

MESURE DES PESTICIDES DANS L'AIR AMBIANT EN MILIEU URBAIN

Campagne 2003
(du 29 avril au 8 juillet)



SOMMAIRE

INTRODUCTION	5
A. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	6
I. Généralités sur les pesticides	6
I-1 Qu'est-ce qu'un pesticide ?	
I-2 Contamination de l'air par les pesticides et leur devenir	
I-3 Effets des pesticides sur la santé et l'environnement	
II. Utilisation des pesticides	14
II-1 Contexte national	
II-2 Cas de la Bretagne	
II-3 Réglementation en vigueur	
III. Mesure des pesticides dans l'atmosphère	16
III-1 Méthodes de prélèvement, d'extraction et d'analyse	
III-2 Bref historique des études menées en France	
B. CAMPAGNE DE MESURE 2003	21
I. Sélection des pesticides à étudier	21
I-1 Liste des substances susceptibles d'être retrouvées en Bretagne	
I-2 Hiérarchisation des composés	
I-3 Liste définitive des molécules étudiées	
II. Site d'étude	24
III. Prélèvement	25
III-1 Matériel	
III-2 Méthode de prélèvement	
IV. Traitement des échantillons	27
IV-1 Extraction de l'échantillon	
IV-2 Analyse de l'extrait	
IV-3 Contrôles effectués par le laboratoire d'analyses	

C. RESULTATS 29

I. Validation des mesures 29

I-1 Blanc terrain

I-2 Transport des échantillons

II. Conditions météorologiques 33

III. Résultats des mesures et interprétation 33

III-1 Comparaison des échantillons

III-2 Détails sur les 9 molécules détectées

III-3 Fréquence de détection des composés

III-4 Comparaison entre la fréquence de détection des composés et leurs propriétés

K_H, DT50 et K_{oc}

III-5 Conclusion

CONCLUSION 45

BIBLIOGRAPHIE

SITES INTERNET

ANNEXES

RESUME

Les pesticides, dont l'utilisation est très répandue, peuvent se retrouver après divers processus dans les différents compartiments de l'environnement : l'eau, l'air et le sol.

La contamination de l'air par les pesticides a fait et fait l'objet de nombreuses études. Les Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air (A.A.S.Q.A.) s'intéressent de plus en plus à cette problématique.

Air Breizh, qui a mené sa première campagne de mesures en 2002 sur un site rural en recherchant 8 pesticides à l'aide d'un préleveur moyen volume (Partisol 2000), souhaitait poursuivre ses études en 2003 sur un site urbain avec une liste de pesticides plus étendue.

L'objectif d'Air Breizh en 2003 consiste ainsi à étudier le niveau d'exposition de la population urbaine aux pesticides susceptibles d'être retrouvés dans l'atmosphère pendant une période déterminée.

Ainsi 10 prélèvements hebdomadaires et un blanc terrain ont été réalisés. 43 molécules ont été étudiées.

Les échantillons ont été analysés par le laboratoire IANESCO-CHIMIE de Poitiers (86) à l'aide de la GC/MS et de l'HPLC/DAD.

Ce rapport présente les résultats des dix semaines de prélèvement. Ceux-ci ont révélé la présence de 9 pesticides à des concentrations variant de 0,063 ng/m³ à 1,673 ng/m³ : alachlore, atrazine, chlorothalonil, endosulfan, lindane (gamma HCH), métolachlore, oxadixyl, pendiméthaline et trifluraline.

L'alachlore (herbicide) et le lindane (insecticide) sont fréquemment détectés.

Utilisée en Bretagne au printemps pour le traitement des grandes cultures (notamment le maïs), la détection de l'alachlore est justifiée, contrairement à celle du lindane, interdit d'utilisation depuis 1998. Cette molécule est détectée sur 9 des 10 échantillons à des concentrations variant de 0,175 à 0,638 ng/m³.

D'autres A.A.S.Q.A. (tels ATMO-Poitou-Charentes, Lig'AIR...) détectent également systématiquement le lindane à des concentrations inférieures au nanogramme par mètre-cube.

L'atrazine, le chlorothalonil et la pendiméthaline ont été détectés sur près de 50% des échantillons. Tandis que l'endosulfan, le métolachlore, l'oxadixyl et la trifluraline ont été détectés une fois sur les 10 échantillons.

GLOSSAIRE

µm	Micromètre=10 ⁻⁶ m	
2,4-D	2,4-Dichlorophenoxyacetid acid	
DBCP	Dibromochloropropane	
DDT	1,1,1-Trichloro-2,2-bis(4-chlorophényl)éthane	
DJA	Dose Journalière Admissible	mg/kg/jour
g/ha/jour	Gramme par hectare par jour	
gamma HCH	Stéréoisomère gamma du 1,2,3,4,5,6-Hexachlorocyclohexane	
GC/MS	Chromatographie en phase Gazeuse couplée à la Spectrométrie de Masse	
HPLC/DAD	Chromatographie Liquide Haute Performance avec Détecteur à barrette de diode	
K _H	Constante de Henry	Pa.m ³ /mol
K _{oc}	Coefficient de partage entre carbone organique dans sol et eau	L/kg
L/kg	Litre par kilogramme	
mg/kg/jour	Milligramme par kilogramme de poids corporel de la personne et par jour	
mm	Millimètre = 10 ⁻³ m	
ng/m ³	Nanogramme par mètre cube=10 ⁻⁹ g/m ³	
NO _x	Oxydes d'azotes : NO _x = NO + NO ₂ avec NO : Monoxyde d'azote NO ₂ : Dioxyde d'azote	
O ₃	Ozone	
OH	Radical hydroxyle	
Pa	Pascal	
Pa.m ³ /mole	Pascal mètre cube par mole	
PM10	Particules de diamètre aérodynamique inférieur ou égal à 10µm	
PUF	PolyUréthane Foam=mousse en polyuréthane	
Pvap	Pression de vapeur	Pa
S.A.U.	Surface Agricole Utile	
SO ₂	Dioxyde de soufre	

INTRODUCTION

Le terme « pesticide » désigne généralement les substances actives ou les préparations, contenant une ou plusieurs substances actives, utilisées pour la prévention, le contrôle ou l'élimination d'organismes vivants jugés indésirables ou nuisibles pour les plantes et les animaux par l'homme. Il s'agit, par définition, de produits toxiques d'origine chimique ou biologique.[LAMIOT, 2001]

L'utilisation de pesticides entraîne le plus souvent des pertes de produits plus ou moins importantes contaminant l'environnement. Des pesticides sont ainsi retrouvés dans les eaux (souterraines, de surface (pluies, cours d'eau...)...), dans les sols, et dans l'atmosphère. Toute la chaîne alimentaire peut ainsi être affectée par les pesticides. Les hommes peuvent être exposés aux pesticides via les aliments, l'eau et l'air qu'ils respirent.

La réglementation spécifie des seuils limites pour les eaux de consommation humaine, ainsi que des teneurs maximales en résidus de pesticides dans les aliments. Il n'existe actuellement aucune norme ou limite réglementaire de qualité sur le paramètre pesticide dans l'air ambiant.

Les données bibliographiques mentionnent, depuis les années 60, une contamination de l'atmosphère et plus précisément des eaux de pluies dans de nombreuses régions du monde par les produits phytosanitaires.[MILLET, 1999]

En France, la prise en compte de la problématique des produits phytosanitaires dans l'atmosphère est relativement récente.

Les premières mesures des produits phytosanitaires par les réseaux de la qualité de l'air sont apparues en 2001, dans les régions fortement agricoles, comme les Pays de la Loire, la région Centre ou le Poitou-Charentes.

En mai 2002, Air Breizh a mené sa première campagne de mesures en zone rurale à Bignan dans le Morbihan (56).

En l'absence actuelle de norme française de prélèvement et d'analyse des pesticides dans l'air, cette campagne a répondu au mieux aux exigences des normes E.P.A. TO-4A et TO-10A de l'Agence américaine de Protection de l'Environnement (E.P.A.).[site epa]

Air Breizh a pour objectif en 2003 d'étudier le niveau d'exposition de la population urbaine aux pesticides susceptibles d'être retrouvés dans l'atmosphère, pendant une période d'étude déterminée.

Ce document comporte tout d'abord une étude bibliographique sur les pesticides, puis une présentation du matériel et de la stratégie de la campagne, et enfin les résultats de l'étude.

A. ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Généralités sur les pesticides

I-1 Qu'est-ce qu'un pesticide ?

D'un point de vue réglementaire, on distingue les pesticides utilisés principalement pour la protection des végétaux que l'on appelle produits phyto-pharmaceutiques (directive 91/414/CE) ou plus communément « produits phytosanitaires », des autres composés que l'on appelle biocides (définis notamment dans la directive 98/8/CE).[site ifen ; site europa]

L'appellation « biocide » englobe les pesticides non agricoles (utilisés dans les contextes industriel, agroalimentaire et domestique) et toutes les substances désinfectantes, comme l'eau de Javel.[LAMIOT, 2001]

Les pesticides sont le plus souvent commercialisés sous formes de préparations constituées d'une ou plusieurs substances actives.

Une substance active est une substance ou un micro-organisme, y compris un virus ou un champignon, exerçant une action générale ou spécifique sur ou contre les organismes nuisibles (directive 98/8/CE).

A cette substance active sont associés dans la formulation ou juste avant le traitement un ou plusieurs adjuvants, tels que des diluants (eau, alcools, huiles...), ou encore des tensioactifs, qui en facilitent l'utilisation.[EVEN *et al.*, 2002]

Actuellement, on compte plus de 500 substances actives pour environ 7000 préparations. L'hétérogénéité de ce vaste ensemble de produits rend difficile toute classification mais on peut distinguer en fonction de la nature du ravageur visé :

- les *insecticides*, qui comprennent des sous-classes comme les *aphicides* (contre les pucerons) ou les *nématocides* (lutte contre les vers) ;
- les *fongicides* (contre les champignons parasites des cultures) ;
- les *herbicides* ;
- et de nombreuses autres classes, parmi lesquelles figurent les *corvicides* (lutte contre les oiseaux nuisibles), les *rodenticides* (lutte contre les rongeurs)...[EVEN *et al.*, 2002]

Au sein de chaque classe, les produits peuvent être regroupés par famille chimique, mais aussi selon leurs modes de pénétration, leurs activités biologiques ou encore leur sélectivité.[EVEN *et al.*, 2002]

I-2 Contamination de l'air par les pesticides et leur devenir

Divers processus conduisent à la contamination de l'atmosphère par les pesticides. Une fois dans l'air, ces pesticides peuvent être transportés, dégradés ou évacués de l'atmosphère.

I-2-a Transfert des pesticides dans l'atmosphère

Différents modes d'application des pesticides existent :

- la pulvérisation de liquide, sous forme de gouttelettes, sur les plantes et le sol, technique la plus courante ;
- l'incorporation directe dans le sol, sous forme liquide ou de granulés ;
- les phytosanitaires peuvent également être assimilés dans les semences.

La contamination de l'atmosphère par les pesticides survient soit au moment du traitement, soit après leur application.[BARNEAUD, 2002] Ces transferts sont influencés par de nombreux facteurs.

I-2-a-1 Départ direct des pesticides à l'atmosphère durant l'application

Lors de la pulvérisation liquide de pesticides, seule une partie de la quantité épanchée atteint réellement la cible visée. Le reste du produit est diffusé dans les différents compartiments de l'environnement : air, sol, eau.

La proportion de pesticides qui passe dans l'atmosphère lors du traitement correspond à la « dérive », encore appelée « spray-drift ».[MILLET, 1999]

La dérive dépend principalement des conditions de pulvérisation, de la couverture végétale et des paramètres météorologiques.[BARNEAUD, 2002]

I-2-a-1-1 *Conditions de pulvérisation*

Le mode de pulvérisation liquide a une influence selon la technique utilisée (hauteur de pulvérisation notamment) et la taille des gouttelettes.

Les émissions spontanées vers l'atmosphère sont estimées de 1 à 30% avec l'utilisation de rampes de pulvérisateur. Les traitements par avion, très rares en France, n'atteignent qu'à 50% la cible.[VAN DER WERF, 1997]

La dérive augmente inversement avec la taille des gouttelettes. En règle générale, la dérive est d'autant plus importante que la proportion de gouttelettes, dont le diamètre est inférieur à 100µm, est importante. Le diamètre des gouttes doit être compris entre 200 et 300 µm, pour avoir des conditions d'application optimales [MARLIERE, 2001], les vitesses de chute des gouttelettes variant selon leur diamètre :

Diamètre des gouttelettes (en µm)	Temps de chute
1	28 heures
10	17 minutes
100	11 secondes
200	4 secondes
400	2 secondes

*Tableau 1 : Temps de chute des gouttelettes en fonction de leur dimension (distance 10 pieds, 1 pied=30,48 cm)
Source : www.ianr.unl.edu/pubs.pesticides/g1001.htm*

Un compromis entre la pulvérisation de gouttelettes de petites tailles, permettant un traitement uniforme de la passerelle, et des gouttes de diamètre moyen ayant des vitesses de chute rapides est nécessaire.[Lig'air, 2001]

I-2-a-1-2 *Couverture végétale*

La couverture végétale et le stade de développement des plantes ont également un impact sur la dérive, qui est en général d'autant plus faible que le stade de développement est avancé.[MILLET, 1999]

I-2-a-1-3 *Paramètres météorologiques*

Le vent est le facteur météorologique le plus influent : la dérive sera d'autant plus importante que la vitesse du vent sera élevée. La température et le taux d'humidité relative interviennent également sur l'amplitude de la dérive, dans la mesure où ils influencent très fortement la vitesse et l'importance de l'évaporation. La dérive est favorisée lorsque la température est élevée et que l'humidité relative est faible (c'est-à-dire quand l'évaporation est forte). La pluie, quant à elle, limite la dérive, mais réduit l'efficacité du traitement de part le lavage des plantes et le ruissellement sur le sol.

Les traitements en début et fin de journée sont recommandés au vu des températures « douces » et de la réduction diurne de la vitesse du vent qui crée à la surface du sol une couche d'air stable, limitant la dérive.[MILLET, 1999]

La dérive constitue une première voie de contamination de l'atmosphère. D'autres mécanismes de transfert interviennent après le traitement.

I-2-a-2 Le transfert des pesticides dans l'atmosphère après épandage

Les phénomènes de volatilisation et d'érosion éolienne sont à l'origine des transferts des pesticides dans l'atmosphère après traitement.

I-2-a-2-1 *La volatilisation de post-application*

La volatilisation est le résultat de tous les processus qui mènent au transfert des pesticides à partir du sol ou des plantes dans la phase gazeuse atmosphérique.[BEDOS *et al.*, 2002]

Deux principaux processus sont impliqués dans la dispersion des pesticides dans l'atmosphère par volatilisation :

- le premier processus correspond à l'évaporation ou à la sublimation d'une fraction des résidus présents à la surface du sol ou des plantes. Une partie de la quantité appliquée se volatilise à la suite d'un déplacement d'équilibre entre la phase liquide ou solide et la phase gazeuse ;
- le deuxième processus correspond à la dispersion de la vapeur résultante dans l'atmosphère par diffusion ou par mélange turbulent. Le pesticide sous forme gazeuse traverse une couche d'air de faible épaisseur (environ un millimètre), appelée couche stagnante, à proximité immédiate de la surface traitée où le flux d'air est laminaire avant d'être mélangé dans la couche supérieure de l'atmosphère où le flux est turbulent.[MILLET, 1999]

La volatilisation est régie par les caractéristiques physico-chimiques du composé, les conditions météorologiques et environnementales.[BEDOS *et al.*, 2002]

❖ Caractéristiques physico-chimiques

- La pression de vapeur (P_{vap}) facteur important de volatilisation est la pression de saturation, exprimée en Pascal, au-dessus d'une substance liquide ou solide. A cette pression et à une température donnée, la phase vapeur et la phase liquide ou solide sont à l'équilibre.[site ineris]

Les composés ayant une pression de vapeur élevée ont généralement initialement des flux de volatilisation à partir du sol importants (>30g/ha/jour), qui diminuent rapidement. Les flux de volatilisation des composés ayant une basse pression de vapeur sont quant à eux faibles au départ (<10 g/ha/jour) et diminuent lentement. Cette corrélation n'est cependant pas toujours vérifiée.[BEDOS *et al.*, 2002]

- La constante de Henry (K_H) est un indicateur plus adapté que la pression de vapeur pour l'appréciation de l'importance et de la durée de la volatilisation, car il s'agit d'un coefficient de partage entre la phase vapeur et la phase liquide. K_H correspond au rapport de la pression de vapeur sur l'hydrosolubilité du composé (S) : $K_H = P_{vap}/S$

Plus K_H est élevée, plus le produit a tendance à se volatiliser : les composés qui ont une constante de Henry supérieure à 10^{-5} Pa.m³/mole sont considérés comme volatils. [MARLIERE, 2001]

Le flux de volatilisation des composés volatils est plus important juste après l'application, et diminue ensuite.[BEDOS *et al.*, 2002]

- L'adsorption des molécules dans le sol ou à la surface des plantes limite la volatilisation des pesticides. Des coefficients permettent d'apprécier cette adsorption :
 - K_d , coefficient de partage entre les phases aqueuse et solide du sol ;
 - K_{oc} , coefficient de partage entre le carbone organique contenu dans le sol et l'eau. [BEDOS *et al.*, 2002] Une substance est considérée mobile dans le sol si $K_{oc} < 100$ L/kg et très peu mobile si $K_{oc} > 500$ L/kg. [site ineris]
- Le coefficient de diffusion moléculaire au sein de la couche stagnante, constante décrivant le mouvement de la substance dans la phase gazeuse en réponse à une différence de concentration dans cette même phase (exprimée en cm^2/s), influe également sur la vitesse de volatilisation. [site ineris ; MILLET, 1999]

Remarque : Les incertitudes sur l'estimation de la volatilisation sont importantes car ces caractéristiques physico-chimiques concernent la substance active et non pas la formulation commerciale.

❖ Conditions météorologiques

La température et le vent sont deux paramètres météorologiques influents.

Lorsque le sol traité possède une humidité adéquate, la pression de vapeur des composés faiblement polaires augmente avec la température. [MILLET, 1999] Une augmentation de la température de l'air favorise la volatilisation, étant donné que la pression de vapeur dépend exponentiellement de la température pour des composés en solution aqueuse. Pour de nombreux pesticides, une augmentation de la température de 10°C multiplie la volatilité par un facteur 3 ou 4.

Le flux de volatilisation augmente avec la vitesse du vent (si le vent augmente de 0,4 à 1,7 m/s, le transfert du lindane augmente de 12 à 31%). [BEDOS *et al.*, 2002]

❖ Propriétés du sol

La teneur en eau du sol a une influence sur la volatilisation. L'évaporation d'eau de sols humides entraîne l'accumulation des pesticides à faible K_H à la surface du sol ; la volatilisation des pesticides augmente ainsi avec l'évaporation de l'eau, on parle alors de « co-volatilisation ». L'augmentation de la volatilisation sur sol humide est également liée à la réduction du nombre de sites d'adsorption disponibles dans le sol, certains étant occupés par les molécules d'eau polaires, et à la présence d'un film d'eau empêchant les pesticides qui ont une faible solubilité d'atteindre ces sites. [MILLET, 1999 ; BEDOS *et al.*, 2002]

La composition du sol a également un effet sur le processus de volatilisation. La volatilisation est maximale pour des sols où la teneur en matières organiques est minimale, car l'adsorption des composés dépend notamment du coefficient de partage K_{oc} entre le carbone organique contenu dans le sol et l'eau. [MILLET, 1999]

❖ Nature de la surface traitée et le type de traitement

Le processus de volatilisation est favorisé avec un sol non labouré. Lorsqu'il y a de la végétation, les pesticides sont partagés entre l'adsorption sur les feuilles et la volatilisation, ce qui est très complexe à quantifier et dépend des caractéristiques physico-chimiques mises en jeu. La volatilisation depuis la surface foliaire est estimée plus importante et plus rapide que depuis la surface du sol, lors des premiers jours. Trois phénomènes expliqueraient cette différence : la turbulence liée à la structure des plantes augmenterait les échanges par convection, une plus grande adsorption sur le sol que sur les plantes favoriserait la volatilisation d'origine foliaire, et l'évaporation de l'eau à partir du sol ou des plantes serait différente. [BEDOS *et al.*, 2002]

Le mode d'application du pesticide est un facteur important ; le comportement d'un pesticide étant totalement différent si celui-ci est incorporé en profondeur dans le sol ou s'il est laissé en surface. L'incorporation des pesticides dans le sol réduit de façon non négligeable la volatilisation. [MILLET, 1999]

Le phénomène de volatilisation peut représenter une voie de dissipation majeure, pouvant atteindre dans certains cas 90% de la dose appliquée. Un troisième mécanisme participe au transfert post-application des pesticides dans l'atmosphère : l'érosion éolienne.

I-2-a-2-2 *L'érosion éolienne*

L'érosion éolienne dépend essentiellement de l'intensité du vent et de la nature du sol. Elle est favorisée dans les régions où les vitesses et les fréquences de vent sont élevées (proximité de la mer, grandes plaines), et concerne les cultures à faible couverture végétale. Les particules de poussières, auxquelles sont fixées des résidus de traitement, sont arrachées par le vent et se retrouvent dans l'atmosphère. [BARNEAUD, 2002]

I-2-a-3 Conclusion

De nombreux paramètres et interactions rentrent en compte dans la volatilisation au moment de l'épandage et après traitement rendant complexe la détermination des conditions d'un tel processus de transfert.

Selon leur mode de transfert, les pesticides se retrouvent dans l'atmosphère sous trois formes : gazeuse, liquide ou particulaire. Le tableau suivant rappelle l'état du produit selon le transfert :

<i>Mode de transfert</i>	<i>Phase des pesticides</i>
Dérive	Liquide
Erosion éolienne	Solide
Volatilisation	Gazeuse

Tableau 2 : Phase des pesticides selon le mode de transfert dans l'air

Une fois dans l'air, les pesticides peuvent passer d'une phase à l'autre au gré des caractéristiques physico-chimiques et des conditions météorologiques. Les différents états ont une importance, en particulier pour le transport à plus ou moins grande distance.[SANUSI, 1996]

I-2-b Transport et devenir des pesticides

Dans l'atmosphère, les pesticides se dispersent par diffusion et transport. Ils sont ensuite éliminés de l'atmosphère soit par des phénomènes de dépôts (secs ou humides), soit par des réactions de dégradations ou de transformations.

I-2-b-1 La dispersion des pesticides

Les pesticides sont disséminés dans l'atmosphère par la combinaison de deux mécanismes :

- **la diffusion**, favorisant la dispersion des gaz et des aérosols, résulte des mouvements turbulents qui se développent dans l'air instable ou qui sont engendrés par des cisaillements de vent ;

- **le transport** dépend de la circulation des masses d'air à l'échelle locale ou globale et de la survenance de précipitations. Sous forme liquide et particulaire, les pesticides sont facilement abattus au sol lors d'évènements pluvieux ou neigeux. En phase gazeuse, leur temps de séjour dans l'atmosphère est plus important, à condition que leur durée de vie dans l'atmosphère leur permette d'être transportés sur de plus grandes distances (composés stables et peu solubles).[SANUSI, 1996] Le transport sur de longues distances n'est envisageable

qu'à la suite d'une élévation des composés dans la troposphère, par exemple au-dessus de la couche limite.[MILLET, 1999]

I-2-b-2 L'élimination des pesticides de l'atmosphère

Les puits des pesticides sont les dépôts secs et humides, ainsi que les phénomènes de dégradations.

Les pesticides ou leurs sous-produits de dégradation peuvent être incorporés sous forme solide ou dissoute dans les gouttelettes de brouillard, de nuage et de pluie. Les molécules en phase particulaire peuvent se redéposer sur les surfaces avec les précipitations (pour les molécules solubles dans l'eau) ou par dépôt sec (sédimentation).[BARNEAUD, 2002]

Les réactions de dégradation qui peuvent avoir lieu dans l'atmosphère sont une voie importante d'élimination des pesticides. Ces substances peuvent subir soit des réactions de photolyse indirecte (oxydation avec les radicaux OH, l'ozone ou les oxydes d'azotes) soit des réactions de photolyse directe (le pesticide absorbe directement le rayon solaire et subit une ou plusieurs réactions). La prépondérance de l'une ou l'autre de ces réactions sera fonction de la structure chimique du composé et de son spectre d'absorption dans l'UltraViolet et le visible.

Ces mécanismes de dégradation des pesticides restent mal connus et peu de données sont disponibles à ce jour.[MILLET, 1999]

Ainsi l'atmosphère assure la dispersion et la dégradation des pesticides.

La quantification de ces différents phénomènes de transfert, transport, dispersion et élimination demeurent complexes à estimer. En effet, de nombreux paramètres propres et exogènes (climat, conditions météorologiques, caractéristiques du milieu...) à la molécule rentrent en jeu. De nouvelles problématiques s'ajoutent à ces difficultés d'évaluation, notamment celle des sous-produits de dégradation. Mal connus, certains métabolites seraient plus dangereux que les composés de départ.

I-3 Effets des pesticides sur la santé et l'environnement

Les pesticides peuvent se retrouver dans les différents compartiments de l'environnement (eau, air, sol, végétation). Les hommes, tout autant que la faune, sont en contact avec ces produits. De nombreuses études ont été et sont menées afin d'améliorer les connaissances sur les effets des pesticides sur la santé humaine et l'environnement.

I-3-a Effets sur la santé

La toxicité des pesticides est à aborder selon deux aspects : la toxicité aiguë (effets immédiats) et la toxicité chronique (effets à long terme). Actuellement, il existe de nombreuses données concernant la toxicité aiguë ; les connaissances sur la toxicité chronique demeurent limitées.

I-3-a-1 Toxicité aiguë

Les risques d'intoxication les plus élevés apparaissent essentiellement lors de la manipulation du produit, en particulier lorsque le produit n'est pas dilué dans le pulvérisateur.

Les voies de contamination suspectées sont la peau, les systèmes respiratoire et digestif.[site invs]

Une enquête sur les morts par intoxication, répertoriées en France par les Centres Antipoison et les Centres de Toxicovigilance de 1995 à 1998, révèle que 9% des intoxications

sont dues aux produits phytosanitaires, soit 149 décès. L'intoxication était involontaire dans 19% des cas, soit 28 décès.[Maison de la Consommation et de l'Environnement, 2003]

I-3-a-2 Toxicité chronique

L'évaluation des effets toxiques à long terme est complexe car de nombreux paramètres sont à considérer : la nature du composé, ses propriétés toxicodynamiques, leur synergie, les différents types d'exposition... De plus, le décalage entre l'exposition et la découverte d'une anomalie rend délicat l'établissement de la causalité.[EVEN *et al.*, 2002] Certains effets sont potentiellement importants : troubles de la reproduction et du développement, effets neurologiques, et cancérogénéité...

I-3-a-2-1 *Effets sur la reproduction et le développement*

Les mécanismes d'action varient selon les pesticides et se révèlent complexes et non totalement explorés : les pesticides interféreraient avec les hormones, les facteurs de croissance ou les neurotransmetteurs. Plusieurs phénomènes sont étudiés : infertilité masculine, mort fœtale, prématurité, hypotrophie, Retard de Croissance Intra Utérin (R.C.I.U.), malformations congénitales...

Selon l'Observatoire Régional de la Santé en Bretagne (O.R.S.B.), le lien entre l'exposition aux pesticides et malformations congénitales est envisagé dans de nombreuses études. L'augmentation du risque d'infertilité masculine et/ou féminine, de mortalité fœtale, et de répercussions sur le fœtus (diminution de la croissance fœtale) est largement mise en avant.

Il est notamment démontré que le Dibromochloropropane (DBCP) a un effet sur la reproduction humaine, diminuant la fertilité masculine.[Observatoire Régional de Santé de Bretagne, 2001] Certains pesticides, en particulier le DDT, pourraient agir comme des « perturbateurs endocriniens ». Cependant, il n'existe pas à ce jour de preuve irréfutable que l'exposition environnementale aux perturbateurs endocriniens puisse être à l'origine de désordres de la reproduction chez l'homme, bien que l'hypothèse soit plausible d'un point de vue biologique.[Comité de la Prévention et de la Précaution, 2002]

I-3-a-2-2 *Effets neurologiques et neurocomportementaux*

Les connaissances sur les effets chroniques neurologiques sont limitées. Les principaux effets chroniques étudiés sont les neuropathies périphériques (retard de conduction de l'influx nerveux, amoindrissement des réflexes...), les troubles neurodégénératifs (telle que la maladie de Parkinson), et les troubles neurocomportementaux (crise de convulsion, trouble de la mémoire, anxiété, irritabilité, dépression).

De nombreux travaux ont confirmé que l'exposition in utero aux polychlorobiphényles (PCB) et à d'autres produits organochlorés associés, présents dans l'alimentation, pouvait entraîner des retards de développement psychomoteur de l'enfant.[Comité de la Prévention et de la Précaution, 2002]

Le lien possible entre l'utilisation des pesticides et la survenue d'une Maladie de Parkinson fait l'objet de nombreux travaux, mais aucun consensus ne s'est encore dégagé. [Comité de la Prévention et de la Précaution, 2002 ; Observatoire Régional de Santé de Bretagne, 2001]

I-3-a-2-3 *Cancers*

Les données actuelles sur le lien entre pesticides et cancers sont controversées chez l'adulte. Cependant, des études sur des populations professionnellement exposées ont mis en évidence des corrélations entre l'exposition à certains pesticides et l'apparition d'affections localisées.[Observatoire Régional de Santé de Bretagne, 2001]

Citons notamment l'exemple du Lymphome Non Hodgkinien (L.N.H.). L'apparition de cette tumeur maligne a été corrélée dans plusieurs études chez les professionnels, à l'exposition à des herbicides spécifiques (2,4-D notamment). [MORISON et al, 1992] Une étude canadienne chez des riverains de zones d'application, montre le doublement de la fréquence des L.N.H. mortels dans des zones agricoles où sont pulvérisés des herbicides. [MORISON, 1994]

Plus généralement, le risque potentiel est souvent évoqué dans la littérature et la sensibilité des enfants aux pesticides apparaît plus grande que chez l'adulte.[Observatoire Régional de Santé de Bretagne, 2001]

Un accroissement du risque de cancer a été observé chez des fœtus et des enfants exposés. L'exposition peut provenir du travail agricole des parents ou de contaminations domestiques de l'habitat ou de l'alimentation. Selon une revue récente de Zahm *et al.* (1998), l'exposition des enfants à des pesticides a été le plus souvent associée aux tumeurs cérébrales et aux leucémies, avec des taux d'accroissement du risque souvent supérieurs à ceux observés dans le cadre d'expositions professionnelles à des pesticides.[Comité de la Prévention et de la Précaution, 2002] Une corrélation entre l'augmentation de risque d'apparition de leucémie et l'exposition professionnelle de la mère au moment de la grossesse est retrouvée dans 50% des études.[Observatoire Régional de Santé de Bretagne, 2001]

Les résultats des études ne sont cependant pas toujours concordants. Il existe de nombreuses incertitudes liées à la détermination des expositions aux pesticides et au manque de données expérimentales sur les mécanismes biologiques.[Comité de la Prévention et de la Précaution, 2002]

I-3-b Impact sur l'environnement

Les pesticides peuvent se volatiliser (ils sont alors retrouvés dans l'air), être lessivés (présence dans les eaux de pluie), et ruisseler (d'où leur présence dans les eaux de surface ou les eaux souterraines), être absorbés par les plantes, les animaux ou les micro-organismes du sol (contamination des chaînes alimentaires) ou rester dans le sol.[Maison de la Consommation et de l'Environnement, 2001]

Les ressources en eau sont plus ou moins contaminées en France. Le développement de la vie aquatique est ainsi affecté, de même que la production d'eau potable.

