FOCUS Air : Pesticides in Air, Considerations for Exposure Assessment, Report of the FOCUS Working Group on Pesticides in Air, publication à venir
- 11 - A.J. Hewitt : Drift filtration by natural and artificial collectors : a litterature review, Stewart Agricultural Research Services, October 2001, Macon, Missouri
- 12 - LERAP : Local Environment Risk Assessment for Pesticides, New Guidance 2001, [www.pesticides.gov.uk/uploadedfiles/Web\\_Assets/PSD/LERAP\\_Horizontal\\_boom\\_sprayers\(1\).pdf](http://www.pesticides.gov.uk/uploadedfiles/Web_Assets/PSD/LERAP_Horizontal_boom_sprayers(1).pdf)
- 13 - H. Ganzelmeier, G Backhaus : Testing of plant protection equipment in Germany, 27-29 Avril 2004 ([www.oecd.org/dataoecd/48/27/37236910.pdf](http://www.oecd.org/dataoecd/48/27/37236910.pdf))
- 14 - D. Rautmann : Testing and listing of drift reducing sprayers in Germany, [www.bba.de/english/inst\\_eng/ap\\_eng/ap\\_pub/lossredequip/beschreibung\\_e.pdf](http://www.bba.de/english/inst_eng/ap_eng/ap_pub/lossredequip/beschreibung_e.pdf)
- 15 - Phytoma : Bonnes pratiques pour l'environnement, Bien s'équiper : le choix des buses, N° 593, mai 2006
- 16 - [www.vitiswiss.ch/dokumente/2006/franz/060407\\_buses\\_anti\\_derives.pdf](http://www.vitiswiss.ch/dokumente/2006/franz/060407_buses_anti_derives.pdf)
- 17 - [www.oecd.org/document/11/0,2340,fr\\_2649\\_34365\\_37238219\\_1\\_1\\_1\\_1,00.html](http://www.oecd.org/document/11/0,2340,fr_2649_34365_37238219_1_1_1_1,00.html)
- 18 - E. Garcin et F. Zavagli : Haies, filets et buses antidérive, L'Arboriculture, N° 609-610, 33 - 36, Novembre / Décembre 2006
- 19 - P.Y. Yeme, Benoît Beets : Choisir la qualité de la pulvérisation, Perspectives Agricoles, N° 330, Janvier 2007
- 20 - DEFRA, 2003 : [www2.defra.gov.uk/research/Project\\_Data/More.asp?l=PA1723&M=CFO&V=SRI](http://www2.defra.gov.uk/research/Project_Data/More.asp?l=PA1723&M=CFO&V=SRI)
- 21 - Canada : [www.pmara-arla.gc.ca/francais/pdf/pro/pro2005-06-f.pdf](http://www.pmara-arla.gc.ca/francais/pdf/pro/pro2005-06-f.pdf)
- 22 - AGDRIFT : [www.agdrift.com/AgDRIFT2/Download.htm](http://www.agdrift.com/AgDRIFT2/Download.htm)
- 23 - T. Arvidsson: Spray drift as influenced by meteorological and technical factors, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 1997
- 24 - [http://www.syngentacropprotection-us.com/enviro/driftmanagement/index.asp?nav=Key\\_Practices#2](http://www.syngentacropprotection-us.com/enviro/driftmanagement/index.asp?nav=Key_Practices#2)
- 25 - <http://www.patentstorm.us/patents/5597780-description.html>
- 26 - H. Nicolas, J. Denoirjean : Quelles buses pour limiter la dérive, Perspectives Agricoles, N° 241, décembre 1998

27 - P.Y. Yeme, B. Beets, Y. Jaridi : Performances physiques et biologiques des buses à dérive limitée, Colloque Mieux traiter, AFPP, Orléans 10 et 11 mars 2004

28 - G. Chauvel, A. Chaigneau : Exposition des travailleurs sous serre aux pesticides, SPV, Juillet 2004

29 - <http://www.iac.sp.gov.br/Centros/centro%20de%20engenharia%20e%20automa%C3%A7%C3%A3o/sintag/AVandezande.PDF>

30 - Arrêté du 12 septembre 2006 revu et amendé (liste des buses) le 20 avril 2007 : Bulletin Officiel, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche

31 - Références Arboriculture :

Compte-rendu d'activité de la station La Morinière (2001, 2002, 2003, 2004) : Pomme – Pulvérisation et filets paragrêle.

