

“L'air est **essentiel à chacun**
et mérite l'**attention de tous**.”

ETUDE

Stratégie de surveillance des produits phytosanitaires dans l'air en Bretagne

Rapport – version du 12/03/21



ORGANISME
DE MESURE, D'ÉTUDE
ET D'INFORMATION SUR
LA QUALITÉ DE L'AIR
EN BRETAGNE



Air Breizh
3 rue du Bosphore - Tour ALMA 8ème étage - 35200 Rennes
Tél : 02 23 20 90 90 – Fax : 02 23 20 90 95

www.airbreizh.asso.fr

Ce rapport s'inscrit dans le cadre du Programme Régional Santé Environnement (PRSE) déployé sur la Région Bretagne et a été financé à l'aide d'une subvention du PRSE.



Avertissement

Les informations contenues dans ce rapport traduisent la mesure d'un ensemble d'éléments à un instant et un lieu donné, caractérisé par des conditions climatiques propres.

Air Breizh ne saurait être tenu pour responsable des événements pouvant résulter de l'interprétation et/ou de l'utilisation des informations faites par un tiers.

Conditions de diffusion

Air Breizh est l'organisme agréé de surveillance de la qualité de l'air dans la région Bretagne, au titre de l'article L221-3 du Code de l'environnement, précisé par l'arrêté du 1^{er} aout 2016 pris par le Ministère de l'Environnement portant renouvellement de l'agrément de l'association.

À ce titre et compte tenu de ses statuts, Air Breizh est garant de la transparence de l'information sur les résultats des mesures et les rapports d'études produits selon les règles suivantes :

Air Breizh réserve un droit d'accès au public à l'ensemble des résultats de mesures et rapports d'études selon plusieurs modalités : document papier, mise en ligne sur son site internet www.airbreizh.asso.fr, résumé dans ses publications, ...

Toute utilisation de ce rapport et/ou de ces données doit faire référence à Air Breizh. Air Breizh ne peut, en aucune façon, être tenu responsable des interprétations et travaux utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels Air Breizh n'aura pas donné d'accord préalable.

Organisation interne – contrôle qualité

Rédacteur	Validation
Alain LAPLANCHE <i>(Président d'Air Breizh – Professeur émérite Ecole Nationale Supérieure de Chimie Rennes)</i>	Gaël LEFEUVRE <i>(Directeur)</i>
Olivier CESBRON <i>(ingénieur Etudes)</i> , Olivier LE BIHAN <i>(responsable du service Etudes)</i>	

Sommaire

I. Les produits phytosanitaires	6
I.1. Les sources d'émissions	6
I.2. Comportement dans l'environnement	10
I.3. Exposition des populations, toxicités aigue et chronique (VTR, AOEL, DJA)	13
I.3.1 Les voies d'exposition	14
I.3.2 Les seuils toxicologiques	14
I.3.3 Les réglementations	15
I.3.4 Etude réalisée en Bretagne sur les niveaux d'imprégnation biologique des femmes enceintes	18
I.3.5 Etudes en cours sur l'exposition des pesticides sur la santé des populations riveraines de zones agricoles :	18
I.3.6 Dispositifs de Veille	18
I.4. Concentrations dans l'air, revue de quelques études internationales et nationales.	18
I.4.1 Les études internationales et nationales	19
I.4.2 La campagne nationale exploratoire des pesticides (CNEP)	25
I.4.3 Les résultats régionaux	33
II. Méthodes de quantification disponibles	47
II.1. Revue des techniques de mesures disponibles (principe, caractéristiques, coûts, métrologie)	47
II.1.1 L'échantillonnage	47
II.1.2 L'extraction et la concentration	49
II.1.3 L'analyse chromatographique	49
II.2. Normes et guides méthodologiques préconisés par le LCSQA	50
II.2.1 Prélèvement actif	50
II.2.2 L'analyse	51
III. Dimensionnement d'une stratégie de surveillance dans l'air ambiant	52
III.1. Les paramètres qui peuvent influencer sur le niveau de l'exposition	54
III.1.1 La distance à la zone de traitement	54
III.1.2 La superficie traitée et les différentes cultures présentes	58
III.1.3 La nature des matières actives utilisées	58
III.1.4 La formulation des matières actives	59
III.1.5 La méthode de traitement et le matériel	59
III.1.6 La météorologie	59
III.1.7 La topographie des lieux	60
III.2. La modélisation des émissions de pesticides	60
III.3. Les situations d'exposition à considérer et les différentes approches d'une surveillance	64
III.3.1 La surveillance de fond sur le long terme	64
III.3.2 La surveillance de proximité et les études ponctuelles	65
III.3.3 Inventaire des émissions de pesticides	67
III.3.4 Modélisation de la dispersion atmosphérique des pesticides	68
III.3.5 Les moyens nécessaires à une surveillance pérenne	68
IV. Conclusion	70
V. BIBLIOGRAPHIE	71
Annexe I : Présentation d'Air Breizh	77
Annexe II : Informations sur les principaux produits phytosanitaires retrouvés en Bretagne	80
Annexe III : Caractéristiques physico-chimiques et environnementales de matières actives	90
Annexe IV : Molécules analysées dans la campagne ANSES : méthodologie, limites de détection (LD) (Echantillon et concentration)	92

Liste des figures

Figure 1 : Classification des pesticides - Source : Observatoire des résidus de pesticides (ORP)..... 6

Figure 2 : Moyennes triennales des ventes de produits phytosanitaires en France. [Source : http://dataviz.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/produits_phytopharmaceutiques/] 7

Figure 3 : Evolution des quantités de substances actives vendues en Bretagne [Source OEB]..... 7

Figure 4 : Cartographie des ventes de produits phytosanitaires en 2018 [source : OEB] 8

Figure 5 : Cartographie de la qualité des cours d'eau en fonction du nombre de produits phytosanitaires quantifiés [Source : OEB].....10

Figure 6 : Cartographie de la qualité des cours d'eau en fonction des concentrations mesurées [Source : OEB]10

Figure 7 : Fréquence de quantification des produits phytosanitaires dans l'eau pour le bassin Loire Bretagne en 2014.....11

Figure 8 : Cartographie des concentrations en Lindane dans les sols12

Figure 9 : Superficie par région et par classe de teneur en lindane (en µg/kg de terre)¹12

Figure 10 : les différentes voies d'exposition aux pesticides14

Figure 11 : Fréquence de détection des matières actives mesurées dans l'air [Source : Desert et al 2018]....19

Figure 12 : Distribution des concentrations des matières actives mesurées dans l'air [Source : Desert et al 2018]20

Figure 13 : Répartition des substances actives suivant la typologie des sites [Source : Desert et al 2018]20

Figure 14 : Répartition des prélèvements de produits phytosanitaires réalisés par les AASQA de 2002 à 201722

Figure 15 : Concentrations moyennes hebdomadaires relevées sur l'année 2016.....23

Figure 16 : Evolution des concentrations moyennes annuelles sur un site urbain de 2003 à 201723

Figure 17 : Evolution des concentrations moyennes mensuelles pour des sites de fond (2015-2017)24

Figure 18 : Répartition des sites de prélèvements de la campagne nationale exploratoire CNEP26

Figure 19 : Représentation des fréquences de détection et de quantification, pour toutes les substances quantifiées au moins une fois en métropole28

Figure 20 : Variation de la concentration moyenne mensuelle, couplée aux fréquences de détection et de quantification31

Figure 21 : Variation de la concentration moyenne mensuelle, couplée aux fréquences de détection et de quantification (suite)32

Figure 22 : Nombre de prélèvements réalisés par an34

Figure 23 : Historique général des prélèvements, des substances analysées et détectées34

Figure 24 : Site de Mordelles - Occupation des sols dans un rayon de 5 kms [Corine Land Cover]35

Figure 25 : Site de Henvic - Occupation des sols dans un rayon de 5 kms [Corine Land Cover]35

Figure 26 : Site de Lamballe - Occupation des sols dans un rayon de 5 kms [Corine Land Cover]36

Figure 27 : Site de prélèvement au niveau de la station expérimentale de la chambre d'agriculture à Kerguéhennec – Bignan 56.....37

Figure 28 : Evolution du nombre de molécules détectées par famille de 2005 à 2019 (Air breizh).....37

Figure 29 : Evolution hebdomadaire du nombre de substances détectées depuis 2005 (Air Breizh)38

Figure 30 : Evolution des charges totales hebdomadaires depuis 2005 (Air Breizh)38

Figure 31 : Classement des 10 substances les plus détectées à Mordelles de 2005 à 201939

Figure 32 : Evolution mensuelle des concentrations hebdomadaires par site (CNEP)41

Figure 33 : Les sites de prélèvement du projet RéPP'AIR42

Figure 34 : Les 4 actions du projet RéPP'AIR44

Figure 35 : Evolution du nombre de substances quantifiées par famille de pesticides (RéPP'AIR)45

Figure 36 : Evolution du nombre de substances quantifiées par semaine (RéPP'AIR)45

Figure 37 : Evolution de la charge totale hebdomadaire (en ng/m³) (RéPP'AIR).....45

Figure 38 : Pourcentage de quantification moyen par substance sur les campagnes 2017, 2018 et 2019 (RéPP'AIR)46

Figure 39 : Représentation d'un préleveur passif [Harner et al (2006)].....48

Figure 40 : Préleveur bas volume Partisol utilisé pour le prélèvement des pesticides dans l'air.....51

Figure 41 : Voies de transfert des pesticides (Bedos et al.)53

Figure 42 : Facteurs influençant la dérive (Bedos et al. 2007)53

Figure 43 : Paramètres liés aux pertes atmosphériques de pesticides (Guiral et al 2016).....54

Figure 44 : Mesures des concentrations atmosphériques pour l'alachlore et l'atrazine en fonction de l'éloignement de la parcelle.....55

Figure 45 : Evolution des concentrations atmosphériques pour l'alachlore et l'atrazine en fonction de du temps après l'application.....56

Figure 46 : Paramètres physico-chimique de la matière active influençant la volatilisation (Coscola et al 2014)58

Figure 47 : Mesures des dépôts de matière active sur une haie lors de la dérive (Seux, 2020)60

Figure 48 : Implantation des stations de mesure d'Air Breizh (au 01/01/21)79

Liste des tableaux

Tableau 1 : Liste des substances actives vendues en Bretagne en tonnes [source : OEB]	9
Tableau 2 : Données d'exposition de la population (en µg/kg/j)	13
Tableau 3 : Seuils toxicologiques des matières actives les plus courantes.....	16
Tableau 4 : Résultats des analyses réalisées dans les eaux de surface en 2016	17
Tableau 5 : Fréquence d'échantillonnage – campagne CNEP	27
Tableau 6 : Répartition des substances actives selon leur fréquence de détection en métropole	27
Tableau 7 : Répartition des substances actives selon leur concentration moyenne annuelle	28
Tableau 8 : Concentration maximale relevées durant la campagne CNEP	29
Tableau 9 : Historique des campagnes de mesures réalisées par Air Breizh depuis 2002	33
Tableau 10 : Substances les plus quantifiées par site de mesure (CNEP)	40
Tableau 11 : Résultats des concentrations moyennes annuelles (CNEP)	41
Tableau 12 : Exemple de méthode de prélèvement actif	47
Tableau 13 : Exemple de méthode de prélèvement passif	48
Tableau 14 : Mesures dans l'air réalisées pendant l'application du traitement (concentrations en ng/m ³)	55
Tableau 15 : Pertes de matière active en fonction du matériel utilisé (Sohelifard et al 2020)	59
Tableau 16 : Facteurs d'émission selon la méthode d'application et la tension de vapeur (EPA)	61
Tableau 17 : facteurs d'émissions en fonction de la pression de vapeur (EMAP 2013).....	62

I. Les produits phytosanitaires

Selon l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail), « les produits phytopharmaceutiques PPP sont des préparations destinées à protéger les végétaux et les produits issus des cultures ».

Ils appartiennent à la famille des pesticides (« substances ou préparations utilisées pour la prévention, le contrôle ou l'élimination d'organismes jugés indésirables, qu'il s'agisse de plantes, d'animaux, d'insectes, de champignons ou de bactéries »).

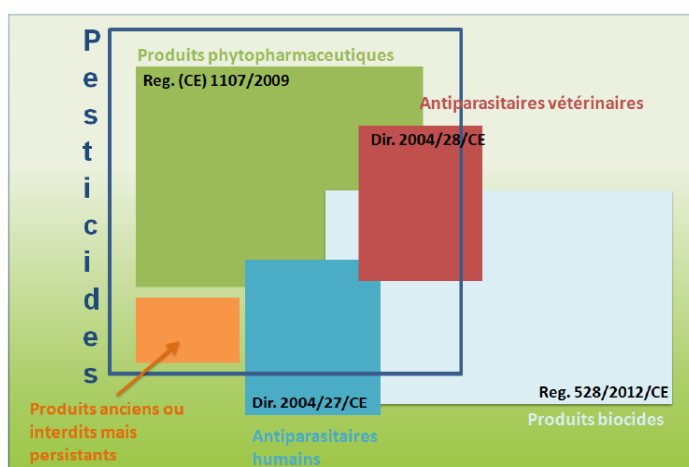


Figure 1 : Classification des pesticides - Source : Observatoire des résidus de pesticides (ORP)

Les pesticides ou composés phytopharmaceutiques sont utilisés à plusieurs fins :

- Les **insecticides** combattent les insectes nuisibles pour les plantes (vers, parasites...) ou pour les hommes (moustiques, mouches...).
- Les **herbicides** détruisent les mauvaises herbes des cultures ou servent au nettoyage des sols de particulier ou d'entreprises (SNCF...).
- Les **fungicides** servent à lutter contre les champignons et les parasites des cultures.

I.1. Les sources d'émission

a) En France :

La France est au 46^{ème} rang mondial et au 9^{ème} rang européen en quantité de substances actives vendues rapportée à l'hectare, avec 3,6 kg/ha en 2017 (source : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, www.fao.org).

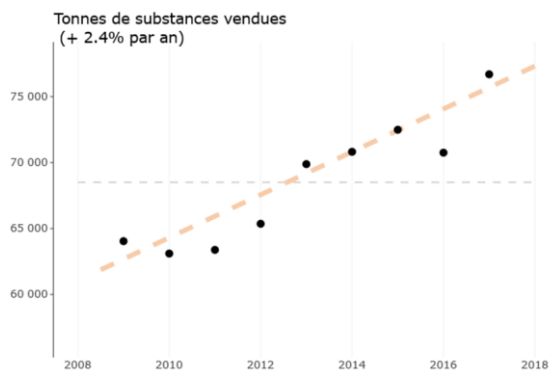


Figure 2 : Moyennes triennales des ventes de produits phytosanitaires en France. [Source : http://dataviz.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/produits_phytopharmaceutiques/]

Entre 2008 et 2018, les ventes triennales de produits phytosanitaires en France ont augmenté de près de 20%.

Plus de 75 000 Tonnes de substances ont été vendues en moyenne entre 2016 et 2018 (source : Office Français de la biodiversité, www.ofb.gouv.fr).

b) En Bretagne :

Pour 2018, l'observatoire de l'environnement en Bretagne donne les chiffres suivants : 2 942 tonnes réparties entre 340 matières actives ce qui représente 1.82 kg/ha.SAU.

En 2019, le total ne s'élève qu'à 1803 tonnes réparties entre 327 matières actives. (<https://bretagne-environnement.fr/evolution-ventes-produits-phytosanitaires-bretagne-datavisualisation>).

Les évolutions en quantité et par type d'usages sont données par les graphiques suivants :

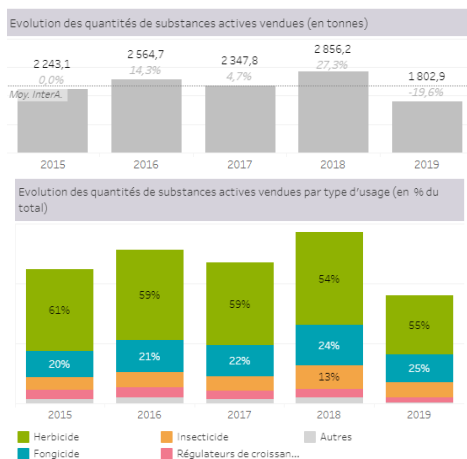
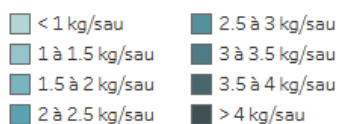


Figure 3 : Evolution des quantités de substances actives vendues en Bretagne [Source OEB]

La carte suivante donne les achats par région géographique :



2018 - Quantité de substances actives vendues (kg/ha SAU) par codes postaux

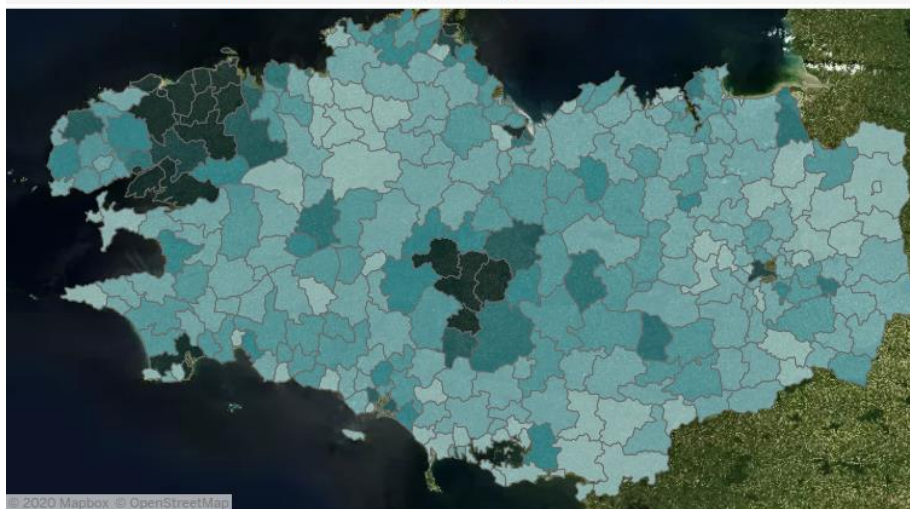


Figure 4 : Cartographie des ventes de produits phytosanitaires en 2018 [source : OEB]

Le tableau suivant résume la part des différentes matières actives dans les ventes effectuées en Bretagne.

Tableau 1 : Liste des substances actives vendues en Bretagne en tonnes [source : OEB]

Matière active		2014	2015	2016	2017	2018	2018 %	2019	2019 %
Glyphosate	H	390.7	349.6	340.1	376.0	414.0	14.1	267.1	14.8
Huile de vaseline	I	48.1	117.9	183.7	185.2	324.9	11.0	210.2	11.7
Prosulfocarb	H	111.6	164.5	283.9	276.4	312.6	10.6	131.7	7.3
S-metolachlore	H	137.0	143.8	154.2	150.6	164.7	5.6	113.0	6.3
Dimethenamide	H	63.6	80.1	103.2	89.4	110.7	3.8	75.9	4.2
Chlorothalonil	F	52.6	78.3	99.6	85.0	110.7	3.7	49.6	2.8
Mancozebe	F	121.5	44.9	74.7	69.2	103.3	3.5	63.5	3.5
Soufre	F	0.26	0.51	3.0	47.5	97.9	3.3	64.9	3.6
Pendimethaline	H	48.8	56.4	90.7	74.4	92.7	3.2	62.7	3.5
Chlormequat	A	81.7	89.3	105.3	96.3	86.7	2.9	39.6	2.2
Metam-Sodium	A	44.1	30.8	51.9	37.4	57.0	1.9	-	-
Prothioconazole	F	48.3	38.6	41.2	39.4	47.3	1.6	38.5	2.1
2,4 D	H	49.5	40.6	51.0	42.8	46.0	1.6	16.5	0.9
Propamocarbe	F	0	0	0	0	39.5	1.3	17.1	0.9
Tebuconazole	F	20.7	23.9	26.5	28.6	34.2	1.2	29.1	1.6
Terbutylazine	H	0	0	0	0.19	32.9	1.1	29.9	1.7
Mesotrione	H	23.5	27.0	27.6	25.5	32.8	1.1	25.4	1.4
Dicamba	H	19.8	22.2	25.7	24.3	30.2	1.0	25.1	1.4
Metazachlore	H	20.5	20.5	24.4	27.3	28.9	1.0	25.2	1.4
Ethephon	A	24.8	27.2	31.4	26.1	27.4	0.9	12.3	0.7
Diflufenicanil	H	13.4	20.0	24.9	21.4	26.5	0.9	19.2	1.1
Acclonifen	H	20.6	16.9	19.3	16.4	25.5	0.9	13.7	0.8
Thiachlopride	I	16.0	7.6	7.3	11.3	23.7	0.8	0.04	-
Prochloraze	F	19.0	17.7	21.9	16.8	20.7	0.7	17.5	1.0
Azoxystrobine	F	10.3	11.4	17.0	16.8	20.2	0.7	14.3	0.8
Thiophanate methyl	F	27.3	17.5	18.0	16.1	19.6	0.7	8.1	0.5
Dichlorprop	H	18.0	17.6	47.1	16.2	19.0	0.6	12.0	0.7
Bentazone	H	14.7	15.3	13.9	11.0	17.9	0.6	12.8	0.7
Thirame	F	7.9	6.9	8.8	11.3	16.3	0.6	6.2	0.3
Propyzamide	H	4.7	5.5	8.2	7.5	10.7	0.4	9.1	0.5
Cyprodinil	F	6.6	6.7	8.3	9.5	10.2	0.3	8.4	0.5
Fenpropodine	F	1.9	3.3	4.3	6.1	9.2	0.3	-	-
Chlorpyrifos Me	I	0.9	1.3	1.2	2.4	2.6	0.1	2.3	0.1
Chlorprophame	A	1.7	1.7	1.5	1.5	1.7	0.1	0.85	-
Triallate	H	1.0	0.9	1.3	1.1	1.7	0.1	1.6	0.1
Spiroxamine	F	3.9	3.1	3.4	2.0	1.5	0.1	1.6	0.1
Folpel	F	0	0	0.9	1.0	1.2	-	0.05	-
Pyrimethanil	F	0.5	0.5	0.5	0.2	0.5	-	0.5	-

Les produits phytosanitaires regroupent plus de 1000 substances. La liste des substances autorisées à utilisation est évolutive en fonction des créations de nouvelles molécules et des interdictions de mises sur le marché.