Les pesticides peuvent participer à la dégradation lente et progressive de la biodiversité des sols agricoles. Parallèlement à cette diminution de la biodiversité, des réductions d'effectifs d'insectes et d'autres invertébrés sont globalement constatées. Les insecticides en particulier sont dangereux pour les prédateurs, parasites et compétiteurs des ravageurs cibles.

L'ensemble de la communauté scientifique s'accorde sur le danger et la nocivité des produits phytosanitaires. Cependant, des avis divergents apparaissent quant à l'importance de leurs effets. La toxicologie et l'écotoxicologie des pesticides sont encore à développer.

II. Utilisation des pesticides

II-1 Contexte national

La France est le 3^{ème} consommateur mondial après les Etats-Unis et le Japon, avec environ 100 000 tonnes de matières actives utilisées chaque année. Sur ces 100 000 tonnes, environ 94% sont destinés à l'agriculture, 3% aux jardins amateurs et 3% aux collectivités, administrations (Direction Départementale de l'Équipement (D.D.E.)) et Société Nationale des Chemins de Fer (S.N.C.F.).[Maison de la Consommation et de l'Environnement, 2003]

Au niveau européen, la France est le premier consommateur de substances actives en volume, bien que son taux moyen d'utilisation agricole, exprimé en kg/ha, la classe en cinquième position.[Observatoire Régional de Santé de Bretagne, 2001]

Selon l'Union des Industries de la Protection des Plantes (U.I.P.P.), les fongicides et les herbicides sont les plus utilisés :

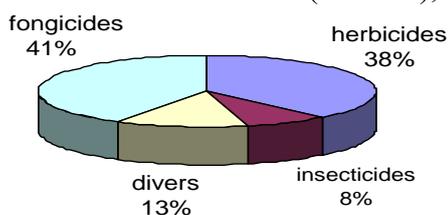


Fig.1 : Répartition entre les familles de pesticides en France en 2001

Le marché français est relativement stable depuis une dizaine d'années, bien qu'une tendance à la baisse soit observée depuis 1999. Cette diminution de la consommation peut être liée à la mise en œuvre de la réglementation prévue dans le cadre de l'agriculture raisonnée, à l'apparition de nouvelles matières utilisables à plus faibles doses, et aux conséquences du retrait de certaines matières actives.[site uipp]

II-2 Cas de la Bretagne

La nature des pesticides les plus employés dans la région au niveau agricole est fonction des types de cultures.

II-2-a Contexte agricole

La Surface Agricole Utile (S.A.U.), qui regroupe l'ensemble des terres recouvrant une activité agricole, allant des grandes cultures aux jardins et vergers familiaux, occupe 65% du territoire breton.

La Bretagne présente la particularité, du fait d'une importante production animale, d'orienter ses productions végétales vers les fourrages et les céréales destinées à l'alimentation animale.[Observatoire Régional de Santé de Bretagne, 2001]

44,5% de la S.A.U. est destinée à la culture fourragère : sont comprises dans ces fourrages, les prairies et certaines céréales récoltées parfois en plante entière, notamment le maïs.

Les céréales occupent 29,7% de la S.A.U. (cf. annexe A). Parmi les céréales, les plus répandus sont le blé, l'orge, l'avoine, le maïs en grain, et le triticale.[D.D.A.F., 2002]

Les prairies reçoivent très peu de traitements phytosanitaires comparées aux grandes cultures, qui regroupent principalement les céréales et le maïs.

Les surfaces dédiées à la culture légumière, aux pommes de terre et aux oléagineux (colza notamment) demeurent limitées et ne représentent que 6,1% de la S.A.U.

II-2-b Nature des pesticides les plus utilisés

Une certaine opacité demeure sur les données régionales relatives à l'emploi des pesticides en Bretagne.

II-2-b-1 Usage agricole

En 1994, la consommation régionale de pesticides pour usage agricole était évaluée à 4000 tonnes par an :

- les herbicides représentant 2/3 de la quantité totale du fait des cultures de maïs et de céréales ;
- le tiers restant regroupant les fongicides et les insecticides.[Observatoire Régional de Santé de Bretagne, 2001]

Actuellement, l'alachlore et l'atrazine sont les composés les plus répandus pour le désherbage du maïs ; l'isoproturon est quant à lui majoritairement utilisé pour le désherbage des céréales. L'atrazine sera amenée à disparaître du fait de son interdiction d'utilisation à partir de septembre 2003.

Les traitements du premier trimestre de l'année correspondent principalement aux opérations de désherbage sur les céréales. En fonction des conditions météorologiques et du type de traitements (pré ou post-levée), le désherbage du maïs s'échelonne entre la mi-avril et la fin mai. Si un deuxième passage est effectué, il est réalisé courant juin. Les périodes et les fréquences des traitements fongicides ou insecticides dépendent étroitement de chaque culture et des conditions climatiques.[BRIAND, 2002]

II-2-b-2 Usage non agricole

La quantité déclarée de produits utilisés dans les zones non agricoles est de 150 tonnes par an. Ce sont essentiellement des herbicides.[Observatoire Régional de Santé de Bretagne, 2001] Le glyphosate est l'une des molécules les plus répandues pour le désherbage. Le diuron et l'atrazine sont également utilisées. Le diuron tout comme l'atrazine a une utilisation très réglementée en Bretagne et tendra à disparaître.

II-3 Réglementation en vigueur

La directive 91/414/CEE du 15 juillet 1991, transcrite en droit français par le décret n°94-359 du 5 mai 1994, régit la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques. La directive 98/8/CEE du 16 février 1998 régit, quant à elle, la mise sur le marché des produits biocides. [site europa]

Des arrêtés ministériels fixent les conditions de mise sur le marché, de distribution, et d'utilisation des pesticides. Des restrictions d'emploi ont été imposées pour certaines substances considérées comme dangereuses :

- **le lindane** : emploi interdit depuis le 01/07/98 (J.O. du 15/02/97) ;
- **l'atrazine et de la simazine** : usage interdit en zone non agricole et limité à 1000g/ha en zone agricole (J.O. du 15/02/97 et du 04/07/97), et interdiction totale d'emploi à partir du 30/09/03 ;
- **le diuron** : interdit en zone non agricole lorsqu'il est utilisé seul, son emploi est limité du 01/11 au 01/03 lorsqu'il est en association pour les zones non agricoles, et limité à 1500g/ha/an pour certaines spécialités en attendant la fin de son utilisation fixée au 30/06/03 en zone agricole.[Service Régional de la Protection des Végétaux, 2002]

Au niveau régional, des arrêtés préfectoraux relatifs à l'atrazine et au diuron sont entrés en vigueur le 1^{er} septembre 1998 afin de limiter l'utilisation de ces deux désherbants [Observatoire Régional de Santé de Bretagne, 2001] :

- pour l'agriculture, l'atrazine est interdite sur les parcelles considérées à risque ;
- pour les usages non agricoles, l'utilisation du diuron en association n'est autorisée qu'au mois de mars et sous certaines conditions (distance d'un point d'eau...).

III. Mesures des pesticides dans l'atmosphère

III-1 Méthodes de prélèvement, d'extraction et d'analyse

III-1-a Prélèvements

Trois principaux types de prélèvement, basés sur un même principe d'échantillonnage, ont été développés.

III-1-a-1 Supports d'échantillonnage

La phase particulaire des polluants est collectée sur des filtres. Les plus utilisés sont le filtre quartz, à la fois résistants mécaniquement et chimiquement.

La phase gazeuse est piégée par un adsorbant. Plusieurs types d'adsorbants existent : résines ou mousse de polyuréthane (PUF). Parmi les résines, la XAD-2 et le Tenax sont les plus utilisés. Une nouvelle méthode, dite méthode « sandwich », est apparue récemment : celle-ci consiste à placer du XAD-2 entre deux galettes de PUF.[ANHEIM, 2002]

III-1-a-2 Appareils de prélèvements

L'air, aspiré par une pompe, traverse ces supports. Les deux paramètres déterminant la quantité de produits récoltée sont le débit de l'échantillonneur et la durée de la mesure.

❖ Des préleveurs à *haut débit* (plus de 10 m³/h) recueillent une grande quantité de matière, sur une période de prélèvement journalière. Le Digital DA80 est un de ces préleveurs. Equipé d'un filtre en quartz et d'une mousse PUF, cet appareil fonctionne à un débit pouvant varier de 30 m³/h avec une tête PM10 (pour la filtration des particules d'un diamètre inférieur ou égal à 10µm) à 60 m³/h avec une tête Total Suspended Particles (T.S.P.= pour la filtration des particules totales).[MARLIERE, 2001]

❖ Des appareils à *bas débit* (0,06 à 0,3 m³/h) sont utilisés pour un suivi sur de longues périodes. Ces préleveurs ont surtout été développés dans le cadre d'étude sur l'air intérieur. Les pompes utilisées doivent fournir un débit fixe compris entre 1 et 5 litres par minute avec une tolérance de plus ou moins 5%, selon la norme EPA TO-10A. Les supports préconisés sont des filtres en quartz et des PUF, mais peuvent aussi être de type « sandwich » XAD-2/PUF.[site epa ; Lig'air, 2001]

❖ Le prélèvement à *moyen débit* (1m³/h) est une technique intermédiaire, non normée à ce jour. Le Partisol est le préleveur moyen débit le plus répandu ; ce préleveur, destiné à des mesures intégrées sur plusieurs jours, nécessite l'emploi de filtres en quartz de 47 mm de diamètre et de mousse polyuréthane de 25 x 75mm. Ces deux média-filtrants sont rassemblés dans une cartouche filtrante qui se substitue au dispositif initial de collecte de poussières.

Les prélèvements hebdomadaires seraient préférables aux prélèvements journaliers pour des raisons analytique, logistique et économique, selon une étude de comparaison du DA80 et du Partisol menée par Lig'AIR.[MARLIERE, 2001 ; Lig'air, 2001]

Les échantillons récoltés sont ensuite extraits en laboratoire.

III-1-b Extraction

Différentes techniques d'extraction existent, parmi lesquelles figurent la désorption chimique et la thermodésorption.

III-1-b-1 Désorption chimique

❖ Extraction au Soxhlet

Appareil d'extraction le plus répandu, le Soxhlet permet une extraction solide-liquide, dans le cas des pesticides, par chauffage et percolation de solvants organiques dans les substrats de collecte. Cette technique permet d'étudier un large spectre de composés avec des rendements d'extraction globalement supérieurs à 70%. Cependant, l'utilisation du Soxhlet demande des quantités de solvant importantes et un certain temps (les méthodes E.P.A. préconisent une durée d'extraction de 16 heures minimum).[ANHEIM, 2002]

❖ Extraction aux ultra-sons

Les échantillons à extraire sont placés dans un bain à ultra-sons avec le solvant d'extraction. Cette extraction est plus rapide qu'au Soxhlet, mais son rendement est plus faible.[MILLET, 1994]

❖ Accelerated Solvent Extraction (A.S.E.)

L'A.S.E. permet une extraction à température réduite et à forte pression. Les rendements sont améliorés, les volumes de solvants nécessaires diminués et le temps d'extraction réduit à une heure.

A la suite de la désorption chimique, les extraits sont concentrés avant d'être analysés pour augmenter leur sensibilité de détection.

III-1-b-2 Thermodésorption

Une technique de thermodésorption a été récemment développée à l'Ecole Nationale de la Santé Publique de Rennes avec l'Automatic Thermal Desorption (A.T.D.). L'échantillon est chauffé à 350°C pendant 15 minutes pour extraire les pesticides, refroidis à -30°C, puis brutalement réchauffé à 390°C. [BRIAND *et al.*, 2002]

La sensibilité de détection est meilleure qu'après une extraction chimique, car l'ensemble de la matière prélevée est directement propulsée dans une colonne chromatographique sans étape de concentration. De plus, l'automatisation et la rapidité de la méthode permettent un gain de temps considérable. Cependant, le spectre des molécules analysables est plus restreint puisque cette méthode est adaptée aux composés volatils et thermiquement stables.[BRIAND *et al.*, 2002 ; ANHEIM, 2002]

Après extraction, les échantillons sont conservés à une température inférieure à 4°C jusqu'à l'analyse.

III-1-c Analyse

La chromatographie est la technique la plus utilisée. Le mélange à séparer est entraîné par une phase mobile à travers une colonne contenant une phase stationnaire. [SANUSI, 1996]

Deux types de chromatographies sont utilisés.

III-1-c-1 La Chromatographie en Phase Gazeuse (CPG)

La CPG est une méthode de séparation de composés gazeux ou susceptibles d'être vaporisés par chauffage sans décomposition. Elle permet l'analyse de mélanges complexes dont les constituants diffèrent d'une façon considérable par leur nature et leur volatilité. La phase mobile est constituée d'un gaz inerte (ex : hélium).

Différents détecteurs peuvent être couplés à la CPG. Quatre d'entre eux sont plus particulièrement adaptés à l'analyse de pesticides.

❖ *Détecteurs sensibles aux composés azotés et phosphorés (GC/NPD)*

❖ *Détecteurs à Photométrie de Flamme (FPD)*

Très sélectif, ce détecteur est destiné à l'analyse de composés contenant des atomes de soufre ou de phosphore.[SANUSI, 1996]

❖ *Détecteur à Capture d'Electrons (ECD)*

Basé sur l'ionisation du gaz vecteur et mettant en jeu les affinités électriques des composés, l'ECD est un détecteur spécifique à l'analyse de pesticides organohalogénés.[SANUSI, 1996]

❖ *Spectromètre de Masse (MS)*

L'analyse par MS, reposant sur l'ionisation des composés, permet une analyse qualitative et quantitative. Les ions moléculaires formés sont fragmentés, puis séparés selon leur rapport m/z (m étant la masse et z la charge de l'ion). Leur abondance est mesurée électriquement. Le couplage GC/MS est le plus utilisé, avec une limite de détection comprise entre 0,03 et 0,25 $\mu\text{g/ml}$, selon le matériel et le composé étudié.[POPESCU *et al.*, 1998]

Remarque : le couplage en double spectrométrie de masse (GC/MS/MS) a été utilisé en 2002 par ATMO-Poitou-Charentes. Réduisant nettement les interférences existantes avec la GC/MS, dues à l'abondance de composés dans l'air, cette technologie améliore la précision et la sensibilité de la quantification. Cependant, le nombre de composés analysables est moins important que la simple GC/MS à ce jour.

III-1-c-2 La chromatographie Liquide à Haute Performance (HPLC)

L'HPLC est adaptée à l'analyse de molécules organiques polaires. La phase mobile est liquide (solvants). Les pesticides analysés par l'HPLC peuvent être détectés par :

❖ *Détecteur à Ultra-Violet (UV)*

La réponse de ce détecteur dépend de l'absorptivité molaire du soluté à la longueur d'onde choisie.

❖ *Détecteur à barrette de diode (DAD)*

La sensibilité de la détection est améliorée (0,03 $\mu\text{g/ml}$ contre 0,5 $\mu\text{g/ml}$ pour l'UV), puisque les spectres des composés analysés sont déterminés pour différentes longueurs d'ondes.[SANUSI, 1996]

Toutes ces techniques de prélèvement, d'extraction et d'analyse permettent l'étude des pesticides dans l'air ambiant. En France, de nombreuses recherches sont actuellement menées.

III-2 Bref historique des études menées en France

Les premières mesures françaises de pesticides dans l'air ont été réalisées au milieu des années quatre-vingts, en Ile de France (mesure des concentrations en atrazine en milieu rural en 1991, par Chevreuil *et al.*) et en Alsace (présence de pesticides en phases particulaire et gazeuse en milieu rural en 1993, par Millet *et al.*). Différents organismes ont axé leurs recherches sur la mesure des pesticides dans l'air :

- L'Ecole Nationale de la Santé Publique (E.N.S.P.) de Rennes :
 - élabore une méthodologie d'évaluation de l'exposition des populations par la voie atmosphérique aux produits phytosanitaires ; parmi les études menées sur cette problématique, peut être citée l'étude des transferts sol-air de pesticides (en déterminant les flux verticaux) après un traitement sur parcelle, réalisée en 2000 [BRIAND *et al.*, 2001] ;
 - et développe des méthodes d'analyses des phytosanitaires, notamment la désorption thermique ;

➤ l'Institut National de la Recherche Agronomique (I.N.R.A.) de Paris Grignon s'attache à développer des modèles de volatilisation de pesticides à partir de sols traités ;

➤ L'université de Strasbourg a mené des études sur des migrations de pesticides de zones agricoles vers des zones non agricoles, sur le comportement physico-chimique et le transport des pesticides particulaires et gazeux dans l'atmosphère [MILLET, 1994 ; SANUSI, 1996] ;

➤ L'Institut National de l'Environnement industriel et des RISques (I.N.E.R.I.S.) encadre une thèse (fin prévue en 2004) sur l'évaluation de l'exposition actuelle ou récente d'enfants franciliens aux insecticides organophosphorés.

En 2000, l'I.N.E.R.I.S. a réalisé une étude bibliographique sur les méthodes de prélèvement et d'analyse, puis a mené des campagnes de mesures en 2001 afin de valider différents systèmes de prélèvements et leurs paramètres de fonctionnement. Depuis 2002, l'I.N.E.R.I.S. anime un groupe de travail national ayant pour objectif de définir une stratégie et des critères de classification des pesticides à rechercher prioritairement dans l'air.[MARLIERE, 2001]

➤ Certaines Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air (A.A.S.Q.A.) ont entamé des études sur les mesures en milieu ambiant :

- **Lig'air**, le réseau de la région Centre, a été l'un des premiers : après la mise au point en 2001 d'une méthodologie de prélèvement et d'analyse, plusieurs campagnes de mesures ont été réalisées en 2002 sur différents sites (rural, urbain et périurbain) avec un échantillonneur moyen volume (1m³/h).

Des pesticides ont été retrouvés dans l'air ambiant dans les trois milieux pendant et en dehors des périodes d'épandages (analyse des échantillons réalisés en GC/MS).

Sur 21 molécules recherchées, 18 ont été mises en évidence à des concentrations variant de 0,06 à 24 ng/m³. Des études se poursuivent en 2003.[Lig'air, 2002]

- **ATMO Poitou-Charentes** a entamé des mesures d'une cinquantaine de composés en 2001 en milieu rural, en utilisant deux techniques de prélèvement (haut et moyen volume), puis a étendu ses études aux sites urbains en 2002.

En 2001, les analyses des échantillons étaient réalisées par GC/MS et HPLC/DAD. Au vu des résultats et des problèmes de quantification, des essais analytiques avec la GC/MS/MS ont été effectués pour certaines molécules. Cette technique a permis de réduire les seuils de quantification de certains composés.

Sur 27 molécules recherchées en 2002, 11 pesticides ont été fréquemment détectés et quantifiés.[ATMO-Poitou-Charentes, 2002]

- **Air Breizh** a réalisé des mesures en zone rurale en 2002, avec un préleveur moyen débit.

Huit molécules ont été recherchées. Les mesures ont mis en évidence la présence de cinq pesticides dans l'atmosphère, dont trois systématiquement détectés (alachlore, atrazine et lindane) à des concentrations allant du seuil de détection à quelques ng/m³ (analyse faite par GC/MS).

Cette énumération n'est pas exhaustive ; d'autres organismes et réseaux s'intéressent à la problématique des pesticides dans l'air. Actuellement un groupe d'apprentissage « Mesure des pesticides dans l'air ambiant », réunissant l'I.N.E.R.I.S., l'Ecole des mines de Douai et une dizaine de réseaux de surveillance de la qualité de l'air, travaille à l'élaboration d'une méthodologie de prélèvement des pesticides. Celle-ci permettra à l'avenir une harmonisation et d'apporter une aide à la réalisation des campagnes de mesures.

B. CAMPAGNE DE MESURE 2003

La campagne de mesure a débuté le 29 avril 2003 à Rennes (35), en zone urbaine, et s'est poursuivie jusqu'au 8 juillet. Dix prélèvements hebdomadaires ont ainsi été réalisés.

I. Sélection des pesticides à étudier

La sélection des pesticides à étudier a été réalisée à partir d'une liste de composés susceptibles d'être présents dans l'atmosphère dans la zone d'étude et hiérarchisés selon leur pertinence à être recherchés.

I-1 Liste des substances susceptibles d'être retrouvées en Bretagne

En l'absence de données disponibles sur les tonnages, une liste non-exhaustive de 89 composés (cf. annexe B) susceptibles d'être retrouvés en Bretagne a été établie à partir d'un recoupement d'informations provenant de différentes sources :

- la liste des pesticides les plus utilisés pour les céréales et le maïs en Ile-et-Vilaine, représentative des usages actuels en Bretagne (liste 2003), fournie par la Chambre d'agriculture d'Ile-et-Vilaine ;
- des études sur les pratiques de désherbage sur le maïs et le blé en Bretagne, réalisées en 2001 par le Service Régional de la Protection des Végétaux (S.R.P.V.) de la Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt (D.R.A.F.) de Bretagne [MICHEL, 2001] ;
- les substances rencontrées dans les eaux de pluie en Bretagne, selon une étude menée par l'I.N.R.A. de 1995 à 1997, et le Laboratoire d'Etude et de Recherche en Environnement et Santé (L.E.R.E.S.) de l'E.N.S.P. Les recherches de la présence de molécules dans les précipitations constituent en effet une évaluation indirecte de la contamination de l'air ;
- les usages non agricoles, appréciés grâce aux indications fournies par la S.N.C.F., la D.D.E et le service Jardins de la Ville de Rennes ;
- la liste nationale des pesticides « prioritaires » à étudier, définie par l'I.N.E.R.I.S.

I-2 Hiérarchisation des composés

Les 89 composés ont été hiérarchisés, selon une méthode s'inspirant de celle utilisée par Lig'air, sur la base de trois critères.

❖ Critères de sélection

1. leur présence possible dans l'atmosphère, en raison, soit de la valeur de leur constante de Henry supérieure ou égale à 10^{-5} m³/mol, soit de leur présence détectée dans les eaux de pluie en Bretagne ;
2. leur caractère toxicologique, avec une Dose Journalière Admissible (DJA) inférieure ou égale à 0,01 mg/kg/jour. La DJA représente la quantité de substance qu'un consommateur peut ingérer toute sa vie quotidiennement sans que sa santé en pâtisse ;
3. leurs usages agricole et non-agricole. En l'absence de données chiffrées sur les tonnages en milieu agricole, les molécules n'ont pu être classées qu'en deux catégories : les **très utilisées** et les **utilisées** en agriculture. Répondent à ce troisième critère les produits

phytosanitaires très utilisés en agriculture ainsi que toutes les molécules employées en milieu non agricole, notre étude se situant en milieu urbain.

Remarque : Certaines molécules présentent plusieurs constantes de Henry . Elles diffèrent selon leur mode de détermination (calcul ou expérience), leur température... De même, il peut exister plusieurs DJA. Par principe de précaution, sont retenues les valeurs les moins favorables du point de vue toxicité (DJA la plus basse), et les plus favorables à la volatilisation (constante de Henry la plus élevée).

❖ Classement (cf. annexe C)

Le classement obtenu est le suivant :

- 10 matières actives répondant aux trois critères sont classées en priorité 1 :

alachlore	deltaméthrine
aminotriazole	diuron
atrazine	fénoxaprop-p-éthyl
bromoxynil (phénol)	isoproturon
carbofuran	sulcotrione

Le lindane, systématiquement détecté par les réseaux bien qu'interdit d'utilisation depuis 1998, est intégré dans ces composés prioritaires.

- 30 matières actives, répondant à deux critères, de priorité 2 ;
- 38 composés répondant à un seul critère, de priorité 3 ;
- 10 composés ne répondant à aucun de ces critères.

I-3 Liste définitive des molécules étudiées

Tous les composés de priorité 1 et 2 sont retenus, ainsi que 15 composés de priorité 3, soit 56 molécules au total (cf. annexe D).

Sur ces 56 molécules, 13 ne sont pas analysables par le laboratoire IANESCO-CHIMIE de Poitiers (86), avec lequel Air Breizh travaille. Ces substances posent en effet des problèmes de répétabilité à l'analyse et/ou nécessitent des conditions spécifiques d'extraction et/ou d'analyse.

Les composés qui se sont avérés non analysables par le laboratoire sont :

2,4-D (**)	hydroxyatrazine (*)
2,4-MCPA (**)	ioxynil (**)
aminotriazole (***)	mecoprop (*)
bentazone (*)	prochloraze (**)
bromoxynil (phénol) (***)	sulcotrione (***)
folpel (**)	triclopyr (**)
glyphosate (**)	

(***) : composé de priorité 1

(**) : composé de priorité 2

(*) : composé de priorité 3

L'aminotriazole, le bromoxynil (phénol) et la sulcotrione, de priorité 1, ne seront donc pas recherchés. Le premier composé est utilisé en milieu non agricole, en particulier pour le désherbage des voies ferrées, le second pour les céréales et le maïs, et la dernière molécule pour le maïs notamment.

Le glyphosate, de priorité 2, ne pourra également pas être recherché ; ce composé est pourtant l'un des plus répandus : usage par les particuliers, les collectivités territoriales et pour différents types de cultures.

Une liste de 43 composés est donc établie (cf.annexe E) :

Molécules analysées en GC-MS (37) :

aclonifen
alachlore
atrazine
bromoxynil (octonoate)
chlorothalonil
chlorpyriphos-éthyl
clodinafop-propargyl
cyproconazole
déséthylatrazine
déséthylsimazine
deltaméthrine
diazinon
dichlorvos
diflufénicanil
diméthénamid
endosulfan
époconazole
fénoxaprop-p-éthyl
fenpropidine
fempropimorphe
flufénacet
flusilazole
hexaconazole
krésoxim-méthyl
lambda-cyhalothrine

lindane (gamma HCH)
métolachlore
oxadiazon
parathion-méthyl
pendiméthaline
simazine
tebuconazole
tebutame
terbufos
terbutylazine
tétraconazole
trifluraline

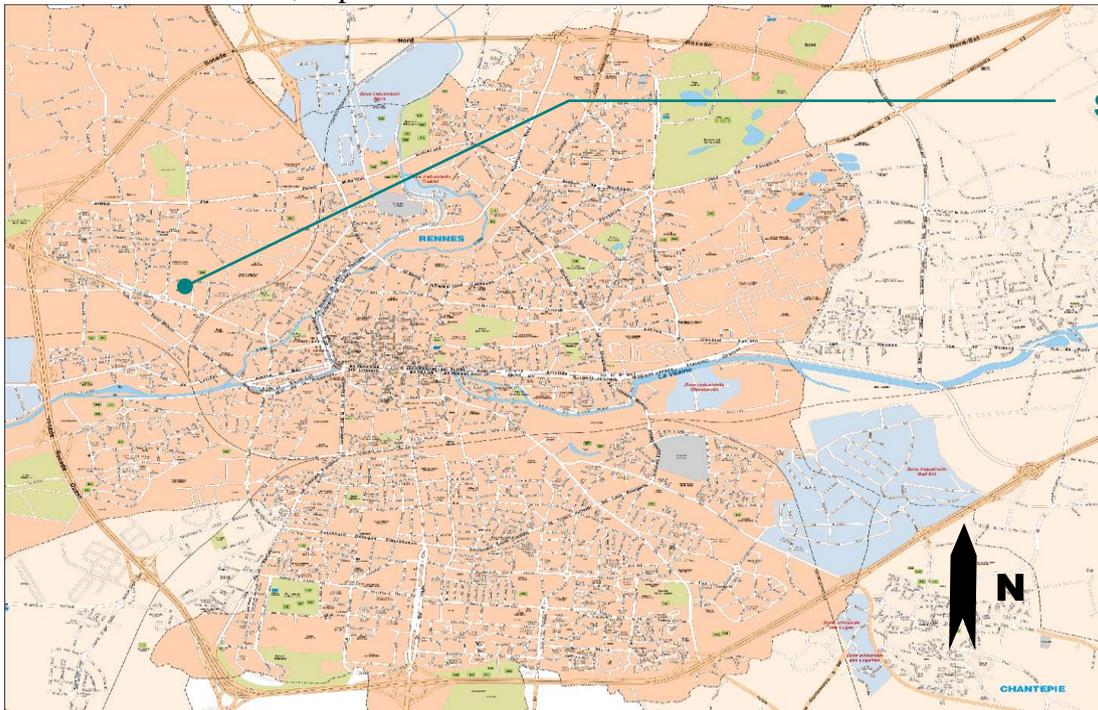
Molécules analysées en HPLC-DAD (6) :

carbofuran
carbétamide
chlortoluron
diuron
imazaméthabenz-méthyl
isoproturon

Les 6 premiers échantillons ont été analysés en GC/MS et HPLC/DAD (43 molécules recherchées), tandis que les 4 échantillons suivants ont été analysés en GC/MS (37 molécules d'analysées). Cette modification est survenue au vu des premiers résultats, qui n'indiquaient la présence d'aucune des molécules recherchées en HPLC, et pour des raisons financières.

II. Site d'étude

Le site de mesures est un terrain enherbé au sein de l'E.N.S.P. (cf. fig.2), situé au nord ouest de la ville de Rennes, exposée à un vent dominant de direction Sud-Ouest.



Site d'étude à l'E.N.S.P.