Compte-rendu d'activité de la station La Morinière (2004) : Pomme – Pulvérisation et « dérive ».

Compte-rendu d'activité de la station La Morinière (2005) : Pomme – Evaluation de l'effet des haies et filets paragrêle sur la dérive.

Compte-rendu d'activité de la station CIREA (2004, 2005, 2006) : Pommier – Buses anti-dérive

Bachelier L., 2005. Protection phytosanitaire en arboriculture fruitière : risques de contamination des eaux de drainage et qualité de la pulvérisation. Mémoire d'ingénieur, Ctifl-Enita Clermond-Ferrand, 40 p.

Garcin E, 2006. Haies, filets paragrêle, et buses anti-dérive, des moyens pour limiter la dérive de pulvérisation en arboriculture fruitière. Mémoire d'ingénieur, Ctifl-Groupe ESA, 75 p.

Loquet B., 2006. Protection phytosanitaire en arboriculture fruitière : qualité de pulvérisation obtenue avec des buses anti-dérive. Mémoire d'ingénieur, Ctifl-Enita Clermond-Ferrand, 39 p.

Orts R., 2003 - "Pulvérisation et filets paragrêle : influence du type de buses sur la qualité de pulvérisation." Infos Ctifl, 197, 30-34.

Zavagli F. et coll., 2006 - « Haies, filets paragrêle et buses anti-dérive en arboriculture fruitière. Des moyens pour limiter la dérive de pulvérisation » Infos Ctifl, 224, 18-23.

32 - C. Bedos et coll. - Measurement of trifluralin volatilization in the field: Relation to soil residue and effect of soil incorporation, Environmental Pollution, 144, 958-966, 2006

33 - Ravier O., Haouisee E., Clement M., Seux R., Briand O. - Field experiments for the evaluation of pesticide spray-drift on arable crops. Pest Management Science 61, 2005, pp 728-736.

34 - Rapports « IFEN, 2006 : Les pesticides dans les eaux. Données 2003 et 2004 » et « ministère de la Santé et des Solidarités, Direction générale de la Santé, 2005 : Dossier d'information – La qualité de l'eau potable en France – Aspects sanitaires et réglementaires »

## Point sur les essais conduits en arboriculture fruitière sur la qualité de la pulvérisation entre 2001 et 2006

Site d'expérimentation	Types de buses	Modèle de pulvérisateur	Réglages	Configurations
La Morinière <b>Essai 1</b>	ALBUZ AVI80015 (à injection d'air)	BERTHOUD AX 1000	270 l/ha (5,4 km/h)	Trois modalités : 1) sans filet paragrêle 2) filets croisés à élastiques 3) filets joints (système autrichien modifié)
	ALBUZ ATR orange		356-395 l/ha (5,4 km/h)	
	SAPHIREX (à turbulence)		379-398 l/ha (5,4 km/h)	
La Morinière <b>Essai 2</b>	ALBUZ ATR jaune	BERTHOUD AX 1000	357 l/ha (5,7 km/h)	filets joints (système autrichien modifié)
	LECHLER verte	BERTHOUD AIRDRIVE	273 l/ha (5,4 km/h)	
	ALBUZ ATR orange		270 l/ha (5,4 km/h)	
	ALBUZ prototype dérive limitée		270 l/ha (5,4 km/h)	
La Morinière <b>Essai 3</b>	ALBUZ ATR jaune	BERTHOUD AX 1000	357 l/ha (5,7 km/h)	Trois modalités : 1) sans filet paragrêle 2) filets croisés à élastiques 3) filets joints (système autrichien modifié)
	LECHLER verte	BERTHOUD AIRDRIVE	273 l/ha (5,4 km/h)	
La Morinière <b>Essai 4</b>	ALBUZ ATR jaune	BERTHOUD AX 1000	1027 l/ha (5,8 km/h)	filets joints (système autrichien modifié)
	ALBUZ ATR orange	BERTHOUD AIRDRIVE	706 l/ha (5,4 km/h)	
Ctifl Centre de Lanxade <b>Essai 5</b>	ALBUZ ATR 80 jaune	NICOLAS Magistral ASI 1000	413 l/ha (5,7 km/h)	Absence de filets paragrêle
	ALBUZ TVI 80-015 verte			