Ces substances sont très hétérogènes et notamment vis-à-vis de leurs propriétés physico-chimiques : volatilité, solubilité, rémanence, ... Ces propriétés sont l'un des facteurs d'influence de la présence des produits phytosanitaires dans les différents compartiments environnementaux.

I.2. Comportement dans l'environnement

Ces composés, qui ont tous une certaine toxicité, vont se disperser dans l'environnement et avant leur dégradation, se retrouvent dans l'eau, dans les sols et dans l'air. Notre nourriture, y compris l'eau que nous buvons, peut en contenir. Ce sont les résidus de pesticides.

Pour les cours d'eau et les ressources souterraines, il est possible de trouver des informations sur leur contamination.

Les cartes suivantes donnent le nombre de substances quantifiées aux points de contrôle des cours d'eau bretons ainsi qu'un aperçu de la quantification des molécules retrouvées.

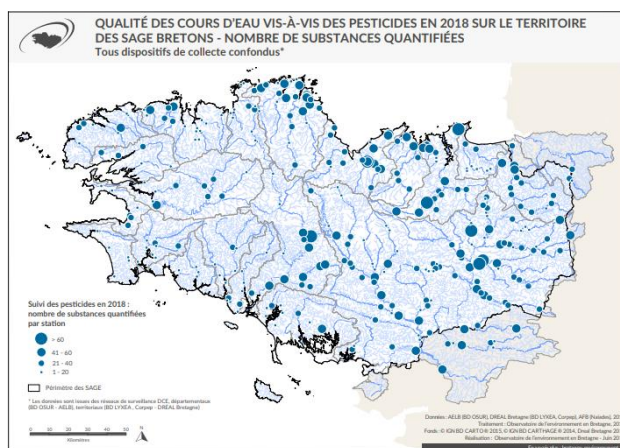


Figure 5 : Cartographie de la qualité des cours d'eau en fonction du nombre de produits phytosanitaires quantifiés [Source : OEB]

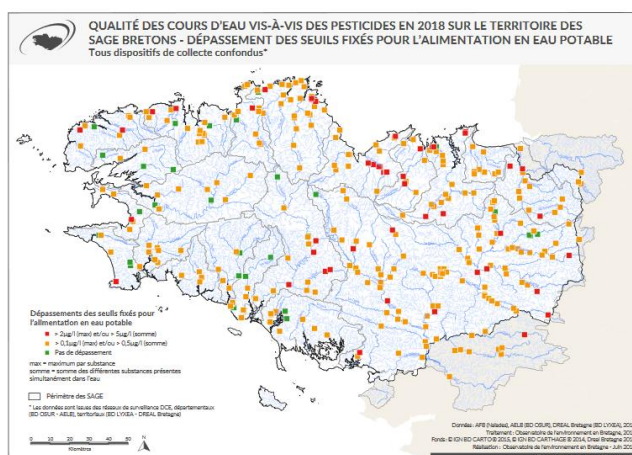


Figure 6 : Cartographie de la qualité des cours d'eau en fonction des concentrations mesurées [Source : OEB]

Stratégie régionale de surveillance des produits phytosanitaires dans l'air

Les points mis en rouge sur cette deuxième carte indiquent que l'eau de surface ne peut être utilisée comme ressource pour de l'eau potable car soit une substance dépasse la concentration de 2 µg/L soit l'ensemble des substances dépassent la concentration de 5 µg/L.

La figure suivante donne pour le bassin Loire/Bretagne la fréquence de quantification des pesticides dans les cours d'eau en 2014.

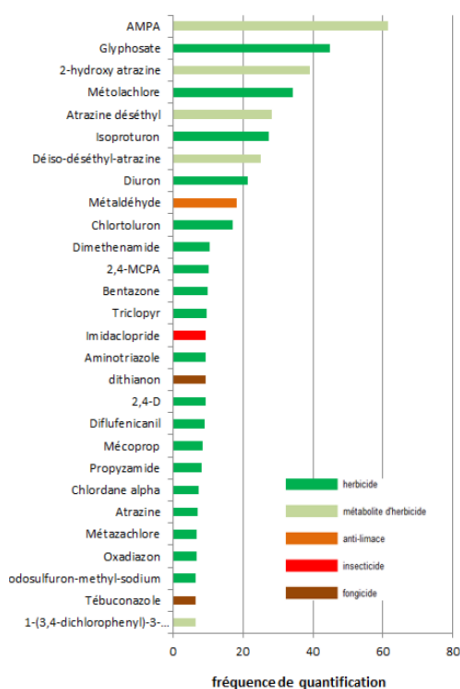


Figure 7 : Fréquence de quantification des produits phytosanitaires dans l'eau pour le bassin Loire Bretagne en 2014

Les pesticides rémanents peuvent rester longtemps présents dans les sols. C'est le cas du Lindane (isomère gamma de l'hexachlorocyclohexane) qui a été utilisé pendant plus de 50 ans comme insecticide. Bien qu'interdit depuis 1998 on le retrouve toujours dans les sols et dans l'air. Un rapport du gouvernement Français dresse une carte de la teneur en Lindane de la partie superficielle des sols. Les valeurs s'échelonnent entre 0,16 et 5 microgrammes par kilogramme (µg/kg) de sol. Les valeurs les plus élevées (plus de 2 µg/kg de sol) résultent d'un large usage du lindane comme insecticide dans les zones de culture intensive (Beauce, nord des Hauts-de-France), ou comme antiparasitaire dans les zones d'élevage intensif de volailles et de porcins (Bretagne).

Les sols bretons, riches en matière organique, ont ainsi fortement retenu le lindane épandu via les effluents d'élevage. À l'opposé, les valeurs les plus faibles s'observent dans les régions les plus boisées (Auvergne-Rhône-Alpes, Occitanie, Nouvelle Aquitaine, Provence-Alpes-Côte d'Azur) et plus particulièrement dans les Landes de Gascogne où les sols sableux, acides et pauvres en matière organique retiennent peu le lindane.

Le graphique suivant détaille le degré de pollution des sols par Région. La Bretagne est malheureusement la région la plus touchée par les résidus de cet insecticide.

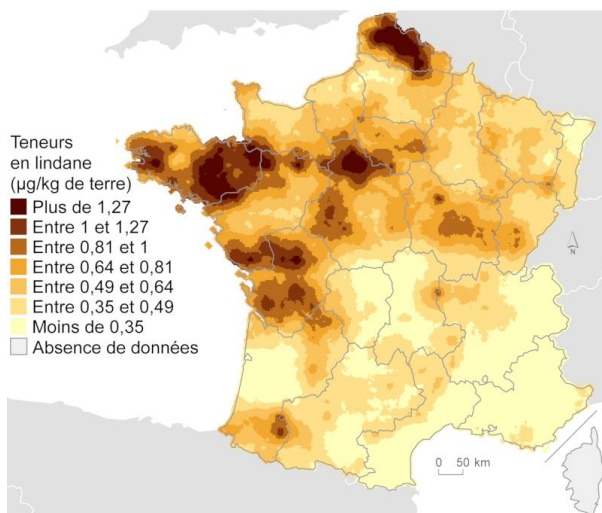


Figure 8 : Cartographie des concentrations en Lindane dans les sols¹

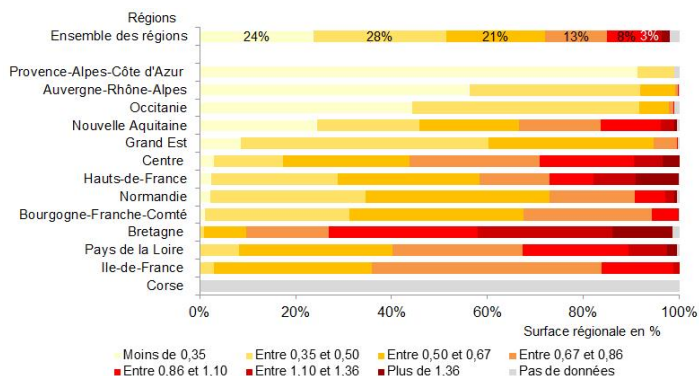


Figure 9 : Superficie par région et par classe de teneur en lindane (en µg/kg de terre)¹

Dans une publication assez ancienne, Barriuso et al (1996) donnent des temps de demi-vie dans le sol allant de quelques jours à quelques mois. Ce temps diminue avec l'humidité du sol et la température. La dégradation des matières actives est due principalement à une activité microbiologique.

Les données pour les concentrations trouvées dans l'air seront détaillées dans le paragraphe 1.4.

Pour l'alimentation, en dehors des très nombreuses analyses ponctuelles, il est possible dans un premier temps de se rapporter à l'article de Narbonne J.F. en 2018 qui s'intitule « Environnement, alimentation et santé : le point sur les connaissances ». Dans un tableau, il reprend les données de

¹ <https://www.gissol.fr/donnees/cartes/les-teneurs-en-lindane-des-horizons-de-surface-0-30-cm-des-sols-du-nord-de-la-france-2290>

l'ANSES de 2011 d'après l'étude EAT2. Les valeurs d'exposition sont rapportées dans le tableau suivant.

Tableau 2 : Données d'exposition de la population (en $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$)²

Substance	Exposition - $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$	Substance	Exposition - $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$
Dithiocarb	1.63	Dimetoate	1.24
Phorate	0.73	Imazalil	0.84
Iprodione	0.44	Endosulfan	0.42
Prochloraz	0.3	Dichlorvos	0.3
Folpel	0.29	Deltametrine	0.28
Quinalphos	0.27	Fenthion	0.25
Vinchlozoline	0.25	Dicofol	0.24
Methidathion	0.24	Phosalone	0.22
Phosmet	0.21	Pyrimiphos	0.21
Malathion	0.20	Fenitrothion	0.14
Chloropyriphos Ethyl	0.14	Chloropyriphos Methyl	0.135
Carbendazime	0.13	Diazonon	0.13
Carbofuran	0.13	Carbaryl	0.13
Chlofenvinphos	0.12	Ethion	0.12
Chlorothalonil	0.12	Ethoxyquine	0.08
Fenpropimorphe	0.06	Methomyl	0.05
Oxydemeton	0.05	Naled	0.02
Diquat	0.009	Carbetamide	0.009
Rotenone	0.008	Triallate	0.006
Azinphos methyl	0.003	Total	10.42

I.3. Exposition des populations, toxicités aiguë et chronique (VTR, AOEL, DJA)

Si on reprend les écrits de l'OMS en 2016 :

« Les pesticides sont des produits chimiques utilisés dans l'agriculture pour protéger les récoltes des insectes, des champignons, des mauvaises herbes et d'autres nuisibles. En plus de leur utilisation dans l'agriculture, on les emploie également pour protéger la santé publique dans la lutte contre les vecteurs de maladies tropicales, comme les moustiques.

Mais les pesticides sont potentiellement toxiques pour l'être humain. Ils peuvent avoir des effets indésirables sur la santé, parmi lesquels le développement de certains cancers, des troubles de la fertilité et des atteintes des systèmes immunitaires ou nerveux. Avant de pouvoir autoriser l'utilisation, il faut les tester pour rechercher tous les effets possibles sur la santé. Ces résultats doivent être analysés par des experts pour évaluer les risques éventuels pour l'être humain.

Les études scientifiques des effets potentiels des produits chimiques dangereux pour la santé, comme les pesticides, permettent de les classer comme étant cancérigènes (pouvant provoquer le cancer), neurotoxiques (pouvant provoquer des lésions du cerveau) ou tératogènes (pouvant provoquer des lésions du fœtus). Ce processus de classification, appelé identification des dangers, est la première étape de l'évaluation des risques. Un exemple de l'identification des dangers est la classification des substances selon leur cancérigénicité pour l'homme, faite par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC), l'agence spécialisée de l'OMS dans ce domaine.

² « Environnement, alimentation et santé : le point sur les connaissances » (Narbonne J.F. 2018)

Le même produit chimique peut avoir différents effets selon la dose, c'est-à-dire que l'effet sera fonction de la quantité de produit à laquelle une personne est exposée. Il peut dépendre également de la voie d'exposition, ingestion, inhalation ou injection, par exemple ».

1.3.1 Les voies d'exposition

En population générale, la voie orale est habituellement considérée comme la voie d'exposition la plus importante même si la part respective des différentes voies d'exposition est encore incertaine (Pang et al., 2002 ; Clayton et al., 2003 ; Morgan et al., 2005).

Elle est due à l'ingestion d'aliments ou de boissons contenant des résidus de pesticides (schéma ci-dessous d'après ATMO Nouvelle-Aquitaine).

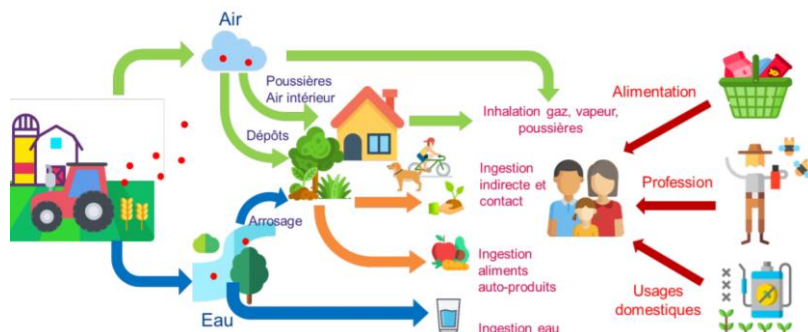


Figure 10 : les différentes voies d'exposition aux pesticides³

1.3.2 Les seuils toxicologiques

A partir de différentes études, les scientifiques ont défini de nombreux seuils toxicologiques :

La **VTR** (Valeur Toxicologique de Référence) ou TVR en acronyme anglo-saxon représente la valeur correspondant à un risque non significatif. D'après Narbonne (2018) « l'établissement d'une VTR est en général fondé sur un point de référence (RP ou « reference point ») dérivé de la relation dose/réponse. Comme RP, on prendra classiquement la NOAEL (no observable adverse effect level ou dose sans effets délétères observables), mais si on peut modéliser la relation on prendra la BMDL (benchmark dose level). »

L'**AOEL** correspond au niveau acceptable d'exposition (pour l'opérateur) qui concerne les pesticides et les biocides. Elle est définie comme la Quantité maximum de substance à laquelle une personne, peut être exposée quotidiennement, sans nuire à sa santé. C'est une dose interne prenant en compte toutes les voies d'expositions.

La **DJA**, dose journalière admissible (ou acceptable) qui concerne les substances pouvant être retrouvées dans les denrées, telles que les pesticides/biocides ou leurs résidus. La DJA a été définie par l'OMS comme la dose qui peut être ingérée tous les jours pendant toute la vie, sans risque appréciable pour la santé du consommateur. Un grand nombre de DJA est accessible dans l'avis de L'ANSES de 2014 (saisine N° 2013).

Il faut rappeler que l'ANSES a publié trois études relatives aux risques alimentaires liés aux résidus de pesticides :

³ <https://www.nouvelle-aquitaine.ars.sante.fr/pesticides-comment-preserver-sa-sante-comment-agir?>

- L'étude de l'alimentation totale 2 (EAT 2) qui concerne la population des enfants de plus de 3 ans et des adultes en France métropolitaine (<https://www.anses.fr/fr/content/les-etudes-de-l'alimentation-totale-eat>),
- L'étude de l'alimentation totale infantile (EATi) qui concerne la population des 0-3 ans en France métropolitaine (<https://www.anses.fr/fr/content/etude-de-l'alimentation-totale-infantile>),
- L'actualisation des indicateurs de risques alimentaires à partir des résultats des plans de surveillance des résidus de pesticides. (<https://www.anses.fr/fr/system/files/AUT2013sa0138.pdf>).

1.3.3 Les réglementations

Pour l'eau la réglementation est relativement simple : aucune matière active y compris les métabolites ne doit dépasser 0.1 µg/L et la somme totale doit être inférieure à 0.5 µg/L. Certaines ressources en eau sont polluées et l'élimination des substances indésirables se fait essentiellement par adsorption par du charbon actif, par ozonation et parfois par filtration membranaire (nanofiltration). Aujourd'hui, il n'y a que très peu de dépassement de la limite réglementaire.

Pour l'eau de nombreux autres acronymes existent :

- VGE : valeur guide environnementale
- PNEC : « Predicted no effect concentration » c'est-à-dire la concentration sans effet prévisible pour évaluer les risques pour les organismes aquatiques.
- MAC : « Maximum acceptable concentration » c'est-à-dire la concentration maximale admissible réglementaire applicable dans les eaux de surface intérieures.

Pour l'alimentation, au niveau des fruits et légumes, Génération future a compilé les résultats fournis par la DGCCRF. D'après leur étude des résidus de pesticides sont trouvés dans 63% des fruits et 43% des légumes.

Si on prend en compte les concentrations réglementées, selon le rapport annuel de l'Agence européenne de sécurité alimentaire (EFSA) sur les résidus de pesticides dans l'alimentation, la France progresse en la matière.

En 2017, les analyses mettent en évidence des taux résiduels de pesticides au-dessus des niveaux légaux dans 4,7% des échantillons contre 6,4% l'année précédente. Dans 63,2% des cas, aucun résidu n'est détecté contre 51,7% en 2016. Dans le tableau suivant, quelques VTR/DJA sont listés pour les matières actives les plus courantes.

Tableau 3 : Seuils toxicologiques des matières actives les plus courantes

Substance	VTR/DJA µg/kg.j	Substance	VTR/DJA µg/kg.j
2,4 D	50	AMPA	500
Bifenthrin	15	Boscalid	40
Chlomazone	133	Chlorothalonil	15
Chlorpropham	50	Chloropyrifos éthyl	10
Chloropyrifos méthyl	10	Cyproconazole	20
Cyprodinil	30	Diflufenicanil	200
Dimethoate	1	Ethion	2
Etofenprox	30	Fenpropyidine	20
Fluopyram	120	Folpel	100
Glyphosate	500	Lambda-cyhalothrin	5
Lindane	5	S-Metolachlor	100
Myclobutanil	25	Pendimethaline	125
Permethrin	50	Pentachlorophénol	1500
Phosmet	3	Piperonyl butoxyde	200
Propyzamide	20	Prosulfocarb	5
Pyrimethanil	170	Pyrimicarb	35
Spiroxamine	25	Tebuconazole	30
Triadimenol	50	Triallate	25
Trifloxystrobin	100		

En ce qui concerne les mélanges et les cocktails, d'après Narbonne (2018), « les travaux sont en cours et on peut s'attendre à une évolution rapide des connaissances dans ce domaine. Les premiers résultats montrent que dans la très grande majorité des cas, on constate une action cumulée (addition des effets sur un même mécanisme d'action) ou une action indépendante (l'effet est dû au seul produit le plus toxique).

De la même manière, un groupe d'expert de l'INSERM (Baldi et al., 2017) a détaillé l'ensemble des maladies qui sont imputables aux pesticides. Pour eux, les populations sont exposées de façon permanente et à faible dose aux pesticides et à de nombreuses autres substances contaminant l'environnement. Ces mélanges de pesticides et autres substances pourraient donner lieu à des impacts sanitaires difficilement prévisibles actuellement, ce qui fait de la question des mélanges et des faibles doses un des enjeux importants de la recherche et de l'évaluation des dangers.

Ces experts rappellent que « ne pas être en mesure de conclure ne veut pas dire obligatoirement qu'il n'y a pas de risque ».

La quasi-totalité des valeurs de référence disponibles pour les pesticides sont construites pour des effets systémiques observés dans des études animales par voie orale.

A l'heure actuelle, il n'existe pas de réglementation fixant des normes de qualité pour les produits phytosanitaires dans l'air pour la population générale ou l'exposition professionnelle.

Néanmoins, des limitations de rejet dans l'atmosphère pour certaines substances ont été fixées. Le protocole d'Aarhus (1998) interdit la fabrication et l'utilisation de 16 polluants organiques persistants, dont 12 sont des pesticides comme le lindane ou le DDT. La convention de Stockholm (2001) vise l'interdiction et l'élimination des déchets de ces produits.

Pour de nombreuses substances pesticides, il existe des fiches éditées par l'ANSES qui donnent :

- Les utilisations avec les doses
- Les quantités vendues
- La surveillance des eaux de surface et souterraines
- La surveillance des aliments
- La surveillance de l'air (données des AASQA)

Stratégie régionale de surveillance des produits phytosanitaires dans l'air

Dans ces fiches les valeurs mesurées sont rapportées aux différentes valeurs toxicologiques de références.

A titre d'exemple, **la fiche du prosulfocarbe** (ANSES, Phytopharmacovigilance, décembre 2018) est résumée ci-après ; cet herbicide étant celui dont les concentrations dans l'air sont les plus élevées.