Fig.2 : Localisation du site de prélèvement de Rennes

Le préleveur est installé à proximité d'une station de mesures d'Air Breizh (cf.fig.3), dont l'objectif est le suivi du niveau d'exposition moyen de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dits de fond dans les centres urbains (mesure O_3 , SO_2 , NO_x). Elle répond au mieux aux critères d'implantation de ce type de station parmi lesquels figurent la densité de population supérieure à 3000 hab/km² dans un rayon d'un kilomètre autour du site et le rapport $NO/NO_2 < 1,5$.

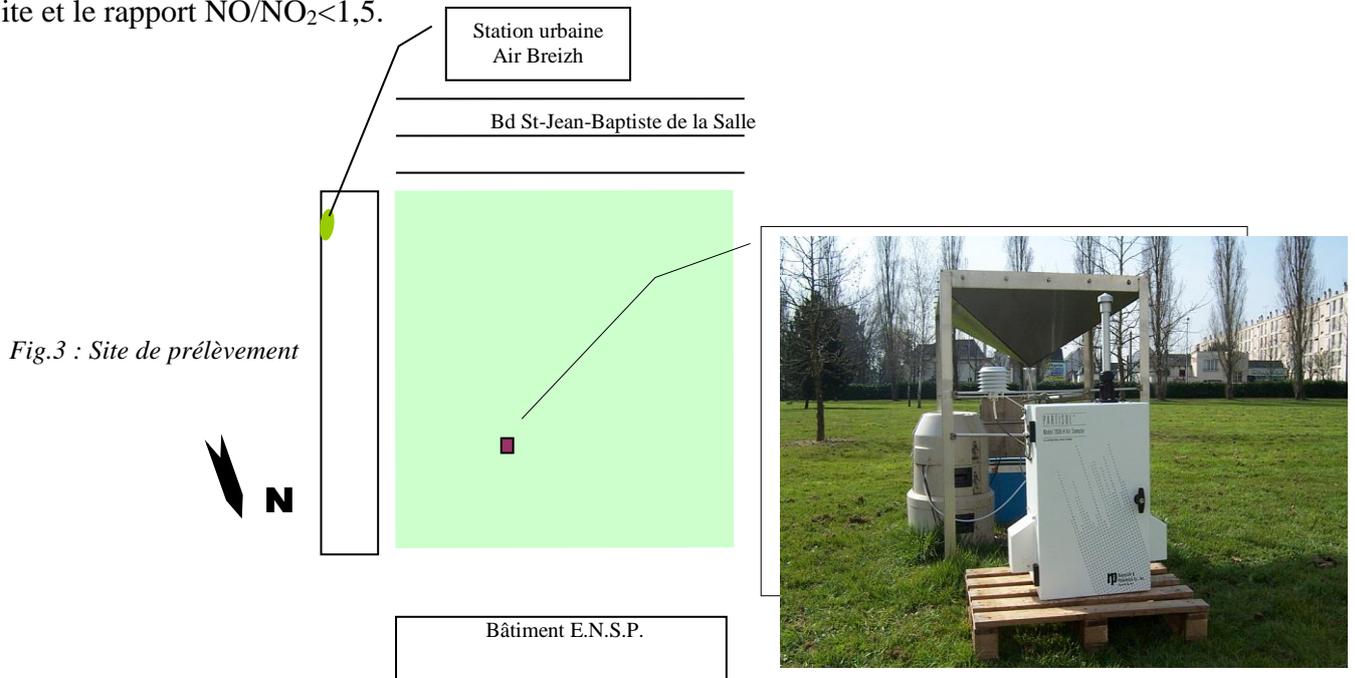


Fig.3 : Site de prélèvement

Le préleveur est éloigné des voies de circulation (Bd St-Jean-Baptiste de la Salle) d'environ 40 mètres, des deux bâtiments les plus proches d'au moins 15 mètres.

III. Prélèvement

III-1 Matériel

III-1-a Appareil de prélèvement

L'appareil de prélèvement utilisé est un appareil à moyen débit (fixé aux alentours de $1\text{m}^3/\text{h}$) : le Partisol 2000 de chez Rupprecht & Patashnick Co. Inc. (cf.fig.4, fig.5 et fig.6), commercialisé par la société Ecomesure, permettant de réaliser des prélèvements hebdomadaires et équipé d'une tête T.S.P. (Total Suspended Particles).

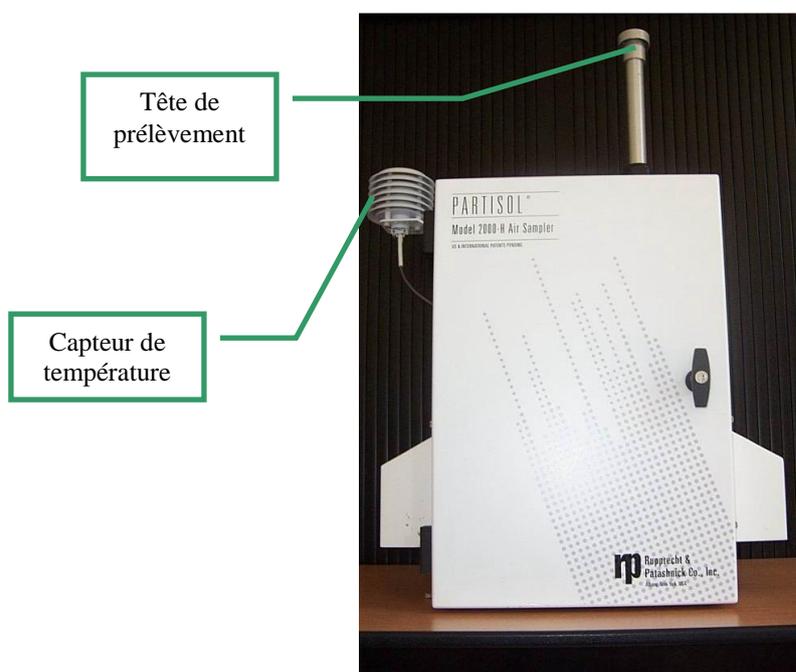


Fig.4 : Partisol 2000

Le Partisol 2000 est équipé de capteurs de température et de pression (moyennes sur durée d'échantillonnage). Ces capteurs et le débit ont été étalonnés, avant la campagne. Une variation du débit de $\pm 0,2\%$ a été trouvée, ce qui est conforme aux préconisations du fournisseur exigeant une variation inférieure à $\pm 7\%$.

Le Partisol est équipé d'une cartouche filtrante dans laquelle sont conditionnés un filtre en quartz de 47 mm de diamètre pour la collecte des pesticides en phase particulaire et une mousse polyuréthane de dimensions 25 x 75 mm pour le piégeage des pesticides en phase gazeuse.

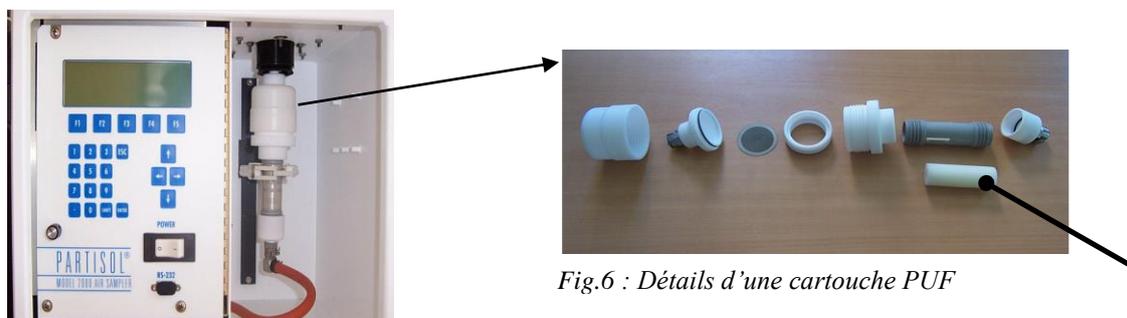


Fig.5 : Intérieur du Partisol

Fig.6 : Détails d'une cartouche PUF

Mousse polyuréthane

III-1-b Conditionnement des supports avant utilisation

Le système de piégeage (ensemble mousse et filtre) est préconditionné avant chaque prélèvement par le laboratoire d'analyses, IANESCO-CHIMIE.

Le nettoyage des supports d'échantillonnage est réalisé de la façon suivante :

- les filtres en quartz sont calcinés à 400°C pendant 5 heures, afin d'éliminer les éventuels résidus ;
- les mousses en polyuréthane sont soumises à une extraction sous ultra-sons durant 2 heures dans un mélange acétone/hexane (50/50) à 45°C, puis à une seconde extraction au Soxhlet pendant 8 heures dans 200 ml d'acétone et enfin une dernière extraction au Soxhlet pendant 8 heures par 200 ml de 10% d'éther diéthylique dans l'hexane ;
- les cartouches du Partisol, dans lesquelles sont déposés les média-filtrants, subissent un nettoyage au détergent, puis à l'acétone, et sont finalement séchées.

Une fois conditionnée, la cartouche est envoyée à Air Breizh, munie des deux bouchons et conditionnée dans de l'aluminium. La cartouche doit être utilisée dans un délai de 30 jours.

Un jeu de 3 cartouches est utilisé pour assurer un roulement : lorsqu'une cartouche est au laboratoire, une deuxième est en prélèvement et une troisième disponible à Air Breizh pour le prélèvement suivant.

III-2 Méthode de prélèvement

III-2-a Echantillonnage

La cartouche est mise en place dans le Partisol après programmation de l'appareil pour une semaine de prélèvement. Les bouchons de la cartouche et l'emballage sont conservés.

Les cartouches sont changées tous les mardis. Ce jour a été choisi en fonction des jours ouvrables (nombreux ponts au mois de mai 2003 avec jeudis fériés, et lundi de Pentecôte). L'échantillon envoyé le mardi, est réceptionné le mercredi par le laboratoire.

A la fin de l'échantillonnage, les bouchons sont clipsés aux extrémités de la cartouche échantillonnée afin d'éviter toute fuite, et celle-ci est placée dans son emballage d'origine.

III-2-b Modalités de transport et de stockage

L'échantillon est transporté dans une glacière jusqu'à Air Breizh, puis conservé au réfrigérateur jusqu'au passage du transporteur dans l'après-midi. L'envoi au laboratoire d'analyses est fait dans une glacière, accompagné d'un petit flacon d'eau permettant le contrôle de la température dès son arrivée au laboratoire.

Celui-ci conserve l'échantillon au frais (température < 4°C) et dispose de 7 jours pour réaliser l'extraction. L'extrait est à son tour conservé au congélateur jusqu'à analyse, qui doit être effectuée sous 40 jours.

IV. Traitement des échantillons

IV-1 Extraction de l'échantillon

Les phases particulaires et gazeuse (mousse et filtre) sont regroupées pour l'extraction, réalisée au soxhlet par 200 ml d'éther diéthylique/hexane (5/95) pendant 8 heures. L'extrait est ensuite séché, puis concentré sous vide puis sous courant d'azote à 10 ml. Il est ensuite divisé et concentré pour les différentes techniques analytiques mises en œuvre ; des étalons internes sont ajoutés. Ces derniers appartenant aux mêmes familles chimiques des composés recherchés servent à l'étalonnage de l'HPLC et de la GC/MS et permettent l'analyse quantitative.

IV-2 Analyse de l'extrait

Les deux techniques analytiques retenues pour doser les molécules sélectionnées sont :

- la *Chromatographie Liquide Haute Performance avec détection UltraViolet à barrette de diodes* (HPLC/DAD), pour la carbétamide, le carbofuran, le chlortoluron, le diuron, l'imazaméthabenz-méthyl et l'isoproturon. L'analyse s'effectue en mode phase inverse, c'est à dire que la phase stationnaire est très peu polaire et la phase mobile polaire. L'étalonnage est externe et la quantification est réalisée au minimum sur deux longueurs d'onde différentes.

- la *Chromatographie en Phase Gazeuse couplée à la spectrométrie de masse* (GC/MS), pour les 37 molécules restantes. L'analyse est réalisée sur une colonne capillaire apolaire avec un gradient de température du four. L'étalonnage est externe et la quantification s'effectue sur deux fragments minimum.

IV-3 Contrôles effectués par le laboratoire d'analyses

IV-3-a Contrôle de l'opération de nettoyage des mousses

Afin de valider l'opération de nettoyage, un contrôle des concentrations de pesticides dans les mousses est réalisé : après nettoyage, la mousse subit une extraction puis une analyse selon le protocole défini.

Le contrôle laboratoire effectué pour cette campagne n'a révélé la présence d'aucun pesticide ; l'opération de nettoyage a donc été validée.

IV-3-b Contrôle des taux de récupération

Les taux de récupération pour les deux techniques analytiques sont effectués sur 3 essais. Une quantité connue d'un mélange de pesticides est appliquée sur une mousse en polyuréthane nettoyée (entre 200 et 300 ng de chaque pesticide). Après séchage de l'adsorbant sous un courant d'azote, l'extraction est effectuée au soxhlet pendant 8 heures par 200 ml d'un mélange éther diéthylique/hexane (5/95), puis l'extrait est analysé selon le protocole défini.

Ces tests permettent notamment d'estimer la répétabilité de la mesure, mais avant tout d'évaluer la qualité de l'extraction. Selon les méthodes E.P.A. TO-10A et TO-4A, les taux de récupération sont acceptables lorsque ceux-ci sont compris entre 60% et 120%.

En GC/MS, 7 composés sur 37 ont des taux de récupération inférieurs à 60% ou supérieurs à 120%. En HPLC/DAD, 2 composés sur 6 ne sont pas compris dans cette plage (cf. tableau 3 et annexe F).

Le clodinafop-propargyl, le diazinon, le flufénacet, l'hexaconazole, et le krésoxim-méthyl (GC/MS) ont des taux de récupération variant de 126 à 139%, avec des coefficients de variation compris entre 10 et 18%.

Le tébutame, le terbuphos (GC/MS), la carbétamide et l'imazaméthabenz-méthyl (HPLC/DAD) ont des taux de récupération inférieurs à 60% (de 42 à 59%) avec des coefficients de variation compris entre 10 et 74%. La carbétamide présente de très mauvais résultats d'extraction, cette molécule serait plus ou moins dégradée lors du chauffage au soxhlet. Une autre méthode d'extraction devra être envisagée. Contrairement à la carbétamide, l'imazaméthabenz-méthyl avait déjà été analysée par le laboratoire IANESCO et avait également posé des problèmes de répétabilité.

GC/MS	Taux de Récupération (TR)		
	Moyenne (en%)	CV (en %)	LQ (en ng*)
aclonifen	97	15	30
alachlore	66	10	10
atrazine	91	23	10
bromoxynil (octonoate)	73	10	25
chlorothalonil	87	18	10
chlorpyrifos-éthyl	80	11	10
clodinafop-propargyl	139	18	10
cyproconazole	84	14	25
déséthylatrazine	58	11	10
déséthylsimazine	58	34	20
deltéméthrine	96	6	50
diazinon	138	10	10
dichlorvos	non dopé		10
diflufénicanil	95	9	10
diméthénamid	78	12	10
endosulfan	86	7	50
époconazole	87	22	25
fénoxaprop-p-éthyl	97	11	10
fenpropidine	66	51	20
fempropimorphe	73	30	50
flufénacet	133	17	15
flusilazole	84	16	25
hexaconazole	139	25	50
krésoxim-méthyl	126	11	10
lambda-cyhalothrine	96	10	50
lindane (gamma HCH)	70	12	10
métolachlore	84	13	10
oxadiazon	91	12	10
parathion-méthyl	73	17	10
pendiméthaline	85	11	15
simazine	76	13	10
tebuconazole	76	30	50
tebutame	58	13	10
terbufos	54	10	10
terbutylazine	77	17	10
tétraconazole	non dopé		25
trifluraline	61	5	10

HPLC/DAD	Taux de Récupération (TR)		
	Moyenne (en%)	CV (en %)	LQ (en ng*)
carbofuran	62	31	10
carbétamide	42	74	100
chlortoluron	102	20	50
diuron	100	33	50
imazaméthabenz-méthyl	59	28	100
isoproturon	93	22	50

LQ : Limites de Quantification

* : non corrigé des taux de récupération

CV : Coefficient de Variation

Tableau 3 : Taux de récupération des 43 molécules étudiées

C. RESULTATS

I. Validation des mesures

I.1 Blanc terrain

Un **blanc terrain** permet de mettre en évidence d'éventuelles contaminations lors du transport et de la manipulation. Effectué pour la campagne de mesure le 20 mai 2003, le blanc terrain n'a pas indiqué la présence de pesticides. Ce blanc terrain consiste à clipser une cartouche, conditionnée au préalable au laboratoire, dans le Partisol sans mettre ce dernier en fonctionnement. La cartouche est aussitôt remise dans son emballage original et envoyée au laboratoire pour analyse.

I.2 Transport des échantillons

Températures mesurées dans la glacière lors de la réception au laboratoire :

	7 mai	14 mai	21 mai	28 mai	4 juin	11 juin	18 juin	25 juin	2 juillet	9 juillet
T (en °C)	10	8	6	6	16	28,8	7,5	6	7,8	9,2

La température la plus élevée mesurée le 11 juin correspond à un envoi de l'échantillon dans un sac isotherme avec des pains de glace lui-même conditionné dans un carton, à la différence des autres échantillons transportés par glacière.

La température du 4 juin, qui est une des plus élevées (16°C), n'a pas empêché la détection de 8 composés, même si ces molécules sont en majorité volatiles ($K_H > 10^{-5}$ Pa.m³/mol). Une température trop élevée peut cependant induire une sous-estimation des concentrations de pesticides ou encore empêcher la détection de molécules présentes à de très faibles concentrations dans l'air ambiant.

Les modalités de conservation des échantillons lors du transport sont à améliorer, la condition de **température** inférieure à 4°C, spécifiée par les normes E.P.A., n'ayant jamais été respectée.

Pour cela, le nombre de pains de glace peut être augmenté et/ou un sac isotherme peut être ajouté. Les derniers envois (du 18 juin au 9 juillet) ont été réalisés ainsi : un sac isotherme contenant l'échantillon, les pains de glace ainsi qu'un flacon d'eau, pour le contrôle de la température à réception au laboratoire, ont été placés dans la glacière. Les températures obtenues pour ces derniers envois ne sont pas satisfaisantes, puisque la température atteinte est supérieure à 4°C.

D'autres solutions ou des améliorations au système de transport existant sont à rechercher.

I.1.a Autres systèmes de transport

❖ Envois en température dirigée

- **Transport frigorifique**

L'envoi de l'échantillon par transporteur privé, en température contrôlée, est trop coûteux. Cela nécessite en effet l'affrètement d'un camion frigorifique et d'un chauffeur particulier. Ce ne sont pas des envois de marchandises groupées comme la messagerie express, le coût est donc plus élevé. Selon la société « Réseau express » (www.reseau-express.fr), un tel envoi serait facturé aux environs de 500 ou 600 Euros.

- **Emballages spécifiques**

D'autres sociétés proposent des emballages isothermes pour l'envoi de produits frais ou congelés.

La société « DHL » (www.dhl.fr), propose un emballage, appelé « Thermobox 02P ou 03P », qui permet théoriquement de maintenir pendant 96 heures des produits frais à une température de +2°C à +8°C. Les emballages sont pourvus d'une barrière isotherme en polyuréthane associée à des accumulateurs de froid. Leurs dimensions :

- Thermobox 02P (6 accumulateurs) :

Dim. et volume utile (avec les accumulateurs) : 290mm x 185mm x 120mm (soit 6,4 litres)

Dim. extérieures nettes : 380mm x 275mm x 370mm (soit 38,7 litres)

- Thermobox 03P (8 accumulateurs) :

Dim. et volume utile (avec les accumulateurs) : 360mm x 290mm x 150mm (soit 15,7 litres)

Dim. extérieures nettes : 450mm x 380mm x 350mm (soit 60 litres)

Le tarif des emballages n'a pu être obtenu. Par ailleurs, leur utilisation ne peut être dissociée du transport par « DHL ».

Une estimation du prix d'un envoi avec les dimensions extérieures d'un « Thermobox 03P » et un poids estimé à 10 kg donne un coût, pour une livraison le lendemain, d'environ 40 Euros (HT). Cet emballage n'est, par ailleurs, pas réutilisable.

Certaines sociétés proposent des emballages isothermes sans prestation de transport, c'est le cas de la société « Sofrigam » (www.sofrigam.com). Celle-ci dispose d'une large gamme d'emballages réfrigérants dotés d'accumulateurs de froid ; elle propose également des emballages sur mesure (études préalables nécessaires).

La plupart des emballages proposés sont en carton, et ne semblent pas être réutilisables.

Cependant, « Sofrigam » dispose d'un emballage réfrigérant pouvant être réutilisé plusieurs fois, se présentant sous forme d'une caisse plastique (« Plasibox »). Celle-ci, dotée de 2 accumulateurs de froid, permet théoriquement de transporter un produit jusqu'à +5°C, pour une durée maximale d'expédition de 24 heures. Le problème majeur de cet emballage est qu'il présente seulement un volume utile de 5 litres (272 mm x 172 mm x 60mm) ; le transport de plusieurs cartouches dans un même envoi se trouve alors compromis. Le tarif d'un tel emballage n'a pu être obtenu.

❖ **Autres systèmes d'accumulateurs de froid**

Les emballages spécifiques, dont quelques exemples ont été cités précédemment, reprennent de façon plus ou moins performante le principe du transport en glacière. En effet, tout comme la glacière, ils sont constitués d'une barrière isolante de polyuréthane et utilisent des accumulateurs de froid pour maintenir une certaine température. Différents types de systèmes d'accumulateurs de froid existent. Les plus classiques sont les pains de glace (ou encore des bouteilles d'eau congelée) ; existent aussi le gel eutectique et la carboglace.

- **Gel eutectique**

Le gel eutectique est un mélange de deux ou plusieurs substances dont le point de fusion ou de congélation, appelé point d'eutexie, est caractéristique du mélange. L'eau et la glace ont un point d'eutexie de 0°C.

Différentes sociétés commercialisent ce produit, sous forme rigide ou souple.

La société « Climatainer » (www.climatainer.com) propose une gamme d'accumulateurs de froid 0°C très diversifiée, dont les tarifs sont disponibles sur simple demande. Cependant, d'après des tests réalisés en interne par « Climatainer », le gel ne s'est pas révélé plus performant que l'eau.

- Carboglace

La glace carbonique, encore appelée glace sèche ou carboglace, constitue un autre système de réfrigération. Elle s'obtient par compression de la neige carbonique, elle-même issue de la détente de CO₂ liquéfié (sous sa propre pression de vapeur saturante).

Le froid est obtenu par la transformation de la carboglace en gaz carbonique (sublimation). Selon la société « Cryo-Express » (filiale d'« Air Liquide ») (www.cryo-express.tm.fr), la carboglace dégage trois fois plus de froid que le même volume de glace à l'eau. Selon la société « Subligel » (www.subligel.fr), la glace sèche garantit une autonomie plus importante que la glace traditionnelle, car la sublimation est plus lente et l'intensité du froid libéré plus important.

Cependant, la carboglace est peu utilisée car elle dégage du CO₂ et fournirait une température trop froide pour le transport.

De plus, une fois livrée, la carboglace serait à conserver à une température très basse.

La société « Cryo-express » propose des livraisons de carboglace en moins de 24 heures sur toute la France par conditionnement de 10 kg, en plaquettes emballées de 0,750 kg (de dimensions : 175 mm x 148 mm x 20 mm) ; quantité trop importante pour une utilisation de 2 ou 3 plaquettes par semaine.

« Air Liquide » propose également la distribution de glace carbonique ; selon « Air Liquide », la glace carbonique permet de maintenir des produits frais à une température comprise entre +2 et +6°C.

Enfin, la société « Subligel » (www.subligel.fr), propose un emballage réfrigérant, appelé « Sublipack », pour le transport de denrées réfrigérées. « Sublipack se compose d'une boîte en polystyrène expansée avec un compartiment inférieur de transport et un compartiment supérieur spécial contenant une dose de glace sèche ».

I-1-b Essais de température

Dans l'attente d'une solution de transport plus performante au niveau thermique, des améliorations du système actuel de transport ont été étudiées.

Ainsi différents modes de conditionnement ont été testés avec 2 glacières de capacités et de marques différentes. Il s'agit d'une glacière de 24L de la société « Campingaz » (**glacière A**) et d'une glacière de 22L de la société « Curver » (**glacière B**).

Pour chaque essai (sauf l'essai du 24 au 25/08 s'étant déroulé du 24 vers 12h au 25 vers 9h), les deux glacières ont été placées dans le coffre d'une voiture, du milieu d'après-midi du jour X (vers 15h30, heure approximative de passage du transporteur lors de la campagne 2003) jusqu'en fin de matinée du jour X+1 (vers 11h30 ; les échantillons de la campagne 2003 étant reçus dans la matinée par le laboratoire IANESCO). La température est mesurée à l'aide de deux thermomètres à alcool, placé chacun dans une glacière.

Des essais ont été effectués pour comparer l'efficacité des deux glacières, apprécier l'influence du conditionnement (avec ou sans sac isotherme, avec ou sans papier journal (afin de garnir la glacière)) et l'influence du nombre de pains de glace sur la température.

Les résultats sont regroupés dans le tableau 4.

Deux essais ont permis d'obtenir une température satisfaisante de 4°C (avec la glacière de la marque « Campingaz », 5 pains de glace, 1 sac isotherme et du papier journal).

N° Essai (date)	Conditions	Glacière A	Glacière B	Paramètres étudiés	Commentaires
1 (18 au 19/08)	20 heures 18 à 17h : 24°C 19 à 8h : 17°C	3 pains de glace, avec sac isotherme et papier journal	3 pains de glace, avec sac isotherme et papier journal	glacière	Pour les mêmes conditions, on observe quelques degrés de différence entre les glacières : La glacière « Campingaz » est plus performante que la glacière « Curver ».
		9	11		
2 (19 au 20/08)	20 h 15 19 à 17h : 24°C 20 à 8h : 14°C	5 pains de glace, avec sac isotherme et papier journal	3 pains de glace, avec sac isotherme et papier journal	Glacière Nombre de pains de glace	En plus de la différence des glacières, l'écart plus important entre les deux températures indique l'influence du nombre de pains de glace. Conditionnement plus efficace avec 5 pains de glace.
		4	12		
3 (20 au 21/08)	20 heures 20 à 17h : 25°C 21 à 8h : 12°C	3 pains de glace, avec sac isotherme sans papier journal	5 pains de glace, avec sac isotherme et papier journal	Glacière Nombre pains de glace Papier journal	Cependant, l'augmentation du nombre de pains de glace et la garniture de la glacière B avec du papier journal ne sont pas concluants dans ce test 3. La qualité de la glacière est primordiale. La glacière « Campingaz » est plus performante que la glacière « Curver ».
		12	15		
4 (22 au 23/08)	19h 50 22 à 17h : 27°C 23 à 8h : 13°C	5 pains de glace, avec sac isotherme et papier journal	3 pains de glace, avec sac isotherme sans papier journal	Glacière Nombre pains de glace Papier journal	L'impact du papier journal est minime dans ce test. En effet, l'écart de température est moins important que pour le test 2.
		10	16		
5 (24 au 25/08)	21h 15 24 à 17h : 29°C 25 à 8h : 16°C	5 pains de glace, avec sac isotherme et papier journal	3 pains de glace, sans sac isotherme sans papier journal	Glacière Nombre pains de glace Papier journal Sac isotherme	En plus de la différence de glacière, l'écart important entre les deux températures indique l'influence combinée du nombre de pains de glace, du papier journal et du sac isotherme.
		4	17		
6 (26 au 27/08)	19h 30 26 à 17h : 26°C 27 à 8h : 14°C	3 pains de glace, avec sac isotherme sans papier journal	3 pains de glace, sans sac isotherme sans papier journal	Glacière Sac isotherme	l'écart de température relié à la présence ou non du sac isotherme est confirmé par ce test. Le conditionnement est plus efficace avec un sac isotherme.
		3	12		
7 (27 au 28/08)	21h 15 27 à 17h : 29°C 28 à 8h : 17°C	3 pains de glace, avec sac isotherme et papier journal	3 pains de glace, avec sac isotherme sans papier journal	Glacière Papier journal	La différence de température indique l'influence de la glacière et du papier journal. Comme dans le test 4, l'impact du papier journal est minimisé : l'écart de température est essentiellement lié à la différence de glacière.
		11	14		

Tableau 4 : Résultat des essais de température

Le conditionnement optimal correspondrait pour Air Breizh à un sac isotherme, avec 5 pains de glace, dans la glacière « Campingaz » (température maximale : 10°C après une vingtaine d'heures).

D'autres tests pourraient être effectués.

II. Conditions météorologiques

Les données météorologiques proviennent de la station Météo-France de St-Jacques-de-la-Lande (poste 35281001) située à environ 8 km au sud-ouest de Rennes.

Les dix semaines de prélèvement (du 29 avril au 8 juillet 2003), globalement anticycloniques, ont été soumises à quelques passages légèrement dépressionnaires. Des épisodes pluvieux ont notamment marqué les semaines 3 (du 13 au 20 mai), 4 (du 20 au 27 mai), 9 (du 24 juin au 1^{er} juillet) et 10 (du 1^{er} au 8 juillet), avec des précipitations aux alentours du 19 et 24 mai, et du 1^{er} juillet. Les minima et maxima horaires des quatre premières semaines étaient compris relativement entre 3,8 et 5,9°C et 18,6 et 24,1°C ; la moyenne comprise entre 12,4 et 13,8°C. A partir de la cinquième semaine, une hausse des températures est observée. Les minima et maxima horaires ont respectivement varié de 8,4 à 12,6°C et de 24,6 à 35,2°C sur les six autres semaines d'étude, les moyennes sur les périodes d'échantillonnage ayant varié de 17 à 20,8°C. Cette hausse des températures est corrélée à une augmentation générale de la durée d'ensoleillement (minimum de 50 heures d'ensoleillement pour les semaines 5, 6, 7, 8 et 10). (cf. annexe G)

III. Résultats des mesures et interprétation

Le laboratoire communique les masses des pesticides piégés dans les échantillons en nanogramme, non corrigées des taux de récupération. Le rapport de cette masse sur le volume d'air prélevé (en m³) par le Partisol donne la concentration moyenne du composé dans l'air ambiant.

Sur 43 composés recherchés, 8 ont été détectés sur les dix semaines de campagne. L'oxadixyl, non recherché, a été détecté la semaine 5 (cf. annexe F et tableau 4).