## Point sur les essais conduits en arboriculture fruitière sur la mesure de la dérive des pulvérisations entre 2004 et 2006

Site d'expérimentation	Types de buses	Modèle de pulvérisateur	Réglages	Configurations
La Morinière <b>Essai 6</b>	ALBUZ ATR jaune	BERTHOUD AX 1000	357 l/ha (5,7 km/h)	Trois modalités : 1) sans filet paragrêles et sans haie 2) avec haie 3) avec filets retombants
Ctifl Centre de Lanxade <b>Essai 7</b>	ALBUZ ATR 80 jaune	Nicolas Magistral ASI 1000	400 l/ha (5,7 km/h)	Quatre modalités : 1) sans obstacle 2) avec filet brise- vent 3) avec haie 4) avec filets paragrêles
Ctifl Centre de Lanxade <b>Essai 8</b>	ALBUZ TVI 80- 015 verte	Nicolas Magistral ASI 1000	400 l/ha (5,7 km/h)	Deux modalités : 1) avec haie 2) avec filets paragrêles

## Point sur les essais conduits en arboriculture fruitière sur la mesure de la dérive des pulvérisations entre 2004 et 2006

Site d'expérimentation	Années	Types de buses	Modèle de pulvérisateur	Réglages	Variétés Configurations
La Morinière <b>Essai 9</b>	2003	ALBUZ prototype dérive limitée	BERTHOUD AIRDRIVE	290 l/ha (? km/h)	<b>Smoother® et Granny Smith</b> filets joints (système autrichien modifié)
		LECHLER verte			
CIREA <b>Essai 10</b>	2004-2005-2006	TVI orange 8001	Nicolas Magistral	300 l/ha (5 km/h)	<b>Pink Lady</b> filets « intermédiaires »
		ATR marron			
Ctifl Centre de Lanxade <b>Essai 11</b>	2005-2006	ALBUZ TVI 80-015 verte ALBUZ ATR 80 jaune	Nicolas Magistral ASI 1000	400 l/ha (5,7 km/h)	Trois maladies ou ravageurs : Tavelure ( <b>Tentation® Delblush</b> ), pucerons ( <b>variété Résistante Tavelure et Golden</b> ), acariens ( <b>Redchief</b> ) Absence de filets paragrêle

## ANNEXE 4 partie 3 Délais de réentrée

Type de culture	Délai de réentrée	Phrase de risque associée au produit
Toutes cultures	6 heures	Sans les phrases de risque ci-après
	24 heures	Si phrase de risque R 36 (irritant pour les yeux), R 38 (irritant pour la peau, R 41 (risque de lésions oculaires graves),
	48 heures	Si phrase de risque R 42 (peut entraîner une sensibilisation par inhalation), R 43 (peut entraîner une sensibilisation par contact avec la peau)
Cultures sous abri	8 heures	En absence des phrases de risque ci-dessus