- 13 usages autorisés dans le désherbage (céréales, arbres et arbustes, légumes).
- Quantités vendues : de 864 tonnes (17^{ème} rang) en 2009 à 4460 tonnes en 2017 (4^{ème} rang).
- Pratiques culturales et utilisation : A partir d'enquêtes sur des nombres significatifs de parcelles, on estime les surfaces traitées au moins une fois avec l'herbicide.
- Surveillance des eaux de surface, exposition et risques pour les organismes aquatiques :
 - Tableau des valeurs toxicologiques de référence
 - PNEC : 7.5 µg/L
 - NQE/VGE : 0.4 µg/L
 - MAC : 12 µg/L
 - Tableau des analyses réalisées (2007 – 2016) ; exemple pour 2016 :

Tableau 4 : Résultats des analyses réalisées dans les eaux de surface en 2016

Nombre de points	3548	Points > NQE/VGE	4
Taux de recherche	60.2%	% points > NQE/VGE	0.19%
Points pour la substance	2083	Points > PNEC	0
Nombre d'analyses	14084	Moyenne Ann. Max	0.54 µg/L
Nbre analyses > LQ	1308	Points > MAC	0
Taux de quantification	9.29%		

- Surveillance des eaux souterraines (2007 – 2017) :
 - 3243 analyses sur 1207 points en 2017 avec 0.2% d'analyses > LQ et 1 point supérieur à la norme de 0.1 µg/L.
- Surveillance des aliments d'origine végétale et animale et des eaux d'alimentation : exposition et risques pour la population (2011 – 2016).
 - En 2016, 109 denrées commercialisées analysées avec 4542 analyses dont 14 > LQ (0.01mg/kg)
 - En 2016, 309 analyses réalisées sur les aliments pour enfants (4 analyses > LQ)
 - En 2017, 6197 analyses réalisées sur l'eau potable avec aucune non-conformité.
- Evaluation des expositions et des risques alimentaires :
 - DJA : 5 µg/kg pc.j ----- ARfD (Acute reference dose) :100 µg pc.j
 - Aucun dépassement
- Surveillance de l'air ambiant (AASQA -2013 – 2016) :
 - En 2016, 389 analyses avec 18.8% d'analyses quantifiées avec une concentration médiane de 2.51 ng/m³ et une concentration maximale mesurée de 90.5 ng/m³.

À partir de ces données sur l'air, l'exposition a été estimée en utilisant la formule suivante puis comparée à l'AOEL (*Acceptable operator exposure level* - 7 µg/kg pc.j) :

$$E = C \times TR \times TA$$

Avec E correspondant à l'exposition, C la concentration observée, TR le taux respiratoire et TA le taux d'absorption. Les taux respiratoires et d'absorption utilisés sont ceux proposés par l'Efsa (Efsa, 2014).

Par inhalation, le taux d'absorption est de 100%

Un scénario protecteur a été considéré en retenant :

- la concentration maximale observée par les AASQA (90,5 ng/m³, soit la concentration maximale hebdomadaire observée en 2016) ;
- le taux respiratoire défini pour l'enfant riverain. (Il est de 1,07 m³.j⁻¹.kg⁻¹ pc). Pour l'adulte ce taux est de 0.23 m³/kg pc.j.

Stratégie régionale de surveillance des produits phytosanitaires dans l'air

Selon ce scénario, la concentration maximale observée pour le prosulfocarbe entraînerait une exposition correspondant à 1,4 % de l'AOEL de cette substance.

1.3.4 Etude réalisée en Bretagne sur les niveaux d'imprégnation biologique des femmes enceintes

Cette étude a été réalisée par Chevrier et al (2009, 2011) et synthétisée par Chevrier lors d'un colloque en 2017. 52 molécules ont été analysées dans les urines. Les résultats ont montré la présence (<40%) de traces d'herbicides utilisés sur les cultures de maïs suggérant une rémanence non négligeable dans l'environnement de ces composés, ainsi que la présence de résidus d'insecticides organophosphorés dans la majorité des prélèvements urinaires (>90%). Pour ces derniers, il y avait à la fois des matières actives d'origine agricole et domestiques.

1.3.5 Etudes en cours sur l'exposition des pesticides sur la santé des populations riveraines de zones agricoles

Une étude épidémiologique nationale (Géocap Agri), en partenariat avec l'Inserm, permettra d'estimer si les cancers pédiatriques sont plus fréquents chez les populations vivant près de certaines cultures agricoles. Les résultats sont attendus en 2020.

Une étude d'imprégnation multi-sites chez des riverains de zones cultures agricoles (Pestiriv) comprenant des prélèvements chez 1 400 personnes exposées et 700 personnes non exposées, couplés à des mesures environnementales de l'air (intérieur et extérieur) et des poussières des lieux de vie, en partenariat avec l'Anses.

1.3.6 Dispositifs de Veille

Le dispositif de phytopharmacovigilance, mis en place dans le cadre de la loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt (LAAF-2014), a pour objectif de surveiller les effets indésirables des produits phytopharmaceutiques (dans les milieux ou dans les organismes). Ce dispositif a été confié à l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES).

La collecte des signaux faibles qui peuvent aider à prendre des mesures de prévention ou de limitation des risques liés aux produits phytopharmaceutiques est réalisée par des structures déjà existantes. Pour le compartiment « Air », il s'agit du Laboratoire Central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA) et des Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA).

Ces informations permettent par exemple d'adapter les conditions des AMM et de s'assurer du respect des interdictions d'usages des produits.

1.4. Concentration dans l'air, revue de quelques études internationales et nationales.

La mesure des pesticides dans l'air est une opération lourde qui met en œuvre des prélèvements spécifiques et des matériels d'analyse lourds car les concentrations mesurées sont de l'ordre du ng/m³.

De ce fait, même si on retrouve bon nombre de publications dans la littérature internationale, l'étude de leur présence est beaucoup moins développée que dans le cas de l'eau ou des aliments.

En plus des publications internationales et nationales déjà parues, en France, il existe deux documents importants qui ont été publiés assez récemment :

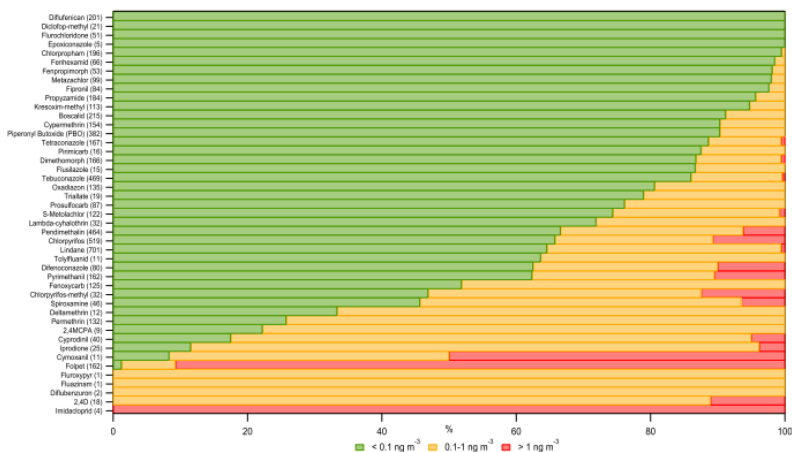


Figure 12 : Distribution des concentrations des matières actives mesurées dans l'air [Source : Desert et al 2018]

En termes de concentration, le Chloropyrifos a connu un maximum à 408 ng/m³ et le Folpel, fongicide utilisé sur les vignes, enregistre partout des maxima largement supérieurs au ng.m³, valeurs souvent voisines de 20 ng/m³. La pendimethaline a été mesurée à 13 ng/m³.

Le troisième graphique fait la différence entre les deux sites ruraux et les sites urbains :

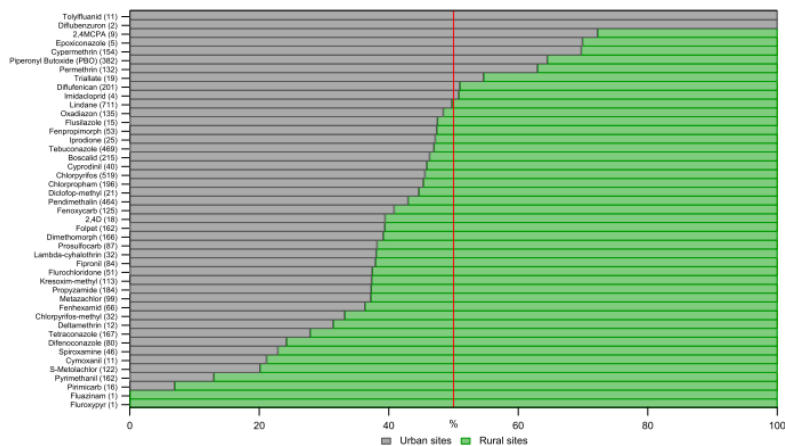


Figure 13 : Répartition des substances actives suivant la typologie des sites [Source : Desert et al 2018]

Si 41 substances se retrouvent dans les deux types de sites, deux sont spécifiques des sites urbains (tolyluanid – traitement des bois, produit anti fouling / Diflubenzuron insecticide largement utilisé en milieu urbain comme les pyrethrine) et deux spécifiques des sites ruraux.

Certaines matières actives comme l'époxiconazole ou le triallate, uniquement utilisées en agriculture, montrent un transfert atmosphérique des zones rurales aux zones urbaines.

Cette étude qui a été détaillée se rapproche de nombreuses autres études réalisées en France :

- Dans la ville de **Reims** (Villiot et al, 2018), les faits marquants sont les suivants :
 - 28 pesticides ont été quantifiés au moins une fois au cours des 4 années d'échantillonnage dans le Centre de Reims (France).
 - Au printemps, le chlorothalonil utilisé contre la septoriose dans les cultures présente des concentrations plus élevées dans l'atmosphère.
 - Pendant l'été, les fongicides comme le cyproxanil, la spiroxamine et le folpet présentent les concentrations plus élevées dans l'atmosphère.
 - Folpet, cyazofamid, fluzinam, pendimethalin, fenpropidine et spiroxamine atteignent des moyennes de semaine comprises entre 1 et 5 ng m⁻³.
 - Les fongicides utilisés contre le mildiou, l'oïdium et la septoriose sont les pesticides les plus souvent quantifiés.

- Pour la **région centre**, (Coscolla et al, 2017), des échantillons d'air ambiant ont été prélevés, de 2006 à 2008, dans trois zones rurales et deux zones urbaines. 56 pesticides ont été analysés et 41 ont été détectés. Les matières actives les plus fréquemment détectées sont les herbicides trifluralin, acétochlor et pendimethalin et le fongicide chlorothalonil (fréquences allant entre 52 et 78%, et concentrations moyennes de 1,93, 1,32, 1,84 et 12,15 ng/m³ respectivement).
Les concentrations les plus élevées sont notées au printemps et au début de l'été liées aux cultures arables et aux vergers, les principales cultures de cette région. Des différences mineures ont été constatées dans les profils des pesticides dans les zones rurales et entre les zones rurales et urbaines.

- Dans la **région Grand Est**, ville de Strasbourg (Schummer et al, 2010), des échantillons atmosphériques ont été prélevés à entre le 18 avril et le 29 mai 2007. 71 matières actives ont été analysées et 38 ont été détectés. Les concentrations moyennes varient de 0,09 ng/m⁻³ pour le Fenarimol à 110,42 ng m⁻³ pour le Diméthachlor. Pour 30 pesticides il a pu être démontré que les variations temporelles étaient liées au temps, à la température ou à la pression atmosphérique. On voit sur cette étude plus ancienne que les substances retrouvées ne sont pas les mêmes que pour les études plus récentes.

- **Airparif** a publié un rapport sur les mesures faites en 2013/2014 sur deux sites, l'un rural à Bois Herpin et l'autre urbain dans le XVIII^{ème}. Les résultats ont été comparés à une précédente campagne réalisée en 2006. 151 substances ont été analysées et 51 ont été retrouvées.
 - Beaucoup de substances se retrouvent à la fois dans les deux sites : 18 fongicides, 18 herbicides et 8 insecticides. Le composé le plus souvent retrouvé est le fongicide chlorothalonil. Sur le site rural la matière active le plus souvent détecté est la pendiméthaline (herbicide).
 - Les insecticides qui peuvent être utilisés par des particuliers sont plus fréquents en milieu urbain.
 - Les teneurs mesurées sont inférieures à 0.2 ng/m³ pour les insecticides, entre 0.2 et 1 ng/m³ pour les herbicides et supérieures à 1 ng/m³ pour les fongicides. Les teneurs les plus élevées pour les insecticides et les acaricides sont à Paris. Les teneurs en fongicides et herbicides sont plus élevées en site rural.
 - C'est au printemps (mars – juin) en période de traitement que les teneurs et le nombre de molécules sont les plus élevés.
 - La contamination est moins élevée en 2014 qu'en 2006.

➤ Synthèse des mesures réalisées par les AASQA de 2002 à 2017

Les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) réalisent, depuis 2002, des mesures de pesticides dans l'air en fonction des ressources locales et des soutiens financiers mis à leur disposition.

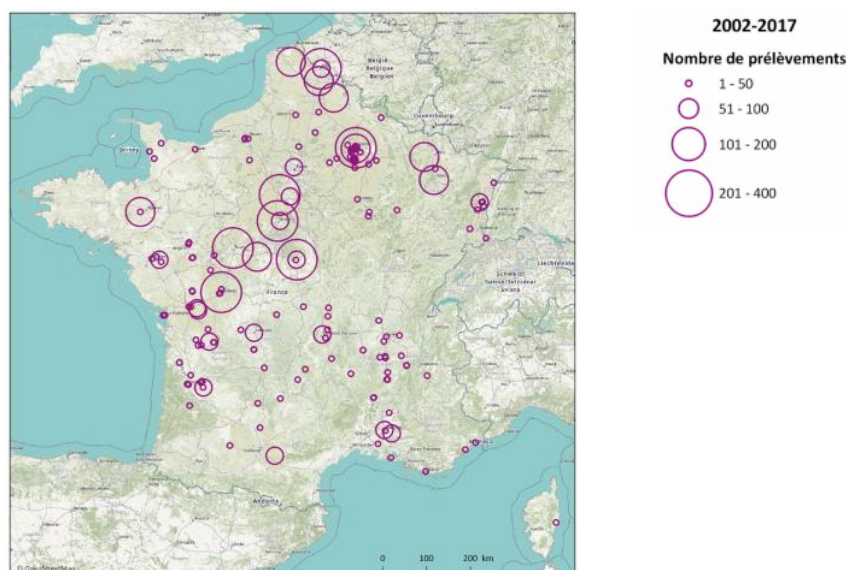


Figure 14 : Répartition des prélèvements de produits phytosanitaires réalisés par les AASQA de 2002 à 2017

Les grands enseignements tirés de ces campagnes sont les suivants⁴ :

- Un grand nombre de substances détectées dans l'air

Afin de tenir compte de l'évolution des usages, la liste des pesticides recherchés au fil des années par les AASQA évolue annuellement entre 150 et 250. Au final, ce sont entre 40 et 90 substances actives (herbicides, fongicides, insecticides) qui sont quantifiées annuellement à l'échelle nationale.

- Une forte variabilité spatiale des concentrations

Dans les agglomérations, les concentrations mesurées semblent globalement plus faibles que dans certains territoires non urbanisés mais les transports de matières actives sont importants. Ainsi, il est courant de quantifier sur les sites urbains des herbicides appliqués sur les surfaces agricoles tels que la Pendiméthaline, la triallate ou encore des fongicides comme le folpel et le chlorothalonil.

⁴ Source : https://atmo-france.org/wp-content/uploads/2019/12/dossier_presse_pesticide_sous_embargo_18_decembre_2019.pdf

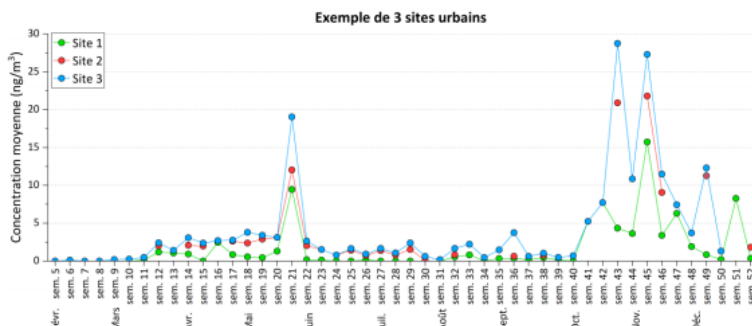


Figure 15 : Concentrations moyennes hebdomadaires relevées sur l'année 2016

La concentration très variable en pesticides dépend des conditions météorologiques locales, de la nature des sols, des caractéristiques physiques et chimiques de la substance active, des équipements utilisés lors du traitement, ... (cf. partie III).

- Une saisonnalité selon les usages

Selon les années, les concentrations peuvent être également très variables. Les variations des conditions météorologiques et des usages peuvent expliquer ces constats.

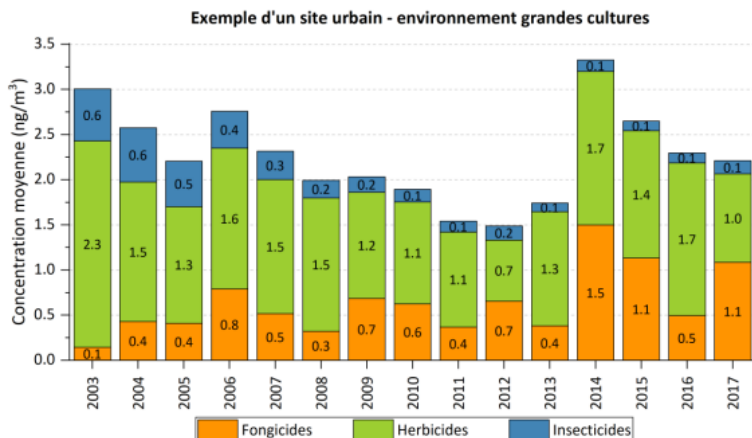
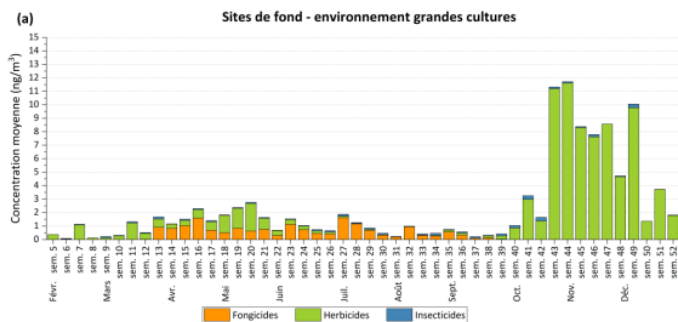


Figure 16 : Evolution des concentrations moyennes annuelles sur un site urbain de 2003 à 2017

Une saisonnalité associée à différents types de cultures est habituellement constatée sur les dernières années.

La période fin printemps - été présente des concentrations plus élevées sur les zones viticoles (fongicides) alors que sur les zones de grandes cultures (herbicides) les concentrations sont plus importantes en période automnale.

(a) Concentration moyenne hebdomadaire en pesticides totaux dans l'air ambiant pour les sites de fond sous influence des grandes cultures



(b) Concentration moyenne hebdomadaire en pesticides totaux dans l'air ambiant pour les sites de fond sous influence viticole

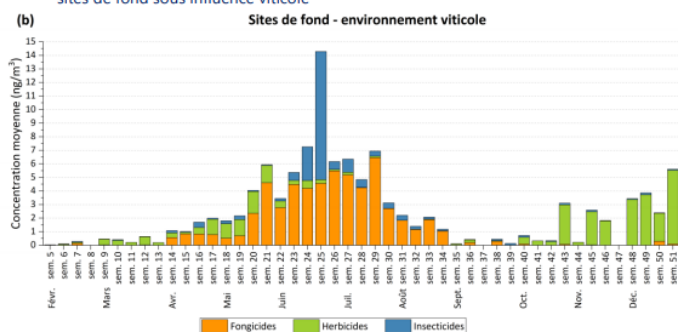


Figure 17 : Evolution des concentrations moyennes mensuelles pour des sites de fond (2015-2017)

Au niveau national, sur les sites permanents de 2015-2017, il existe une récurrence relative à la présence des substances actives suivantes :

- Herbicides : Pendiméthaline, Triallate, S-Métolachlore, Prosulfocarbe, Diméthénamide(-p),
- Insecticides : Lindane, Chlorpyrifos-éthyl,
- Fongicides : Chlorothalonil, Folpel, Cymoxanil

Au niveau international, les études sont très nombreuses et elles se focalisent souvent sur les pesticides organochlorés comme le DDT, le lindane, l'aldrine, la dieldrine... qui ne sont plus utilisés en France depuis de très nombreuses années. On peut citer Iakovides et al (2020) qui à côté des PCB's et des HAP's analysent les organochlorés sur des échantillons prélevés entre 2013 et 2015. Les matières actives de produits qui ne sont plus utilisés (DDT, HCH, lindane...) et leurs métabolites sont retrouvés. Ces résultats se rapprochent de ceux de Pozo et al (2012) en Inde où les organochlorés classiques sont analysés avec des teneurs moyennes de l'ordre du ng/m³. Dans une « review » de 2016, Jayaraj et al compile les informations sur ces molécules.

Au Chili, en utilisant des prélèvements passifs sur 30, 60 ou 90 jours, Climent et al (2019) ont effectués des prélèvements entre 2015 et 2016. Sur 34 matières actives analysées, 11 sont

retrouvées et les concentrations moyennes dans l'air varient entre 0.23 et 3.4 ng/m³ pour le Chlorpyrifos éthyl et entre 0.012 et 0.05 ng/m³ pour le pyrimethanil.

Avec des prélèvements passifs moyens de 3 à 5 mois, Estellano et al (2015) échantillonnent en Toscane 6 sites urbains et 4 sites ruraux. Pour les 9 matières actives mesurées, les concentrations moyennes les plus élevées sont de 0.58 ng/m³ pour les chloropyrifos avec un prélèvement qui atteint 1.54 ng/m³ pour la pendiméthaline. Les autres composés ne dépassent pas 10 pg/m³ en moyenne. Les concentrations en milieu urbain sont souvent les plus importantes, en particulier pour les organophosphorés. Les auteurs précisent que ces valeurs sont du même ordre de grandeur que celles trouvées en république Tchèque (Koblizkova et al, 2012), ou au Canada (Yao et al, 2008).