	Concentration en ng/m ³ *									
	Semaine 1 29/04 au 06/05	Semaine 2 06/05 au 13/05	Semaine 3 13/05 au 20/05	Semaine 4 20/05 au 27/05	Semaine 5 27/05 au 03/06	Semaine 6 03/06 au 10/06	Semaine 7 10/06 au 17/06	Semaine 8 17/06 au 24/06	Semaine 9 24/06 au 01/07	Semaine 10 01/07 au 08/07
alachlore	0,896	0,852	1,043	0,171	1,673	-	0,418	0,111	0,106	-
atrazine	-	-	-	-	<ou=0,246	0,409	<ou=0,289	<ou=0,176	-	-
chlorothalonil	-	-	-	-	1,363	-	0,835	0,968	0,443	0,175
endosulfan	-	-	-	-	1,012	-	0,559	-	-	-
lindane (gamma HCH)	0,316	0,278	0,211	-	0,638	0,263	0,218	0,176	0,325	0,175
métolachlore	0,063	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pendiméthaline	-	0,119	0,205	-	0,240	-	0,193	-	-	-
trifluraline	-	-	-	-	0,170	-	-	-	-	-
oxadixyl	-	-	-	-	environ 0,55	-	-	-	-	-

* non corrigée des taux de récupération

Tableau 5 : Résultats des dix semaines de mesures (29/04 au 08/07/03)

Remarque : Les concentrations mesurées ne sont pas corrigées des taux de récupération, comme le précisent les normes E.P.A. En effet, le test des taux de récupération consiste en un dépôt de solution liquide et ne peut donc correspondre aux taux de récupération des pesticides piégés sous forme de gaz.

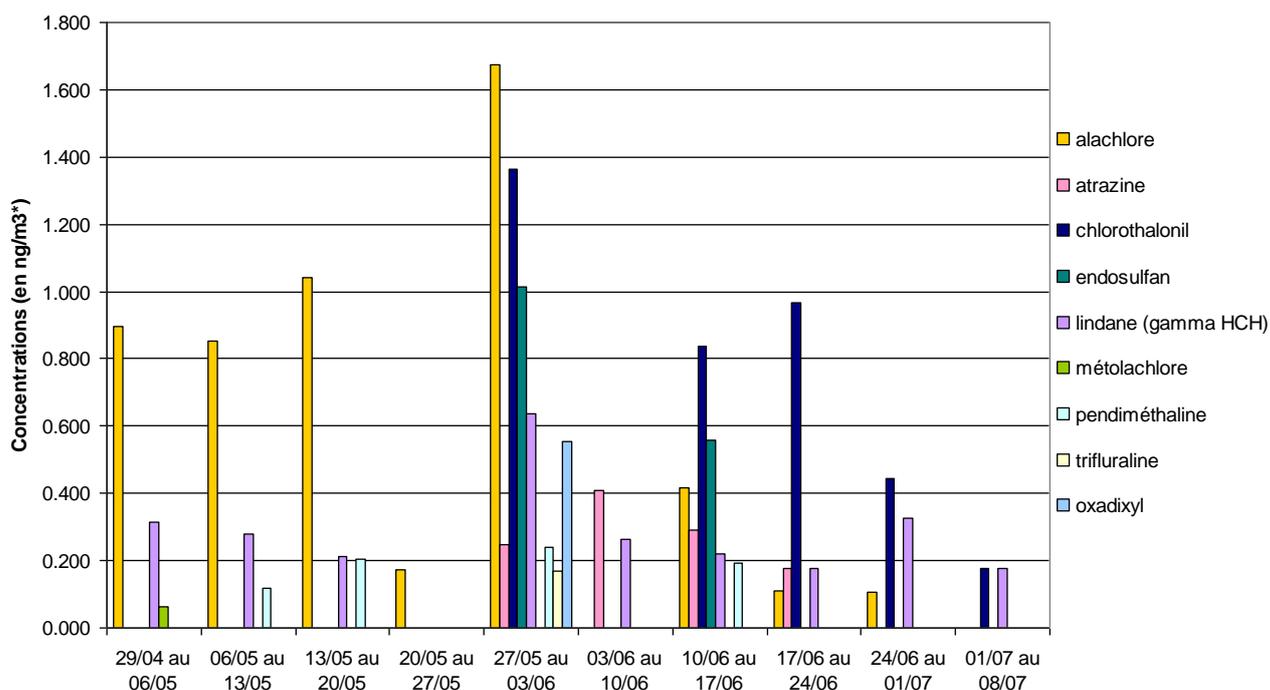


Fig.7 : Evolution des concentrations des pesticides détectés

Le lindane est la molécule la plus fréquemment détectée. Elle est retrouvée dans 9 prélèvements sur 10. L’alachlore est détectée sur 8 échantillons. Le chlorothalonil est, quant à lui, détecté 5 fois sur dix ; tandis que l’atrazine et la pendiméthaline sont présentes sur 4 échantillons. L’endosulfan est détecté deux semaines. Enfin, la trifluraline, le métolachlore et l’oxadixyl sont détectés une fois. (cf.fig.7)

III-1 Comparaison des échantillons

La semaine 4 (du 20 au 27 mai) se démarque par la détection d’un seul composé, l’alachlore, alors que les conditions météorologiques sont à peu près semblables à celles des semaines précédentes : ordre de grandeur des températures (cf.fig.8), ensoleillement (même s’il est légèrement supérieur à celui de la semaine 3 (du 13 au 20 mai)), occurrence de pluie (notamment le 24 mai, en moins grande quantité que la semaine 3) avec des vents peut-être d’intensité plus faible en moyenne, mais toujours de dominante sud-ouest, comme les semaines 1 (du 29 avril au 6 mai) et 3 (cf. annexe G).

Les six semaines suivantes sont marquées par une hausse des températures (cf.fig.8) et de l’ensoleillement (mis à part pour la semaine 9 (du 24 juin au 1^{er} juillet)), mais ont subi des vents de direction dominante différente et d’intensité variable (cf. annexe G).

La semaine 5 (du 27 mai au 3 juin) est marquée par la détection d’un plus grand nombre de composés. Une hausse des températures et de l’ensoleillement, couplée à de faibles précipitations ont pu favoriser la volatilisation des composés épandus.

L’échantillon de la semaine 6 (du 3 au 10 juin) présente, quant à lui, deux composés. Les conditions météorologiques de cette semaine sont très peu différentes de celles de la semaine précédente : une légère baisse des températures est relevée par rapport à la semaine 5, avec des vents d’intensité plus forte et de direction dominante différente (plutôt variable la semaine 5, le vent prend une direction dominante sud-ouest la semaine 6).

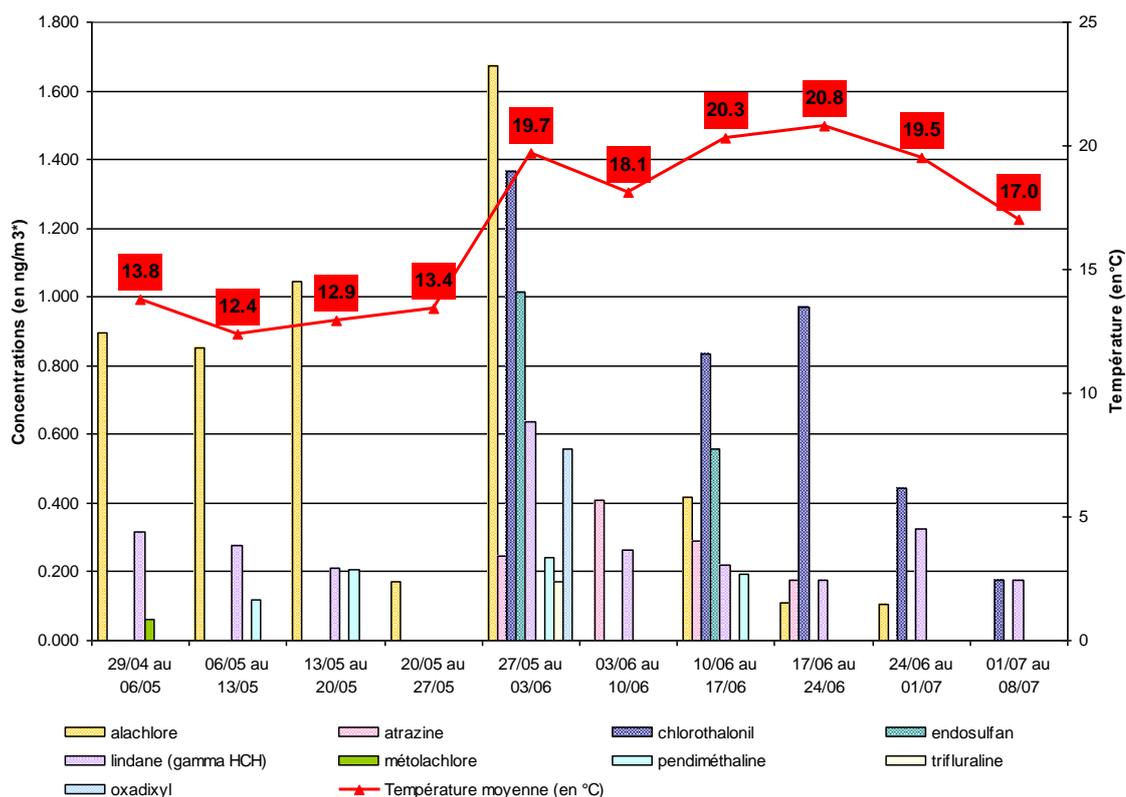


Fig.8 : Concentrations et températures moyennes

L'évolution des concentrations et le nombre de molécules détectées varient selon les semaines. Différentes hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ces variations (périodes et lieux de traitement, conditions météorologiques, comportements des composés liés à leurs propriétés,...).

III-2 Détails sur les 9 molécules détectées

III-2-a Influence du milieu non-agricole

Aucune des molécules recherchées et utilisées par la Ville de Rennes ou la DDE n'a été détectée (carbétamide, diflufénicanil, diuron, oxadiazon). L'influence du milieu non-agricole n'a apparemment pas été mise en évidence lors de cette campagne de prélèvement.

Cependant, certaines molécules utilisées en non-agricole n'ont pas été recherchées pour des raisons de faisabilité analytique et des coûts financiers : 2,4-D, 2,4-MCPA, aminotriazole, glyphosate, mécoprop, prochloraze, triclopyr.

De plus, les utilisations des produits phytosanitaires par les particuliers n'ont pas été prises en compte dans cette étude, en raison du peu d'informations à ce sujet. Certains composés détectés lors de cette étude pourraient néanmoins également provenir d'utilisations par les particuliers.

III-2-b Influence du milieu agricole

➤ Quatre des neuf composés détectés sont utilisés en Bretagne sur le maïs et les céréales ; il s'agit de l'alachlore, l'atrazine, le métolachlore et la pendiméthaline :

❖ Alachlore

Classé en priorité 1 dans la liste des composés à rechercher (cf.annexe E), cet herbicide est appliqué au sol avant ou après les semis. Très utilisé pour le désherbage du maïs en Bretagne, il est épandu dans la région du 20 avril au 15 mai*, selon la date des semis ; il est également utilisé pour les cultures légumières.

Variant de 0,852 à 1,043 ng/m³, les concentrations en alachlore sont relativement élevées entre le 29 avril et le 20 mai (soient les trois premières semaines). Entre le 20 et le 27 mai, sa concentration est plus faible (de l'ordre de 0,1 ng/m³). Le maximum est atteint la cinquième semaine (du 27 mai au 3 juin) à 1,673 ng/m³. Non détecté la sixième semaine (du 3 au 10 juin), il est à nouveau mesuré à partir de la semaine 7 à 0,418 ng/m³ (du 10 au 17 juin). Les concentrations en alachlore diminuent les deux semaines suivantes, jusqu'au 1^{er} juillet et il n'est plus détecté du 1^{er} au 8 juillet.

Les trois premiers résultats correspondent à la période possible d'épandage, pour le désherbage du maïs (1^{er} traitement de désherbage du maïs).

La concentration la plus élevée, mesurée la semaine 5 (du 27 mai au 3 juin) correspond à des conditions météorologiques favorables à la volatilisation de la molécule (température élevée la cinquième semaine (cf. annexe H), et précipitations).

Les concentrations en alachlore des semaines suivantes (du 10 juin au 1^{er} juillet) correspondraient à la volatilisation du produit, liée aux conditions météorologiques proches de celles de la semaine 5.

❖ Atrazine

De priorité 1, l'atrazine a une utilisation très réglementée en Bretagne. Interdit en milieu non agricole, sa dose d'application est limitée en agriculture. Cet herbicide s'applique sur le maïs et les cultures légumières. Il est souvent associé à l'alachlore pour le désherbage du maïs, mais à des doses plus faibles. L'atrazine est utilisée en deux passages : l'un s'étalant du 20 avril au 15 mai et l'autre la deuxième quinzaine de juin théoriquement.

L'atrazine est retrouvée dans quatre échantillons sur dix, dont trois inférieurs au seuil de quantification. La concentration est maximale entre le 3 juin et le 10 juin (0,409 ng/m³).

La détection de l'atrazine les semaines 7 (10 au 17 juin) et 8 (17 au 24 juin) correspond au 2^{ème} passage pour le désherbage du maïs. Sa détection les deux semaines précédentes (semaines 5 (du 27 mai au 3 juin) et 6 (du 3 au 10 juin)) pourrait s'expliquer par un 1^{er} passage pour le désherbage du maïs plus tardif que les dates indiquées ou par un 2^{ème} passage plus précoce.

❖ Métolachlore

Herbicide de priorité 3 ($K_H = 9,1 \cdot 10^{-4}$ Pa.m³/mol, donnée I.N.E.R.I.S.) dans le classement des substances actives, le métolachlore est utilisé principalement sur le maïs. La période de traitement s'étale du 20 avril au 15 mai. Appartenant à la même famille chimique que l'alachlore (chloroacétanilide), il est cependant moins toxique et un peu moins volatil que ce dernier.

* Les dates et périodes de traitement pour l'année 2003 proviennent de la Chambre Régionale d'Agriculture

Dans cette campagne 2003, le métolachlore est retrouvé à l'état de traces ($< 0,1 \text{ ng/m}^3$) entre le 29 avril et le 6 mai, pendant sa période d'application.

❖ Pendiméthaline

De priorité 3 (critère : $K_H = 3,78 \text{ Pa.m}^3/\text{mol}$, donnée I.N.E.R.I.S.) dans le classement des molécules à rechercher, la pendiméthaline est un herbicide très peu utilisé en Bretagne. Il est utilisé pour le désherbage du maïs et des céréales. Ces périodes d'utilisation seraient de mi-décembre à fin-mars pour les céréales, et du 15 avril au 15 mai ou pendant la deuxième quinzaine de juin pour le maïs.

Détectée dans quatre prélèvements sur dix, ses concentrations sont relativement faibles : elles varient de $0,119$ à $0,240 \text{ ng/m}^3$. La pendiméthaline est détectée les semaines 2 (6 au 13 mai), 3 (13 au 20 mai), 5 (27 mai au 3 juin) et 7 (10 au 17 juin).

Sa détection les semaines 2 (6 au 13 mai) et 3 (13 au 20 mai) concordent avec sa période théorique d'utilisation pour le maïs, la semaine 7 (10 au 17 juin) aussi.

Sa détection la semaine 5 (27 mai au 3 juin) peut, quant à elle, s'expliquer par un désherbage du maïs plus tardif dans l'année, ou encore par un phénomène de volatilisation à relier aux conditions météorologiques favorables de cette semaine et à la persistance de la molécule (DT50 en plein champ compris entre 30 et 150 jours).

➤ Trifluraline

Herbicide de priorité 2 (critères K_H et DJA), la trifluraline, non utilisée en Bretagne selon la Chambre d'Agriculture, doit être incorporée dans le sol dans les 24 heures qui suivent le traitement.

Utilisé surtout sur le tournesol, le colza et en arboriculture, ce composé est stable (temps de demi-vie de 221 jours, donnée I.N.E.R.I.S. ; DT50 en plein champ compris entre 60 et 132 jours selon AGRITOX) et très volatil (K_H de $16,8 \text{ Pa.m}^3/\text{mol}$, donnée I.N.E.R.I.S.). La trifluraline est notamment utilisée en pré-levée sur les céréales ; la période de traitement s'étale de décembre à mi-mars.

Cette molécule est détectée à $0,170 \text{ ng/m}^3$ pour la période du 27 mai au 3 juin, ce qui ne correspond pas aux périodes de traitement des céréales.

Sa détection peut révéler une utilisation de cette molécule en Bretagne, soit en dehors des périodes théoriques de traitement des céréales, soit sur d'autres types de culture, une volatilisation du produit due aux conditions météorologiques favorables la semaine 5 (du 27 mai au 3 juin), ou encore indiquer l'influence d'une autre région, puisque la trifluraline est stable et qu'elle aurait pu être transportée par le vent. Cependant, l'origine des masses d'air est difficile à évaluer, puisqu'il s'agit d'une concentration mesurée sur une semaine et que la direction dominante du vent a varié de nord-est à sud-ouest pendant la semaine 5.

➤ Trois composés sur les neuf détectés peuvent être employés sur les cultures légumières : le chlorothalonil, l'endosulfan et l'oxadixyl.

❖ Chlorothalonil

De priorité 2 (critères K_H et DJA), le chlorothalonil est détecté à partir du 27 mai. Sa concentration la plus élevée est mesurée à $1,363 \text{ ng/m}^3$ la semaine 5 (du 27 mai au 3 juin). Cette molécule est également détectée à des concentrations variant de $0,175$ à $0,968 \text{ ng/m}^3$ entre le 10 juin et le 8 juillet.

Ce fongicide s'applique sur le maïs et les céréales, mais aussi sur les cultures légumières. Il n'est cependant pas utilisé en Bretagne d'après la Chambre d'Agriculture.

Bien que non utilisé au niveau régional, il est détecté 5 fois.

Sa présence peut être due à l'apport par masse d'air d'une région où cette molécule est utilisée, d'autant plus que le chlorothalonil est moyennement persistant (DT50 en plein champ compris entre 18 et 70 jours) ou encore due à une utilisation régionale du chlorothalonil en cultures légumières.

❖ Endosulfan

Cet insecticide de priorité 2 (critères K_H et DJA) s'applique sur les cultures légumières.

La concentration d'endosulfan mesurée la semaine 5 (du 27 mai au 3 juin) est relativement élevée (1,012 ng/m³). L'endosulfan est également mesuré la semaine 7 (du 10 au 17 juin à 0,559 ng/m³).

Sa présence peut être due à une utilisation régionale ou non : transport par masse d'air d'une région à l'autre et molécule persistante (DT50 en plein champ compris entre 36 et 93 jours).

❖ Oxadixyl

Fongicide non recherché lors de cette campagne, l'oxadixyl est utilisé en particulier sur les cultures légumières, notamment pour la lutte contre la maladie du Mildiou, qui apparaît en Ille-et-Vilaine le plus souvent vers avril-mai.

Recherchant fréquemment l'oxadixyl pour d'autres études, le laboratoire IANESCO a mis en évidence la présence de cette molécule à environ 0,55 ng/m³ pour la période du 27 mai au 3 juin. A noter que cette molécule est persistante (DT50 en plein champ compris entre 90 et 300 jours).

➤ Seul le lindane, parmi les neuf molécules mesurées lors de cette campagne, à un usage interdit en France (depuis 1998) :

❖ Lindane (gamma HCH)

Interdit d'utilisation depuis juillet 1998, cet insecticide organo-chloré est stable à l'air, la lumière et à la chaleur. De longue durée de vie (121 jours selon I.N.E.R.I.S.), différentes hypothèses sont émises sur sa présence dans l'environnement : émission de source réservoir vers l'atmosphère, utilisation illégale du lindane, existence d'un « niveau de fond »...

Dans cette campagne 2003, les concentrations de lindane varient de 0,175 à 0,638 ng/m³.

Une certaine similitude est observée entre les ordres de grandeur des concentrations mesurées en 2002 sur des sites urbains par les réseaux ATMO Poitou-Charentes et Lig'air et celles obtenues dans la campagne 2003 d'Air Breizh.[ATMO Poitou-Charentes, 2002 ; Lig'air, 2002]

III-3 Fréquence de détection des composés

Une comparaison peut être faite entre le classement, selon leur priorité, des molécules sélectionnées et les fréquences de détection des composés mesurés lors de la campagne 2003 (cf. tableau 5).

	Priorité	Fréquence de détection (en %)	Concentration maximale mesurée (en ng/m ³ *)
alachlore	1	80	1,673
atrazine	1	40	0,409
carbofuran	1	0	-
deltaméthrine	1	0	-
diuron	1	0	-
fénoxaprop-p-éthyl	1	0	-
isoproturon	1	0	-
lindane (gamma HCH)	1	90	0,638
bromoxynil (octoate)	2	0	-
chlorothalonil	2	50	1,363
chlorpyrifos-éthyl	2	0	-
clodinafop-propargyl	2	0	-
cyproconazole	2	0	-
diazinon	2	0	-
dichlorvos	2	0	-
diflufénicanil	2	0	-
endosulfan	2	20	1,012
époxyconazole	2	0	-
fempropimorphe	2	0	-
fenpropidine	2	0	-
flufénacet	2	0	-
flusilazole	2	0	-
hexaconazole	2	0	-
krésoxim-méthyl	2	0	-
lambda-cyhalothrine	2	0	-
oxadiazon	2	0	-
parathion-méthyl	2	0	-
simazine	2	0	-
terbufos	2	0	-
terbuthylazine	2	0	-
trifluraline	2	10	0,170
aclonifen	3	0	-
carbétamide	3	0	-
chlortoluron	3	0	-
déséthylatrazine	3	0	-
déséthylsimazine	3	0	-
diméthénamid	3	0	-
imazaméthabenz-méthyl	3	0	-
métolachlore	3	10	0,063
pendiméthaline	3	40	0,240
tebuconazole	3	0	-
tebutame	3	0	-
tétraconazole	3	0	-
oxadixyl	pas de priorité	10	0,55

Tableau 5 : Comparaison fréquence de détection des molécules et priorité

Les composés détectés ne sont pas automatiquement ceux de priorité 1 ou 2 : 3 composés de priorité 1 (*lindane, alachlore et atrazine*), 3 composés de priorité 2 (*chlorothalonil, endosulfan et trifluraline*), 2 composés de priorité 3 (*métolachlore et pendiméthaline*) et 1 composé non sélectionné (*oxadixyl*) ont été détectés.

La différence de classement selon la priorité et la fréquence de détection peut en partie s'expliquer par le fait que la période d'épandage n'est pas prise en compte et que les tonnages

effectifs n'ont pu être obtenus par les organismes concernés pour le classement des molécules. L'absence de données sur les cultures légumières et sur l'utilisation des particuliers peut également en être la cause.

De plus, la détection de l'oxadixyl, composé n'étant pas intégré dans la sélection et ne figurant pas dans la liste des molécules utilisées en Bretagne, reflète le caractère non exhaustif de cette dernière et la nécessité de la compléter continuellement.

Enfin, 5 composés de priorité 1 n'ont pas été détectés.

La non-détection de ces 5 composés, classés prioritaires, peut s'expliquer par leurs propriétés (des problèmes de piégeage pourraient exister du fait de la volatilité, cependant la trifluraline, le plus volatil des composés recherchés, est détectée), par des périodes d'épandage ne correspondant pas à celle de la campagne de mesure (cas du fenoxaprop-p-éthyl et de l'isoproturon)...

Ne sont pas détectés : le carbofuran, la deltaméthrine, le diuron, le fenoxaprop-p-éthyl, et l'isoproturon :

❖ Carbofuran

Insecticide très utilisé sur le maïs de mi-avril à mi-mai, le carbofuran est volatil ($K_H = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ Pa.m}^3/\text{mol}$, donnée site agritox) et moyennement persistant (DT50 en plein champ compris entre 18 et 90 jours). Il s'applique fréquemment en granulés, limitant ainsi sa volatilisation.

❖ Deltaméthrine

Cet insecticide, très répandu pour le traitement des céréales en Bretagne, est utilisé théoriquement du 15 mai au 15 juin, et est très volatil ($K_H = 3,13 \cdot 10^{-2} \text{ Pa.m}^3/\text{mol}$ à 25°C, donnée agritox) et non persistant (DT50 = 21 jours).

❖ Diuron

Herbicide surtout utilisé en non agricole, il est très volatil ($K_H = 5,1 \cdot 10^{-5} \text{ Pa.m}^3/\text{mol}$, donnée I.N.E.R.I.S.) et persistant (DT50 en plein champ compris entre 56 et 231 jours). Interdit d'utilisation en non agricole lorsqu'il est utilisé seul, sa période d'utilisation est limitée au mois de mars lorsqu'il est en association.

❖ Fenoxaprop-p-éthyl

Utilisé pour le désherbage des céréales en mars-avril, le fenoxaprop-p-éthyl ($K_H = 7,24 \cdot 10^{-4} \text{ Pa.m}^3/\text{mol}$ à 25°C, donnée site agritox) est très volatil.

❖ Isoproturon

Cet herbicide est très utilisé pour le traitement des céréales en Bretagne (période d'utilisation de décembre à mars 2003). Non volatil ($K_H = 9,7 \cdot 10^{-6} \text{ Pa.m}^3/\text{mol}$ à 20°C, donnée site agritox), l'isoproturon est cependant fréquemment détecté dans les eaux de pluie. Cette molécule est moyennement persistante (DT50 en plein champ compris entre 12 et 33 jours).

III-4 Comparaison entre la fréquence de détection des composés et leurs propriétés K_H , DT50 et Koc

Une comparaison peut être faite entre la fréquence de détection et la constante de Henry de différents composés (K_H), leur temps de demi-vie en plein champ (DT50 : temps nécessaire pour dégrader 50% de la substance chimique) et leur coefficient de partage carbone organique/eau (Koc).

➤ Comparaison avec le K_H :

Substances actives	K_H (en Pa.m ³ /mol)		Fréquence de détection (en %)	Concentration maximale mesurée (en ng/m ³)
trifluraline	16,8 (INERIS)	Composés volatils, cte Henry > ou = à 10 ⁻⁵ Pa.m ³ /mol	10	0,170
pendiméthaline	3,78 (INERIS)		40	0,240
chlorpyrifos-éthyl	1,75 (AGRITOX)		0	-
terbufos	1 (AGRITOX)		0	-
lindane (gamma HCH)	0,98 (INERIS)		90	0,638
dichlorvos	0,19 (INERIS)		0	-
fenpropimorphe	0,16 (INERIS)		0	-
diflufénicanil	0,033 (INERIS)		0	-
lambda-cyhalothrine	0,02 (20°C) (UE)		0	-
fenpropidine	8,7.10 ⁻² (25°C) (AGRITOX)		0	-
chlorothalonil	3,4.10 ⁻² (AGRITOX)		50	1,363
deltaméthrine	3,13.10 ⁻² (25°C) (AGRITOX)		0	-
endosulfan	2,9.10 ⁻² (AGRITOX)		20	1,012
diazinon	1,15.10 ⁻² (INERIS)		0	-
diméthénamid	8,63.10 ⁻³ (20°C) (AGRITOX)		0	-
terbutylazine	4.10 ⁻³ (AGRITOX)		0	-
acclonifen	32.10 ⁻⁴ (20°C) (AGRITOX)		0	-
alachlore	2,1.10 ⁻³ (AGRITOX)		80	1,673
parathion-méthyl	9,6.10 ⁻⁴ (INERIS)		0	-
métolachlore	9,1.10 ⁻⁴ (INERIS)		10	0,063
flufénacet	9.10 ⁻⁴ (20°C) (AGRITOX)		0	-
fénoxaprop-p-éthyl	7,24.10 ⁻⁴ (25°C) (AGRITOX)		0	-
krésoxim-méthyl	3,6.10 ⁻⁴ (20°C) (INERIS)		0	-
hexaconazole	3,24.10 ⁻⁴ (AGRITOX)		0	-
clodinafop-propargyl	2,79.10 ⁻⁴ (25°C) (AGRITOX)		0	-
atrazine	2,6.10 ⁻⁴ (AGRITOX)		40	0,409
cyproconazole	7,3.10 ⁻⁵ (AGRITOX)		0	-
chlortoluron	5,3.10 ⁻⁵ (AGRITOX)	0	-	
diuron	5,1.10 ⁻⁵ (INERIS)	0	-	
carbofuran	2,5.10 ⁻⁵ (AGRITOX)	0	-	
tebuconazole	1,2.10 ⁻⁵ (INERIS)	0	-	
isoproturon	9,7.10 ⁻⁶ (20°C) 14,6.10 ⁻⁶ (25°C) (UE)	Composés non volatils	0	-
carbétamide	9.10 ⁻⁶ (AGRITOX)		0	-
oxadixyl	2,7.10 ⁻⁷ (AGRITOX)		10	0,55
oxadiazon	3,57.10 ⁻⁷ (25°C) (INERIS)		0	-
imazaméthabenz-méthyl	1,44.10 ⁻⁹		0	-
flusilazole	2,7.10 ⁻⁹ (AGRITOX)		0	-
bromoxynil (octoate)	-		0	-
époconazole	-	0	-	
simazine	-	0	-	
tebutame	inconnu	0	-	
tétraconazole	-	0	-	
déisopropylatrazine = déséthylsimazine		0	-	
déséthylatrazine		0	-	

	Substances actives	K_H (en Pa.m ³ /mol)
^ ou = 10 ⁻⁵ , volatile	trifluraline	16,8 (INERIS)
	pendiméthaline	3,78 (INERIS)
	lindane (gamma HCH)	0,98 (INERIS)
	chlorothalonil	3,4.10 ⁻² (AGRITOX)
	endosulfan	2,9.10 ⁻² (AGRITOX)
	alachlore	2,1.10 ⁻³ (AGRITOX)
	métolachlore	9,1.10 ⁻⁴ (INERIS)
	atrazine	2,6.10 ⁻⁴ (AGRITOX)
	non volatile	oxadixyl

Tableau 8 : K_H des molécules détectées

L'oxadixyl, composé non volatil, est détecté dans cette campagne de prélèvements 2003.

Huit composés sur les neuf détectés sont considérés comme volatils et possèdent des constantes de Henry variant de 2,6.10⁻⁴ Pa.m³/mole pour l'atrazine à 16,8 Pa.m³/mole pour la trifluraline.