# Synthèse et recommandations

**L**es mesures réalisées en France dans l'atmosphère depuis 2000 indiquent que les pesticides sont présents aussi bien dans les zones agricoles qu'en milieu urbain. Les substances actives contaminantes sont généralement différentes de celles retrouvées dans les eaux. Ainsi les composés les plus fréquemment retrouvés dans les eaux ne ressortent pas des observations faites pour l'air. Les concentrations mesurées peuvent varier de la limite de détection à quelques dizaines de  $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ . Celles qui sont les plus élevées concordent avec les périodes de traitements et la proximité des applications. Les contaminations sont liées soit directement aux applications soit à la volatilisation à partir du végétal ou du sol en post-application voire à l'érosion éolienne de particules de sol contaminées. La présence des pesticides dans l'atmosphère dépend de leurs caractéristiques physico-chimiques et de leurs modes d'application. Certaines substances comme par exemple la trifluraline, le folpel, sont présentes tout au long de l'année, d'autres comme l'endosulfan ou le chlorotalonil ne sont détectées que pendant les périodes d'application. D'autre part certaines substances ont une forte persistance. Par exemple le lindane (insecticide organochloré), malgré son interdiction depuis 1998 pour les applications phytosanitaires, est présent tout au long de l'année dans de nombreuses situations géographiques. A contrario d'autres substances comme l'atrazine et le parathion méthyl interdites d'utilisation phytosanitaire depuis 2003 ne sont plus identifiées. Dans les campagnes de mesures réalisées en zone urbaine, des pesticides à usage non agricole sont détectés.

Les normes sur les méthodes de prélèvements et d'analyses des pesticides dans l'air existent. Les réseaux de suivi se sont mis en place au travers des AASQA. L'INERIS en collaboration avec un groupe d'experts a élaboré un outil de hiérarchisation des produits phytosanitaires à rechercher prioritairement dans l'atmosphère. Une base de données regroupant tous les résultats d'analyses est en cours de constitution.

Toutefois l'absence de normes relatives aux concentrations en pesticides dans l'air ambiant ne permet pas d'interpréter les résultats au regard d'un risque sanitaire. Aucune valeur limite n'a été fixée pour les concentrations dans



l'atmosphère à l'exception du cas particulier de l'exposition professionnelle. La toxicité des pesticides sur la santé humaine et sur l'environnement est reconnue mais les effets d'une exposition chronique à ces substances pour les populations agricoles et la population générale sont peu évalués notamment par voie aérienne. Les études relatives aux effets sur la santé humaine de cette contamination par voie aérienne méritent donc d'être poursuivies, une approche pluridisciplinaire est indispensable.

D'autre part l'interprétation des résultats des mesures nécessite de pouvoir disposer de données spatialisées d'usage des produits associées à des données sur les pratiques agricoles (recensement agricole, imagerie satellitaire, enquêtes...). Cette cartographie pourrait permettre de guider le choix des molécules à rechercher, la localisation des campagnes de mesures et faciliterait l'interprétation des résultats de mesure. Les études complémentaires de terrain sur le transfert de molécules dans l'atmosphère devraient être poursuivies avec les différents acteurs pour estimer les facteurs d'émission des différentes pratiques d'usage des produits phytosanitaires selon les types de cultures afin de modéliser les concentrations dans l'atmosphère sur un territoire. Ceci nécessite également la constitution de bases de données permettant de suivre l'évolution des pratiques des agriculteurs au voisinage des stations de mesure.

Les bonnes pratiques d'utilisation des produits phytosanitaires en zone agricole et non agricole permettent de limiter les contaminations de l'atmosphère, comme le montrent les études mises en place par les instituts de recherche et les Instituts Techniques (Arvalis, CTIFL, ITV, CIVC). L'utilisation des produits phytosanitaires doit être raisonnée, leur application réalisée avec des matériels adaptés correctement réglés en tenant compte des conditions climatiques et du volume foliaire du végétal à traiter. En particulier toutes les technologies ou innovations permettant de réduire leur utilisation ou de limiter leur dérive et leur volatilisation dans l'atmosphère sont à promouvoir.

Les brochures et plaquettes du CORPEN sont téléchargeables sur son site :  
[www.developpementdurable.gouv.fr/-CORPEN-.html](http://www.developpementdurable.gouv.fr/-CORPEN-.html)

Brochure préparée avec le groupe Phyt'air

Coordination : Bernadette Ruelle (Cemagref Montpellier) et Michel Mourel (secrétariat du CORPEN)

Maquette : Evelyne Simonnet (MAP - DGFAR)



COMITE D'ORIENTATION POUR DES PRATIQUES AGRICOLES  
RESPECTUEUSES DE L'ENVIRONNEMENT

Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du Territoire  
Direction de l'Eau - Secrétariat du CORPEN  
20 avenue de Ségur - 75302 Paris 07 sp  
Tél. 01 42 19 12 86