Hart et al (2012) mesurent les pesticides présents dans la fraction PM10 dans la région de Valence en Espagne. Sur les 217 échantillons prélevés, certaines molécules sont présentes quasiment une fois sur deux (47%). Permethrine, diazinon, Chloropyrifos, bufenthrine folpel et pyrimethanil sont les plus courants avec des teneurs en phase solide pouvant atteindre entre 0.1 et 0.3 ng/m³.

1.4.2 La campagne nationale exploratoire des pesticides (CNEP)

Cette première campagne nationale exploratoire de mesures des résidus de pesticides dans l'air ambiant est pilotée par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) avec le concours des Associations agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) et du Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA).

Cette première campagne de grande ampleur à l'échelle nationale a été menée sur 12 mois de juin 2018 à juin 2019 en 50 points du territoire métropolitain (43 + 2 en corse) et outre-mer (5).

a) Le choix des sites

Pour être le plus exhaustif possible, 5 dominantes agricoles ont été sélectionnées (Grandes Cultures ; Viticulture ; Arboriculture ; Maraîchage ; Elevage) avec trois typologies de sites (urbain ; péri-urbain ; rural). Trois sites ont été instrumentés de manière particulière pour analyser les substances polaires (glyphosate, AMPA, Gluphosinate). Certains sites de prélèvement urbains, éloignés de la plus proche parcelle, ont été classés « sans profil agricole ».

Dix sites ont été classés sans profil agricole majoritaire en raison de la très faible proportion de surfaces agricoles dans un rayon de 1 et 5 km.

La figure suivante montre les différents sites choisis en France métropolitaine, trois étant situés en Bretagne.

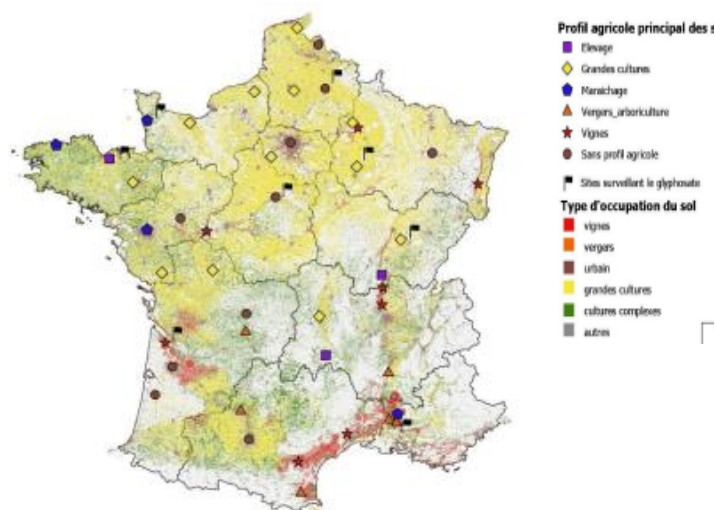


Figure 18 : Répartition des sites de prélèvements de la campagne nationale exploratoire CNEP

b) Les molécules recherchées

En se basant sur trois critères, (quantités de substances utilisées sur le territoire considéré, potentiel d'émission dans l'atmosphère et persistance dans l'atmosphère) à partir d'une liste exhaustive de 1316 substances, 90 d'entre elles ont été retenues dans un premier temps. Certaines ont été exclues car non analysables avec une limite de détection suffisamment basse et 22 ont nécessité une mise au point analytique complémentaire.

Quatre matières actives n'étant pas retenues sur le support de piégeage et en tenant compte que la cyperméthrine, le métolachlore et la perméthrine ont fait l'objet d'une analyse globale, la campagne s'est déroulée avec 75 matières actives recherchées y compris l'AMPA, métabolite du glyphosate (23 de ces substances sont interdites pour un usage agricole).

La limite de quantification est le plus souvent comprise entre 5 et 25 ng par échantillon et la limite de détection est trois fois plus faible que la limite de quantification (voir annexe IV).

c) Echantillonnage et analyse

Pour la grande majorité des composés l'échantillonnage a été réalisé avec des préleveurs bas volume (partisol) à un débit de 1m³/h et une accumulation sur une semaine. Pour les trois composés peu volatils (Glyphosate, AMPA et Glufosinate), un préleveur grand volume a été choisi (DA80) avec un débit de 30 m³/h et une durée de 48 heures. Les têtes de prélèvement coupaient à 10µm.

Selon les profils, la fréquence d'échantillonnage est donnée par le tableau ci-après.

Tableau 5 : Fréquence d'échantillonnage – campagne CNEP

	juin-18	juil-18	août-18	sept-18	oct-18	nov-18	déc-18	janv-19	févr-19	mars-19	avr-19	mai-19	juin-19	Total échantillons par an et par site
glyphosate	1	1	1	1	12	11	1	1	1	10	10	1	0	51
Elevage	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
Grande Culture	1	2	2	2	5	4	2	1	1	2	5	4	3	34
Viticulture	1	5	4	2	1	1	1	1	1	2	3	4	3	29
Maraichage	1	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	18
Arboriculture	1	5	4	2	1	2	1	1	1	4	5	4	3	34

On a ainsi analysé 408 échantillons pour les substances polaires et 1403 échantillons pour les autres substances ce qui représente plus de 100 000 données individuelles.

Le principe de l'analyse est une extraction par ASE et une double analyse par CPG/MS.MS et HPLC/MS.MS. C'est le même laboratoire (IANESCO chimie) qui a réalisé toutes les analyses. Plus de détails sont donnés dans le paragraphe 2.2.1.

Un point important de l'étude est la mise en œuvre d'un protocole harmonisé à l'échelle nationale, respectant les normes NF XPX 43058 et 43059 pour la gestion des prélèvements et des échantillons, et la validation des données d'analyse. Plus de détails sont donnés dans le paragraphe II.1.

d) Les principaux résultats

Seuls les résultats globaux seront présentés ici, les résultats relatifs à la région Bretagne seront explicités dans la deuxième partie⁵.

➤ La fréquence de détection

Si 6 substances n'ont jamais été détectées (Chlordécone,), le tableau suivant donne les matières actives détectées le plus souvent.

Tableau 6 : Répartition des substances actives selon leur fréquence de détection en métropole

FD>20%	FD>30%	FD>40%	FD>50%	FD>60%	FD>70%	FD>80%	>90%
13 substances	9 substances	7 substances	5 substances	3 substances	3 substances	2 substances	1 substance
Cyprodinil	AMPA	Chlorpyrifos methyl	S-Metolachlore	Pendimethaline	Pendimethaline	Glyphosate	Lindane (*Ø)
Diffufenicanil	Propyzamide (*)	Prosulfocarbe	Triallate (*)	Glyphosate	Glyphosate	Lindane (*Ø)	
Chlorothalonil	Chlorpyrifos methyl	S-Metolachlore	Pendimethaline	Lindane (*Ø)	Lindane (*Ø)		
Folpel	Prosulfocarbe	Triallate (*)	Glyphosate				
AMPA	S-Metolachlore	Pendimethaline	Lindane (*Ø)				
Propyzamide (*)	Triallate (*)	Glyphosate					
Chlorpyrifos methyl (*)	Pendimethaline	Lindane (*Ø)					
Prosulfocarbe	Glyphosate						
S-Metolachlore	Lindane (*Ø)						
Triallate (*)							
Pendimethaline							
Glyphosate							
Lindane (*Ø)							

⁵ Le rapport complet est disponible à l'adresse suivante : https://atmo-france.org/wp-content/uploads/2020/06/Rapport_CNEP_DRC_20_172794_02007C_VF_versionC.pdf

➤ **La fréquence de quantification**

En rappelant que la limite de détection est 3 fois plus faible que la limite de quantification, 57 substances répertoriées sur la figure suivante ont été quantifiées au moins une fois en métropole et parmi elles, 9 ont une fréquence de quantification supérieure à 20%.

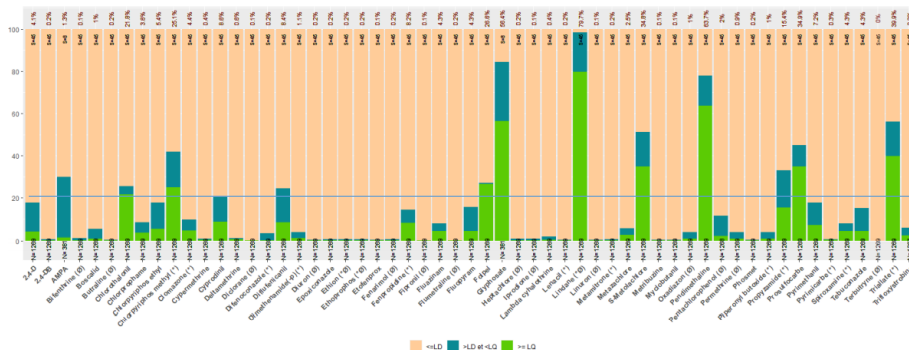


Figure 19 : Représentation des fréquences de détection et de quantification, pour toutes les substances quantifiées au moins une fois en métropole

Ce sont les matières actives suivantes : Chlorothalonil, Chlorpyrifosmethyl, Fopel, S-Metolachlore, Prosulfocarb, Triallate, Glyphosate, Pendimethaline et Lindane.

Le lindane est interdit depuis de très nombreuses années. Le chlorpyrifosmethyl et le triallate peuvent avoir des rendements de piégeage inférieurs aux 60% de la norme.

Ces résultats sont assez semblables aux conclusions portant sur l'ensemble des analyses réalisées par les AASQA.

➤ **Les concentrations mesurées**

Comme les analyses ont portées sur une année complète, il a été possible d'estimer une concentration moyenne annuelle. Le tableau suivant va lister les substances par gamme de concentration moyenne annuelle. Les substances en italique sont celles dont la fréquence de quantification excède 20%.

Tableau 7 : Répartition des substances actives selon leur concentration moyenne annuelle

0.02 <Subs <math>< 0.05\text{ng/m}^3</math>	0.05 <Subs <math>< 0.1\text{ng/m}^3</math>	0.1 <Subs <math>< 0.2\text{ng/m}^3</math>	0.2 <Subs <math>< 0.5\text{ng/m}^3</math>	0.5 <Subs <math>< 1\text{ng/m}^3</math>	1ng <Subs <math>< 2\text{ng/m}^3</math>	>2 ng/m ³
glyphosate	<i>lindane</i>	fenpropidine	Chlorpyrifos Methyl	pendimethaline	<i>fopel</i>	prosulfocarb
cyprodinil	metolachlore	pyrimethanil	triallate			
diflufenican	spiroxamine		chlorothalonil			
fluazinam						
propyzamide						
chlorprophame						

On peut faire quelques remarques sur ce tableau :

- La concentration moyenne en lindane, la substance le plus souvent détectée et quantifiée est relativement faible. Comme cela a été dit, ce produit est interdit et c'est sa rémanence qui explique sa présence mais en concentration très faible.
- La teneur moyenne en glyphosate, matière active peu volatile, reste très basse, cette remarque étant également valable pour le métolachlore.

Stratégie régionale de surveillance des produits phytosanitaires dans l'air

- Trois substances assez peu souvent détectées font partie de ce tableau (fenpropidine, pyrimethanil et spiroxamine. En revanche comme cela sera indiqué sur le tableau suivant, leurs concentrations maximales sont élevées.

Pour ces 17 substances, le tableau suivant donne la concentration maximale relevée.

Pour deux matières actives (prosulfocarb et pyrimethanil), la concentration maximale est très élevée et supérieure à 100 ng/m³.

Tableau 8 : Concentration maximale relevées durant la campagne CNEP

Substance	Teneur moyenne Annuelle (ng/m ³)	Teneur maximale mesurée (ng/m ³)	Famille	DJA (µg/Kg poids corporel.jour)	Tension de Vapeur (Pa – 25°C)
Chlorothalonil	0.23	5.8	F - TS	15	
Chlorprophame	0.026	5.0	H	50	2.4 10 ⁻²
Chlorpyriphos Me	0.21	19	I - TS	3	3.0 10 ⁻³
Cyprodinil	0.026	2.9	F	20	5.1 10 ⁻⁴
Diflufenicanil	0.024	6.8	H - TS	200	4.3 10 ⁻⁶
Fenpropidine	0.147	41.4	F	20	1.7 10 ⁻²
Fluazinam	0.032	3	F	4	7.5 10 ⁻³
Folpel	1.03	109	F - TS	100	2.1 10 ⁻⁵
Glyphosate	0.039	1.23	H - TS	500	Très faible
Lindane	0.06	0.85	I - TS	3	4.4 10 ⁻³
S-Metolachlore	0.097	8.9	H - TS	80	1.7 10 ⁻³
Pendimethaline	0.66	27.8	H - TS	100	1.9 10 ⁻³
Propyzamide	0.043	1.82	H - TS		2.7 10 ⁻⁵
Prosulfocarb	2.61	175.8	H - TS	20	7.9 10 ⁻⁴
Pyrimethanil	0.18	153	F - TS	200	1.1 10 ⁻³
Spiroxamine	0.066	17.4	F - TS	20	3.5 10 ⁻³
Triallate	0.274	14.3	H - TS	5	1.2 10 ⁻²

TS : présent dans tous les sites

Pour les sites classés « grandes cultures », la concentration moyenne annuelle en prosulfocarbe monte à 4,3 ng/m³.

Pour la viticulture, on retiendra la concentration moyenne annuelle du folpel à 3 ng/m³.

Pour les sites « maraîchage », c'est le chlorprophame qui a la concentration moyenne la plus élevée (0.1 ng/m³), valeur assez faible comparée aux précédentes.

Sur les 17 matières actives listées ci-dessus, 13 d'entre elles se retrouvent dans tous les profils sélectionnés.

Produit par produit, il est possible de faire l'analyse suivante :

- Prosulfocarb : la présence est la plus marquée sur les sites « grandes cultures » (FQ > 61 % pour ce profil) par rapport aux autres profils agricoles. C'est également pour ce profil agricole, en métropole, que la concentration moyenne annuelle en prosulfocarbe (4,3 ng/m³) est la plus élevée, dominant d'ailleurs celles des autres substances de ce profil. Toujours en métropole, le prosulfocarbe présente également la concentration moyenne annuelle la plus élevée par rapport aux autres substances pour les sites « sans profil agricole majoritaire » (2,3 ng/m³), ce qui pourrait s'expliquer par le fait que 50 % des sites sans profil agricole majoritaire ont un profil agricole secondaire « grande culture » ;
- Folpel : la FQ est la plus élevée en « viticulture » (FQ > 53 % pour ce profil) par rapport aux autres profils agricoles en métropole. C'est également pour ce profil agricole que la

Stratégie régionale de surveillance des produits phytosanitaires dans l'air

concentration moyenne annuelle en folpel ($3,0 \text{ ng/m}^3$) est la plus élevée, dominant d'ailleurs celles des autres substances de ce profil ;

- Glyphosate : un peu moins fréquemment quantifié sur les sites « élevage » qui présente une FQ > 65 % sur les sites « arboriculture », « viticulture » et « grandes cultures » en métropole. La concentration moyenne la plus élevée ($0,16 \text{ ng/m}^3$) est observée sur les sites « arboriculture » ;
- Lindane : cet insecticide est présent de façon équivalente sur tous les types de sites, et quantifié à plus de 80 % sur les sites « viticulture », « grandes cultures » et « sans profil agricole majoritaire » de métropole. Les concentrations moyennes annuelles pour les différents profils sont inférieures à $0,08 \text{ ng/m}^3$ dans tous les cas de figure ;
- S-Metolachlore : il est plus présent sur les sites « arboriculture » en métropole (FQ > 43 %) avec une concentration moyenne de $0,12 \text{ ng/m}^3$.
- Pendimethaline : retrouvée sur l'ensemble des profils agricoles, mais de manière plus marquée sur les sites « grandes cultures » (FQ > 83 %). La concentration annuelle est de $1,1 \text{ ng/m}^3$ en métropole ;
- Propyzamide : surtout présent sur les sites « grande culture » (FQ = 26 %) avec une concentration moyenne de $0,08 \text{ ng/m}^3$, et « maraîchage » (FQ = 22 %) avec une concentration moyenne de $0,04 \text{ ng/m}^3$.
- Triallate : sa présence est très marquée sur les sites « grandes cultures » (FQ > 70 %) avec une concentration moyenne de l'ordre de $0,44 \text{ ng/m}^3$.
- Les chlorothalonil et chlorpyrifos-méthyl sont plus fréquemment présents sur les sites « grande culture » (FQ > 30%) et « sans profil agricole » (FQ entre 19 et 27%), avec des concentrations moyennes respectives de $0,41 \text{ ng/m}^3$ et $0,16 \text{ ng/m}^3$ pour la grande culture et de $0,35 \text{ ng/m}^3$ et $0,07 \text{ ng/m}^3$ pour les sites « sans profil agricole ».

➤ La temporalité des émissions et les concentrations moyennes annuelles

Cette temporalité va être donnée pour les substances les plus marquantes sur les graphiques suivants : en bleu le pourcentage de détections, en vert, le % pourcentage de quantification et le point bleu va donner la concentration moyenne mensuelle.

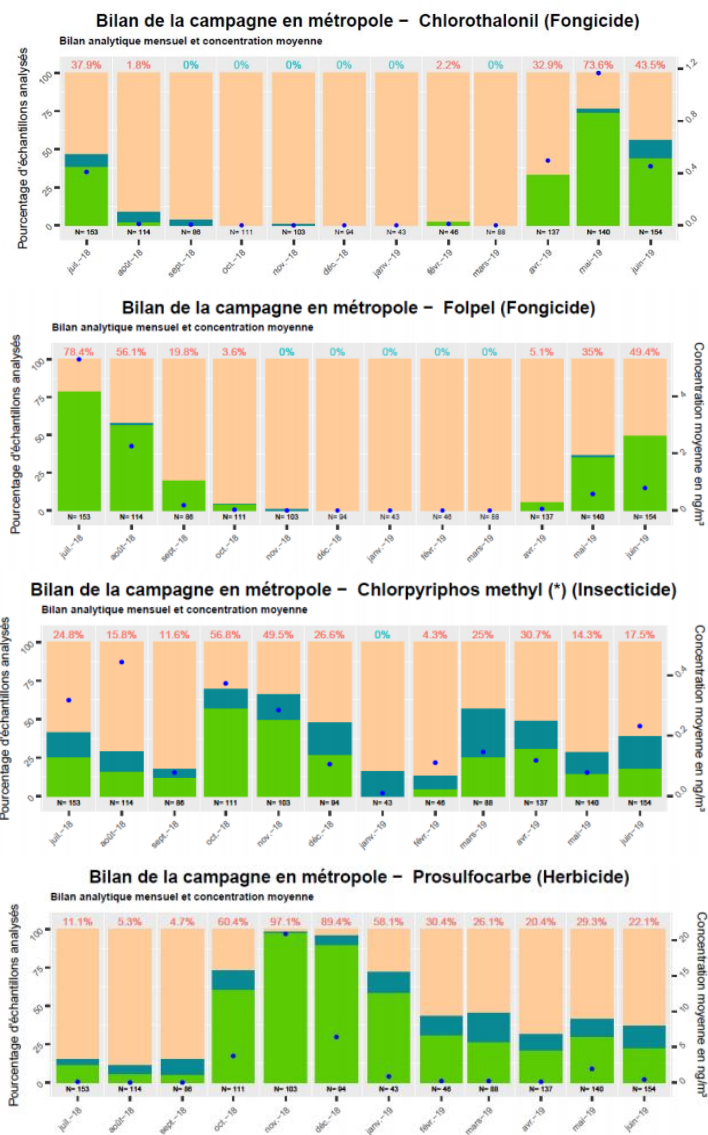


Figure 20 : Variation de la concentration moyenne mensuelle, couplée aux fréquences de détection et de quantification

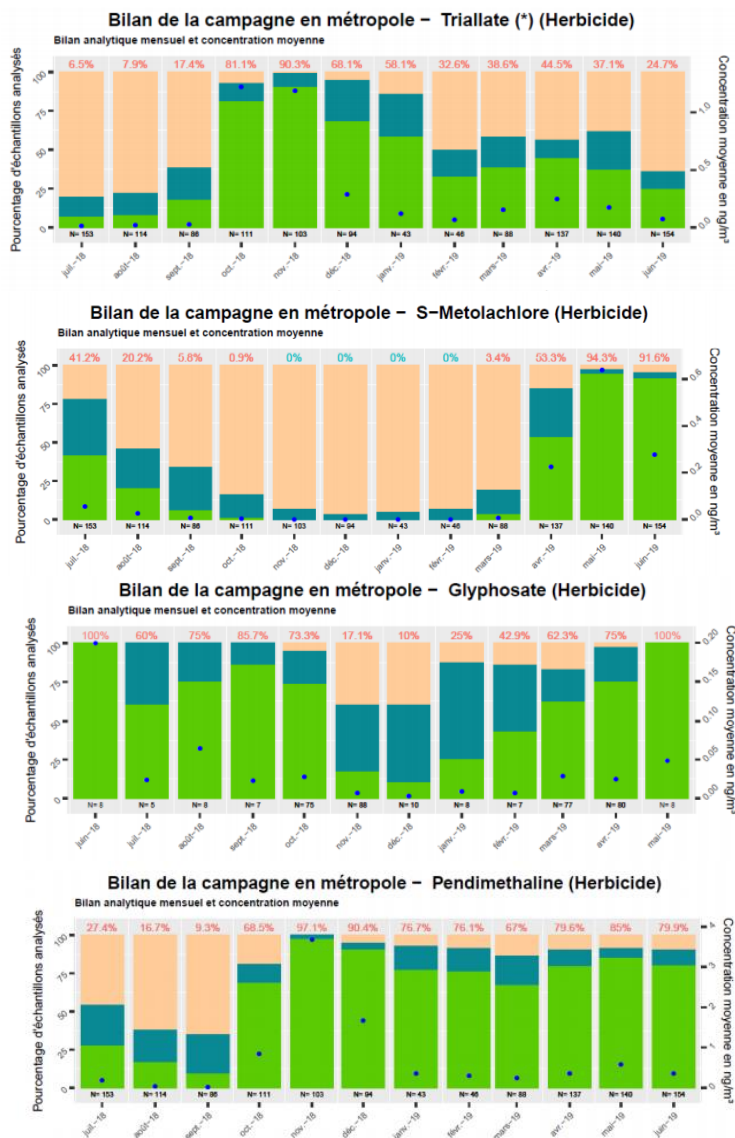


Figure 21 : Variation de la concentration moyenne mensuelle, couplée aux fréquences de détection et de quantification (suite)

Il est possible de noter sur ces différents graphiques la saisonnalité de nombreuses matières actives :

- Printemps et été pour les fongicides
- Tout au long de l'année pour l'insecticide avec une pointe en automne et au printemps
- Plutôt en hiver et au printemps pour les herbicides « triallate, pendimethaline et prosulfocarb » alors que le S-metolachlore n'est pas utilisé en hiver. Le glyphosate est présent toute l'année avec une baisse en hiver.