Tableau 7 : Comparaison fréquence de détection et K_H des 43 molécules recherchées

➤ Comparaison avec DT50 :

Substances actives	DT50 en plein champ (en jours)		Fréquence de détection (en %)	Concentration maximale mesurée (en ng/m ³)
diuron	56 à 231 (AGRITOX)	Composés persistants	0	-
aclonifen	92 à 150 (AGRITOX)		0	-
pendiméthaline	30 à 150 (AGRITOX)		40	0,240
oxadiazon	30 à 180 (AGRITOX)		0	-
endosulfan	36 à 93 (AGRITOX)		20	1,012
flusilazole	63 à 240 (AGRITOX)		0	-
oxadixyl	90 à 300 (AGRITOX)		10	0,55
atrazine	18 à 119 (AGRITOX)		40	0,409
trifluraline	60 à 132 (AGRITOX)		10	0,170
imazaméthabenz-méthyl	30 à 276 (AGRITOX)		0	-
tebuconazole	43 à 170 (AGRITOX)		0	-
diazinon	21 à 103 (AGRITOX)		0	-
lindane (gamma HCH)	121? (INERIS)		90	0,638
fenpropimorphe	15 à 98 (AGRITOX)		0	-
diflufénicanil	90 à 270 (AGRITOX)		0	-
simazine	14 à 146 (AGRITOX)	0	-	
flufénacet	13 à 54 (AGRITOX)	Composés moyennement persistants	0	-
isoproturon	12 à 33 (AGRITOX)		0	-
métolachlore	14 à 51 (AGRITOX)		10	0,063
fenpropidine	14 à 90 (AGRITOX)		0	-
diméthénamid	4 à 35 (AGRITOX)		0	-
cyproconazole	8 à 89 (AGRITOX)		0	-
chlortoluron	26 à 42 (AGRITOX)		0	-
terbuthylazine	30 à 60 (AGRITOX)		0	-
chlorothalonil	18 à 70 (AGRITOX)		50	1,363
carbofuran	18 à 90 (AGRITOX)		0	-
chlorpyrifos-éthyl	10 à 56 (AGRITOX)	0	-	
lambda-cyhalothrine	6 à 37 (AGRITOX)	0	-	
terbufos	5 à 30 (AGRITOX)	Composés non persistants	0	-
clodinafop-propargyl	5 à 20 (AGRITOX)		0	-
alachlore	4 à 24 (AGRITOX)		80	1,673
parathion-méthyl	3 à 30 (AGRITOX)		0	-
deltaméthrine	21 (AGRITOX)		0	-
carbétamide	19 à 28 (AGRITOX)		0	-
bromoxynil (octonoate)	1 à 8 (AGRITOX)		0	-
fénoxaprop-p-éthyl	-		0	-
krésoxim-méthyl	-		0	-
hexaconazole	-		0	-
dichlorvos	-	0	-	
époconazole	-	0	-	
tebutame	-	0	-	
tétraconazole	-	0	-	
déisopropylatrazine =déséthylsimazine	-	0	-	
déséthylatrazine	-	0	-	

	Substances actives	DT50 en plein champ (en jours)
> 90, persistant	oxadixyl	90 à 300 (AGRITOX)
	pendiméthaline	30 à 150 (AGRITOX)
	trifluraline	60 à 132 (AGRITOX)
	lindane (gamma HCH)	121? (INERIS)
	atrazine	18 à 119 (AGRITOX)
	endosulfan	36 à 93 (AGRITOX)
	30 < < 90, moyennement persistant	chlorothalonil
métolachlore		14 à 51 (AGRITOX)
< 30, non persistant	alachlore	4 à 24 (AGRITOX)

Tableau 10 : DT50 des molécules détectées

Six des neuf composés détectés (atrazine, endosulfan, lindane, oxadixyl, pendiméthaline, trifluraline) sont persistants en plein champ (DT50 > 90 jours), deux (chlorothalonil et métolachlore) le sont moyennement (90 > DT50 > 30 jours). Seul l'alachlore ne l'est pas (DT50 < 30 jours).

Cependant, si un pesticide en question est épanché à proximité du site de mesure, pendant la période d'étude, et que les conditions météorologiques favorisent sa présence dans l'atmosphère, la DT50 n'intervient pas ou très peu, puisque dans ce cas, la mesure est pratiquement « instantanée ».

A l'inverse, la trifluraline, utilisée théoriquement de décembre à mi-mars, est détectée fin mai-début juin (à une faible concentration). Sa détection peut être due à la persistance de la molécule (DT50 comprise entre 60 et 132 jours).

➤ Comparaison avec Koc :

Substances actives	Koc (en L/kg)		Fréquence de détection (en %)	Concentration maximale mesurée (en ng/m ³)	
carbofuran	9 à 62,5 (AGRITOX)	<100 L/kg, mobile dans sol	0	-	
oxadixyl	12 à 20 (AGRITOX)		10	0,55	
imazaméthabenz-méthyl	66 (AGRITOX)		0	-	
diméthénamid	90 à 474 (AGRITOX)	100 < 500 L/kg, moyennent mobile	0	-	
simazine	79 à 377 (AGRITOX)		0	-	
carbétamide	60 à 118 (AGRITOX)		0	-	
métolachlore	41 à 114 (AGRITO)		10	0,063	
atrazine	38 à 170 (AGRITOX)		40	0,409	
isoproturon	36 à 241 (AGRITOX)		0	-	
parathion-méthyl	236 (AGRITOX)		0	-	
krésoxim-méthyl	219 à 372 (AGRITOX)		0	-	
terbutylazine	162 à 447 (AGRITOX)		0	-	
chlortoluron	108 à 384 (AGRITOX)		0	-	
alachlore	102 à 150 (AGRITOX)	80	1,673		
flusilazole	984 à 1888 (AGRITOX)	> 500 L/kg, très peu mobile	0	-	
époxiconazole	957 à 2647 (AGRITOX)		0	-	
bromoxynil (octonoate)	639 (AGRITOX)		0	-	
hexaconazole	>1500 (AGRITOX)		0	-	
tebuconazole	803 à 1251 (AGRITOX)		0	-	
endosulfan	7969 à 21347 (AGRITOX)		20	1,012	
pendiméthaline	6700 à 29400 (AGRITOX)		40	0,240	
fénoxaprop-p-éthyl	5602 à 16774 (AGRITOX)		0	-	
aclonifen	5318 à 12164 (AGRITOX)		0	-	
deltaméthrine	460000 à 1,63.10 ⁷ (AGRITOX)		0	-	
lambda-cyhalothrine	38000 à 345000 (AGRITOX)		0	-	
diflufénicanil	1622 à 2369 (AGRITOX)		0	-	
fenpropimorphe	2772 à 5943 (AGRITOX)		0	-	
chlorpyrifos-éthyl	2500 à 14000 (AGRITOX)		0	-	
trifluraline	2500 à 13700 (AGRITOX)		10	0,170	
oxadiazon	1409 à 3268 (AGRITOX)		0	-	
diazinon	85 à 1842 (AGRITOX)		0	-	
fenpropidine	464 à 2580 (AGRITOX)		0	-	
chlorothalonil	330 à 7000 (AGRITOX)		50	1,363	
flufénacet	113 à 696 (AGRITOX)		0	-	
terbufos	288 à 1069 (AGRITOX)		0	-	
cyproconazole	173 à 711 (AGRITOX)		0	-	
diuron	29 à 902 (AGRITOX)		0	-	
clodinafop-propargyl	251 à 2358 (AGRITOX)		0	-	
lindane (gamma HCH)	-			90	0,638
dichlorvos	-			0	-
tebutame	-			0	-
tétraconazole	-			0	-
déisopropylatrazine =déséthylsimazine		0		-	
déséthylatrazine		0		-	

	Substances actives	Koc (en L/kg)
<100, mobile dans sol	oxadixyl	12 à 20 (AGRITOX)
	atrazine	38 à 170 (AGRITOX)
100 < 500, moyennent mobile	métolachlore	41 à 114 (AGRITO)
	alachlore	102 à 150 (AGRITOX)
	trifluraline	2500 à 13700 (AGRITOX)
> 500, très peu mobile	pendiméthaline	6700 à 29400 (AGRITOX)
	endosulfan	7969 à 21347 (AGRITOX)
	chlorothalonil	330 à 7000 (AGRITOX)
	lindane (gamma HCH)	-

Tableau 12 : Koc des molécules détectées

Quatre des neuf composés détectés (chlorothalonil, endosulfan, pendiméthaline et trifluraline) sont très peu mobiles dans les sols (Koc > 500), trois le sont moyennement (atrazine,alachlore et métolachlore) . L'oxadixyl est mobile (Koc < 100).

Cette comparaison de la fréquence de détection des molécules et de leur mobilité dans les sols est justifiée par le fait qu'un composé mobile est moins adsorbé et est donc plus facilement volatilisé.

Les comparaisons des fréquences de détection avec les propriétés des molécules, prises individuellement, n'aboutissent pas. Une étude plus détaillée intégrant tous les facteurs, concourant à la présence ou non de la molécule dans l'atmosphère, serait intéressante à mener. Celle-ci pourrait mettre en évidence d'éventuels liens entre différents paramètres et la présence des molécules dans l'air ambiant.

III-5 Conclusion

Sur dix semaines de prélèvement, 9 molécules ont été détectées.

L'alachlore et le lindane sont fréquemment détectés à des concentrations relativement faibles. L'atrazine, le chlorothalonil, et la pendiméthaline sont détectées sur 50% des échantillons. L'endosulfan, le métolachlore et la trifluraline sont peu détectés. Toutes ces molécules ont également été mesurées au printemps 2002 lors d'études dans les régions Centre et Poitou-Charentes, à des ordres de grandeur relativement similaires.

De nombreux composés de la liste n'ont pas été détectés ; cependant, la période de mesure est courte. L'oxadixyl a, quant à lui, été détecté mais n'appartenait pas à la liste des composés recherchés. Ce fongicide, non volatil ($K_H = 2,7 \cdot 10^{-7} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{mol}$, donnée site agritox) aurait été classé en priorité 3 (DJA = 0,01 mg/kg/jour, donnée site agritox) s'il avait été intégré dans les composés étudiés. L'absence de ce composé, utilisé essentiellement en cultures légumières, dans la liste confirme le caractère non-exhaustif de cette dernière.

Par ailleurs, les incertitudes sur les concentrations déterminées dans cette campagne sont nombreuses (pertes lors de l'échantillonnage, du transport ; incertitudes sur la mesure, seuils de quantification...).

Enfin, la liste des molécules à étudier est à réexaminer en complétant les données acquises sur les molécules employées en agricole (notamment étendre les connaissances sur les tonnages et l'utilisation en Bretagne, les traitements chimiques en cultures légumières...) et non-agricole (informations sur les utilisations de pesticides par les particuliers), et en les actualisant.

De même, la méthode de sélection des molécules à étudier est susceptible d'évoluer par la prise en compte de nouveaux critères de sélection (périodes d'épandage, Koc...).

CONCLUSION

Les pesticides sont depuis de nombreuses années très utilisés en agriculture, et dans de nombreux autres domaines. Leur teneur dans les eaux de consommation et les aliments font actuellement l'objet d'un suivi et de contrôles réguliers conformément à la réglementation, contrairement à l'air pour lequel aucune norme n'est encore établie.

L'étude de la contamination de l'air est relativement récente. Différentes méthodes de mesures existent.

Les A.A.S.Q.A., qui s'intéressent de plus en plus à la problématique des pesticides dans l'atmosphère, s'investissent dans ces études. Certaines d'entre elles participent à un groupe de travail dont l'un des objectifs est d'établir un protocole de mesure des pesticides dans l'air ambiant.

La campagne 2003, constituant la première étude d'Air Breizh sur la problématique des pesticides en zone urbaine, permettra de compléter les données nationales actuelles sur les teneurs en pesticides.

Les dix semaines de prélèvement, du 29 avril au 8 juillet 2003, ont mis en évidence la présence de 9 pesticides dans l'air ambiant, à des concentrations variant de 0,06 à 1,7 ng/m³.

L'alachlore et le lindane sont fréquemment détectés à des concentrations relativement faibles. L'alachlore est détectée pendant et en dehors de sa période théorique d'utilisation. Le lindane est, quant à lui, présent sur 90% des échantillons, malgré son interdiction d'emploi, appuyant ainsi l'hypothèse émise sur l'existence d'un niveau de fond de lindane dans l'air, d'une utilisation frauduleuse ou encore de l'influence de son utilisation dans d'autres pays.

Le chlorothalonil, l'atrazine et la pendiméthaline sont détectés dans près de 50% des prélèvements.

L'endosulfan, le métolachlore, l'oxadixyl et la trifluraline sont, quant à eux, peu détectés : une à deux fois sur les dix échantillons.

Les concentrations mesurées dans l'air ambiant dans cette zone urbaine de Rennes restent comparables à celles mesurées par d'autres réseaux dans d'autres agglomérations.

La variation du nombre de composés détectés d'une semaine à l'autre (8 molécules mesurées la semaine 5 contre 1 à 3 composés pour les autres semaines) souligne l'existence de paramètres influents sur la mesure : paramètres météorologiques, périodes d'utilisation...

Par ailleurs, la liste des 43 composés recherchés en 2003, sera réexaminée au vu de ces premiers résultats, afin d'optimiser les futures campagnes de mesures. Les conditions de transport des échantillons seront, par ailleurs, à améliorer.

A l'avenir, il serait intéressant d'étendre ces mesures à d'autres sites ; cela serait d'autant plus intéressant de multiplier le nombre de préleveurs, afin d'observer les variations de concentrations dans l'air selon la situation géographique sur une même période de mesures. Cependant, l'importance des coûts financiers engendrés par l'achat du matériel et les analyses en laboratoire limitent ces projets.

BIBLIOGRAPHIE

- 8 ANHEIM S. (2002), Exploration méthodologique pour pesticides atmosphériques, Environnement Magazine, N°1611, 88-90
- 8 ATMO-Poitou-Charentes (2002), Mesure des pesticides dans l'atmosphère en Poitou-Charentes, Rapport d'étude réseau Poitou-Charentes
- 8 BARNEAUD A. (2002), Eléments d'évaluation de l'exposition des habitants du vignoble nantais aux pesticides dans l'atmosphère, Mémoire de fin d'études, Formation d'Ingénieurs du Génie Sanitaire de l'Ecole Nationale de la Santé Publique, 12-16
- 8 BEDOS C., CELLIER P., CALVET R., BARRIUSO E., GABRIELLE B. (2002), Mass transfer of pesticides into the atmosphere by volatilisation from soils and plants : overview, Agronomie, N°22, 21-33
- 8 BRIAND O. (2002), Pesticides dans les eaux de pluie, Revues des Sciences de l'eau, 15, 4, 774-775
- 8 BRIAND O., BERTRAND F., MILLET M., SEUX R. (2001), Etude expérimentale des transferts sol-air de pesticides à l'échelle d'une parcelle. Utilité de déterminer des flux de volatilisation, Ingénieries, N° Spécial Phytosanitaires, 3-7
- 8 BRIAND O., MILLET M., BERTRAND F., CLEMENT M., SEUX R. (2002), Assessing the transfer of pesticides to the atmosphere during and after application. Development of a multiresidue method using adsorption on Tenax and thermal desorption-GC/MS, Anal. Bioanal. Chem., N°374, 848-857
- 8 Comité de la Prévention et de la Précaution (C.P.P.) (2002), Risques sanitaires liés à l'utilisation de produits phytosanitaires, 27-31, disponible sur le site www.ladocfrancaise.gouv.fr/BRP/notices/024000113.html
- 8 D.D.A.F. (2002), Mémentos agricoles et ruraux 2002 des Côtes-D'Armor, du Finistère, de l'Ille-et-Vilaine, du Morbihan et de Bretagne, Résultats 2001, disponibles au Service Départemental de Statistique Agricole
- 8 EVEN I., BERTA J.L., VOLATIER J.L. (2002), Evaluation de l'exposition théorique des nourrissons et des enfants en bas âge aux résidus de pesticides apportés par les aliments courants et infantiles, disponible sur le site de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (A.F.S.S.A.) www.afssa.fr/ftp/basedoc/RapportPestienfants.pdf
- 8 Institut Français de l'Environnement (IFEN) (2003), Pesticides dans les eaux : le constat se précise au fil des ans, communiqué de presse du 18/02/03 disponible sur le site www.ifen.fr/presse/030218.htm

- 8 LAMIOT F. (2001), Les pesticides dans l'air ambiant, Pollution Atmosphérique, N°170, 237-246
- 8 Lig'air (2001), Les pesticides en milieu atmosphérique : étude en région Centre, rapport d'étude du réseau de la région Centre, disponible sur le site www.ligair.fr
- 8 Lig'air (2002), Rapport d'étape : Etude de la contamination de l'air par les produits phytosanitaires, disponible sur le site www.ligair.fr
- 8 Maison de la Consommation et de l'Environnement (M.C.E.) (2001), Pesticides danger !, Guide pratique à l'usage du jardinier amateur, 10-11
- 8 Maison de la Consommation et de l'Environnement (M.C.E.) (2003), Les pesticides : réglementation et effets sur la santé et l'environnement, 2-16, disponible sur le site www.mce-info.org/Pdf/synthese-pesticides.pdf
- 8 MARLIERE F. (2001), Pesticides dans l'air ambiant, Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air, Institut National de l'Environnement industriel et des RISques (INERIS), 1-56
- 8 MICHEL O. (2001), Rapport de synthèse mai 2001 : Désherbage du maïs en Bretagne : herbicides utilisés et efficacité comparée des programmes avec et sans atrazine, D.R.A.F. Bretagne-S.R.P.V.
- 8 MICHEL O. (2001), Rapport de synthèse octobre 2001 : Désherbage du blé en Bretagne : flore adventice et programmes de traitements, D.R.A.F. Bretagne-S.R.P.V.
- 8 MILLET M. (1994), Etude de la composition chimique des brouillards et analyse des pesticides dans les phases liquide, gazeuse et particulaire de l'atmosphère, thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, Université Louis Pasteur de Strasbourg, 40-54
- 8 MILLET M. (1999 ?), Etude des processus qui conduisent à la contamination de l'atmosphère par les produits phytosanitaires, rapport bibliographique
- 8 MORISON H.I., WILKINS K., SEMENCIW R. *et al.* (1992), Herbicides and cancer, Journal of the National Cancer Institut, 84, N°24, 1866-74
- 8 MORISON H.I., WILKINS, SEMENCIW R. *et al.* (1994), N.H.L. and agricultural practices in the prairie provinces of Canada, Scandinavian Journal of Work and Environmental Health, 20, N°1, 42-47
- 8 Observatoire Régional de Santé de Bretagne (2001), Effets chroniques des pesticides sur la santé : état actuel des connaissances, 12-78, disponible sur le site www.orsb.asso.fr/PDF/ORSB_pesticides.pdf
- 8 POPESCU M., BLANCHARD J-M, CARRE J. (1998), Analyse et traitement physico-chimique des rejets atmosphériques industriels, émissions, fumées, odeurs et poussières, LAVOISIER, Tech. & Doc., Paris, 118-206
- 8 SANUSI A.A.(1996), Comportement physico-chimique et transport des pesticides particuliers et gazeux dans l'atmosphère, thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, Université Louis Pasteur de Strasbourg, 22-72

- 8 Service Régional de la Protection des Végétaux (S.R.P.V.) de la D.R.A.F. Bretagne (2002), Avertissement agricole du 17 au 22/08/02 disponible sur le site <http://draf.bretagne.agriculture.gouv.fr>
- 8 VAN DER WERF H.M.G. (1997), Evaluer l'impact des pesticides sur l'environnement, Courrier de l'environnement de l'INRA, N°31, 1-15

SITES INTERNET

Données économiques chiffrées :

- <http://www.uipp.org/repere/chiffre/2001>
- <http://www.region-bretagne.fr>

Données scientifiques :

- <http://www.ianr.unl.edu/pubs.pesticides/g1001.htm>
- <http://www.ifen.fr/pestic/2002/pestic2002.htm>
- http://www.ineris.fr/recherches/download/methodologie_2.pdf
- <http://www.inra.fr/agritox/listesa/listesa.html>
- <http://www.invs.sante.fr/beh/1998/9843/>

Normes E.P.A. :

- <http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/airtox/to-10ar.pdf>
- <http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/airtox/to-4ar2r.pdf>

Directives européennes :

- http://europa.eu.int/eur-lex/fr/search/search_lif.html

ANNEXES

Annexe A

Utilisation du territoire breton en 2001

Annexe B

Liste non-exhaustive des 89 molécules appliqués en Bretagne

Annexe C

Classement des 89 molécules selon leur priorité

Annexe D

Liste des 56 molécules retenues dans la sélection

Annexe E

Caractéristiques des 43 molécules recherchées

Annexe F

Taux de récupération, coefficients de variation et résultats du 29/04 au 03/06/03

Annexe G

Evolution de la pression et les précipitations du 29/04 au 08/07/03 ;

Direction et vitesse du vent du 29/04 au 08/07/03 ;

Minima et maxima horaires et moyennes de température du 29/04 au 08/07/03 ;

Ensoleillement du 29/04 au 08/07/03 ;

Commentaires sur les évolutions des paramètres météorologiques du 29/04 au 08/07/03 ;

Rose des vents de chaque semaine de prélèvement du 29/04 au 08/07/03

Annexe H

Température et Humidité Relative du 20/05 au 27/05/03 et du 27/05 au 03/06/03

Annexe I

Caractéristiques des 111 composés susceptibles d'être retrouvés en Bretagne

ANNEXE A

Utilisation du territoire breton en 2001

	Bretagne		Finistère		Morbihan		Ille-et-Vilaine		Côtes-d'Armor	
	surface (en ha)	% par rapport S.A.U.								
Céréales	537 050	29,7	119 150	28,3	126 000	31,5	140 000	28,1	151 900	31,2
dont Blé	260 000	14,4	51 000	12,1	55 000	13,7	75 000	15,1	79 000	16,2
dont Orge	67 500	3,7	16 000	3,8	16 000	4,0	10 500	2,1	25 000	5,1
dont Avoine	9 700	0,5	1 900	0,5	2 200	0,5		0,0	4 500	0,9
dont Maïs grain	149 500	8,3	39 000	9,3	35 500	8,9	40 000	8,0	35 000	7,2
dont Triticale	42 000	2,3	9 500	2,3	15 000	3,7	11 500	2,3	6 000	1,2
Oléagineux(colza)	25 600	1,4	4 230	1,0	6 670	1,7	6 600	1,3	8 100	1,7
Pommes de terre	13 405	0,7	5 925	1,4	2 520	0,6	1 800	0,4	3 160	0,6
Légumes frais de plein champ	59 927	3,3	26 675	6,3	14 707	3,7	3 305	0,7	14 840	3,0
Légumes secs et protéagineux	12 110	0,7	1 000	0,2	3 110	0,8	5 200	1,0	2 800	0,6
Cultures fourragères(prairies)	803 150	44,5	172 650	41,0	170 000	42,5	235 000	47,2	225 500	46,3
Jachères	80 123	4,4	18 000	4,3	20 500	5,1	22 100	4,4	19 523	4,0
autres terres arables	19 782	1,1	4 551	1,1	6 346	1,6	3 708	0,7	5 177	1,1
Total Terres Arables	1 551 147	85,9	352 181	83,6	349 853	87,4	418 113	83,9	431 000	88,5
Surface toujours en herbe	251 100	13,9	68 500	16,3	49 600	12,4	78 000	15,7	55 000	11,3
Autres divers	4 106	0,2	800	0,2	725	0,2	1 981	0,4	560	0,1
Superficie Agricole Utilisée (S.A.U.)	1 806 313	100	421 481	100	400 178	100	498 094	100	486 887	100
Superficie Totale	2 750 667		678 691		687 136		685 218		699 622	

Sources: Memento agricole et rural 2002, DRAF Bretagne et DDAF Côtes-d'Armor, Finistère, Ille-et-Vilaine, Morbihan

ANNEXE B

Liste non-exhaustive des 89 molécules appliquées en Bretagne

2,4-D	fenpropidine
2,4-MCPA	fenpropimorphe
acétochlore	flazasulfuron
aclonifen	flufénacet
alachlore	flupyrsulfuron-méthyle
aminotriazole	fluroxypyr
AMPA	flusilazole
atrazine	folpel
azoxystrobine	glyphosate
bentazone	hexaconazole
bifénox	hydroxyatrazine
bromoxynil (octonoate)	imazaméthabenz-méthyl
bromoxynil (phénol)	ioxynil
carbaryl	isoproturon
carbétamide	krésoxim-méthyl
carbofuran	lambda-cyhalothrine
carfentrazone-éthyle	lindane (gamma HCH)
chlorothalonil	malathion
chlorpyriphos-éthyl	mécoprop
chlortoluron	méfenpyr-diéthyl
clodinafop-propargyl	mésotrione
cyfluthrine	métazachlore
cyperméthrine	metconazole
cyproconazole	métolachlore
cyprodinil	métosulam
déisopropylatrazine=déséthyls	metsulfuron méthyle
imazine	nicosulfuron
deltaméthrine	oxadiazon
déséthylatrazine	parathion-méthyl
desméthryne	pendiméthaline
diazinon	perméthrine
dichlorprop	picoxystrobine
dichlorvos	prochloraze
diflufénicanil	pyrachlostrobine
diméthénamid	pyréthrine
dinoterbe	pyridate
diuron	quinoxifen
endosulfan	simazine
EPTC	sulcotrione
époxyconazole	tau-fluvalinate
fénoprop	tebuconazole
fénoxaprop-p-éthyl	tebutame

terbufos
terbuthylazine
tétraconazole

thiocyanate d'ammonium
triclopyr
trifluraline

ANNEXE C

Classement des 89 molécules selon leur priorité

Composés de priorité 1 (répondant aux trois critères de sélection) :

alachlore	carbofuran	isoproturon
aminotriazole	deltaméthrine	sulcotrione
atrazine	diuron	
bromoxynil (phénol)	fénoxaprop-p-éthyl	

Composés de priorité 2 (répondant à deux critères de sélection) :

2,4-D	époxyconazole	lindane (gamma HCH)
2,4-MCPA	fenpropidine	oxadiazon
bromoxynil (octonoate)	fenpropimorphe	parathion-méthyl
chlorothalonil	flufénacet	prochloraze
chlorpyriphos-éthyl	flusilazole	simazine
clodinafop-propargyl	folpel	terbufos
cyproconazole	glyphosate	terbuthylazine
diazinon	hexaconazole	triclopyr
dichlorvos	ioxynil	trifluraline
diflufénicanil	krésoxim-méthyl	
endosulfan	lambda-cyhalothrine	

Composés de priorité 1 (répondant à un critère de sélection) :

acétochlore	dichlorprop	metconazole
aclonifen	diméthénamid	métolachlore
azoxystrobine	dinoterbe	nicosulfuron
bentazone	flazasulfuron	pendiméthaline
bifénox	fluroxypyr	perméthrine
carbaryl	hydroxyatrazine	picoxystrobine
carbétamide	imazaméthabenz-méthyl	pyrachlostrobine
carfentrazone-éthyle	malathion	pyridate
chlortoluron	mécoprop	quinoxifen
cyprodinil	méfenpyr-diéthyl	tau-fluvalinate
déséthylsimazine	mésotrione	tebuconazole
déséthylatrazine	métazachlore	tebutame

tétraconazole

thiocyanate d'ammonium

Composés ne répondant à aucun des critères de sélection :

AMPA
cyfluthrine
cyperméthrine
desméthryne

EPTC
fénoprop
flupyrsulfuron-méthyle
métosulam

metsulfuron méthyle
pyréthrine

ANNEXE D

Liste des 56 molécules retenues dans la sélection

2,4-D
2,4-MCPA
aclonifen
alachlore
aminotriazole
atrazine
bentazone
bromoxynil (octonoate)
bromoxynil (phénol)
carbétamide
carbofuran
chlorothalonil
chlorpyriphos-éthyl
chlortoluron
clodinafop-propargyl
cyproconazole
déséthylsimazine
deltaméthrine
déséthylatrazine
diazinon
dichlorvos
diflufénicanil
diméthénamid
diuron
endosulfan
époxyconazole
fénoxaprop-p-éthyl
fenpropidine
fenpropimorphe
flufénacet
flusilazole
folpel
glyphosate
hexaconazole
hydroxyatrazine
imazaméthabenz-méthyl
ioxynil
isoproturon

krésoxim-méthyl
lambda-cyhalothrine
lindane (gamma HCH)
mécoprop
métolachlore
oxadiazon
parathion-méthyl
pendiméthaline
prochloraze
simazine
sulcotrione
tebuconazole
tebutame
terbufos
terbuthylazine
tétraconazole
triclopyr
trifluraline

ANNEXE E

Substances actives	Formule brute	Famille chimique	A c t i o n	P r i o r i t é	KH (en Pa.m3/mol)	Pvap (en mPa)	P l u i e	DJA (en mg/kg/jour)	Koc	DT50 en plein champ (en jours)	Période d'épandage	U s a g e	Remarques	a n a l y t i q u e
aclonifen	C ₁₂ H ₉ ClN ₂ O ₃	diphényl-éther	H	*	32.10 ⁻⁴ (20°C) (AGRITOX)	0,0323 à 25°C (AGRITOX)		0,02 (com tox)	5318 à 12164 (AGRITOX)	92 à 150 (AGRITOX)	maïs, cultures légumières, tournesol		Utilisé en Poitou- Charentes sur pois et tournesol (15/03 au 15/05) Très peu utilisé en Bretagne	GC-MS
alachlore	C ₁₄ H ₂₀ ClNO ₂	amide	H	***	2,1.10 ⁻³ (AGRITOX)	2,9 à 25°C (AGRITOX)	oui	0.0005 (commis tox)	102 à 150 (AGRITOX)	4 à 24 (AGRITOX)	maïs, cultures légumières 20 avril au 15 mai (selon date de semis)	Très utilisé agricole		GC-MS
atrazine	C ₈ H ₁₄ ClN ₅	triazine	H	***	2,6.10 ⁻⁴ (AGRITOX)	0,04 à 20°C (AGRITOX)	oui	0,04 (commis tox) 0,0005 (INERIS)	38 à 170 (AGRITOX)	18 à 119 (AGRITOX)	maïs, cultures légumières 1er passage : 20 avril au 15 mai ; 2ème passage: du 15 au 20 juin	Très utilisé agricole	emploi réglementé	GC-MS
bromoxynil (octonoate)	C ₁₅ H ₁₇ Br ₂ NO ₂	nitro-phénol	H	**	-	0,0063 à 25°C (AGRITOX)		0,01 (comm tox)	639 (AGRITOX)	1 à 8 (AGRITOX)	15 déc au 15/20 mars cette année (hiver pluvieux) pour céréales ; du 15 au 20 juin pour maïs (2ème passage)	Très utilisé agricole		GC-MS
chlorothalonil	C ₈ Cl ₄ N ₂	dérivé du benzène	F	**	3,4.10 ⁻² (AGRITOX)	0,077 à 25°C (AGRITOX)		0,0036 (comm tox) 0,03 (OMS)	330 à 7000 (AGRITOX)	18 à 70 (AGRITOX)	cultures légumières, vigne et pois		suivi INERIS ; utilisé en Poitou- Charentes : mai pour le pois et le blé, juin pour la vigne	GC-MS
chlorpyriphos-éthyl	C ₉ H ₁₁ Cl ₃ NO ₃ PS	organo- phosphoré	I	**	1,75 (AGRITOX)	2,52 à 25°C (AGRITOX)		0,01(OMS) 0,003 (commtox)	2500 à 14000 (AGRITOX)	10 à 56 (AGRITOX)	toutes cultures		suivi INERIS ; très peu utilisé en Bretagne	GC-MS

clodinafop-propargyl	C ₁₇ H ₁₃ ClFNO ₄	aryloxyphénoxypropionate	H	**	2,79.10 ⁻⁴ (25°C) (AGRITOX)	0,0053 à 20°C (AGRITOX)	0,001 (comm tox)	251 à 2358 (AGRITOX)	5 à 20 (AGRITOX)	mars-avril pour rattrapages éventuels sur céréales	Utilisé agricole	pour vulpin, mais très peu de problème de vulpin en Bretagne	GC-MS
cyproconazole	C ₁₅ H ₁₈ ClN ₃ O	triazole	F	**	7,3.10 ⁻⁵ (AGRITOX)	0,035 à 20°C (AGRITOX)	0,01 (com tox)	173 à 711 (AGRITOX)	8 à 89 (AGRITOX)	15 au 30 mai (2ème ttt) sur céréales	Utilisé agricole		GC-MS
déisopropylatrazine =déséthylsimazine	C ₅ H ₈ ClN ₅	métabolite de l'atrazine		*								métabolite de l'atrazine, conseillé ENSP	GC-MS
deltaméthrine	C ₂₂ H ₁₉ Br ₂ NO ₃	pyréthrianoïde	I	***	3,13.10 ⁻² (25°C) (AGRITOX)	1,24.10 ⁻⁵ à 20°C (AGRITOX)	0,01 (UE)	460000 à 1,63.10 ⁷ (AGRITOX)	21 (AGRITOX)	céréales 15 mai au 15 juin	Très utilisé agricole	suivi INERIS, très très utilisé en Bretagne	GC-MS
déséthylatrazine	C ₆ H ₁₀ ClN ₅	métabolite de l'atrazine		*								métabolite de l'atrazine, conseillé ENSP	GC-MS
diazinon	C ₁₂ H ₂₁ N ₂ O ₃ PS	organo-phosphoré	I	**	1,15.10 ⁻² (INERIS)	18,8 à 20°C (AGRITOX)	0,002 (INERIS)	85 à 1842 (AGRITOX)	21 à 103 (AGRITOX)	cultures légumières		suivi INERIS	GC-MS
dichlorvos	C ₄ H ₇ Cl ₂ O ₄ P	organo-phosphoré	I	**	0,19 (INERIS)	2,1.10 ³ à 20°C (AGRITOX)	0,004 (INERIS)	-	-	cultures légumières		suivi INERIS	GC-MS
diflufénicanil	C ₁₉ H ₁₁ F ₅ N ₂ O ₂	pyridinocarboxamide	H	**	0,033 (INERIS)	0,031 à 25°C (AGRITOX)	0,25 (INERIS)	1622 à 2369 (AGRITOX)	90 à 270 (AGRITOX)	DDE : mars à juin ; agricole : 15 déc au 15/20 mars cette année (car hiver pluvieux) sur céréales	Très utilisé agricole		GC-MS
diméthénamid	C ₁₂ H ₁₈ ClNO ₂ S	chloro-acétamide	H	*	8,63.10 ⁻³ (20°C) (AGRITOX)	37,15 à 25°C (AGRITOX)	0,04 (commis tox)	90 à 474 (AGRITOX)	4 à 35 (AGRITOX)	20 avril au 15 mai (fonction date semis) sur maïs	Utilisé agricole	à rechercher selon ENSP	GC-MS
endosulfan	C ₉ H ₆ Cl ₆ O ₃ S	organo-halogéné	I	**	2,9.10 ⁻² (AGRITOX)	0,83 à 20°C (AGRITOX)	0,006 (OMS) 0,015 (INERIS)	7969 à 21347 (AGRITOX)	36 à 93 (AGRITOX)	cultures légumières		pas utilisé en Bretagne selon Chambre d'Agriculture	GC-MS
époconazole	C ₁₇ H ₁₃ ClFN ₃ O	triazole	F	**	-	<0,01 à 20°C (AGRITOX)	0,005 (comm tox)	957 à 2647 (AGRITOX)	-	céréales 1er ttt : du 15 au 30 avril ; 2ème ttt : du 15 au 30 mai	Très utilisé agricole	produit de base dans fongicide, très très utilisé	GC-MS
fenpropimorphe	C ₂₀ H ₃₃ NO	morpholine	F	**	0,16 (INERIS)	2,3 à 20°C (AGRITOX)	0,003 (INERIS)	2772 à 5943 (AGRITOX)	15 à 98 (AGRITOX)	céréales		suivi INERIS ; utilisé en Poitou-Charentes mai/juin ; utilisé un peu en Bretagne	GC-MS
fénoxaprop-p-éthyl	C ₁₈ H ₁₆ ClNO ₅	aryloxyphénoxypropionate	H	***	7,24.10 ⁻⁴ (25°C) (AGRITOX)	0,0014 à 25°C (AGRITOX)	0,01(com tox) 0,009 (INERIS)	5602 à 16774 (AGRITOX)	-	céréales mars-avril ; pour rattrapages éventuels	Très utilisé agricole	suivi INERIS	GC-MS

fenpropidine	C ₁₉ H ₃₁ N	pipéridine	F	**	8,7.10 ⁻² (25°C) (AGRITOX)	21 à 25°C (AGRITOX)		0,005 (com tox)	464 à 2580 (AGRITOX)	14 à 90 (AGRITOX)	blé, orge, betterave		un peu utilisé en Bretagne	GC-MS
flufénacet	C ₁₄ H ₁₃ F ₄ N ₃ O ₂ S	oxy-acétamide	H	**	9.10 ⁻⁴ (20°C) (AGRITOX)	0,2 à 25°C (AGRITOX)		0,01 (com tox)	113 à 696 (AGRITOX)	13 à 54 (AGRITOX)	maïs 20 avril au 15 mai (fonction date semis)	Utilisé agricole		GC-MS
flusilazole	C ₁₆ H ₁₅ F ₂ N ₃ Si	triazole	F	**	2,7.10 ⁻⁹ (AGRITOX)	14,8 à 25°C (AGRITOX)		0,001 (OMS)	984 à 1888 (AGRITOX)	63 à 240 (AGRITOX)	vigne et céréales		déTECTÉ Poitou en mai/juin ; en Centre en juillet/août ; conseil ENSP	GC-MS
hexaconazole	C ₁₄ H ₁₇ Cl ₂ N ₃ O	triazole	F	**	3,24.10 ⁻⁴ (AGRITOX)	0,02 à 20°C (AGRITOX)		0,005 (com tox)	>1500 (AGRITOX)	-	15 au 30 mai (2ème ttt) sur céréales	Utilisé agricole		GC-MS
krésoxim-méthyl	C ₁₈ H ₁₉ NO ₄	strobilurine	F	**	3,6.10 ⁻⁴ (20°C) (INERIS)	0,0023 à 20°C (AGRITOX)		0,4 (INERIS)	219 à 372 (AGRITOX)	-	blé, vigne 1er ttt : du 15 au 30 avril	Très utilisé agricole	suivi INERIS, très très utilisé en Bretagne : molécule développée récemment	GC-MS
lambda-cyhalothrine	C ₂₃ H ₁₉ ClF ₃ NO ₃	pyréthrianoïde	I	**	0,02 (20°C) (UE)	0,0002 à 20°C (AGRITOX)		0,005 (UE)	38000 à 345000 (AGRITOX)	6 à 37 (AGRITOX)	céréales 15 mai au 15 juin	Utilisé agricole		GC-MS
lindane (gamma HCH)	C ₆ H ₆ Cl ₆	organochloré		**	0,98 (INERIS)	1,2.10 ⁻³ à 20°C (fiche tox INRS)		0,001 (INERIS)	-	121? (INERIS)			interdit depuis 1998 en France	GC-MS
métolachlore	C ₁₅ H ₂₂ Cl ₆ NO ₂	chloro- acétanilide	H	*	9,1.10 ⁻⁴ (INERIS)	1,7 à 20°C (AGRITOX)		0,03 (INERIS)	41 à 114 (AGRITO)	14 à 51 (AGRITOX)	maïs, tournesol	Utilisé agricole	suivi INERIS ; utilisé en Poitou sur maïs du 15/03 au 15/05	GC-MS
oxadiazon	C ₁₅ H ₁₈ Cl ₂ N ₂ O ₃	oxadiazole	H	**	3,57.10 ⁻⁷ (25°C) (INERIS)	1,044 à 25°C (AGRITOX)		0,005 (ACTA) 0,004(com tox)	1409 à 3268 (AGRITOX)	30 à 180 (AGRITOX)	DDE: mars à juin	Utilisé non agricole		GC-MS
parathion-méthyl	C ₈ H ₁₀ NO ₅ PS	organo- phosphoré	I	**	9,6.10 ⁻⁴ (INERIS)	0,41 à 25°C (AGRITOX)		0,003 (INERIS)	236 (AGRITOX)	3 à 30 (AGRITOX)	cultures légumières, arbres fruitiers		suivi INERIS ; en Bretagne, quasiment jamais utilisé	GC-MS
pendiméthaline	C ₁₃ H ₁₉ N ₃ O ₄	dinitroaniline	H	*	3,78 (INERIS)	4,03 à 25°C (AGRITOX)		0,125 (Com tox)	6700 à 29400 (AGRITOX)	30 à 150 (AGRITOX)	maïs, blé		pas trop utilisé en Bretagne, mais retrouvé dans rivière ; retrouvé au Poitou (15/03 au 15/05) ; conseillé ENSP	GC-MS

simazine	C ₇ H ₁₂ ClN ₅	triazine	H	**	-	0,81.10 ⁻³ à 20°C (AGRITOX)	oui	0,001 (com tox)	79 à 377 (AGRITOX)	14 à 146 (AGRITOX)				GC-MS
tebuconazole	C ₁₆ H ₂₂ ClN ₃ O	triazole	F	*	1,2.10 ⁻⁵ (INERIS)	0,969.10 ⁻³ à 20°C (AGRITOX)		0,03 (INERIS)	803 à 1251 (AGRITOX)	43 à 170 (AGRITOX)	céréales, cultures légumières	Utilisé agricole	suivi INERIS	GC-MS
tebutame	C ₁₅ H ₂₃ N ₃ O	chloro-acétamide	H	*	-	-		-	-	-	colza		rajout ENSP ; utilisé en Poitou (15/08 au 15/10)	GC-MS
terbufos	C ₉ H ₂₁ O ₂ PS ₃	organo-phosphoré	I	**	1 (AGRITOX)	35 à 25°C (AGRITOX)		0,0002 (AGRITOX)	288 à 1069 (AGRITOX)	5 à 30 (AGRITOX)	maïs 20 avril au 15 mai (au moment des semis)	Utilisé agricole		GC-MS
terbutylazine	C ₉ H ₁₆ ClN ₅	triazine	H	**	4.10 ⁻³ (AGRITOX)	0,15 à 20°C (AGRITOX)		0,003 (com tox) 0,0022 (INERIS)	162 à 447 (AGRITOX)	30 à 60 (AGRITOX)	vigne		suivi INERIS ; détecté en Poitou (traitement au printemps)	GC-MS
tétraconazole	C ₁₃ H ₁₁ Cl ₂ F ₄ N ₃ O	triazole	F	*	-	1,6 à 20°C (AGRITOX)		0,015 (com tox)	-	-	céréales 15 au 30 mai (2ème ttt)	Utilisé agricole	rajout ENSP	GC-MS
trifluraline	C ₁₃ H ₁₆ F ₃ N ₃ O ₄	dinitroaniline	H	**	16,8 (INERIS)	13,7 à 25°C (AGRITOX)		0,0024 (INERIS)	2500 à 13700 (AGRITOX)	60 à 132 (AGRITOX)	colza, tournesol, cultures légumières		suivi INERIS ; à retenir selon Chambre d'Agriculture ; utilisation au printemps en Poitou sur tournesol	GC-MS
carbétamide	C ₁₂ H ₁₆ N ₂ O ₃	carbamate	H	*	9.10 ⁻⁶ (AGRITOX)	<0,134 à 20°C (AGRITOX)		-	60 à 118 (AGRITOX)	19 à 28 (AGRITOX)	<i>DDE</i> : mars à juin	Utilisé non agricole	pas de données DJA et utilisé en association avec oxadiazon et diflufénicanil	HPLC-DAD
carbofuran	C ₁₂ H ₁₅ NO ₃	carbamate	I	***	2,5.10 ⁻⁵ (AGRITOX)	2,7 à 33°C (AGRITOX)		0,002 (OMS)	9 à 62,5 (AGRITOX)	18 à 90 (AGRITOX)	maïs, cultures légumières 20 avril au 15 mai (au moment des semis)	Très utilisé agricole	application fréquente en granulés	HPLC-DAD
chlortoluron	C ₁₀ H ₁₃ ClN ₂ O	urée	H	*	5,3.10 ⁻⁵ (AGRITOX)	0,0175 à 20°C (AGRITOX)		0,02 (comm tox)	108 à 384 (AGRITOX)	26 à 42 (AGRITOX)	céréales		pas utilisé selon Chambre d'Agriculture ; à retenir selon ENSP	HPLC-DAD

diuron	C ₉ H ₁₀ Cl ₂ N ₂ O	urée	H	***	5,1.10 ⁻⁵ (INERIS)	-	oui	0,0015 (AGRITOX)	29 à 902 (AGRITOX)	56 à 231 (AGRITOX)	arbres fruitiers, surtout usage non agricole autorisé qu'au mois de mars en association en milieu non agricole en Bretagne, limité en agricole	Utilisé non agricole	très peu utilisé en agricole	HPLC- DAD
imazaméthabenz- méthyl	C ₁₆ H ₂₀ N ₂ O ₃	imifazolinone	H	*	1,44.10-9	0,0015 à 25°C (AGRITOX)	-	-	66 (AGRITOX)	30 à 276 (AGRITOX)	blé, orge		nouvelle molécule ; conseil ENSP	HPLC- DAD
isoproturon	C ₁₂ H ₁₈ N ₂ O	urée	H	***	9,7.10 ⁻⁶ (20°C) 14,6.10 ⁻⁶ (25°) (UE)	0,0033 à 20°C (AGRITOX)	oui	0,006 (OMS) 0,015 (INERIS)	36 à 241 (AGRITOX)	12 à 33 (AGRITOX)	blé et orge 15 déc au 15/20 mars cette année (hiver pluvieux)	Très utilisé agricole		HPLC- DAD

Sources : site agritox ; MARLIERE (2001) (OMS : Organisation Mondiale de la Santé; UE: Union Européenne; Com tox : Commission des Toxiques)

critère de sélection rempli

oxadixyl	C ₁₄ H ₁₈ N ₂ O ₄	phénylamide	F		2,7.10-7 (AGRITOX)	0,0033 à 20°C (AGRITOX)		0,01 (AGRITOX)	12 à 20 (AGRITOX)	90 à 300 (AGRITOX)	cultures légumières (lutte contre la maladie du Mildiou)			
----------	---	-------------	---	--	-----------------------	----------------------------	--	-------------------	----------------------	-----------------------	---	--	--	--

ANNEXE F

Taux de récupération, coefficients de variation et résultats du 29/04 au 08/07/03

GC/MS	Taux de Récupération (TR)			Masse piégée (en ng*)									
	Moyenne (en%)	CV (en %)	LQ (en ng*)	29/04 au 06/05	06/05 au 13/05	13/05 au 20/05	20/05 au 27/05	27/05 au 03/06	03/06 au 10/06	10/06 au 17/06	17/06 au 24/06	24/06 au 01/07	01/07 au 08/07
aclofifer	97	15	30										
alachlore	66	10	10	156	150	183	30	286		65	19	18	
atrazine	91	23	10					<ou=42	70	<ou=45	<ou=30		
bromoxynil (octonoate)	73	10	25										
chlorothalonil	87	18	10					233		130	165	75	30
chlorpyrifos-éthyl	80	11	10										
clodinafop-propargyl	139	18	10										
cyproconazole	84	14	25										
déséthylatrazine	58	11	10										
déséthylsimazine	58	34	20										
deltaméthrine	96	6	50										
diazinon	138	10	10										
dichlorvos			10										
diflufénicanil	95	9	10										
diméthénamic	78	12	10										
endosulfan	86	7	50					173		87			
époiconazole	87	22	25										
fénoxaprop-p-éthyl	97	11	10										
fenpropi-dine	66	51	20										
fempropi-morphe			50										
flufénacel	133	17	15										
flusilazole	84	16	25										
hexaconazole	139	25	50										
krésoxim-méthyl	126	11	10										
lambda-cyhalothrine	96	10	50										
lindane (gamma HCH)	70	12	10	55	49	37		109	45	34	30	55	30
métolachlore	84	13	10	11									
oxadiazon	91	12	10										
parathion-méthyl	73	17	10										
pendiméthaline	85	11	15		21	36		41		30			
simazine	76	13	10										
tebuconazole	76	30	50										
tebutame	58	13	10										
terbuphos	54	10	10										
terbuthylazine	77	17	10										
tétraconazole			25										
trifluraline	61	5	10					29					
HPLC/DAD													
carbofuran	62	31	10										
carbétamide	42	74	100										
chlortoluron	102	20	50										
diuron	100	33	50										
imazaméthabenz-méthyl	59	28	100										
isoproturon	93	22	50										

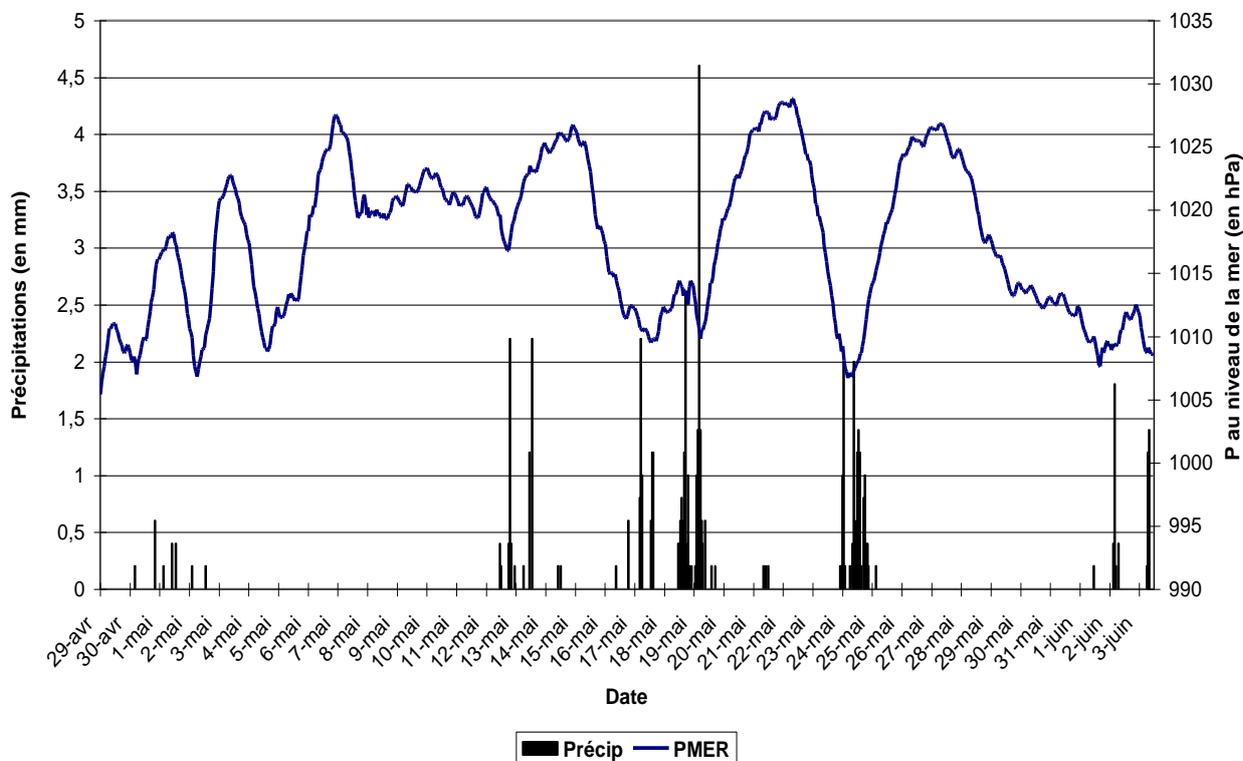
* non corrigé des taux de récupération CV : Coefficient de Variation LQ : Limite de Quantification

Volume prélevé (en m ³)	174.166	176.092	175.494	175.407	170.915	171.211	155.642	170.440	169.370	171.457
-------------------------------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

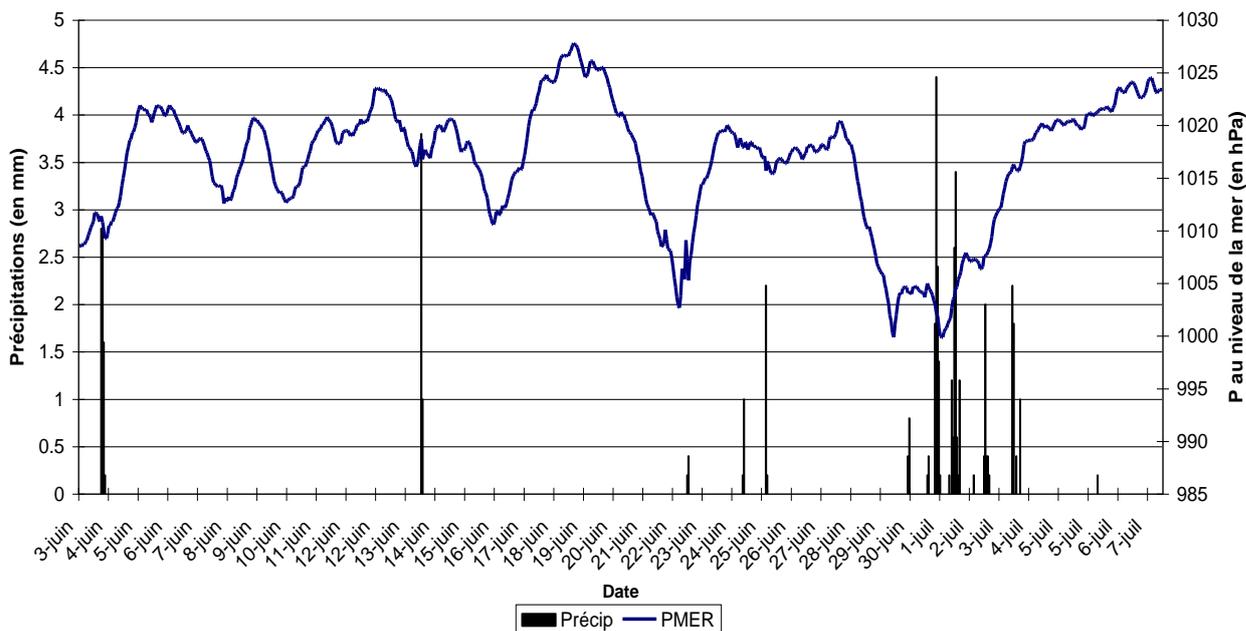
ANNEXE G

Conditions météorologiques

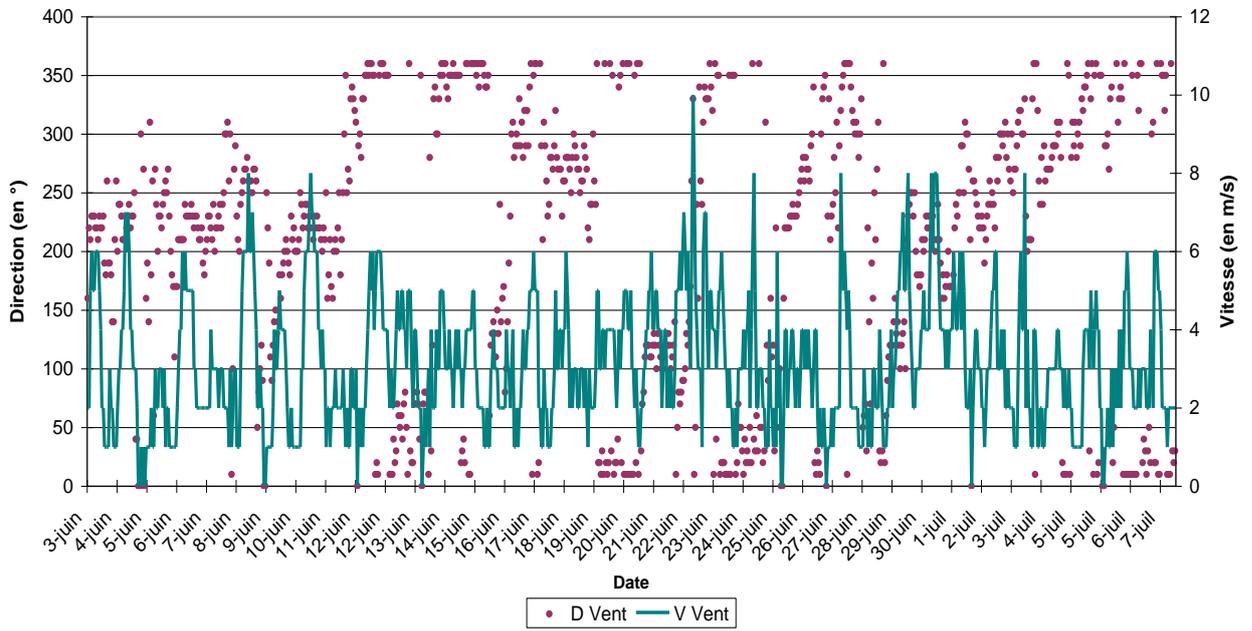
Evolution de la pression et les précipitations du 29/04 au 03/06/03



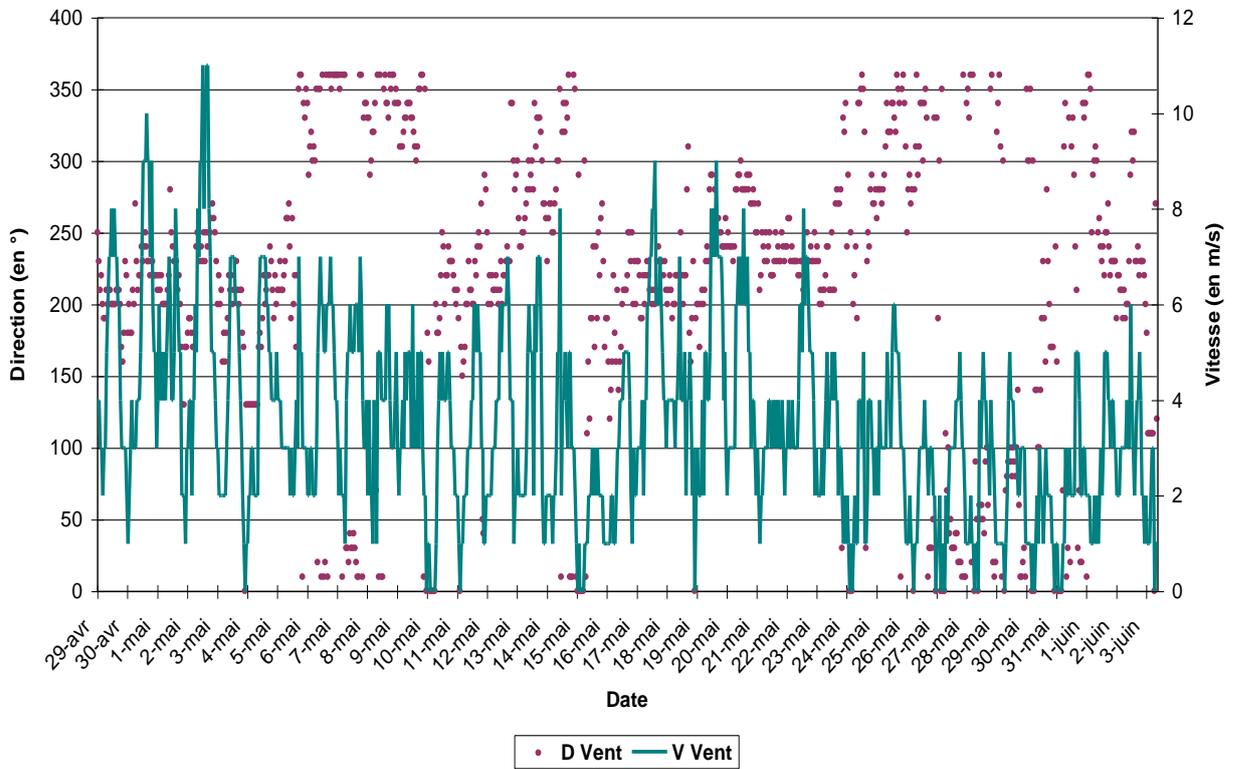
Evolution de la pression et les précipitations du 03/06 au 08/07/03



Direction et vitesse du vent du 03/06 au 08/07/03

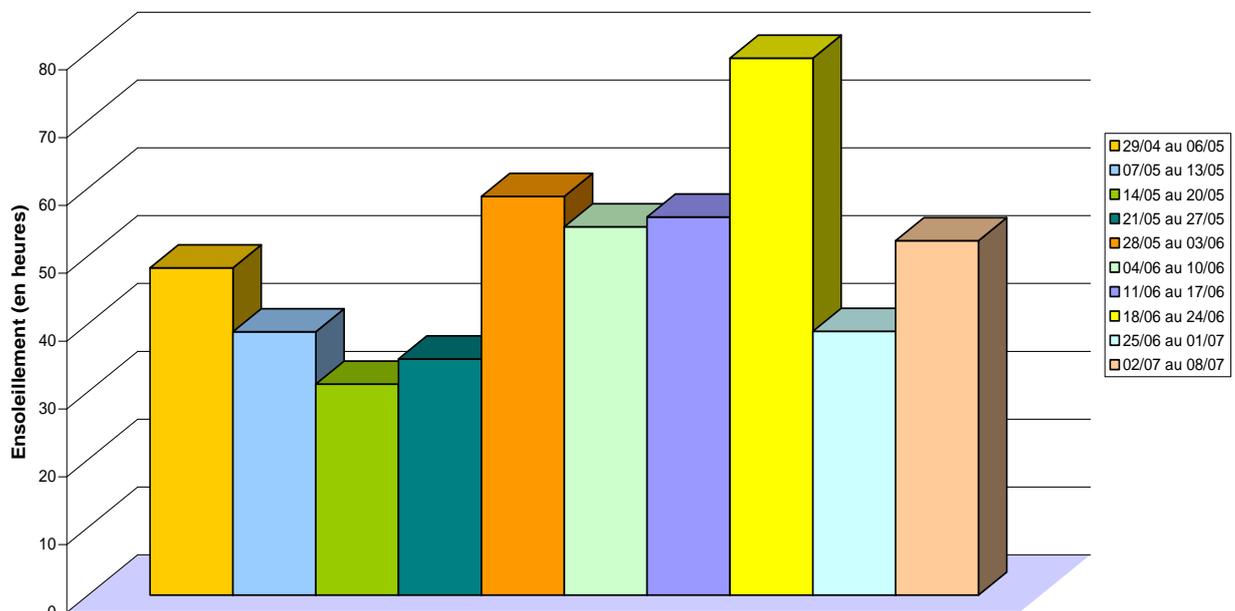


Direction et vitesse du vent du 29/04 au 03/06/03



Températures en °C	Maxima horaires	Minima horaires	Moyennes sur période d'échantillonnage
du 29/04 à 9h au 06/05 à 8h	24,1	5,9	13,8
du 06/05 à 9h au 13/05 à 8h	21,1	5,0	12,4
du 13/05 à 9h au 20/05 à 8h	18,6	3,8	12,9
du 20/05 à 9h au 27/05 à 8h	20,8	5,5	13,4
du 27/05 à 9h au 03/06 à 8h	29,9	10,3	19,7
du 03/06 à 9h au 10/06 à 8h	24,6	10,1	18,1
du 10/06 à 9h au 17/06 à 8h	30,4	12,6	20,3
du 17/06 à 9h au 24/06 à 8h	35,2	11,8	20,8
du 24/06 à 9h au 01/07 à 8h	32,0	8,4	19,5
du 01/07 à 9h au 08/07 à 8h	25,8	10,2	17,0

Ensoleillement par semaine du 29/04 au 08/07/03



La première semaine de mesures (du 29/04 au 06/05) a connu deux légères dépressions. Cette semaine a subi très peu de précipitations avec 2,2 mm au total et un bon ensoleillement d'environ 48 heures. Les températures sont relativement douces pour la saison avec un minimum horaire de 5,9°C, un maximum horaire de 24,1°C et une moyenne sur la semaine de 13,8°C. L'humidité relative présente des cycles journaliers nettement marqués, avec des taux d'humidité supérieurs à 80% la nuit. L'intensité des vents est assez forte : des pointes supérieures à 7 m/s sont enregistrées au cours des quatre premiers jours, jusqu'à 11 m/s le 02/05. Le reste de la semaine, l'intensité du vent varie de 1 à 7 m/s. Les vents sont de direction dominante sud-ouest jusqu'au 05/05, prenant une direction plutôt nord-ouest par la suite.