Il faut également remarquer la teneur moyenne mensuelle très élevée pour le prosulfocarbe au mois de novembre avec plus de 20 ng/m³.

➤ Influence de la distance

Ce paramètre n'a pas vraiment été étudié car il n'y avait qu'un seul prélèvement par site. Toutefois, les concentrations ont été reliées à la distance entre le point de prélèvement et la parcelle cultivée la plus proche. De plus d'autres données indispensables pour avoir une opinion solide n'existent pas comme la direction et la vitesse du vent...

Des figures qui ont été réalisées dans le rapport de l'ANSES, il est possible d'avancer quelques conclusions :

- Pour les herbicides, des concentrations sont notables (10 ng/m³) même à 12000 m de la parcelle la plus proche. Toutefois les concentrations les plus élevées (20 – 25 ng/m³) ont été observées pour des distances plus courtes (100 à 400 mètres).
- Pour les fongicides et les insecticides, la même remarque peut être faite et les concentrations les plus élevées se situent dans la bande 50 à 200 mètres.

1.4.3 Les résultats régionaux

a) Généralités et historique sur les campagnes de mesures menées en Bretagne

Depuis 2002, Air Breizh mène des campagnes de mesures sur le territoire breton dans différents contextes de productions agricoles (grandes cultures, élevage, maraîchage).

Tableau 9 : Historique des campagnes de mesures réalisées par Air Breizh depuis 2002

Année	Nbre de prélèvements hebdomadaires	Mois																
		Janvier	Février	Mars	Avril		Mai		Juin		Juillet		Août		Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
2002	5																	
2003	10																	
2004	13																	
2005	12																	
2006	12																	
2007	20																	
2008	20																	
2009	31																	
2010	15																	
2011	trvx																	
2012	6																	
2013	7																	
2014	11																	
2015	16																	
2016	0																	
2017	20																	
2018	20																	
2019	52																	

Le site de **Mordelles**, commune située en périphérie de la ville de Rennes, a fait l'objet de prélèvements ponctuels de 2005 à 2015. Cette continuité permet de suivre les évolutions interannuelles des niveaux dans l'air. Les campagnes de mesures ont été principalement réalisées en période printanière.

Les campagnes plus récentes (campagne CNEP de 2018/2019) ont été menées sur d'autres périodes de l'année. Elle portait sur l'analyse de 75 substances actives (y compris le glyphosate). Trois sites bretons ont été investigués : Mordelles -35 (grandes cultures), Henvic – 29 (maraîchage), Lamballe - 22 (élevage).

De 2017 à 2020, Air Breizh a participé au **projet national RePP'AIR** « Réduction des Produits Phytosanitaires dans l'Air ». L'objectif de ce projet était d'affiner la compréhension des phénomènes impliqués dans les transferts de produits phytosanitaires vers le compartiment aérien, dans l'optique d'intégrer cette question dans le conseil auprès des agriculteurs. Il était porté par la Chambre Régionale d'Agriculture Grand Est et a réuni plus de 26 partenaires. Sept sites ont fait l'objet de prélèvement dans des contextes agricoles différents. Le site retenu pour les mesures en Bretagne se trouvait à Bignan (56), sous influence polyculture élevage. 20 prélèvements hebdomadaires par an ont été réalisés durant trois années successives.

Stratégie régionale de surveillance des produits phytosanitaires dans l'air

Chaque année, la liste des substances recherchées est ajustée en fonction des substances appliquées sur le territoire, de l'historique des résultats (maintien des substances interdites si détectées dans l'échantillon par exemple), des propriétés physico-chimiques des substances (volatilité) et de leur toxicité. Depuis 2015, entre 60 et 80 substances sont recherchées par prélèvement hebdomadaire.

Le nombre de prélèvement par an fluctue en fonction des projets en cours et des sollicitations. Il est toutefois en nette augmentation depuis 2017.

Malgré cela, le nombre de substances détectées dans l'air varie peu.

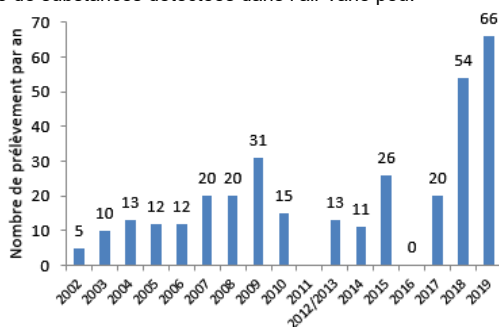


Figure 22 : Nombre de prélèvements réalisés par an

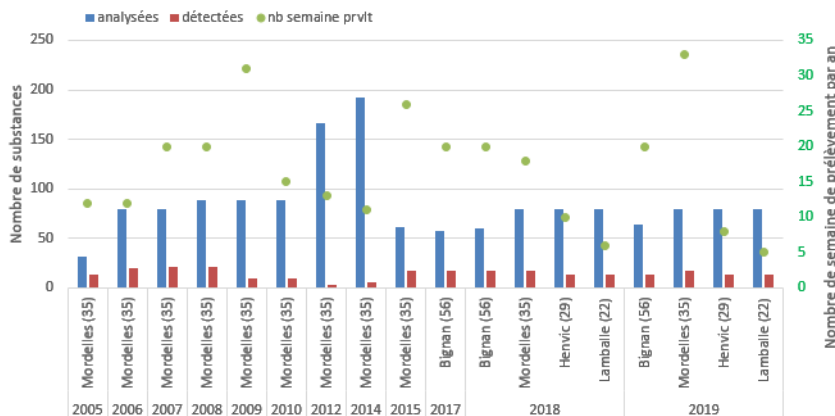


Figure 23 : Historique général des prélèvements, des substances analysées et détectées

b) Les quatre sites bretons

➤ Le site de Mordelles

C'est le site utilisé par Air Breizh depuis de nombreuses années. Utilisé également dans le cadre de la campagne CNEP, le site de Mordelles est un site péri-urbain classé « grandes cultures ».

Dans un rayon de 5 kms autour du point de prélèvement, on compte 39.6% de grandes cultures, 29.8% de cultures complexes et 17.1% de zone urbanisée.

Dans ce rayon de 5 kms la population est de 27100 habitants dont 7275 pour la commune de Mordelles. La parcelle cultivée la plus proche du point de prélèvement se trouve à 180 mètres.

La figure suivante montre la répartition des cultures dans le rayon de 5 kms.

- vignes
- vergers
- urbain
- grandes cultures
- cultures complexes
- autres

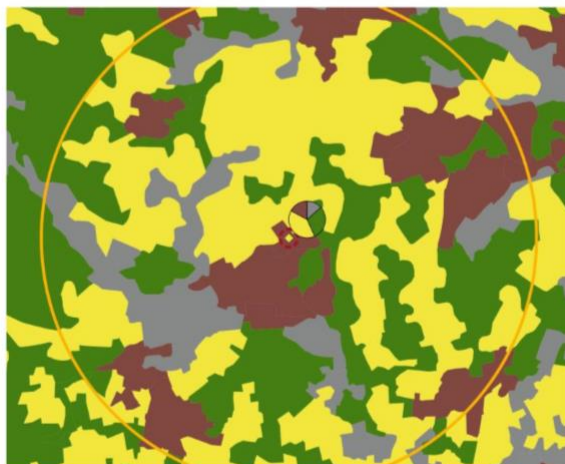


Figure 24 : Site de Mordelles - Occupation des sols dans un rayon de 5 kms [Corine Land Cover]

➤ **Le site de Henvic**

Deuxième site de la campagne de l'ANSES, le site rural de Henvic situé dans le nord Finistère est classé « maraîchage » avec « grandes cultures » comme classification secondaire. Dans le rayon de 5 kms autour du point de prélèvement, on trouve 39.9% de grandes cultures, 26.2% de cultures complexes et 9.8% de zones urbanisées. La population totale est de 8 884 habitants, la commune de Henvic en comptant 1 321. La parcelle la plus proche est à 180 m du point de prélèvement.

La figure suivante montre la répartition des cultures dans le rayon de 5 kms.

- vignes
- vergers
- urbain
- grandes cultures
- cultures complexes
- autres

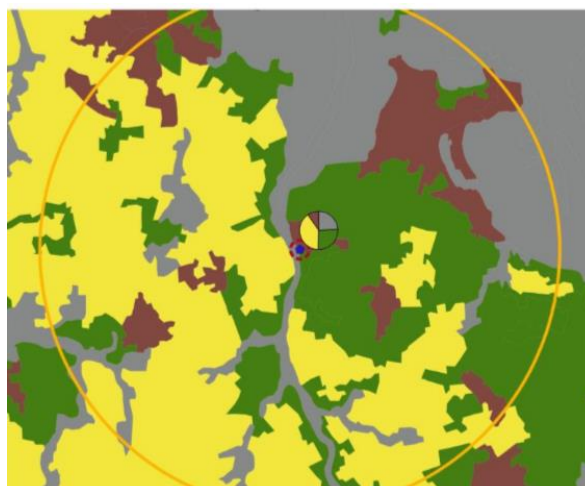


Figure 25 : Site de Henvic - Occupation des sols dans un rayon de 5 kms [Corine Land Cover]

➤ **Le site de Lamballe**

Le site de Lamballe, troisième site utilisé dans la campagne de l'ANSES est situé dans les Côtes d'Armor. Il est classé « élevage » avec « grandes cultures » comme classification secondaire. Dans le rayon de 5 kms autour du point de prélèvement, on trouve 56.6% de grandes cultures, 17.8% de cultures complexes et 11.9% de zones urbanisées. La population totale est de 13 465 habitants, la commune de Lamballe en comptant 13 465. La parcelle la plus proche est à 400 m du point de prélèvement. Siège de la COOPERL, la plus grosse coopérative porcine de France, le site est marqué par une concentration d'élevage porcin.

La figure suivante montre la répartition des cultures dans le rayon de 5 kms.

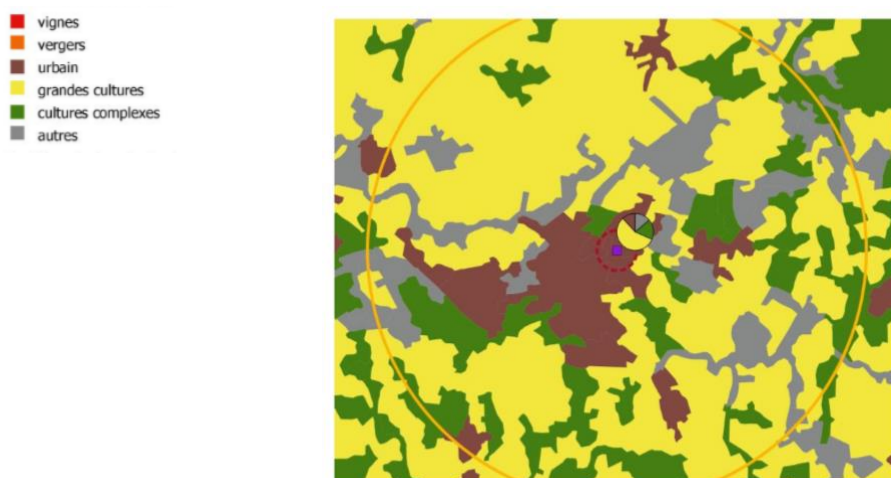


Figure 26 : Site de Lamballe - Occupation des sols dans un rayon de 5 kms [Corine Land Cover]

➤ **Le site de Bignan**

Dans le cadre du projet RéPP'air, les prélèvements pour la région Bretagne ont été effectués au niveau de la station expérimentale de la Chambre Agriculture (CRAB) de Kerguéhennec à Bignan (56).

Ce choix se justifie par plusieurs critères tels que : une bonne connaissance des exploitants agricoles autour de la station, la présence d'une station météo France sur le site, une agriculture de type polyculture-élevage dans les environs du site de prélèvement, représentative de l'agriculture bretonne.

Dans un rayon de 1.5 km autour du site, les prairies sont majoritaires dans la SAU (50%), suivies par le maïs (23%) et le blé (14%). D'autres cultures comme le colza ou l'orge sont moins importantes. Il s'agit globalement de la répartition de la SAU Bretonne.

Contrairement aux autres sites de prélèvements décrits précédemment, ce dernier se trouvait à moins de 50 mètres de la première parcelle agricole pour répondre aux demandes du projet.

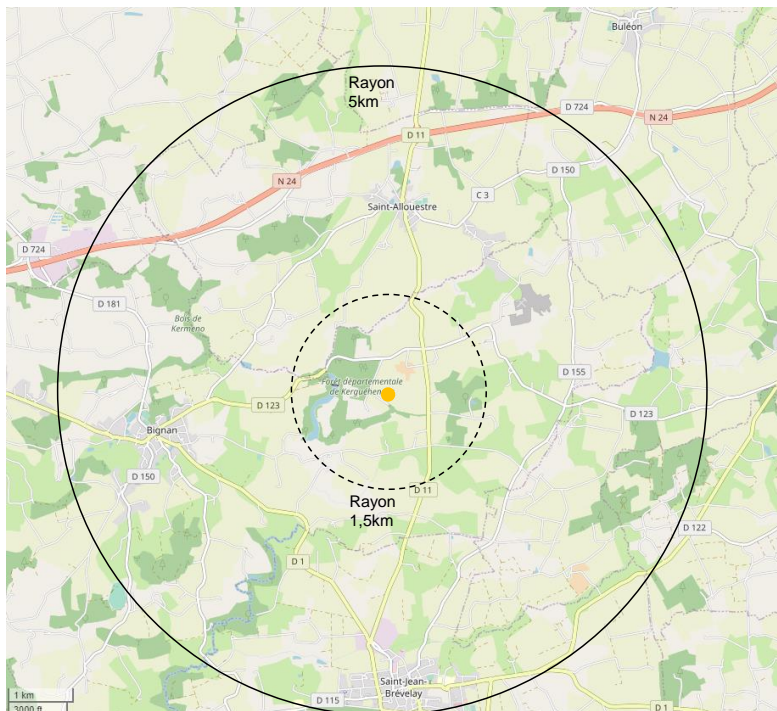


Figure 27 : Site de prélèvement au niveau de la station expérimentale de la chambre d'agriculture à Kerguéhennec – Bignan 56

c) Synthèse des campagnes de mesure à Mordelles

➤ Evolution du nombre de substances mesurées par famille

En termes de typologie des substances mesurées, les plus représentées sont généralement les herbicides (45% des substances détectées), puis les fongicides (36% des substances détectées). Les insecticides représentent environ 18% des substances détectées.

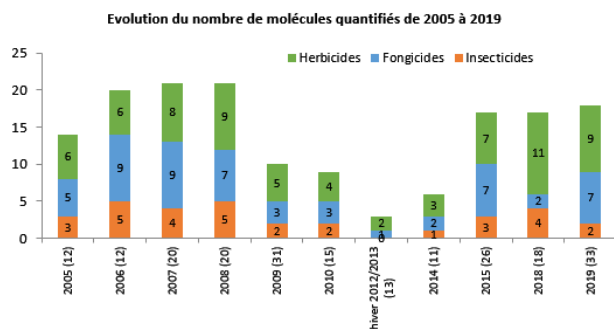


Figure 28 : Evolution du nombre de molécules détectées par famille de 2005 à 2019 (Air breizh)

➤ Evolution hebdomadaire du nombre de substances détectées

Les graphiques ci-dessous présentent le nombre de substances détectées par semaine sur toute l'année (d'après les campagnes 2005 à 2015).

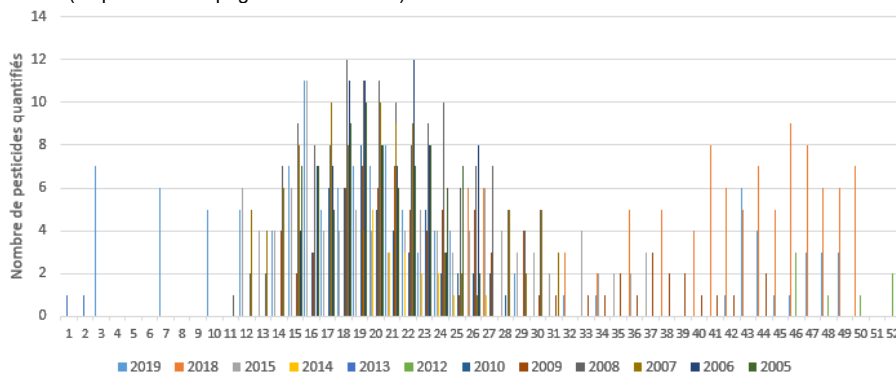


Figure 29 : Evolution hebdomadaire du nombre de substances détectées depuis 2005 (Air Breizh)

La majorité des substances est détectées sur la période d'avril à juin, qui correspond à une période propice à l'application des pesticides sur les cultures.

➤ Evolution de la charge totale en équivalent pesticide (cumul des concentrations)

Lorsque que l'on résonne en charge totale de pesticides mesurées, on observe que bien que la période printanière enregistre le nombre de substances mesurées le plus important, **les concentrations les plus importantes sont mesurées en automne (excepté 2006)**.

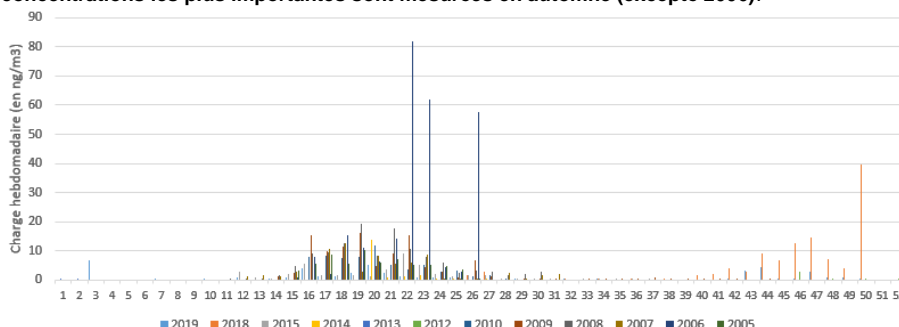


Figure 30 : Evolution des charges totales hebdomadaires depuis 2005 (Air Breizh)

➤ Les 10 substances les plus détectées durant les campagnes 2005-2019

Parmi les 10 substances les plus détectées, le **lindane** occupe la 1^{ère} place avec près de 71% de détection en moyenne de 2005 à 2015. L'utilisation de cet insecticide est pourtant interdite depuis 1998. Son large spectre d'utilisation ainsi que ses propriétés physico-chimiques (Très rémanent et très peu mobile dans les sols) pourraient expliquer encore aujourd'hui sa persistance dans l'air. Il est toutefois mesuré à de très faibles niveaux de concentrations.

Le **chlorothalonil** occupe la 2^{nde} place en termes de pourcentage de détection (58%). Il présente par ailleurs la concentration moyenne la plus élevée sur les 10 ans de mesures. Il s'agit du fongicide le plus utilisé en Bretagne sur les céréales notamment dans le cadre de la lutte contre la septoriose.

Stratégie régionale de surveillance des produits phytosanitaires dans l'air

Dans ce classement, les trois substances suivantes sont des herbicides tels que la **pendiméthaline** (53%), l'alachlore (45%) ou encore le Triallate (42%).

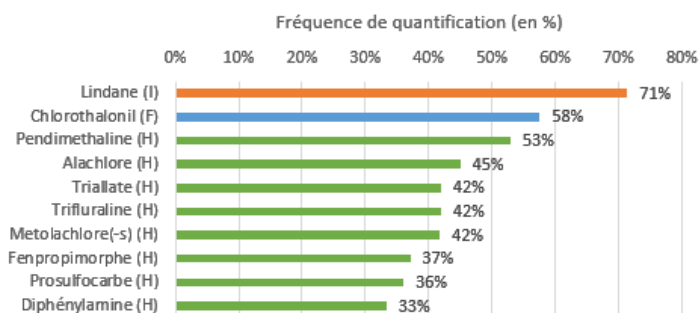


Figure 31 : Classement des 10 substances les plus détectées à Mordelles de 2005 à 2019

Parmi les herbicides mesurés, figure le **prosulfocarbe**. Il s'agit du composé majoritaire mesuré en automne depuis quelques années en raison de son application ciblée sur les cultures de céréales d'hiver.