Du 06/05 au 13/05, c'est une période anticyclonique avec des températures un peu plus faibles mais du même ordre de grandeur que la première semaine de prélèvement ; avec un minimum horaire de 5°C, un maximum horaire de 21,1°C et une moyenne sur la semaine de 12,4°C. L'humidité relative a des cycles marqués jusqu'au 11/05, le 12 et 13 mai n'ont connu aucune baisse significative de l'humidité relative (de 71 à 95%) (cf annexe G). Aucune précipitation n'est relevée jusqu'au 12/05, où il est tombé 3,8 mm en 24 heures. L'ensoleillement de la semaine est moyen, avec environ 39 heures. De direction dominante

nord-ouest jusqu'au 9 mai, le vent prend par la suite une direction sud-ouest, puis une orientation ouest. L'intensité maximale de vent atteinte dans la semaine est de 7 m/s, les vitesses varient en journée de 2 à 6 m/s.

Du 13/05 au 20/05, la semaine est marquée par une baisse des pressions du maximum 1026,7 hPa, atteint le 14/05, au minimum de 1009,5 hPa, atteint le 17/05, suivi d'une réaugmentation de celles-ci. Cette légère dépression est accompagnée d'une perturbation du 16/05 au 19/05 avec des pluies importantes, notamment le 19 (donnant 29 mm d'eau sur ces 4 jours) et corrélé à des taux d'humidité relative forts sur cette période (absence de cycle). Les minima et maxima horaires sont en légère baisse, avec respectivement 3,8°C et 18,6°C ; la moyenne sur la semaine est de 12,9°C (cf annexe H). L'ensoleillement est assez moyen (environ 31 heures). Le vent de direction dominante ouest jusqu'au 14/05, s'oriente au nord le 15, puis au sud-ouest. D'intensité assez faible jusqu'au 16/05 (de l'ordre de 3 à 4 m/s), la vitesse du vent augmente sensiblement, avec des pointes à 9 m/s les 17 et 19.

Du 20/05 au 27/05, une légère dépression est observée du 22 au 24/05, accompagnée de précipitations donnant 13,8 mm d'eau sur 2 jours. Les minimum et maximum horaires sont respectivement de 5,5 et 20,8°C, et la moyenne pour la période est de 13,4°C. Aucun cycle journalier d'humidité relative n'est observé du 21 au 22 et du 24 au 25 mai (HR aux alentours de 90% sur ces périodes) (cf annexe H). L'ensoleillement de la semaine est moyen (environ 35 heures). De direction dominante sud-ouest jusqu'au 23/05, le vent s'oriente au nord-ouest puis au nord-est le 27/05. Les vitesses de vent sont faibles en général sur l'ensemble de la semaine. Seuls les 20 et 22 mai sont marqués par des vents d'intensité plus forte (jusqu'à 8 m/s).

Du 27/05 au 03/06, les hautes pressions du début diminuent progressivement tout au long de la semaine, passant sous 1010 hPa en fin de semaine. Le taux d'humidité connaît des cycles journaliers toute la semaine, même si ceux-ci sont moins importants les 2 et 3 juin, où quelques précipitations sont relevées, donnant au total 5,6 mm d'eau. Les températures sont en hausses, avec un minimum horaire de 10,3°C, un maximum de 29,9°C et une moyenne sur la période de 19,7°C (cf annexe I). Cette semaine a subi un très bon ensoleillement avec presque 59 heures. Sur la période, les vents sont d'intensité moyenne voir faible. La direction du vent est très variable (variabilité étant peut-être due aux faibles intensités de vent) ; dominante nord-est, elle s'oriente plutôt sud à partir du 1^{er} juin.

Du 03/06 au 10/06, sont observées alternativement des basses puis des hautes pressions, la semaine s'achevant sur une légère dépression. Des précipitations sont relevées seulement dans la nuit du 3 au 4 juin avec 7,4 mm d'eau. Le taux d'humidité connaît des cycles journaliers toute la semaine. Les températures restent du même ordre de grandeur que la semaine précédente avec cependant une légère baisse des températures, avec un minimum 10,1°C, un maximum 24,6°C et une moyenne 18,1°C (contre 10,3 ; 29,9 ; et 19,7°C du 27/05 au 03/06). La semaine a connu un très bon ensoleillement d'environ 54 heures. Les journées du 5 et du 7 juin sont marquées par des vents d'intensité faible (de l'ordre de 2 à 3 m/s) ; tandis que les autres journées, sont marquées par des vents d'intensité moyenne à forte (jusqu'à 8 m/s les 8 et 10 juin). Les vents sont de direction dominante sud-ouest pendant la semaine.

Du 10/06 au 17/06, c'est une période globalement anticyclonique à la fin de laquelle survient une dépression (vers le 16). Seule la matinée du 14 est marquée par des précipitations (4,8 mm). Les températures augmentent en fin de période avec des maximum et minimum horaires respectivement de 30,4 et 12,6°C et une moyenne sur la semaine de 20,3°C. L'humidité relative suit des cycles journaliers marqués sur l'ensemble de la semaine, sauf la matinée du 14 juin où le taux d'humidité relative demeure élevé, ce qui correspond aux précipitations relevées ce même jour. L'ensoleillement atteint un peu plus de 55 heures, celui-ci est du même ordre de grandeur que l'ensoleillement du 3 au 10 juin. De direction

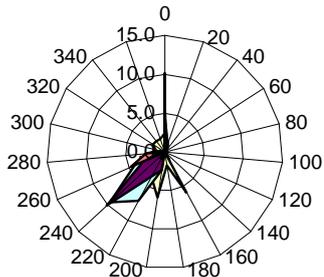
dominante sud-ouest au début de la semaine, le vent prend plutôt une direction dominante nord par la suite, puis sud le 16 et nord le 17. D'intensité faible au début de la période, le vent est moyen pendant le reste de la semaine (de 0 à 6 m/s).

Du 17/06 au 24/06, de hautes pressions (notamment du 18 au 21) ont précédé une dépression marquant la fin de journée du 21 et le 22 juin. Une hausse des pressions est ensuite observée les 23 et 24. Un faible épisode pluvieux est enregistré dans la nuit du 22 au 23 juin (0,6 mm d'eau). Légèrement moins élevées en début de période, comparé aux jours précédents, les températures augmentent jusqu'à atteindre 35°C dans l'après-midi du 22 et chutent le 23 (maximum de 24,3°C le 23 juin). Les maximum et minimum horaires sont respectivement pour la période de 35,2°C et 11,8°C, la moyenne sur la semaine étant de 20,8°C. La température moyenne mesurée est la plus élevée sur l'ensemble des dix semaines de prélèvement, et cette période correspond également à la plus ensoleillée (un petit peu plus de 79 heures d'ensoleillement). D'intensité moyenne les vents s'accroissent ensuite dans la journée du 22, correspondant à la dépression abordée précédemment, puis faiblissent. De direction dominante nord-ouest, le vent prend une direction plutôt nord les 19 et 20 juin, puis dominante est les 21 et 22 et reprend une dominante nord-nord-est.

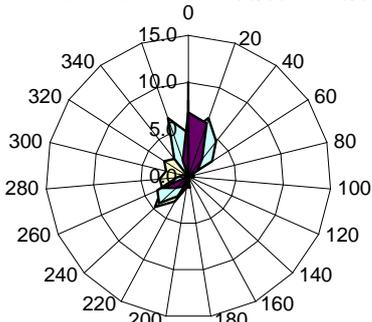
Du 24/06 au 01/07, anticycloniques en début de période, malgré quelques précipitations le soir du 24 et le 25 juin, les pressions chutent les 28 et 29 juin jusqu'à atteindre 999,9 hPa l'après-midi du 29. Le 30, les pressions restent stables mais faibles (de l'ordre de 1004 hPa), puis chutent de nouveau à 999,9 hPa en début de matinée le 01 juillet. Cette dépression est accompagnée de fortes précipitations donnant 15,6 mm d'eau de la nuit du 29/30 au petit matin du 1^{er} juillet. Les températures sont variables sur la période : les maximum et minimum horaires sont de 32 et 8,4°C, et une moyenne de 19,5°C. La journée la plus chaude est celle du 29, même si celle-ci connaît les plus basses pressions et subit un vent d'intensité relativement élevé (de l'ordre de 7 m/s), cependant le vent est à dominante sud. Sur la période les vents ont une intensité ainsi qu'une direction variables. Les cycles des taux d'humidité relative ne sont pas nettement marqués les 25, 26 et 27 juin, ceci correspondant aux pluies du 25 et à l'influence des vents qui apportent un air plus ou moins chargé en humidité. L'ensoleillement est de moitié moins important que celui de la semaine précédente : 38,9 heures contre 79,1 heures.

Du 01/07 au 08/07, les pressions du début de semaine sont très basses, elles augmentent progressivement jusqu'à atteindre de hautes pressions, les conditions sont anticycloniques dans la deuxième moitié de la période. Les basses pressions, qui marquent ce début de semaine, sont accompagnées de précipitations (19,2 mm d'eau au total du 1^{er} au 3 juillet). Les vents sont de dominante nord-nord-est ; leur intensité est moyenne sur l'ensemble de la période, les vents les plus forts sont enregistrés le 3 juillet. Les 3 premiers jours ont des cycles d'humidité relative perturbés, ceci est lié aux précipitations de cette même période. Les températures, quant à elles, sont moins élevées que la semaine précédente : maximum et minimum horaires sont respectivement de 25,8 et 10,2°C, et la moyenne de 17°C. Seule la journée du 7 juillet a un maximum qui dépasse 25°C (25,8°C). L'ensoleillement est d'environ 52 heures.

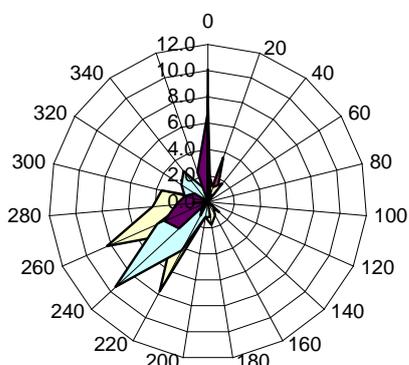
Rose des vents du 29/04 au 06/05/03



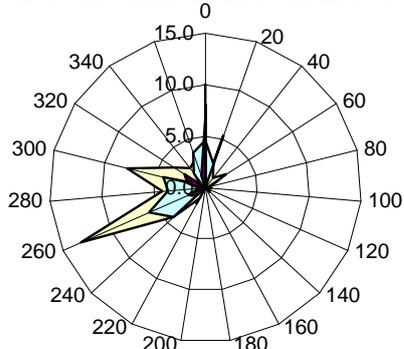
Rose des vents du 06/05 au 13/05



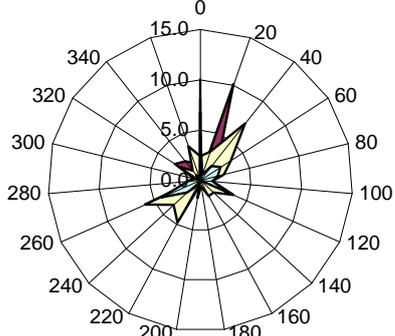
Rose des vents du 13/05 au 20/05/03



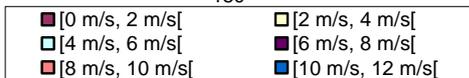
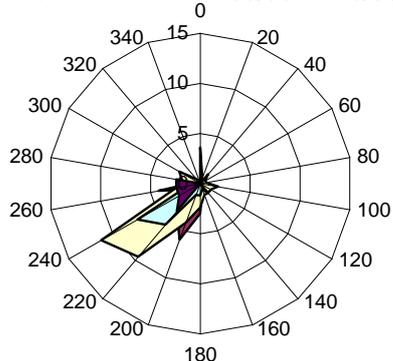
Rose des vents du 20/05 au 27/05/03



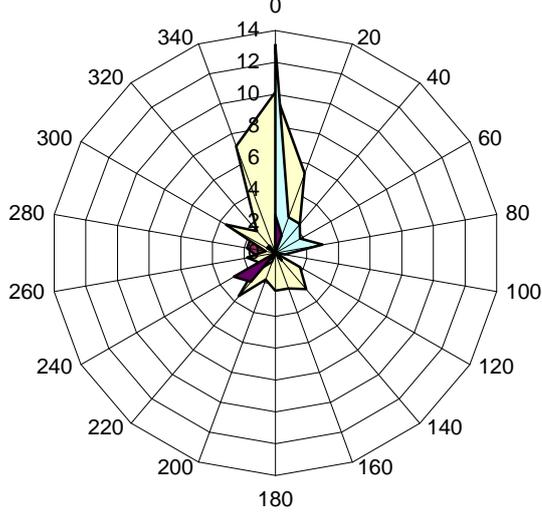
Rose des vents du 27/05 au 03/06/03



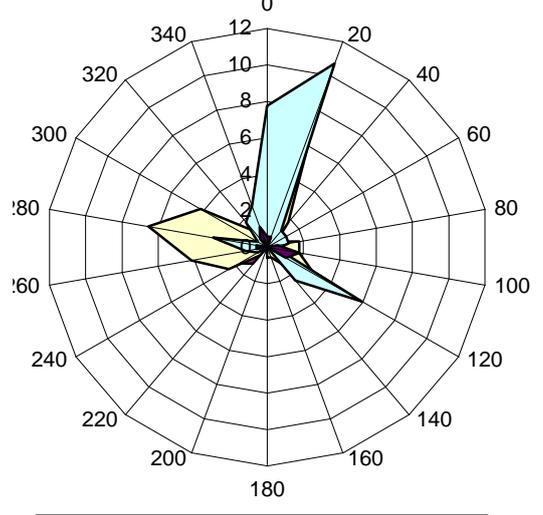
Rose des vents du 03/06 au 10/06/03



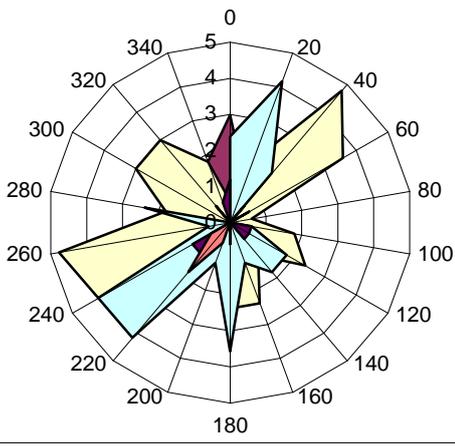
Rose des vents du 10/06 au 17/06/03



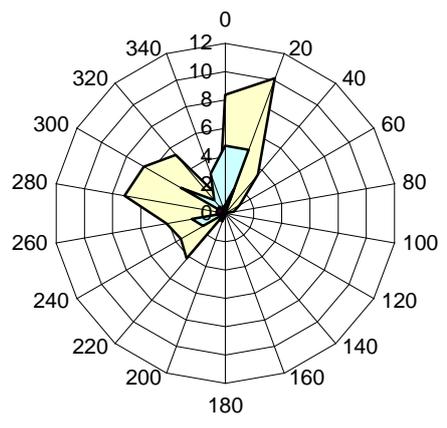
Rose des vents du 17/06 au 24/06/03



Rose des vents du 24/06 au 01/07/03

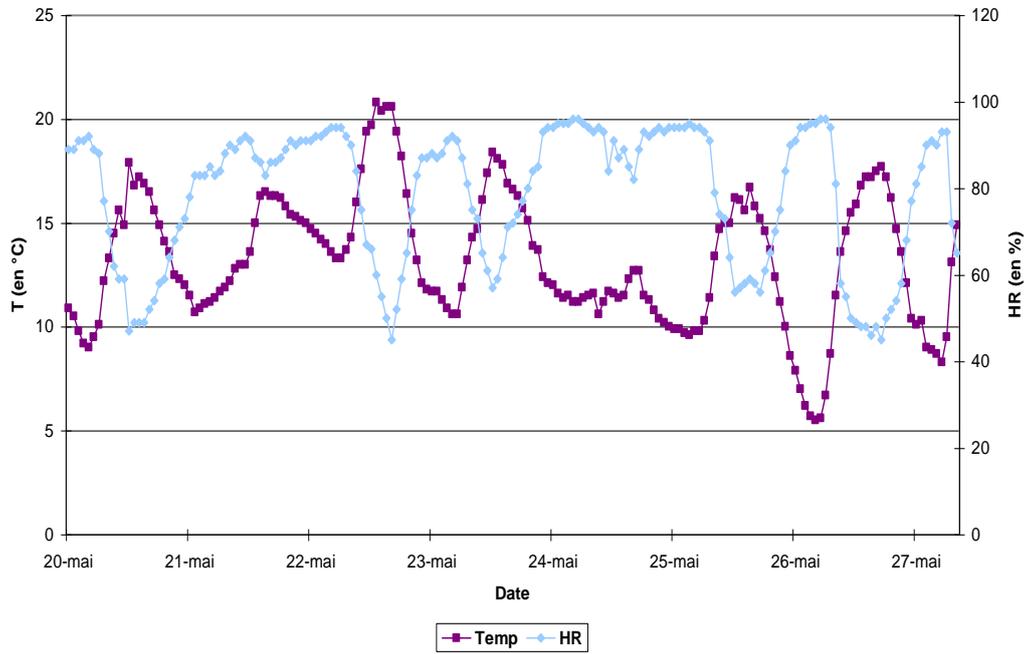


Rose des vents du 01/07 au 08/07/03

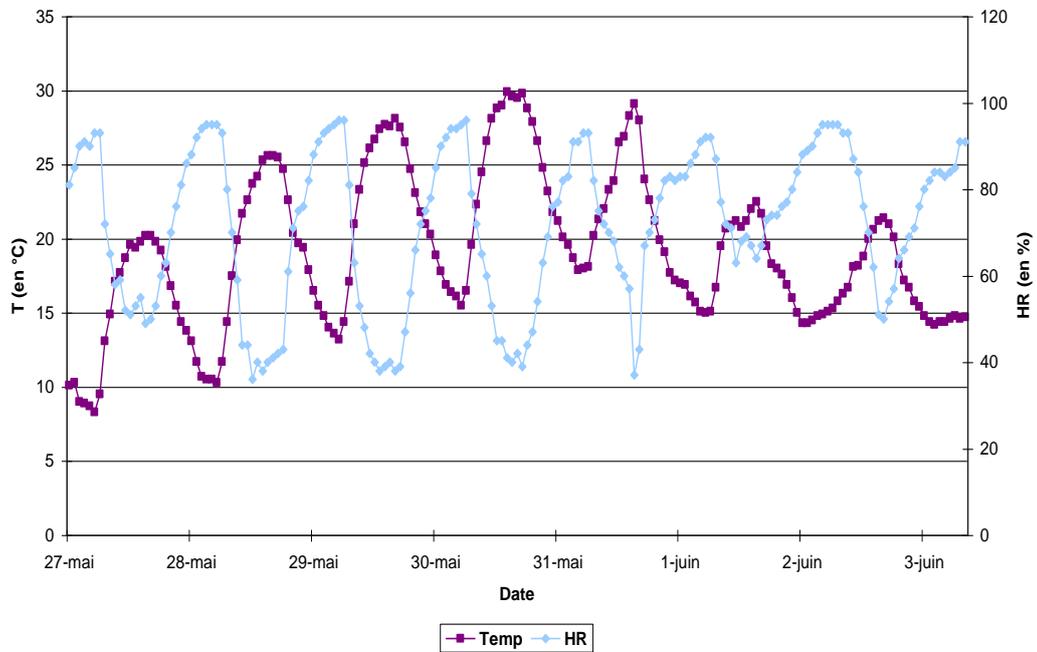


ANNEXE H

Température et Humidité Relative du 20/05 au 27/05/03



Température et Humidité Relative du 27/05 au 03/06/03



ANNEXE I

Substances actives	Formule brute	Famille chimique	A c t i o n	P r i o r i t é	KH (en Pa.m3/mol)	Pvap (en mPa)	P l u i e	DJA (en mg/kg/jour)	Koc	DT50 en plein champ (en jours)	Période d'épandage	U s a g e	Remarques	T e c h n i q u e
2,4-D	C ₈ H ₆ Cl ₂ O ₃	aryloxyacide	H	**	1,3.10-5 (25°C) (UE)	0,019 à 25°C		0,05 (UE) 0,3	5 à 212 (AGRITOX)	5 à 17 (AGRITOX)		utilisé non agricole (SNCF)		Pas analysable
2,4-MCPA	C ₉ H ₉ ClO ₃	aryloxyacide	H	**	4,9.10-5 ou 6,3.10-6	164 à 25°C		0,013 (UE)	25 à 157 (AGRITOX)	15 à 30 (AGRITOX)		utilisé non agricole (SNCF)		Pas analysable
acétochlore	C ₁₄ H ₂₀ NO ₂ Cl	chloroacétanilide	H	*	4,27.10-3 (AGRITOX)	5,998 à 25°C		0,02 (SIS)	28 à 377 (AGRITOX)	8 à 18 (AGRITOX)	maïs, 20 avril au 15 mai (selon date de semis)	Utilisé agricole		
aclonifen	C ₁₂ H ₈ CIN ₂ O ₃	diphényl-éther	H	*	32.10 ⁻⁴ (20°C) (AGRITOX)	0,0323 à 25°C (AGRITOX)		0,02 (com tox)	5318 à 12164 (AGRITOX)	92 à 150 (AGRITOX)	maïs, cultures légumières, tournesol		Utilisé en Poitou-Charentes sur pois et tournesol (15/03 au 15/05) Très peu utilisé en Bretagne	GC-MS
alachlore	C ₁₄ H ₂₀ CINO ₂	amide	H	***	2,1.10 ⁻³ (AGRITOX)	2,9 à 25°C (AGRITOX)	oui	0.0005 (commis tox)	102 à 150 (AGRITOX)	4 à 24 (AGRITOX)	maïs, cultures légumières 20 avril au 15 mai (selon date de semis)	Très utilisé agricole		GC-MS
alphaméthrine	C ₂₂ H ₁₉ Cl ₂ NO ₃	pyréthrianoïde	I	*	-	0,17.10 ⁻³ à 20°C		0,015 (UE)	5800 à 8,04.10 ⁷ (AGRITOX)	14 à 28 (AGRITOX)				
aminotriazole	C ₂ H ₄ N ₄	triazole	H	***	1,76.10-8 (20°C) (UE)	0,033 à 20°C	oui	0,001 (UE)	20 à 202 (AGRITOX)	15 (AGRITOX)		utilisé en non agricole (SNCF)		Pas analysable
ammonium quaternaire			F	*	-			-				Utilisé en non agricole (Ville de Rennes)		

AMPA		métabolite du glyphosate													
atrazine	C ₈ H ₁₄ ClN ₅	triazine	H	***	2,6.10 ⁻⁴ (AGRITOX)	0,04 à 20°C (AGRITOX)	oui	0,04 (commis tox) 0,0005 (INERIS)	38 à 170 (AGRITOX)	18 à 119 (AGRITOX)	maïs, cultures légumières 1er passage : 20 avril au 15 mai ; 2ème passage: du 15 au 20 juin	Très utilisé agricole	emploi réglementé	GC-MS	
azoxystrobine	C ₂₂ H ₁₇ N ₃ O ₅	strobilurine	F	*	7,3.10 ⁻⁹ (UE)	1,1.10 ⁻⁷ à 20°C (AGRITOX)		0,1 (UE)	207 à 594 (AGRITOX)	3 à 39 (AGRITOX)	céréales, 15 au 30 mai (2ème ttt)	Très utilisé agricole			
bentazone	C ₁₀ H ₁₂ N ₂ O ₃ S	thiadiazinone	H	*	7,2.10 ⁻⁵ (20°C) (UE)	0,176 à 20°C (AGRITOX)	oui	0,1 (UE)	13 à 176 (AGRITOX)	4 à 21 (AGRITOX)	céréales		conseillé ENSP	Pas analysable	
bifénox	C ₁₄ H ₉ Cl ₂ NO ₅	diphényl-éther	H	*	0,3 (AGRITOX)	0,323 à 20°C (AGRITOX)		0,3 (comm tox)	1800 à 23000 (AGRITOX)	3 à 35 (AGRITOX)	céréales				
bifenthrine	C ₂₃ H ₂₂ ClF ₃ O ₂	pyréthrianoïde	I	*	-	0,024 à 25°C (AGRITOX)		0,02 (com tox)	50000 à 150000 (AGRITOX)	7 à 62 (AGRITOX)		Utilisé en non agricole (Ville de Rennes)			
bromoxynil (octonoate)	C ₁₅ H ₁₇ Br ₂ NO ₂	benzotrile	H	**	-	0,0063 à 25°C (AGRITOX)		0,01 (comm tox)	639 (AGRITOX)	1 à 8 (AGRITOX)	15 déc au 15/20 mars cette année (hiver pluvieux) pour céréales ; du 15 au 20 juin pour maïs (2ème passage)	Très utilisé agricole		GC-MS	
bromoxynil (phénol)	C ₇ H ₃ Br ₂ NO	benzotrile	H	***	1,3.10 ⁻⁵ (20°C) (AGRITOX)	0,014 à 25°C (AGRITOX)		0,01 (com tox)	108 à 239 (AGRITOX)	1 à 8 (AGRITOX)	16 déc au 15/20 mars cette année (hiver pluvieux) pour céréales ; du 15 au 20 juin pour maïs (2ème passage)	Très utilisé agricole		Pas analysable	
bupirimate	C ₁₃ H ₂₄ N ₄ O ₃ S	pyrimidine	F	*	-	0,067 à 20°C (AGRITOX)		0,05 (com tox)	-	-		Utilisé en non agricole (Ville de Rennes)			
carbaryl	C ₁₂ H ₁₁ NO ₂	carbamate	I	*	1,8.10 ⁻⁶ (25°C) (AGRITOX)	0,041 à 23,5°C (AGRITOX)		0,008	100 à 600 (AGRITOX)	4 à 22 (AGRITOX)			suivi INERIS		

carbétamide	C ₁₂ H ₁₆ N ₂ O ₃	carbamate	H	*	9.10 ⁻⁶ (AGRITOX)	<0,134 à 20°C (AGRITOX)	-	60 à 118 (AGRITOX)	19 à 28 (AGRITOX)	DDE : mars à juin	Utilisé non agricole	pas de données DJA et utilisé en association avec oxadiazon et diflufénicanil	HPLC-DAD
carbofuran	C ₁₂ H ₁₅ NO ₃	carbamate	I	***	2,5.10 ⁻⁵ (AGRITOX)	2,7 à 33°C (AGRITOX)	0,002 (OMS)	9 à 62,5 (AGRITOX)	18 à 90 (AGRITOX)	maïs, cultures légumières 20 avril au 15 mai (au moment des semis)	Très utilisé agricole	application fréquente en granulés	HPLC-DAD
carfentrazone-éthyle	C ₁₅ H ₁₄ N ₃ O ₃ Cl ₂ F ₃	triazolinone	H	*	2,47.10 ⁻⁴ (20°C) (AGRITOX)	1,6.10 ⁻² à 25°C (AGRITOX)	0,579 (UE)	7 à 46 (AGRITOX)	3 à 27 (AGRITOX)	céréales			
chloralose			R	*	-		-				Utilisé en non agricole (Ville de Rennes)		
chlorothalonil	C ₈ Cl ₄ N ₂	dérivé du benzène	F	**	3,4.10 ⁻² (AGRITOX)	0,077 à 25°C (AGRITOX)	0,0036 (comm tox) 0,03 (OMS)	330 à 7000 (AGRITOX)	18 à 70 (AGRITOX)	cultures légumières, vigne et pois		suivi INERIS ; utilisé en Poitou-Charentes : mai pour le pois et le blé, juin pour la vigne	GC-MS
chlorpyrifos-éthyl	C ₉ H ₁₁ Cl ₃ NO ₃ PS	organo-phosphoré	I	**	1,75 (AGRITOX)	2,52 à 25°C (AGRITOX)	0,01 (OMS) 0,003 (com tox)	2500 à 14000 (AGRITOX)	10 à 56 (AGRITOX)	toutes cultures		suivi INERIS ; très peu utilisé en Bretagne	GC-MS
chlortoluron	C ₁₀ H ₁₃ ClN ₂ O	urée	H	*	5,3.10 ⁻⁵ (AGRITOX)	0,0175 à 20°C (AGRITOX)	0,02 (comm tox)	108 à 384 (AGRITOX)	26 à 42 (AGRITOX)	céréales		pas utilisé selon Chambre d'Agriculture ; à retenir selon ENSP	HPLC-DAD
clodinafop-propargyl	C ₁₇ H ₁₃ ClFNO ₄	aryloxyphénoxypropionate	H	**	2,79.10 ⁻⁴ (25°C) (AGRITOX)	0,0053 à 20°C (AGRITOX)	0,001 (comm tox)	251 à 2358 (AGRITOX)	5 à 20 (AGRITOX)	mars-avril pour rattrapages éventuels sur céréales	Utilisé agricole	pour vulpin, mais très peu de problème de vulpin en Bretagne	GC-MS
clofentezine	C ₁₄ H ₈ Cl ₂ N ₄	tétrazine	I	*	-	0,13.10 ⁻³ à 25°C (AGRITOX)	0,02 (FAO/OMS)	170 (AGRITOX)	30 à 72 (AGRITOX)		Utilisé en non agricole (Ville de Rennes)		
clopyralide	C ₆ H ₃ Cl ₂ NO ₂	acide picolinique	H	*	3,1.10 ⁻⁵ (AGRITOX)	1,33 à 24°C (AGRITOX)	0,1 (com tox)	0,4 à 12,9 (AGRITOX)	10 à 15 (AGRITOX)	maïs			

cyfluthrine	C ₂₂ H ₁₈ Cl ₂ FNO ₃	pyréthriinoïde	I		-	<1,333 à 20°C		0,2 (OMS)	environ 100000 (AGRITOX)	26 à 40 (AGRITOX)	céréales , 15 mai au 15 juin	Utilisé agricole		
cyperméthrine	C ₂₂ H ₁₉ Cl ₂ NO ₃	pyréthriinoïde	I		-	0,19.10 ⁻³ à 20°C (AGRITOX)		0,05 (OMS)	160000 à 200000 (AGRITOX)	14 à 28 (AGRITOX)	céréales , 15 mai au 15 juin	Utilisé agricole		
cyproconazole	C ₁₅ H ₁₈ ClN ₃ O	triazole	F	**	7,3.10 ⁻⁵ (AGRITOX)	0,035 à 20°C (AGRITOX)		0,01 (com tox)	173 à 711 (AGRITOX)	8 à 89 (AGRITOX)	15 au 30 mai (2ème ttt) sur céréales	Utilisé agricole		GC-MS
cyprodinil	C ₁₄ H ₁₅ N ₃	phénylaminopyrimidine	F	*	8,49.10-3 (20°C) (AGRITOX)	0,51 à 25°C (AGRITOX)		0,03 (com tox)	1550 à 4393 (AGRITOX)	3,5 à 49 (AGRITOX)	15 au 30 avril (1er ttt)	Utilisé agricole		
déisopropylatrazine =déséthylsimazine	C ₅ H ₈ ClN ₅	triazine, métabolite de l'atrazine		*									métabolite de l'atrazine, conseillé ENSP	GC-MS
deltaméthrine	C ₂₂ H ₁₉ Br ₂ NO ₃	pyréthriinoïde	I	***	3,13.10 ⁻² (25°C) (AGRITOX)	1,24.10 ⁻⁵ à 20°C (AGRITOX)		0,01 (UE)	460000 à 1,63.10 ⁷ (AGRITOX)	21 (AGRITOX)	céréales 15 mai au 15 juin	Très utilisé agricole	suivi INERIS, très très utilisé en Bretagne	GC-MS
desméthyne													rajout ENSP mais pas connu	
déséthylatrazine	C ₆ H ₁₀ ClN ₅	triazine, métabolite de l'atrazine		*									métabolite de l'atrazine, conseillé ENSP	GC-MS
diazinon	C ₁₂ H ₂₁ N ₂ O ₃ PS	organo-phosphoré	I	**	1,15.10 ⁻² (INERIS)	18,8 à 20°C (AGRITOX)		0,002 (INERIS)	85 à 1842 (AGRITOX)	21 à 103 (AGRITOX)	cultures légumières		suivi INERIS	GC-MS
dicamba	C ₈ H ₆ Cl ₂ O ₃	acide benzoïque	H		4,43.10 ⁻¹⁰ (AGRITOX)	1,231 à 25°C (AGRITOX)		0,02 (com tox)	3,45 à 21,2 (AGRITOX)	3 à 26 (AGRITOX)	maïs			
dichlorprop	C ₉ H ₈ Cl ₂ O ₃	aryloxyacide	H	*	<6,5.10-6 (AGRITOX)	<0,010 à 20°C (AGRITOX)		-	-	8 à 12 (AGRITOX)		Utilisé en non agricole (SNCF)		
dichlorvos	C ₄ H ₇ Cl ₂ O ₄ P	organo-phosphoré	I	**	0,19 (INERIS)	2,1.10 ³ à 20°C (AGRITOX)		0,004 (INERIS)	-	-	cultures légumières		suivi INERIS	GC-MS
diflufénicanil	C ₁₉ H ₁₁ F ₅ N ₂ O ₂	pyridinécaboxamide	H	**	0,033 (INERIS)	0,031 à 25°C (AGRITOX)		0,25 (INERIS)	1622 à 2369 (AGRITOX)	90 à 270 (AGRITOX)	DDE : mars à juin ; agricole : 15 déc au 15/20 mars cette année (car hiver pluvieux) sur céréales	Très utilisé agricole		GC-MS
diméthénamid	C ₁₂ H ₁₈ ClNO ₂ S	chloro-acétamide	H	*	8,63.10 ⁻³ (20°C) (AGRITOX)	37,15 à 25°C (AGRITOX)		0,04 (commis tox)	90 à 474 (AGRITOX)	4 à 35 (AGRITOX)	20 avril au 15 mai (fonction date semis) sur maïs	Utilisé agricole	à rechercher selon ENSP	GC-MS
dinoterbe	C ₁₀ H ₁₂ N ₂ O ₅			*	-	0,15 à 20°C	oui	-	-	-				

diuron	C ₉ H ₁₀ Cl ₂ N ₂ O	urée	H	***	5,1.10 ⁻⁵ (INERIS)	-	oui	0,0015 (AGRITOX)	29 à 902 (AGRITOX)	56 à 231 (AGRITOX)	arbres fruitiers, surtout usage non agricole autorisé qu'au mois de mars en association en milieu non agricole en Bretagne, limité en agricole	Utilisé non agricole	très peu utilisé en agricole	HPLC-DAD
endosulfan	C ₉ H ₆ Cl ₆ O ₃ S	organo- halogéné	I	**	2,9.10 ⁻² (AGRITOX)	0,83 à 20°C (AGRITOX)		0,006 (OMS) 0,015 (INERIS)	7969 à 21347 (AGRITOX)	36 à 93 (AGRITOX)	cultures légumières		pas utilisé en Bretagne selon Chambre d'Agriculture	GC-MS
époxyconazole	C ₁₇ H ₁₃ ClFN ₃ O	triazole	F	**	-	<0,01 à 20°C (AGRITOX)		0,005 (comm tox)	957 à 2647 (AGRITOX)	-	céréales 1er ttt : du 15 au 30 avril ; 2ème ttt : du 15 au 30 mai	Très utilisé agricole	produit de base dans fongicide, très très utilisé	GC-MS
EPTC	C ₉ H ₁₉ NOS	carbamate	H		-	20,2 à 25°C (AGRITOX)		0,025 (SIS)	170 à 280 (AGRITOX)	6 à 30 (AGRITOX)			rajout ENSP (très peu utilisé en agri)	
fénoprop			H										rajout ENSP mais pas connu	
fénoxaprop-p-éthyl	C ₁₈ H ₁₆ ClNO ₅	aryloxyphénoxy propionate	H	***	7,24.10 ⁻⁴ (25°C) (AGRITOX)	0,0014 à 25°C (AGRITOX)		0,01(com tox) 0,009 (INERIS)	5602 à 16774 (AGRITOX)	-	céréales mars-avril ; pour rattrapages éventuels	Très utilisé agricole	suivi INERIS	GC-MS
fenpropidine	C ₁₉ H ₃₁ N	pipéridine	F	**	8,7.10 ⁻² (25°C) (AGRITOX)	21 à 25°C (AGRITOX)		0,005 (com tox)	464 à 2580 (AGRITOX)	14 à 90 (AGRITOX)	blé, orge, betterave		un peu utilisé en Bretagne	GC-MS
fenpropimorphe	C ₂₀ H ₃₃ NO	morpholine	F	**	0,16 (INERIS)	2,3 à 20°C (AGRITOX)		0,003 (INERIS)	2772 à 5943 (AGRITOX)	15 à 98 (AGRITOX)	céréales		suivi INERIS ; utilisé en Poitou- Charentes mai/juin ; utilisé un peu en Bretagne	GC-MS
flazasulfuron	C ₁₃ H ₁₂ F ₃ N ₅ O ₅ S	sulfonylurée	H	*	<2,58.10 ⁻⁶ (AGRITOX)	<1,33.10 ⁻² à 25°C (AGRITOX)		0,013 (Com tox)	30 à 100 (AGRITOX)	2 à 18 (AGRITOX)		Utilisé en non agricole (SNCF)		
florasulam	C ₁₂ H ₈ O ₃ N ₅ F ₃ S	sulfonamide	H	*	3,29.10 ⁻⁵ (20°C) (UE)	10 ⁻² à 25°C (AGRITOX)		0,05 (UE)	4 à 54 (AGRITOX)	2 à 18 (AGRITOX)	céréales			
flufénacet	C ₁₄ H ₁₃ F ₄ N ₃ O ₂ S	oxy-acétamide	H	**	9.10 ⁻⁴ (20°C) (AGRITOX)	0,2 à 25°C (AGRITOX)		0,01 (com tox)	113 à 696 (AGRITOX)	13 à 54 (AGRITOX)	maïs 20 avril au 15 mai (fonction date semis)	Utilisé agricole		GC-MS
flupyrsulfuron- méthyle	C ₁₅ H ₁₃ F ₃ N ₅ O ₇ S NA	sulfonylurée	H		<10 ⁻⁹ (UE)	<10 ⁻⁶ à 20°C (AGRITOX)		0,035 (UE)	15 à 23 (AGRITOX)	6 à 11 (AGRITOX)		Utilisé agricole	février-mars pour rattrapages éventuels	

fluroxypyr	C ₇ H ₅ Cl ₂ FN ₂ O ₃	acide picolinique	H	*	1,06.10 ⁻⁸ (UE)	3,78.10 ⁻⁶ à 20°C (AGRITOX)		0,8 (UE)	51 à 81 (AGRITOX)	34 à 68 (AGRITOX)	DDE: mars à juin	Utilisé en non agricole		
flusilazole	C ₁₆ H ₁₅ F ₂ N ₃ Si	triazole	F	**	2,7.10 ⁻⁹ (AGRITOX)	14,8 à 25°C (AGRITOX)		0,001 (OMS)	984 à 1888 (AGRITOX)	63 à 240 (AGRITOX)	vigne et céréales		déecté Poitou en mai/juin ; en Centre en juillet/août ; conseil ENSP	GC-MS
folpel	C ₉ H ₄ Cl ₃ NO ₂ S	dicarboximide	F	**	0,38 (INERIS) 7,8.10 ⁻³ (AGRITOX)	2,1.10 ⁻⁵ à 25°C (AGRITOX)		0,01 (INERIS) 0,1 (OMS)	-	14 à 21 (AGRITOX)			suivi INERIS	Pas analysable
glufosinate	C ₅ H ₁₂ NO ₄ PH ₃ N	acide aminé	H	*	1,18.10 ⁻⁹ (AGRITOX)	<0,1 à 20°C (AGRITOX)		0,2 (FAO/OMS)	-	6 à 23 (AGRITOX)		Utilisé en non agricole (Ville de Rennes)		
glyphosate	C ₃ H ₈ NO ₅ P	acide aminé	H	**	4,6.10 ⁻¹⁰ (INERIS) 2,1.10 ⁻⁷ (25°C) (UE)	0,0131 à 25°C (AGRITOX)	oui	0,3 (INERIS)	>1000 (AGRITOX)	8 à 30 (AGRITOX)	DDE: mars à juin ; agricole : pour préparation des sols : soit fin mars, soit après récolte (en été)	Utilisé non agricole (DDE SNCF)		Pas analysable
hexaconazole	C ₁₄ H ₁₇ Cl ₂ N ₃ O	triazole	F	**	3,24.10 ⁻⁴ (AGRITOX)	0,02 à 20°C (AGRITOX)		0,005 (com tox)	>1500 (AGRITOX)	-	15 au 30 mai (2ème tt) sur céréales	Utilisé agricole		GC-MS
huile de colza			I	*	-	-		-	-	-		Utilisé en non agricole (Ville de Rennes)		
huile de vaseline			I	*	-	-		-	-	-		Utilisé en non agricole (Ville de Rennes)		
hydroxyatrazine	C ₈ H ₁₅ ON ₅	triazine, métabolite de l'atrazine		*									métabolite de l'atrazine, conseillé ENSP	Pas analysable
imazaméthabenz-méthyl	C ₁₆ H ₂₀ N ₂ O ₃	imifazolinone	H	*	1,44.10 ⁻⁹	0,0015 à 25°C (AGRITOX)		-	66 (AGRITOX)	30 à 276 (AGRITOX)	blé, orge		nouvelle molécule ; conseil ENSP	HPLC-DAD
ioxynil	C ₇ H ₃ NO	benzonnitrile	H	**	<7,4.10 ⁻³ (AGRITOX)	<1 à 20°C (AGRITOX)		0,005 (com tox)	182 à 276 (AGRITOX)	-	15 déc au 15/20 mars cette année (hiver pluvieux) pour céréales (en association)	Utilisé agricole		Pas analysable

isoproturon	C ₁₂ H ₁₈ N ₂ O	urée	H	***	9,7.10 ⁻⁶ (20°C) 14,6.10 ⁻⁶ (25°) (UE)	0,0033 à 20°C (AGRITOX)	oui	0,006 (OMS) 0,015 (INERIS)	36 à 241 (AGRITOX)	12 à 33 (AGRITOX)	blé et orge 15 déc au 15/20 mars cette année (hiver pluvieux)	Très utilisé agricole		HPLC-DAD
isoxaflutole	C ₁₅ H ₁₂ F ₃ NO ₄ S	oxazole	H	*	1,87.10 ⁻⁵ (20°C) (AGRITOX)	0,001 à 25°C (AGRITOX)		0,02 (com tox)	93 à 165 (AGRITOX)	2 à 7 (AGRITOX)	maïs			
krésoxim-méthyl	C ₁₈ H ₁₉ NO ₄	strobilurine	F	**	3,6.10 ⁻⁴ (20°C) (INERIS)	0,0023 à 20°C (AGRITOX)		0,4 (INERIS)	219 à 372 (AGRITOX)	-	blé, vigne 1er ttt : du 15 au 30 avril	Très utilisé agricole	suivi INERIS, très très utilisé en Bretagne : molécule développée récemment	GC-MS
lambda-cyhalothrine	C ₂₃ H ₁₉ ClF ₃ NO ₃	pyréthrineoïde	I	**	0,02 (20°C) (UE)	0,0002 à 20°C (AGRITOX)		0,005 (UE)	38000 à 345000 (AGRITOX)	6 à 37 (AGRITOX)	céréales 15 mai au 15 juin	Utilisé agricole		GC-MS
lindane (gamma HCH)	C ₆ H ₆ Cl ₆	organochloré		**	0,98 (INERIS)	1,2.10-3 à 20°C (fiche tox INRS)		0,001 (INERIS)	-	121? (INERIS)			interdit depuis 1998 en France	GC-MS
malathion	C ₁₀ H ₁₉ O ₆ PS ₂	organo- phosphoré	I	*	2,8.10 ⁻³ (INERIS)	5,3 à 30°C (AGRITOX)		0,3 (INERIS)	93 à 1800 (AGRITOX)	1 à 25 (AGRITOX)				
mécoprop	C ₁₀ H ₁₁ ClO ₃	aryloxyacide	H	*	5,7.10 ⁻⁵ (20°C) (AGRITOX)	0,31 à 20°C (AGRITOX)		-	5 à 43 (AGRITOX)	-	15 déc au 15/20 mars cette année (car hiver pluvieux)	Utilisé agricole	conseillé ENSP	Pas analysable
méfenpyr-diéthyl	C ₁₆ H ₁₈ Cl ₂ N ₂ O ₄		H	*	1,175.10 ⁻⁴ (20°C) 2,614.10 ⁻⁴ (25°C) (AGRITOX)	0,014 à 25°C (AGRITOX)		0,5 (ACTA)	486 à 823 (AGRITOX)	0 à 7 (AGRITOX)				
mésotrione	C ₁₄ H ₁₃ NO ₇ S	tricétone	H	*	<4,7.10 ⁻⁷ (20°C) (AGRITOX)	<0,0057 à 20°C (AGRITOX)		0,005 (com tox)	29 à 186 (AGRITOX)	3 à 7 (agritox)	15 déc au 15/20 mars ctte année (car hiver pluvieux)			
métaldéhyde	C ₈ H ₁₆ O ₄		M	*	-	-		-	-	-		Utilisé en non agricole (Ville de Rennes)		
métazachlore	C ₁₄ H ₁₆ ClN ₃ O	chloroacétanili de	H	*	5,74.10 ⁻⁵ (AGRITOX)	0,047 à 20°C (AGRITOX)		0,036 (com tox)	70 à 80 (AGRITOX)	3 à 8 (AGRITOX)	15 déc au 15/20 mars ctte année (car hiver pluvieux)			
metconazole	C ₁₇ H ₂₂ Cl N ₃ O	triazole	F	*	-	0,013 à 20°C (AGRITOX)		0,002 (com tox)	1019 à 1592 (AGRITOX)	-	15 au 30 mai (2ème ttt)	Utilisé agricole		
métolachlore	C ₁₅ H ₂₂ Cl ₆ NO ₂	chloro- acétanilide	H	*	9,1.10 ⁻⁴ (INERIS)	1,7 à 20°C (AGRITOX)		0,03 (INERIS)	41 à 114 (AGRITOX)	14 à 51 (AGRITOX)	maïs, tournesol	Utilisé agricole	suivi INERIS ; utilisé en Poitou sur maïs du 15/03 au 15/05	GC-MS

métosulam	C ₁₄ H ₁₃ Cl ₂ N ₅ O ₄ S	triazolopyramidine	H		8.10 ⁻¹³ (20°C) (AGRITOX)	0,4.10 ⁻⁹ à 20°C (AGRITOX)		0,025 (com tox)	51,5 à 264,7 (AGRITOX)	25 (AGRITOX)	maïs, 20 avril au 15 mai (fonction date semis)	Utilisé agricole		
metsulfuron méthyle	C ₁₄ H ₁₅ N ₅ O ₆ S	sulfonylurée	H		2,3.10 ⁻¹⁰ (20°C) (UE) 4,5.10 ⁻¹¹ (25°C) (UE)	3,3.10 ⁻⁷ à 25°C (AGRITOX)		0,22 (UE)	4 à 60 (AGRITOX)	4 à 100 (AGRITOX)	céréales, février-mars pour rattrapages éventuels	Utilisé agricole		
nicosulfuron	C ₁₅ H ₁₈ N ₆ O ₆ S	sulfonylurée	H	*	-	<0,075 à 110°C (AGRITOX)		0,4 (com tox)	4,6 à 29,9°C (AGRITOX)	5 à 15 (AGRITOX)	maïs, 15 au 20 juin pour 2ème passage	Très utilisé agricole		
oxadiazon = oxydiazon	C ₁₅ H ₁₈ Cl ₂ N ₂ O ₃	oxadiazole	H	**	3,57.10 ⁻⁷ (25°C) (INERIS)	1,044 à 25°C (AGRITOX)		0,005 (ACTA) 0,004 (com tox)	1409 à 3268 (AGRITOX)	30 à 180 (AGRITOX)	DDE : mars à juin	Utilisé non agricole (Ville de Rennes et DDE)		GC-MS
parathion-méthyl	C ₈ H ₁₀ NO ₅ PS	organo-phosphoré	I	**	9,6.10 ⁻⁴ (INERIS)	0,41 à 25°C (AGRITOX)		0,003 (INERIS)	236 (AGRITOX)	3 à 30 (AGRITOX)	cultures légumières, arbres fruitiers		suivi INERIS ; en Bretagne, quasiment jamais utilisé	GC-MS
pendiméthaline	C ₁₃ H ₁₉ N ₃ O ₄	dinitroaniline	H	*	3,78 (INERIS)	4,03 à 25°C (AGRITOX)		0,125 (Com tox)	6700 à 29400 (AGRITOX)	30 à 150 (AGRITOX)	maïs, blé		pas trop utilisé en Bretagne, mais retrouvé dans rivière ; retrouvé au Poitou (15/03 au 15/05) ; conseillé ENSP	GC-MS
perméthrine	C ₂₁ H ₂₀ Cl ₂ O ₃	pyréthrianoïde	I	*	3,33.10 ⁻⁴ (INERIS)	0,0458 à 25°C (AGRITOX)		0,05 (INERIS)	-	-				
picoxystrobine	C ₁₈ H ₁₆ F ₃ NO ₄	strobilurine	F	*	6.10 ⁻⁹ (AGRITOX)	0,0055 à 20°C (AGRITOX)		0,043 (com tox)	898 (AGRITOX)	3 à 35 (AGRITOX)	céréales, 15 au 30 avril (1er ttt)	Très utilisé agricole		
prochloraze	C ₁₅ H ₁₆ Cl ₃ N ₃ O ₂	imidazole	F	**	1,64.10 ⁻³ (AGRITOX)	0,15 à 25°C (AGRITOX)		0,01 (OMS)	1222 à 5818 (AGRITOX)	172 à 519 (AGRITOX)	céréales, 15 au 30 avril (1er ttt)	Utilisé agricole		Pas analysable
propiconazole	C ₁₅ H ₁₇ Cl ₂ N ₃ O ₂	triazole	F	**	4.10 ⁻⁴ (AGRITOX)	0,13 à 20°C (AGRITOX)		0,02 (com tox)	382 à 1789 (AGRITOX)	17 à 411 (AGRITOX)		Utilisé en non agricole (Ville de Rennes)		
prosulfocarbe	C ₁₄ H ₂₁ NOS	carbamate	H		-	7 à 25°C (AGRITOX)		-	1367 (AGRITOX)	4 à 19 (AGRITOX)	céréales			
prosulfuron	C ₁₅ H ₁₆ F ₃ N ₅ O ₄ S	sulfonylurée	H	*	<3.10 ⁻⁴ (25°C) (UE)	<3,5.10 ⁻³ à 25°C (AGRITOX)		0,02 (UE)	4 à 41 (AGRITOX)	4 à 36 (AGRITOX)	maïs			

pyrachlostrobine	C ₁₉ H ₁₈ ClN ₃ O ₄	strobilurine	F	*	5,307.10 ⁻⁶ à 20°C (AGRITOX)	6,4.10 ⁻⁵ à 25°C (AGRITOX)		0,04	-	-	céréales, 15 au 30 avril (1er ttt)	Très utilisé agricole		
pyréthrine			I		-			0,04					quasiment pas utilisé en Bretagne	
pyridate	C ₁₉ H ₂₃ ClN ₂ O ₂ S	pyridazine	H	*	1,21.10 ⁻⁴ (20°C)(UE)	0998.10 ⁻³ à 25°C (AGRITOX)		0,017 (ACTA) 0,036 (UE)	20 à 188 (AGRITOX)	1,5 à 7,7 (AGRITOX)				
quinoxifen	C ₁₅ H ₆ Cl ₂ FNO	quinoléine	F	*	3,19.10 ⁻² (AGRITOX)	0,02 à 25°C (AGRITOX)		0,2 (com tox)	15415 à 28897 (AGRITOX)	-	céréales, 15 au 30 avril (1er ttt)	Utilisé agricole		
rimsulfuron	C ₁₄ H ₁₇ N ₅ O ₇ S ₂	sulfonylurée	H	*	8,2.10 ⁻⁴ (AGRITOX)	1,35.10 ⁻³ à 25°C (AGRITOX)		0,016 (com tox)	140 (AGRITOX)	8 à 10 (AGRITOX)	maïs			
simazine	C ₇ H ₁₂ ClN ₆	triazine	H	**	-	0,81.10 ⁻³ à 20°C (AGRITOX)	oui	0,001 (com tox)	79 à 377 (AGRITOX)	14 à 146 (AGRITOX)				GC-MS
sulcotrione	C ₁₄ H ₁₃ ClO ₅ S	tricétone	H	***	9,6.10 ⁻⁴	5,39.10 ⁻³ à 25°C (AGRITOX)		<0,0001 (LIG'AIR)	1,08 à 8,98 (AGRITOX)	2 à 6 (AGRITOX)	maïs, du 15 juin au 20 juin pour 2ème passage	Très utilisé agricole		Pas analysable
tau-fluvalinate	C ₂₆ H ₂₂ ClF ₃ N ₂ O ₃	pyréthrianoïde	I	*	-	<0,0133 à 25°C (AGRITOX)		0,01 (INERIS)	110000 à 1,589.10 ⁶ (AGRITOX)	6 à 40 (AGRITOX)				
tebuconazole	C ₁₆ H ₂₂ ClN ₃ O	triazole	F	*	1,2.10 ⁻⁵ (INERIS)	0,969.10 ⁻³ à 20°C (AGRITOX)		0,03 (INERIS)	803 à 1251 (AGRITOX)	43 à 170 (AGRITOX)	céréales, cultures légumières	Utilisé agricole	suivi INERIS	GC-MS
tebutame	C ₁₅ H ₂₃ N ₂ O	chloro-acétamide	H	*	-	-		-	-	-	colza		rajout ENSP ; utilisé en Poitou (15/08 au 15/10)	GC-MS
terbufos	C ₉ H ₂₁ O ₂ PS ₃	organo-phosphoré	I	**	1 (AGRITOX)	35 à 25°C (AGRITOX)		0,0002 (AGRITOX)	288 à 1069 (AGRITOX)	5 à 30 (AGRITOX)	maïs 20 avril au 15 mai (au moment des semis)	Utilisé agricole		GC-MS
terbutylazine	C ₉ H ₁₆ ClN ₅	triazine	H	**	4.10 ⁻³ (AGRITOX)	0,15 à 20°C (AGRITOX)		0,003 (com tox) 0,0022 (INERIS)	162 à 447 (AGRITOX)	30 à 60 (AGRITOX)	vigne		suivi INERIS ; détecté en Poitou (traitement au printemps)	GC-MS
tétraconazole	C ₁₃ H ₁₁ Cl ₂ F ₄ N ₃ O	triazole	F	*	-	1,6 à 20°C (AGRITOX)		0,015 (com tox)	-	-	céréales 15 au 30 mai (2ème ttt)	Utilisé agricole	rajout ENSP	GC-MS
thifensulfuron méthyl	C ₁₂ H ₁₃ N ₅ O ₆ S ₂	sulfonylurée	H	*	1,3.10 ⁻¹² (UE)	17.10 ⁻⁶ à 25°C (AGRITOX)		0,01 (UE)	13 à 55 (AGRITOX)	3 à 20 (AGRITOX)	maïs			
thiocyanate d'ammonium	NH ₄ NCS	minéral		*	-	300 à 41°C (AGRITOX)		-	-	-		Utilisé non agricole (SNCF)		
triasulfuron	C ₁₄ H ₁₆ ClN ₅ O ₅ S	urée	H	**	<8.10 ⁻⁵ (UE)	<0,002 à 25°C (AGRITOX)		0,01(UE)	7 à 25 (AGRITOX)	3 à 48 (AGRITOX)	céréales			
tricypyr	C ₇ H ₄ Cl ₃ NO ₃	acide picolinique	H	**	8,2.10 ⁻¹⁰ (25°C) (AGRITOX)	0,1696 à 25°C (AGRITOX)		0,005 (com tox)	41 à 59 (AGRITOX)	7 à 46 (AGRITOX)	DDE : de mars à juin	Utilisé non agricole (DDE)		Pas analysable

trifluraline	C ₁₃ H ₁₆ F ₃ N ₃ O ₄	dinitroaniline	H	**	16,8 (INERIS)	13,7 à 25°C (AGRITOX)	0,0024 (INERIS)	2500 à 13700 (AGRITOX)	60 à 132 (AGRITOX)	colza, tournesol, cultures légumières		suivi INERIS ; à retenir selon Chambre d'Agriculture ; utilisation au printemps en Poitou sur tournesol	GC-MS
triforine	C ₁₀ H ₁₄ Cl ₆ N ₄ O ₂	pipérazine	F	*	-	0,027 à 25°C (AGRITOX)	0,02 (FAO/OMS)	200 (AGRITOX)	3 à 21 (AGRITOX)		Utilisé non agricole (Ville de Rennes)		

critère de sélection rempli	molécule recherchée en 2003
-----------------------------	-----------------------------

oxadixyl	C ₁₄ H ₁₈ N ₂ O ₄	phénylamide	F	*	2,7.10-7 (AGRITOX)	0,0033 à 20°C (AGRITOX)	0,01 (AGRITOX)	12 à 20 (AGRITOX)	90 à 300 (AGRITOX)	cultures légumières (lutte contre la maladie du Mildiou)			
----------	---	-------------	---	---	-----------------------	----------------------------	-----------------------	----------------------	-----------------------	---	--	--	--

F:fongicide
H:herbicide
I:insecticide
M:molluscicide
R:raticide