A ce sujet, suite à des signalements de dépassements de limites maximales de résidus de prosulfocarbe sur des cultures pour lesquelles cette substance active n'est pas autorisée, l'ANSES a modifié le 4 octobre 2018 les autorisations de mise sur le marché à base de prosulfocarbe en maintenant l'obligation d'utiliser un dispositif homologué pour limiter la dérive de pulvérisation et en introduisant des précautions pour les applications d'automne, afin de limiter la contamination des cultures non cibles.

d) [Synthèse des sites bretons suivis lors de la campagne nationale exploratoire CNEP](#)

Le tableau suivant donne la fréquence de quantification par profil agricole et permet une comparaison entre le niveau national et le niveau breton.

Tableau 10 : Substances les plus quantifiées par site de mesure (CNEP)

Grandes cultures	Sites en métropole (x12)	Mordelles	Commentaires
Nombre substances quantifiées	44	25	
Fréquence quantification $\geq 20\%$	de Chlorothalonil (32%) Chlorpyrifos methyl (37%) Glyphosate (65%) Lindane (83.5%) Pendiméthaline (83%) Propyzamide (26%) Prosulfocarbe (61%) S-Metolachlore (34%) Triallate (70%)	Chlorothalonil (32%) Chlorpyrifos methyl (26%) Diflufenicanil (26%) Lindane (97%) Pendiméthaline (94%) Propyzamide (24%) Prosulfocarbe (44%) S-Metolachlore (53%) Triallate (62%)	25 substances quantifiées sur le site de Mordelles contre 44 sur les autres sites de profil agricole similaire. 9 substances fréquemment quantifiées ($\geq 20\%$) dont 4 mesurées sur plus de 50% des échantillons.
Fréquence quantification $\geq 50\%$	de Glyphosate (65%) Lindane (83.5%) Pendiméthaline (83%) Prosulfocarbe (61%) Triallate (70%)	Lindane (97%) Pendiméthaline (94%) S-Metolachlore (53%) Triallate (62%)	
Maraîchage	Sites en métropole (x4)	Henvic	Commentaires
Nombre substances quantifiées	30	19	
Fréquence quantification $\geq 20\%$	de Chlorothalonil (21%) Glyphosate (41%) Lindane (69%) Pendiméthaline (81%) Propyzamide (22%) Prosulfocarbe (40%) S-Metolachlore (29%) Triallate (29%)	Chlorothalonil (22%) Clomazone (22%) Lindane (100%) Pendiméthaline (94%) Propyzamide (50%) Prosulfocarbe (89%) S-Metolachlore (50%) Triallate (50%)	19 substances quantifiées sur le site de Henvic contre 30 sur les autres sites de profil agricole similaire. 8 substances fréquemment quantifiées ($\geq 20\%$) dont 6 mesurées sur plus de 50% des échantillons.
Fréquence quantification $\geq 50\%$	de Lindane (69%) Pendiméthaline (81%)	Lindane (100%) Pendiméthaline (94%) Propyzamide (50%) Prosulfocarbe (89%) S-Metolachlore (50%) Triallate (50%)	
Elevage	Sites en métropole (x3)	Lamballe	Commentaires
Nombre substances quantifiées	18	22	
Fréquence quantification $\geq 20\%$	de Glyphosate (24%) Lindane (37%) Pendiméthaline (49%) Prosulfocarbe (26%) S-Metolachlore (23%) Triallate (29%)	Diflufenicanil (45%) Glyphosate (75%) Lindane (100%) Pendiméthaline (82%) Prosulfocarbe (64%) S-Metolachlore (45%) Triallate (73%)	22 substances quantifiées sur le site de Lamballe contre 18 sur les autres sites de profil agricole similaire. 7 substances fréquemment quantifiées ($\geq 20\%$) dont 4 mesurées sur plus de 50% des échantillons.
Fréquence quantification $\geq 50\%$	de	Lindane (100%) Pendiméthaline (82%) Prosulfocarbe (64%) Triallate (73%)	

Fréquence de quantification (%) = nombre d'analyses quantifiées/nombre total d'analyse x 100

➤ Les concentrations moyennes annuelles

Tableau 11 : Résultats des concentrations moyennes annuelles (CNEP)

Concentrations moyennes annuelles (en ng/m ³)	Moyenne nationale métropole (45 sites)	Mordelles	Henvic	Lamballe
Can ≥ 0.1 ng/m ³	Chlorothalonil (0.24) Chlorpyrifos methyl (0.21) Folpel (1.03) Glyphosate (0.04) Lindane (0.06) S-Metolachlore (0.10) Pendiméthaline (0.66) Prosulfocarbe (2.61) Triallate (0.27)	Chlorothalonil (0.42) Pendiméthaline (0.41) Prosulfocarbe (2.51) Triallate (0.21)	Chlorothalonil (0.12) S-Metolachlore (0.12) Pendiméthaline (0.99) Prosulfocarbe (1.20) Triallate (0.17)	Chlorothalonil (0.40) Folpel (0.23) Pendiméthaline (0.51) Prosulfocarbe (2.08) Triallate (0.30)
Can ≥ 1 ng/m ³	Folpel (1.03) Prosulfocarbe (2.61)	Prosulfocarbe (2.51)	Prosulfocarbe (1.20)	Prosulfocarbe (2.08)

A noter que les niveaux de concentration retenus pour commenter l'ensemble des résultats sont basés uniquement sur des critères quantitatifs et correspondent aux trois ordres de grandeur rencontrés (0,01 / 0,1 / 1 ng/m³).

De toutes les substances mesurées en métropole, le folpel et le prosulfocarbe présentent des niveaux de concentration maximum, avec respectivement une moyenne annuelle de 1,03 et 2,61 ng/m³.

Concernant les sites bretons, le prosulfocarbe présente les moyennes annuelles les plus élevées en accord avec la moyenne nationale. Il s'agit d'un herbicide principalement utilisé sur les céréales à l'automne.

➤ Distribution temporelle des niveaux de concentrations

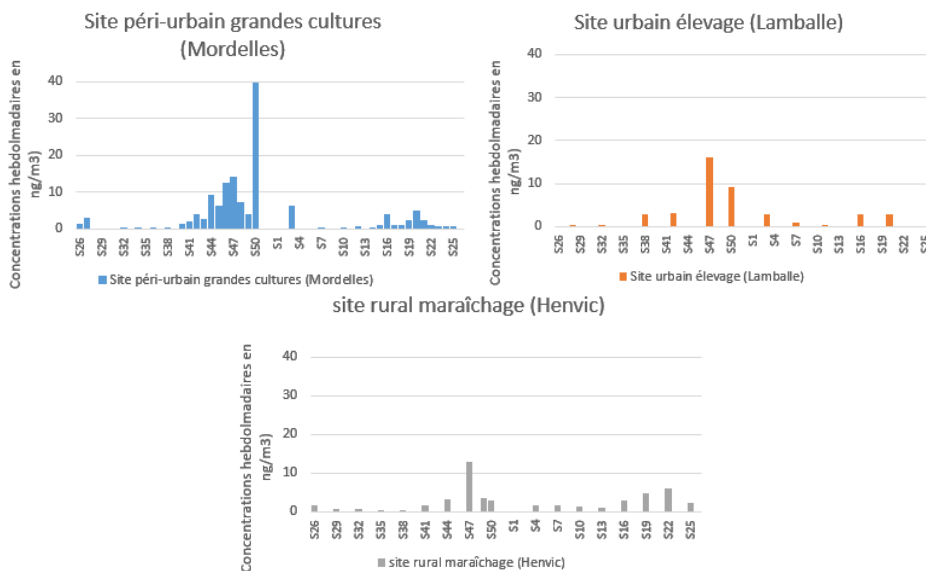


Figure 32 : Evolution mensuelle des concentrations hebdomadaires par site (CNEP)

e) [Le projet national RéPP'Air](#)

➤ **Présentation, objectifs et partenariat**

Sur la thématique émergente des produits phytosanitaires dans l'air, le projet RePP'Air « Réduction des Produits Phytosanitaires dans l'Air » vise à **affiner la compréhension des phénomènes impliqués dans les transferts de produits phytosanitaires vers le compartiment aérien, dans l'optique d'intégrer cette question dans le conseil auprès des agriculteurs.**

Lauréat au Casdar Innovation et Partenariat 2016 et porté par la Chambre Régionale d'Agriculture Grand Est, RePP'Air réuni 26 partenaires (les Chambres d'agricultures, les Associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'air, les organismes de recherche et les établissements de formation agricole). D'une durée de 3,5 ans (2017-2021), le projet compte 7 sites d'études, répartis dans 7 régions françaises.



Figure 33 : Les sites de prélèvement du projet RéPP'Air

Trois grands objectifs nationaux ont été définis :

- Disposer de connaissances techniques et scientifiques pour appréhender les processus de transfert de produits dans l'air ;
- Pouvoir accompagner la profession agricole vers des solutions performantes, limitant les risques tout en restant économiquement et socialement pertinentes ;
- Positionner le partenariat au cœur du projet : consolider les liens entre partenaires pour avancer ensemble.

Au niveau de la région Bretagne, les partenaires du projet sont :

- La Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne : basée sur sa station expérimentale de Kerguéhennec où les prélèvements ont été effectués.
- Air Breizh : l'AASQA de la région Bretagne, l'une des 19 associations de surveillance de la qualité de l'air en France, agréées par le Ministère de l'Environnement, qui constituent le dispositif national appelé ATMO.
- Le Lycée d'Enseignement Général et Technologique Agricole Théodore Monod : ce centre de formation agricole est situé à Le Rheu en Ille-et-Vilaine.

➤ **Les 4 actions du projet**

Le projet est décliné en 4 actions avec des objectifs précis.

L'action 1 qui consiste à réaliser un **suivi harmonisé de la présence des produits phytosanitaires dans l'air** avec une méthodologie commune dans les 6 régions participantes sur 4 systèmes agricoles identifiés : Grandes cultures, Polyculture-élevage, viticulture et arboriculture. Le but étant de capitaliser des données de mesures de produits dans l'air sur une même base, qui seront valorisés dans les actions 2 et 3. Cette action est coordonnée par l'AASQA Grand Est, et fait appel aux compétences techniques et scientifiques de l'ensemble des AASQA et de l'INERIS.

L'action 2 consiste à associer les données récoltées dans l'action 1, c'est-à-dire les molécules retrouvées dans le compartiment aérien, aux pratiques de traitements des agriculteurs, grâce à la réalisation **d'enquêtes simultanées aux mesures**. L'objectif est d'expliquer l'origine et les quantités de produits retrouvées, mieux comprendre les phénomènes impliqués, et identifier des pratiques susceptibles de limiter la dispersion des produits phytosanitaires dans l'air. L'action est coordonnée par les Chambres Régionales d'Agriculture.

L'action 3 propose de développer et utiliser des **indicateurs qui permettent d'appréhender les risques de transfert dans l'air** en fonction des pratiques agricoles mises en œuvre et des molécules retrouvées. L'objectif est d'apporter de nouveaux éléments de compréhension afin de progresser vers une atténuation des pertes de produits phytosanitaires dans l'air. L'action porte sur différents indicateurs complémentaires. Une première tâche consiste à améliorer l'indicateur I-Phy Air 2 qui estime l'effet des pratiques sur les risques d'émission de substances actives. Pour ce faire, les données collectées dans l'action 2 seront utilisées ainsi que deux outils de la recherche : Volt'Air qui modélise la volatilisation et Typol qui évalue la sensibilité des molécules à la volatilisation. Dans un second temps, des indicateurs d'état de l'atmosphère seront appliqués aux résultats de l'action 1 afin d'estimer selon une première approche, les risques potentiels de toxicité et l'exposition de la population locale. Cette action est coordonnée par l'INRA de Colmar et réalisée en collaboration avec l'INRA Paris Grignon, les AASQA et les chambres d'agricultures.

L'action 4 vise à **transférer l'ensemble des connaissances** acquises auprès d'un large public. Dans ce but, plusieurs initiatives sont entreprises. Un premier point a consisté à organiser une gouvernance technique et politique dans chaque région pour travailler de façon concertée sur la problématique, à l'échelle locale. Afin de valoriser les acquis, une boîte à outils est développée, contenant un référentiel de bonnes pratiques et une étude prospective sur la formulation des produits phytosanitaires. Le transfert passe également pour une sensibilisation du secteur agricole. Ainsi, des interventions et modules de formation sont réalisés pour les agriculteurs actuels et futurs. Enfin, de la communication auprès du grand public est prévue. Cette action est coordonnée par la Chambre Régionale d'Agriculture ACAL, et sera réalisée par l'ensemble des partenaires du projet.

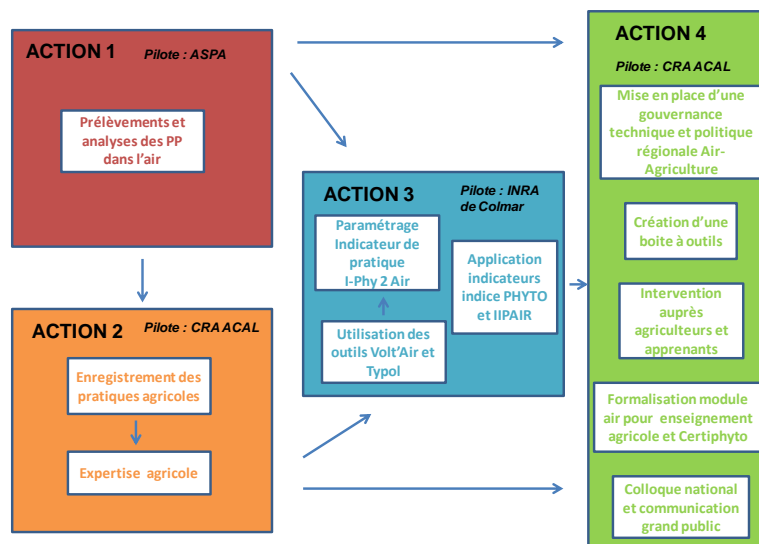


Figure 34 : Les 4 actions du projet RêPP'Air

➤ Résultats des mesures dans l'air (action 1)

- Le protocole

Air Breizh avait en charge la réalisation des mesures dans l'air sur le site de la station expérimentale de Kerguéhennec à Bignan.

Au total **20 prélèvements hebdomadaires par an** ont été réalisés sur la durée totale du projet (soit 60 prélèvements au total) répartis sur deux saisons principales : le printemps (14 semaine/an) et l'automne-hiver (6 semaine/an). Une seule exception toutefois concernant la dernière année de prélèvement pour laquelle les prélèvements de la campagne automne-hiver ont été avancés à la fin de l'été afin d'une part d'étudier une autre période de l'année et par ailleurs permettre l'analyse des résultats avant la fin du projet.

Concernant le choix des **substances analysées**, les critères suivants ont été pris en compte :

- Pré-sélection des substances à l'aide de l'outil Sph'air (développé par l'INERIS) qui tient compte des quantités de substances utilisées dans le secteur (rayon 5 kms), des propriétés physico-chimiques des substances et de leur toxicité.
- Consultation des bases de données de ventes des pesticides à l'échelle communale complétée par des échanges avec la chambre d'agriculture sur les usages pour identifier les substances d'intérêt.
- Ajout des substances appartenant à une liste socle national défini par l'ANSES (substances hautement prioritaires et prioritaires).
- Prise en compte de la faisabilité technique des analyses.

Au total une soixantaine de molécules a été recherchée chaque année. Cette liste a été mise à jour avant chaque début de campagne annuelle pour tenir compte des résultats de l'année précédente et de l'évolution des usages.

- Les résultats :

Sur les trois années étudiées, les herbicides ont été les plus quantifiées (entre 8 et 11 substances), suivis par les fongicides et les insecticides (le lindane).

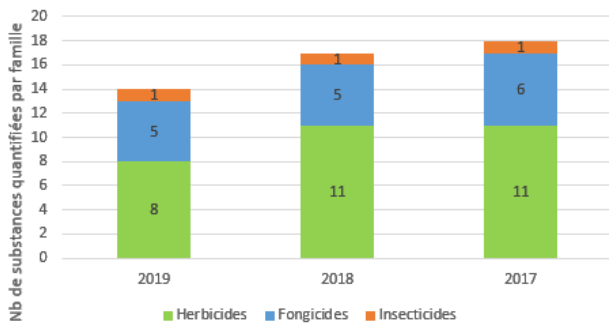


Figure 35 : Evolution du nombre de substances quantifiées par famille de pesticides (RéPP'AIR)

Les substances quantifiées sont les plus nombreuses au printemps (jusqu'à 9 substances par semaine). En automne-hiver, le nombre de substance est moins important (entre 3 et 5 substances par semaine). En revanche, cette période enregistre les charges totales hebdomadaires les plus importantes (jusqu'à 90 ng/m³) contre 30 à 40 ng/m³ au maximum au printemps.

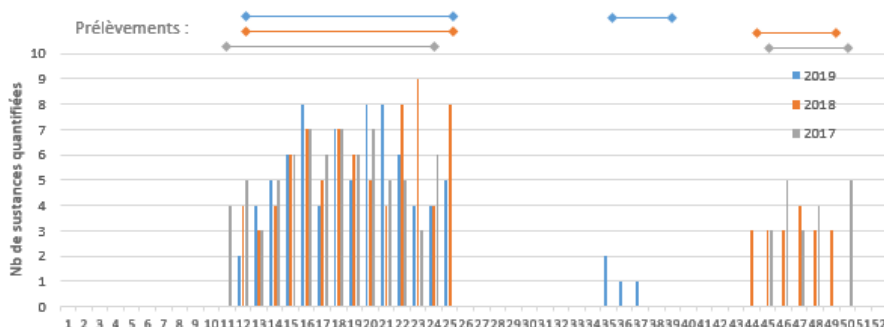


Figure 36 : Evolution du nombre de substances quantifiées par semaine (RéPP'AIR)

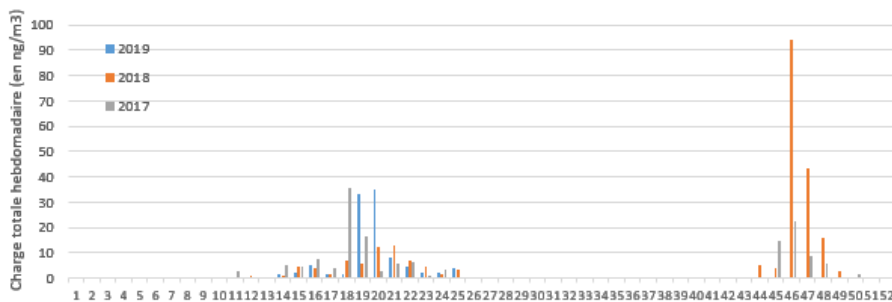


Figure 37 : Evolution de la charge totale hebdomadaire (en ng/m³) (RéPP'AIR)

Pour ce qui est des prélèvements réalisés en fin d'été en 2019, le nombre de substances est faible (max. 2 substances par semaine) ainsi que les charges totales hebdomadaires (max 0.3 ng/m³).

Parmi les substances les plus mesurées sur les trois années de mesure, les 5 premières sont des herbicides. Le Lindane (seul insecticide) occupe le 6^{ème} rang. Concernant les fongicides, leur taux de quantification est inférieur à 15%.

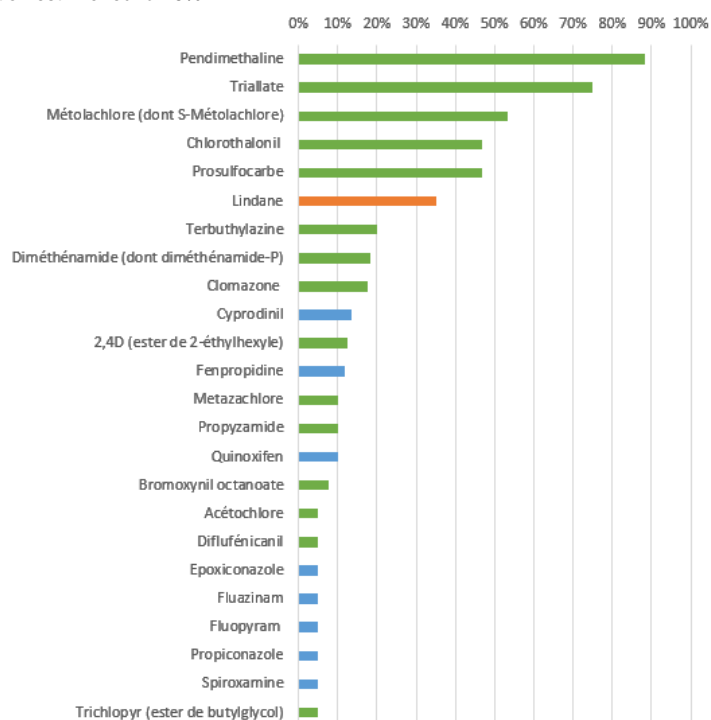


Figure 38 : Pourcentage de quantification moyen par substance sur les campagnes 2017, 2018 et 2019 (RéPP'Air)

➤ Les grands enseignements du projet

Le projet se terminera au printemps 2021. A ce stade, il a notamment mis en exergue **l'influence des caractéristiques physico-chimiques des molécules dans les transferts par volatilisation, de la formulation, de la météorologie.**

Il a également permis **une première étape d'acculturation des partenaires** du projet à cette problématique émergente, et d'identifier les travaux restant à mener pour donner aux conseillers et agriculteurs des solutions concrètes à large échelle.

Sur le volet des **ressources pour le conseil et l'enseignement agricole**, ce projet a permis de créer des documents pédagogiques (fiches techniques) et de réaliser des interventions auprès des apprenants des lycées partenaires.

Dans la continuité de ce projet et afin compléter les connaissances sur les pratiques agricoles limitant les transferts de produits phytosanitaires dans l'air, un nouveau projet a été déposé dernièrement au CasDAR Innovation et Partenariat 2021.

II. Méthodes de quantification disponibles

II.1. Revue des techniques de mesures disponibles (principe, caractéristiques, coûts, métrologie)

L'analyse des produits phytopharmaceutiques dans l'air comprend trois phases distinctes :

- Une phase d'échantillonnage
- Une phase d'extraction des produits d'intérêt
- Une phase d'analyse

Une revue des différentes méthodologies est faite par Kosikowska et Biziuk (2010).

II.1.1 L'échantillonnage

Comme la grande majorité des polluants atmosphériques, l'échantillonnage peut être actif ou passif.

a) L'échantillonnage actif

Comme les pesticides peuvent être en phase gazeuse, sous forme d'aérosols ou adsorbés sur des particules fines, le piège est précédé d'un filtre qui ne laisse passer que les particules fines et les aérosols. On analyse ensuite le filtre et l'adsorbant.

Pour la rétention des composés organiques de très nombreux supports ont été utilisés : XAD-2, XAD-4, Carboxen, Carbotrap, Carboxen, Tenax TA, Chromosorb, gel de silice souvent pris en sandwich dans de la mousse de polyuréthane.

Les prélèvements vont se faire avec des débits assez importants et souvent on parle de bas débit pour 1 m³/h et de haut débit pour 15 à 30 m³/h. Le temps de prélèvement est souvent assez long pour atteindre les seuils de détection et de quantification inférieurs au ng/m³. De manière classique il est possible d'accumuler sur un ou plusieurs jours ou une semaine.

Le tableau suivant donne quelques exemples de ces prélèvements actifs :

Tableau 12 : Exemple de méthode de prélèvement actif

Temps de prélèvement (h)	Type de filtre	Adsorbant	Référence
5.5 - 9	Fibre de verre	XAD 2 – PUF	White et al (2006)
24	Fibre de verre	XAD 2	Scheyer et al (2005)
24	Fibre de verre	PUF	Coscola et al (2008)
18 – 67	Fibre de verre	PUF	Alegria et al (2000)
84	Fibre de verre	XAD 2 – PUF	Waite et al (2004)
168	Fibre de verre	XAD 2 – PUF	Yao et al (2006)
12	Fibre de quartz	XAD 2 – PUF	Sofuoglu et al (2001)
24	Fibre de quartz	PUF	Lammel et al (2007)
24	Fibre de quartz	PUF	Yang et Mu (2008)
24	Fibre de quartz	XAD 2	Burhler et al (2004)

PUF : mousse de polyuréthane

b) L'échantillonnage passif

Comme pour beaucoup d'autres polluants atmosphériques de nombreuses études ont cherchées à mettre en œuvre un échantillonnage passif. Les principaux adsorbant utilisés sont les mêmes que pour l'échantillonnage actif (XAD2 et PUF), enveloppés dans une enceinte qui régule le flux d'air.

Le polyméthylsiloxane (PMDS) a également été testé. Cette méthode a de très nombreux avantages : faibles coûts, pas de branchement électrique, manipulation facile, peu de maintenance... mais elle se heurte également à un problème, c'est la connaissance du débit qui passe à travers le tube à diffusion, ce débit pouvant dépendre des conditions météorologiques comme la vitesse du vent.

De très nombreuses publications rapportent ce type d'échantillonnage et certaines sont rassemblées dans le tableau suivant.

Tableau 13 : Exemple de méthode de prélèvement passif

Adsorbant	Durée d'échantillonnage	Référence
Disques PUF	4 mois	Gouin et al (2005)
Disques PUF	6 semaines	Javard et al (2004)
POG	7 jours	Farrar et al (2006)
Disques PUF	2 mois	Pozo et al (2004)
XAD 2	1 année	Shen et al (2005)
XAD 2	5 à 8 mois	Wania et al (2003)
Disques PUF	28 jours	Klanova et al (2006)
PMDS	14 jours	Wennrich et al (2002)
XAD 2	14 jours	Levy et al (2018)

POG : Film de polymère sur verre

La résine XAD 2 est l'adsorbant le plus étudié et le plus normalisé. Pour les expériences menées par Levy et al (2018) en Alsace, le débit de diffusion est pris égal à 5,1 m³/J comme cela a été publié par Liaud et al en 2017.

Dans d'autres publications, le débit de diffusion moyen se situe entre 2 et 4 m³/J (Wania et al, 2003 ; Gouin et al 2008, Wang et al, 2010).

Il faut bien noter ici que ces valeurs sont un débit moyen, débit qui est différent selon la molécule adsorbée.

Levy et al (2020) proposent d'ailleurs de calibrer les échantillonneurs passifs avec un préleveur actif.

Une représentation de ce type de préleveur est donnée par la figure suivante d'après Harner et al (2006).

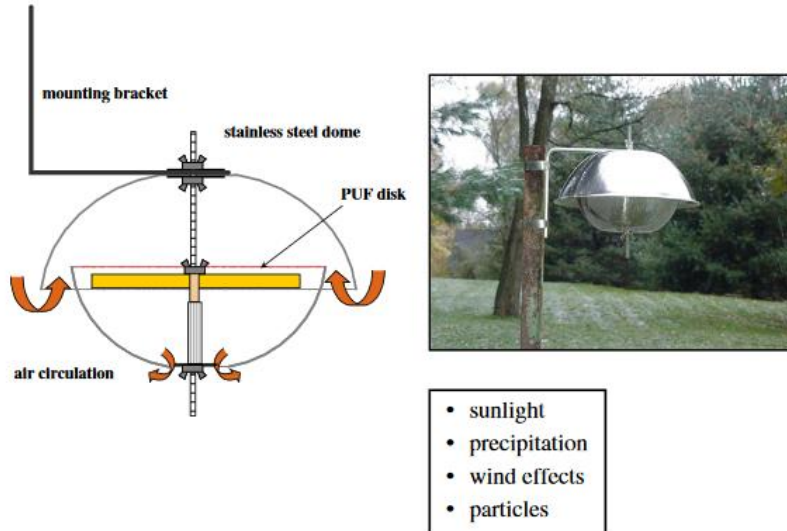


Figure 39 : Représentation d'un préleveur passif [Harner et al (2006)]

En 2020, Levy et al rapportent l'utilisation d'un nouvel adsorbant basé sur le dépôt d'une base carbonée sur une mousse de carbure de silicium. Contrairement à la résine XAD 2, ce matériau a une faible perte de charge et peut être réutilisé.

II.1.2 L'extraction et la concentration

Sans entrer dans le détail, toutes les techniques d'extraction ont été rapportées dans les différentes publications mentionnées ci-dessus : soxhlet, extraction sous haute pression, extraction par agitation, extraction assistée par ultrasons, extraction assistée par micro-ondes...

De la même manière, les solvants d'extraction utilisés sont multiples : acétate d'éthyle, acétone, benzène, dichlorométhane, éther de pétrole... pris seul ou en mélange (Kosikowska et Biziuk, 2010). Les publications les plus récentes utilisent l'appareil de chez « Dionex » l'ASE 300/350 à haute température (100 à 150°C) et à haute pression (100 bars).

Usuellement, le solvant d'extraction est concentré à basse température sous courant d'azote à un volume de 0.5 à 1 mL. L'extrait peut être ensuite purifié par passage sur un adsorbant solide soit par passage direct (florisil), soit par chromatographie en phase inverse (C₁₈...).

II.1.3 L'analyse chromatographique

Devant la multiplicité des protocoles utilisés, seules les grandes lignes vont être données.

Pour les produits les plus volatiles, la technique de séparation utilisée sera préférentiellement la chromatographie en phase gazeuse (CPG ou GC en anglais) avec une colonne capillaire. Pour la détection en masse, la technique d'ionisation est généralement l'impact électronique à 90 eV.

Pour de très nombreux composés et en particulier les composés très peu volatiles, on utilisera la chromatographie liquide haute performance (HPLC et UPLC). Pour la détection en masse l'ionisation par électrospray (ESI) est la plus courante.

Si au début des années 2000 de nombreux type de détecteurs pouvaient être utilisés (ionisation de flamme (FID), thermo-ionique (NPD), capture d'électrons (ECD), aujourd'hui, seule la spectrométrie de masse en tandem est utilisée. Elle consiste à analyser la masse de l'ion parent, puis à fragmenter celui-ci et à analyser ensuite les ions fils. On a ainsi une très bonne sélectivité.

Trois techniques existent :

- La technique triple quadripôle
- La technique quadripôle/trappe d'ions
- La technique quadripôle/analyseur à temps de vol

Dans les appareils les plus récents, il est possible d'obtenir la masse exacte de l'ion parent et des ions fils et de ce fait leur formule brute, ce qui augmente la sélectivité. Certains appareils sont dotés de la technique de « mobilité ionique » qui permet de différencier les isomères.

Un cas particulier est l'analyse du glyphosate et de ses dérivés. Ces composés très hydrophiles à bas poids moléculaires sont difficiles à détecter directement que cela soit en masse, avec une détection UV ou par fluorescence. Des techniques de dérivation ont donc été mises au point, le réactif le plus souvent utilisé étant le 9-fluorenylméthyl chloroformate (FMOC-Cl). On pourra se reporter à la revue des techniques de dérivation faite par Arkan, et Molnár-Perl en 2015. Pour ces composés des études récentes rapportent une analyse sans dérivation en utilisant une colonne « hypercarb » une ionisation par électrospray et un triple quadripôle utilisé en mode MRM.

Ces analyses sont coûteuses en temps et en matériel. Les AASQA possèdent les appareils de prélèvement actifs à faible débit et à haut débit, le coût unitaire de chacun d'entre eux étant de plusieurs dizaines de milliers d'euros. Les techniciens ont l'habitude d'instrumenter avec des tubes à diffusion passive pour de nombreux polluants, mais l'application des prélèvements passifs pour l'analyse des pesticides n'est ni réalisée ni mise au point.

Pour les techniques d'extraction et d'analyse par chromatographies couplées à la spectroscopie de masse, il faut s'adresser à des laboratoires universitaires ou des laboratoires privés spécialisés car chaque appareil GC/MS.MS ou HPLC/MS.MS coûte environ 400 000 euros. De plus il est nécessaire d'automatiser les techniques d'extraction, de concentration et de purification. De ce fait il faudra compter de l'ordre de 500 euros pour chaque échantillon, l'analyse glyphosate, AMPA, glufosinate étant facturée en plus.

II.2. Normes et guides méthodologiques préconisés par le LCSQA

II.2.1 Prélèvement actif

Les prélèvements sont réalisés selon la norme **XP X43-058** (septembre 2007) relative aux prélèvements de pesticides dans l'air ambiant.

La norme est applicable aux prélèvements dans l'air ambiant pour une étendue de concentration de l'ordre de 0,1 ng/m³ à 100 ng/m³.

La méthode sous-estime les teneurs de certaines substances très volatiles. Par conséquent, sous réserve de vérification des critères de prélèvement et d'analyse décrits dans la norme, la méthode de prélèvement est applicable pour les substances figurant en annexe B de cette norme qui ont fait l'objet de tests en dynamique de capacité de rétention avec des taux compris entre 60 % et 120 %.

L'air est aspiré à un débit connu au travers d'un filtre retenant la phase particulaire, puis d'un matériau adsorbant en PUF retenant la phase gazeuse ; les deux phases prélevées sont ensuite réunies pour être dosées conjointement. Ces deux éléments sont regroupés dans un module de prélèvement commun.

Le filtre et la mousse sont préalablement préparés par le laboratoire (norme XP 43-059). Les filtres sont calcinés à 500 °C minimum pendant au moins 4 h. Pour un premier conditionnement, les mousses de polyuréthane neuves doivent être conditionnées dans un tube de Soxhlet avec de l'acétone pendant 16h à 24h (quatre à six cycles par heure). Elles sont ensuite soumises à une seconde extraction pendant 16h à 24h (quatre cycles à six cycles par heure) avec un mélange hexane/éther diéthylique (95/5 – v/v). Dans le cas d'une réutilisation de la mousse, seule la seconde extraction décrite ci-dessus est mise en œuvre. Les mousses sont ensuite séchées sous courant d'azote afin d'éliminer le solvant. Les deux modules sont ensuite conditionnés dans la cartouche de prélèvement préalablement traitée pendant 15 min dans une cuve à ultrasons avec de l'eau et des détergents de laboratoire.

Le prélèvement doit être réalisé dans les 15 jours qui suivent le conditionnement du module de prélèvement.

Le choix du couple durée/débit de prélèvement est lié à la gamme des concentrations attendues. Les ordres de grandeur des débits utilisés sont les suivants :

- Préleveur bas volume - LVS (de l'ordre de 0,5 à 3 m³.h⁻¹) utilisé habituellement pour des prélèvements hebdomadaires,
- Préleveur haut volume - HVS (de l'ordre de 15 à 30 m³.h⁻¹), utilisé habituellement pour des prélèvements journaliers.

Les préleveurs bas volumes sont les plus utilisés pour les prélèvements de pesticides. Il s'agit par exemple du préleveur Partisol commercialisé par « Ecomesure » (débit 1 m³.h⁻¹).



Figure 40 : Préleveur bas volume Partisol utilisé pour le prélèvement des pesticides dans l'air

Le préleveur est doté d'une tête de prélèvement qui peut permettre de sélectionner la fraction de granulométrie des particules prélevées. Fonction de l'objectif de l'étude, les prélèvements peuvent être réalisés sans sélection de taille des particules (TSP) ou bien spécifiquement sur la fraction PM10 des particules.

II.2.2 L'analyse

L'analyse est réalisée en laboratoire selon la norme **XP X43-059 (septembre 2007)** relative à l'analyse de pesticides dans l'air ambiant.

Entre la réception et le début de l'extraction, les échantillons doivent être conservés à une température inférieure ou égale à -18 °C et pendant une durée inférieure à 150 jours.

Les supports de prélèvement (mousses et filtres) subissent ensuite une extraction commune. Après extraction, les extraits peuvent être conservés à une température inférieure ou égale à -18 °C pendant une durée maximale de 40 jours. Le rendement d'extraction de chaque substance doit être compris entre 60 % et 120 %.

Les extraits sont purifiés, puis analysés par couplage chromatographie gazeuse et spectrométrie de masse en mode de scrutation d'ions spécifiques (GC/MSD) ou par couplage chromatographie liquide et double spectrométrie de masse (LC/MS/MS).

Pour assurer la fiabilité des analyses, le LCSQA organise régulièrement des comparaisons inter laboratoire (CIL) à destination des laboratoires sous-traitants des AASQA pour la surveillance des polluants par méthodes analytiques différées. Les pesticides sont concernés par ces travaux. Une inter comparaison sera organisée en 2021.

Une remarque importante concerne les limites de détection qui sont données en annexe pour les molécules analysées dans la campagne ANSES. En effet c'est cette limite de détection analytique qui dans le cadre des analyses va définir les seuils en dessous desquels la substance sera considérée comme absente de l'échantillon pour faire les calculs de la concentration moyenne. Pour la grande majorité des matières actives elle est égale ou inférieure à 7.5 ng par échantillon ce qui ramené à un prélèvement hebdomadaire sur 168 heures avec un débit de $1\text{ m}^3/\text{h}$ correspond à une limite de concentration de l'ordre de $0.05\text{ ng}/\text{m}^3$. Rappelons que la limite de quantification est égale à environ trois fois la limite de détection.

III. Dimensionnement d'une stratégie de surveillance dans l'air ambiant

Avant de définir les contours d'une stratégie régionale de surveillance des pesticides dans l'air, il est bon de se pencher sur les connaissances déjà acquises et sur les différents paramètres qui vont influencer sur un niveau de concentration et un niveau d'exposition.

En premier lieu, il faut revenir sur les mécanismes physiques d'un traitement :

- En traitement d'un sol, une partie de la matière active atteint sa cible et une autre partie va dans l'atmosphère sous forme gazeuse ou sous forme de gouttelettes plus ou moins grosses. Ensuite sous l'effet des conditions climatiques (vent soleil et température) une autre partie de cette matière active va lentement passer dans l'air.
- Lorsque le traitement vise des plantes, de la vigne ou des arbres, la part de matière active qui atteint sa cible est plus faible car la perte est à la fois sur le sol et dans l'atmosphère. Ensuite on a le même mécanisme plus lent, mécanisme du aux conditions climatiques.

Déjà en 1999 Van Den Berg et al estimaient la perte dans l'air de l'ordre de 30 à 50 %. Seux (2020) estime la perte atmosphérique directe à 25% pour le chlorothalonil et 40% pour la fenpropridine.

Dans un article intitulé « Inventaire des émissions de pesticides dans l'air en Europe », Sarigiannis et al (2013) ont développé un modèle mathématique qui prend en compte de nombreux facteurs :

- La fraction perdue à cause du vent au moment de l'application
- La fraction perdue due aux conditions techniques de l'application
- La fraction qui se volatilise après l'application, fraction qui est reliée à la pression de vapeur saturante elle-même liée à la température.

Ils estiment les pertes pour les différents pays européens pour entre autres le Glyphosate, le Chloropyriphos et le mancozebe :

- Pour le Mancozebe les pertes sont estimées à 36% pour la France et l'Italie ce qui est la moyenne européenne.
- Pour le Glyphosate, les pertes sont estimées à 30% en Italie, à 23% en France et au royaume Uni et à 22% en Finlande alors que la moyenne européenne est à 25%.
- Pour le Chloropyriphos la moyenne européenne est à 33%.

La figure suivante, d'après Bedos et al (2002) montre les différentes voies de pertes et d'influence sur les écosystèmes.

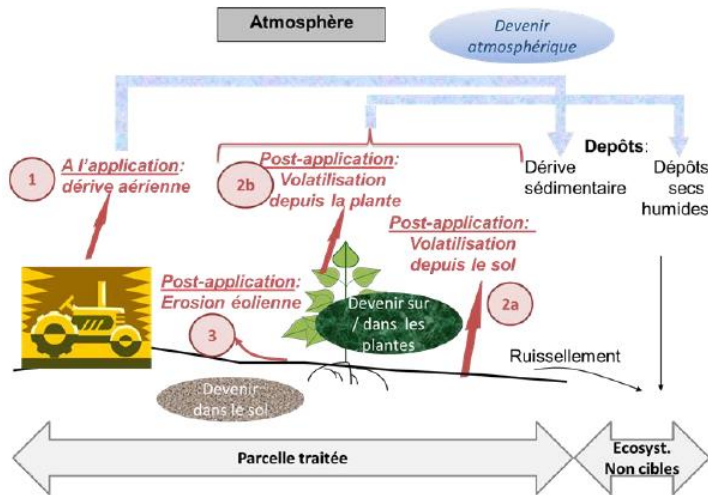


Figure 41 : Voies de transfert des pesticides (Bedos et al.)

Si seule la dérivation est prise en compte, Bedos et al (2017) résument dans la figure suivante les paramètres qui entrent en jeu.

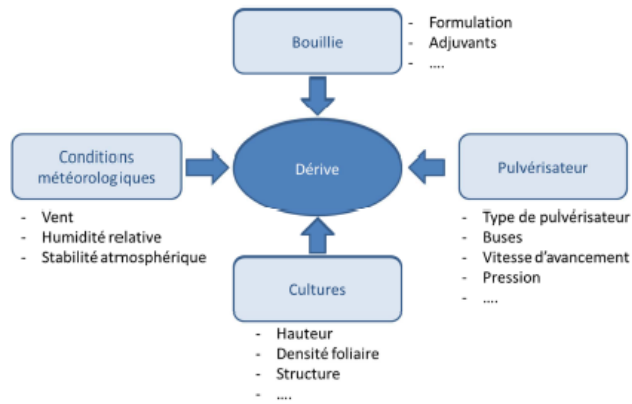


Figure 42 : Facteurs influençant la dérivation (Bedos et al. 2007)

Si l'analyse est élargie à l'ensemble des paramètres liés aux pertes atmosphériques, Guiral et al (2016) proposent le schéma suivant :

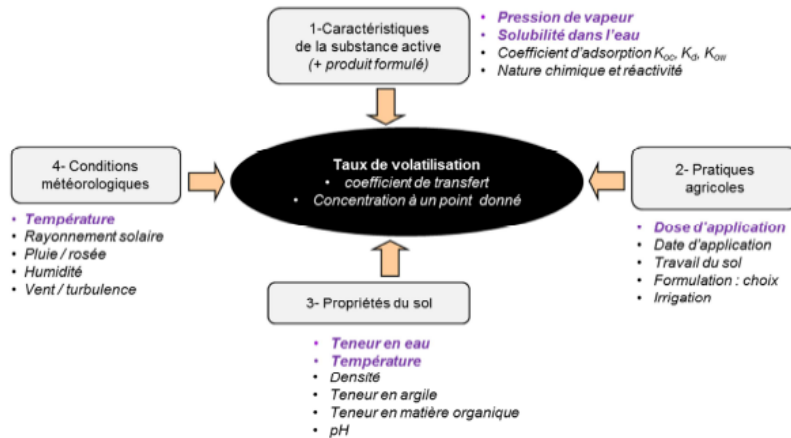


Figure 43 : Paramètres liés aux pertes atmosphériques de pesticides (Guiral et al 2016)

III.1. Les paramètres qui peuvent influencer sur le niveau de l'exposition

III.1.1 La distance à la zone de traitement

C'est le premier paramètre qui vient à l'idée. Toutefois, si nous rapportons ci-après quelques études, elles se basent le plus souvent sur l'analyse des matières actives et de leurs métabolites dans les poussières ou les urines mais pas sur des mesures de concentration dans l'air.

Si on se place au niveau de l'application sur les champs, selon Seux R. (2020), en se basant sur 178 échantillons et 58 campagnes de mesures, les concentrations de matières actives dans l'air sont les suivantes :

→ Pendant la préparation de la bouillie :

Un tiers des résultats sont inférieurs à 10 ng.m^{-3}

La médiane se situe à 300 ng.m^{-3} et 25 % des mesures révèlent des valeurs supérieures à 1300 ng.m^{-3} avec un maximum à 25000 ng.m^{-3}

La teneur en matières actives de la bouillie influence la contamination de l'air respiré par l'opérateur :

- Si la teneur de la bouillie est inférieure à 197 g/L, la médiane des concentrations est à 200 ng.m^{-3} .
- Si la teneur de la bouillie est supérieure à 197 g/L, la médiane des concentrations est à 1000 ng.m^{-3} .

→ Pendant le traitement

Les mesures ont été réalisées en fonction de la protection de l'agriculteur :

Tableau 14 : Mesures dans l'air réalisées pendant l'application du traitement (concentrations en ng/m³)

Concentration de la matière active dans la tonne	Percentile	Protection de l'agriculteur					
		Pas de cabine		Cabine ouverte		Cabine fermée	
		Buse classique	Buse antidérive	Buse classique	Buse antidérive	Buse classique	Buse antidérive
C < 1.25 g/L	50%	200	200	200	200	100	100
	95%	700	500	900	700	300	700
C > 1.25 g/L	50%	5100	1800	4600	800	-	300
	95%	21800	7600	1200	800	-	900

Ces chiffres montrent qu'en proximité immédiate de l'application, les teneurs en matières actives dans l'air peuvent être de 100 à 1000 fois plus élevées qu'avant la dispersion atmosphérique.

Des expériences ont eu lieu sur la parcelle avec des mesures en fonction de la distance (0 – 150m à partir du bord du champ) et du temps (0 – 90 minutes, le traitement étant stoppé à 40 minutes) (Briand et al, 2002, 2003 ; Ravier et al 2005).

Les résultats obtenus sur l'alachlore et l'atrazine sont donnés par les figures ci-après.

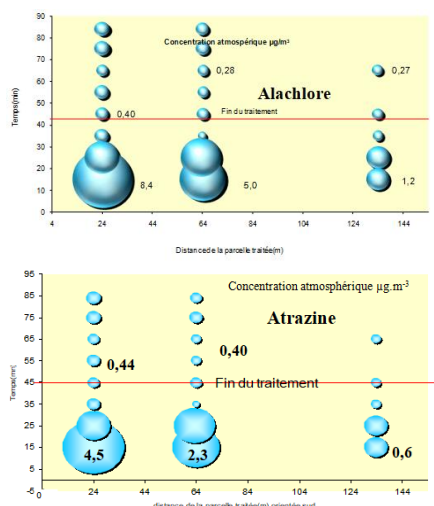


Figure 44 : Mesures des concentrations atmosphériques pour l'alachlore et l'atrazine en fonction de l'éloignement de la parcelle

Ces expériences montrent une très forte concentration au moment du traitement et en proximité immédiate, avec une division environ par 7 à 100 m du premier point de prélèvement. Une fois le traitement terminé, les concentrations résiduelles sont environ 10 fois plus faibles mais relativement uniformes sur la portion 0 – 150 mètres. Elles sont toutefois à des niveaux assez élevés de quelques centaines de ng par m³.

Les mêmes auteurs ont réalisé des expériences post-traitement pour quantifier le transfert atmosphérique différé (figures suivantes).

Les concentrations en matières actives restent élevées pendant plusieurs jours, avec des valeurs plus importantes à proximité du sol (0.4 m) qu'à hauteur d'homme (1.6 m).

La différence entre les deux pesticides s'explique par leur tension de vapeur : celle de l'alachlore ($2.2 \cdot 10^{-5}$ mmHg à 25°C) est 100 fois plus forte que celle de l'atrazine ($3.0 \cdot 10^{-7}$ mmHg à 25°C).

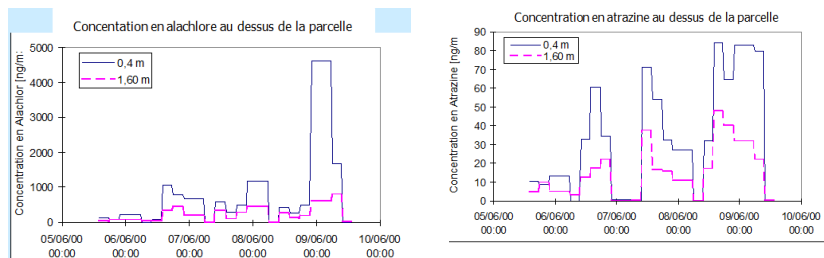


Figure 45 : Evolution des concentrations atmosphériques pour l'alachlore et l'atrazine en fonction du temps après l'application

Le travail de Ward et al. (2006) sur 128 résidences en Iowa a démontré que l'augmentation des surfaces cultivées de maïs et soja à moins de 750 mètres des résidences était associée à une augmentation significative des chances de détecter des herbicides dans les poussières des résidences, par rapport à ce qui était observé dans les résidences à plus de 750 mètres. Toujours selon cette même étude, une diminution significative des concentrations de pesticides détectés dans les poussières des résidences est observée en fonction de la distance aux cultures (comparaison des zones tampons de 100, 250, 500 et 750 mètres. Cependant, dans cette étude, l'effet de la distance apparaît moins discriminant que l'effet de la superficie de cultures.

Gunier et al. (2011) ont cherché à identifier les déterminants de concentrations de pesticides agricoles dans les poussières de tapis de 89 résidences en Californie en mettant en relation ces concentrations d'une part avec la distance aux champs (deux indicateurs ont été utilisés : la densité de pesticides et la superficie des cultures) et d'autre part avec l'information auto-déclarée concernant l'utilisation domestique des pesticides. Pour cinq des sept substances analysées, ils observent des concentrations significativement plus élevées dans les résidences localisées à moins de 1250 mètres d'un champ où des pesticides avaient été utilisés dans l'année précédant les prélèvements que dans les résidences sans épandage à proximité.

Des études portant sur le lien entre la période de traitement des cultures et la présence de pesticides dans les matrices biologiques ou les domiciles à proximité des champs renforcent ces résultats. Certains travaux signalent une augmentation pendant les périodes d'épandage des niveaux mesurés dans les urines (Curl et al., 2003 ; Koch et al., 2002). Il est aussi intéressant de noter que les résultats d'analyses temporelles des concentrations de poussières dans les résidences montrent une variabilité plus importante entre les résidences à une date donnée, qu'à l'intérieur des résidences pour différentes dates pour la plupart des pesticides (Deziel et al., 2013), ce qui renforce l'hypothèse du rôle primordial de la distance aux champs traités dans la variabilité des pesticides dans l'air.

De la même manière, dans le cadre de l'étude CNEP rapportée ci avant, on a pu montrer que les concentrations les plus élevées étaient dans une zone 0 – 500 mètres entre le point de prélèvement et la culture la plus proche.

En résumé, ces nombreux résultats semblent mettre en évidence une relation négative significative entre la distance aux champs et la présence de pesticides mesurée dans les résidences ou dans les matrices biologiques des citoyens. D'autres montrent l'effet positif de la superficie des cultures sur l'exposition. Ces travaux suggèrent donc qu'il y a bien une diffusion significative de certains pesticides à partir des champs, diffusion qui explique la présence de matières actives au centre des villes comme dans le cas de Paris (Airparif, 2016) ou des villes du sud de la France. Cette présence des pesticides dans l'air des résidences à proximité des champs est plus élevée pendant les périodes de traitement qu'en dehors de ces périodes. Cependant, les résultats ne sont pas univoques :

- En effet, dans ces travaux, les résultats ne vont pas tous dans le même sens et varient en fonction des indicateurs d'exposition utilisés, des types de spécialisations agricoles ou des pesticides analysés. Dans certains cas, une absence de relation est rapportée. Dans une étude australienne de Babina et al., (2012) aucune différence significative n'apparaît entre les enfants vivant en zone urbaine, péri-urbaine ou rurale, pour la plupart des métabolites analysés dans leurs urines.
- Dans l'Etat de Washington, en prenant deux catégories (distance supérieure ou inférieure à 60 mètres) Koch et al. (2002) n'ont pas pu mettre en évidence une relation « distance des résidences aux vergers » en analysant sur 44 enfants les métabolites issus de la dégradation de pesticides organophosphorés présents dans leurs urines.
- Gunier et al. (2011) notent une absence de relation entre distance et les « concentrations relevées dans les poussières des domiciles » pour deux des sept pesticides analysés.
- Egalement, l'étude de Royster et al. (2002) en Californie ne montre aucun lien entre concentrations de métabolites d'organophosphate dans les urines des enfants et la proximité aux champs agricoles.
- Valcke et al. (2006) ont cherché à déterminer l'exposition aux pesticides organophosphorés de 89 enfants entre 3 et 7 ans, vivant dans des zones non agricoles et péri-urbaines au Québec. Les auteurs ont analysé les urines des enfants et les ont comparées avec les caractéristiques environnementales de leur lieu de résidence. Ces caractéristiques ont été définies entre autre par l'interdiction ou non de l'usage de pesticides dans leur commune pour le jardinage et la proximité de parcours de golf ou de jardins publics dans lesquels les pesticides sont épandus. Aucune différence significative des concentrations dans les urines des enfants n'a été trouvée en fonction de ces déterminants potentiels.
- En ce qui concerne l'exposition autour d'un site de production de pesticides, Gaffney et al. (2005), ont mis en évidence une relation inverse de celle attendue pour le DDE, un produit de décomposition du DDT (interdit depuis les années 1970). En effet, plus on s'éloigne du site, plus les niveaux de DDE augmentent dans le sang des résidents. L'explication proposée par les auteurs est que le DDE est omniprésent aux Etats-Unis (trouvé dans le sang de 90 % des américains).

Une autre hypothèse proche de celle de la distance, testée par certains auteurs, est celle d'une exposition différenciée selon le contexte du lieu de résidence ou de travail. Babina et al. (2012) ont mené une étude portant sur 340 enfants de familles résidant en Australie, répartis en quatre catégories en fonction du contexte géographique du lieu de résidence : agricole (moins de 50 mètre d'un champ), rurale, péri-urbaine et urbaine. Les métabolites mesurés dans les urines des enfants témoignent d'une exposition chronique des enfants quelle que soit la zone de résidence (Organophosphorés et pyréthrinoides ont été analysés). En revanche, les différences entre les groupes observés ne sont significatives que pour une minorité des métabolites, comme ceux du fenitrothion ou de la deltaméthrine, insecticides utilisés pour la lutte contre les moustiques. Les concentrations de ces métabolites étaient plus élevées chez les enfants vivant en zone agricole, rurale ou péri-urbaine. Une étude de Fortin et al. (2009) comparant les niveaux de métabolites dans les urines entre des populations urbaine et rurale, adulte et infantile, de la Province de Québec, conforte ces résultats (au total 308 personnes ont participé à l'étude). Les adultes et les enfants des milieux ruraux présentaient des niveaux plus élevés des principaux métabolites urinaires. Des résultats similaires ont été publiés par Ward et al. (2006). Ces auteurs ont confirmé que les pesticides étaient moins fréquemment détectés dans des résidences en zone urbaine (16 % des résidences) que dans les poussières de résidences rurales (61 % des résidences) ; les concentrations d'herbicides étaient globalement 2,5 fois plus importantes dans les résidences en zone rurale.

D'autres résultats vont dans le même sens. Lu et al. (2000) ont montré dans une étude sur les enfants de 60 ménages dans l'Etat de Washington que les enfants vivant en zone rurale d'arboriculture avaient cinq fois plus de pesticides dans les urines que les enfants habitant en zone urbaine. Coronado et al. 2011 ont, entre autre, cherché à identifier le rôle de la proximité de la résidence aux champs traités. Ils ont recherché des pesticides dans les prélèvements d'urines des adultes et enfants et dans les poussières de deux cent résidences. Les résultats montrent globalement une réduction d'environ 20 % par distance d'un mile de la concentration de

métabolites de diméthyle-phosphate dans les urines sans préciser à partir de quelle distance les substances deviennent insignifiantes.

III.1.2 La superficie traitée et les différentes cultures présentes

Ward et al. (2006) ont montré que, dans les résidences à moins de 750 mètres des champs, pour chaque augmentation d'environ 4 000 mètres carrés de cultures, la détection d'herbicides dans les poussières des maisons augmentait de 6 %.

Compte tenu des études rapportées plus haut et des pertes inévitables au moment du traitement, plus la zone traitée sera étendue, plus la perte en kg de matières actives sera élevée. De plus, le nombre de matières actives retrouvées dépendra de la diversité des cultures et du choix de l'agriculteur pour combattre les indésirables.

III.1.3 La nature des matières actives utilisées

Sans parler des adjuvants qui sont inclus dans la formulation des substances phytosanitaires vendues dans le commerce, quelques paramètres physico-chimiques sont à prendre en compte pour prévoir la volatilisation ou la présence des molécules actives dans les particules. Coscola et al (2014) proposent le schéma suivant :

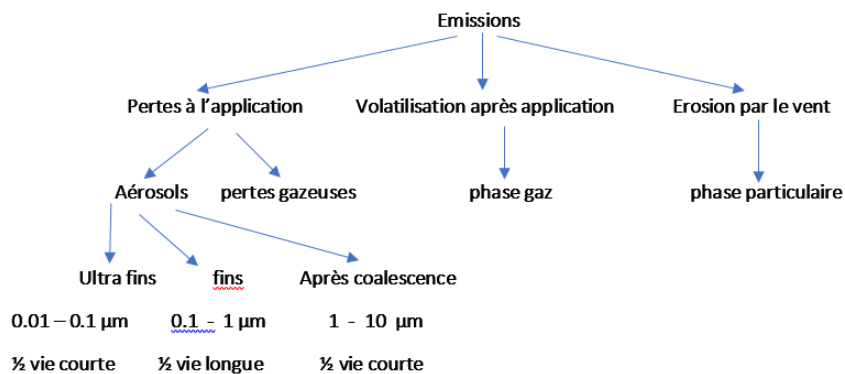


Figure 46 : Paramètres physico-chimique de la matière active influençant la volatilisation (Coscola et al 2014)

Les facteurs qui interviennent sont les suivants :

- Propriétés physico chimiques : La tension de vapeur, la constante de Henry, le coefficient de partage octanol/air (Koa), la masse moléculaire.
- Les facteurs de dégradation de la matière active (photolyse, hydrolyse, dégradation bactérienne...). Pour certains composés, il est possible de trouver des valeurs de la DT₅₀ dans le sol. En phase gazeuse, la photolyse peut dégrader jusqu'à 90% de la molécule en quelques heures (alachlor, atrazine). Il sera utile de tenir compte de ces phénomènes pour estimer la perte en post application ainsi que la variation de concentration lors du transport aérien.
- Les facteurs environnementaux : température, vent et humidité.
- Les propriétés des particules : taille, surface spécifique, temps de ½ vie.

Les auteurs considèrent qu'une matière active est volatile lorsque la tension de vapeur est supérieure à 10⁻² Pa, une volatilité moyenne étant comprise entre 10⁻³ et 10⁻⁵ Pa. Avec un impacteur à cascade ils ont montré que selon la molécule la répartition était assez différente, certaines molécules se trouvant préférentiellement dans les particules ultrafines, d'autres dans les plus grosses.

Hart et al (2012) ont mesurés en Espagne dans la région de valence les pesticides présents dans la partie PM₁₀. Sur 42 matières actives analysées 24 sont détectées avec une fréquence de 47%. Les concentrations moyennes vont de 0.006 à 0.149 ng/m³. Malheureusement, les auteurs ne donnent pas la mesure totale air + particules.

Islam et al (2020) ont développé un modèle pour prédire le coefficient de partage sol/air appelé K_{sa}. A travers des équations multi linéaires, ils relient ce coefficient à la matière organique du sol, au coefficient de partage octanol/air (K_{oa}), à la température, l'humidité et aux propriétés physico chimiques de la matière active. Notons que K_{oa} est dérivé de la constante de partage octanol/eau K_{ow} selon la relation : $K_{oa} = K_{ow} \cdot RT/H$, H étant la constante de Henry.

III.1.4 La formulation des matières actives

Nous n'avons pas trouvé de publications qui traitent de ce paramètre. Toutefois, en plus des matières actives, les formulations de pesticides contiennent des adjuvants qui ont pour rôle d'augmenter leur efficacité (accrochage sur les plantes, retard à la volatilisation...).

III.1.5 La méthode de traitement et le matériel

Le type de matériel utilisé peut réduire les différentes pertes de pesticides dans l'air et le sol. Pivato et al (2015) estiment des réductions possibles allant de 30 à 50% en travaillant sur la machine, les buses ou l'optimisation du traitement.

Une autre étude faite par Soheilifard et al (2020) rapporte les différentes pertes pour le traitement de vergers (citrons et oranges). Ils testent à la fois la buse et la pression d'utilisation. Les résultats sont rassemblés dans le tableau suivant :

Tableau 15 : Pertes de matière active en fonction du matériel utilisé (Soheilifard et al 2020)

Type de cône	Pression (bars)	Pertes dans l'air %		Pertes sur le sol %	
		Orange	Citron	Oranges	Citron
Cône « Hallow »	30	10	8	37	34
Cône « Hallow »	40	26	22	29	29
Cône « Hallow »	50	16	20	26	26
Cône « Teejet »	30	15	16	34	31
Cône « Teejet »	40	17	17	33	29
Cône « Teejet »	50	19	21	30	26

Une pression basse minimise les pertes dans l'air mais augmente les pertes sur le sol et le cône « Teejet » donne des résultats légèrement meilleurs que le cône « Hallow ».

Le meilleur compromis est néanmoins trouvé avec le cône « Hallow » à 30 bars.

III.1.6 La météorologie

Trois facteurs météorologiques vont fortement influencer les pertes au moment des traitements :

- La **température** qui aura un effet certain sur la volatilité des matières actives. Physiquement, cette volatilité sera liée à la caractéristique « tension de vapeur ». De ce fait, il est recommandé aux agriculteurs de traiter de bonne heure le matin pour bénéficier d'une moindre perte à l'état gazeux.
- Le **vent** va impacter également les pertes en favorisant la formation des aérosols. Là aussi, il est recommandé de traiter par temps calme.
- La **pluie** aura sans doute un effet bénéfique pour la concentration des pesticides dans l'air en « lavant l'atmosphère » surtout pour les substances solubles dans l'eau. En revanche,

cette pluie peut entraîner les matières actives dans l'eau, qui comme cela a été signalé, se retrouvent fréquemment dans les eaux superficielles ou souterraines. En pratique, les traitements ne se font pas par temps de pluie, car ils seraient en partie inefficaces et nuisibles pour l'environnement.

III.1.7 La topographie des lieux

C'est également un paramètre à prendre en compte, en particulier la présence de haies qui pourraient être une barrière aux aérosols.

Des expériences ont été menées avec le chlorothalonil et la fenpropidine (figure suivante d'après Seux, 2020)

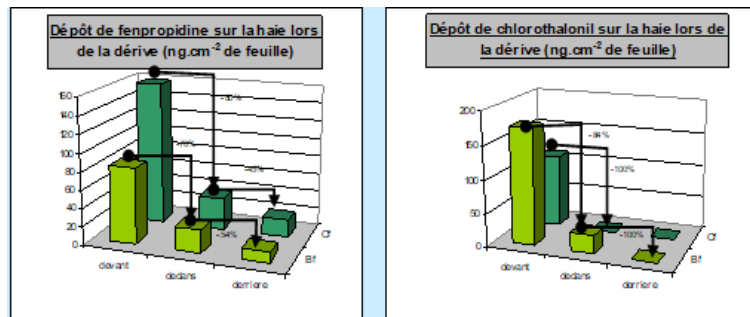


Figure 47 : Mesures des dépôts de matière active sur une haie lors de la dérive (Seux, 2020)

En mesurant la matière active déposée sur les feuilles de la haie, son effet protecteur, plus important pour le chlorothalonil que pour la fenpropidine, est extrêmement net. La différence d'efficacité est liée à la tension de vapeur : le chlorothalonil se trouve sous forme d'aérosols alors que la fenpropidine est en phase gazeuse et traverse plus facilement la haie.

III.2. La modélisation des émissions de pesticides

En 2016, pour le compte de l'ADEME, Guiral C. a réalisé une synthèse bibliographique sur Les émissions de produits phytopharmaceutiques dans l'air : Facteurs d'émissions, outils d'estimation des émissions, évaluations environnementales et perspectives de recherche.

Le texte suivant écrit par Guiral (2016) donne quelques éléments essentiels de cette étude :

« A partir d'une analyse de la littérature et de rencontres avec des experts du domaine, cette synthèse des connaissances relatives aux émissions et aux facteurs d'émission de pesticides vers l'atmosphère a eu pour objectifs :

- 1) d'identifier et analyser les facteurs d'émission pour les produits phytopharmaceutiques (PPP) et les outils de calcul de facteurs d'émission disponibles à ce jour en examinant leurs utilisations à différentes échelles dans les travaux d'évaluation environnementale,
- 2) d'évaluer leurs adéquations au contexte actuel des pratiques agricoles françaises,
- 3) d'identifier les leviers d'actions existants déjà activables pour limiter les transferts vers l'atmosphère,
- 4) d'identifier et hiérarchiser les développements requis pour améliorer les méthodes de comptabilisation des émissions de pesticides dans l'air. Ainsi, cette synthèse montre que les voies de transferts de PPP vers l'atmosphère sont connues avec toutefois un niveau de connaissance hétérogène entre les cultures. Cette étude se focalise sur les émissions pendant l'application par dérive aérienne de gouttelettes de pulvérisation ou en post-application par volatilisation depuis le sol ou la plante. Les facteurs gouvernant ces processus sont identifiés et s'avèrent différents selon la voie de transferts engendrant ainsi des leviers d'action spécifiques à chaque voie, les leviers d'action concernant les pertes par volatilisation étant moins bien renseignés que ceux pour la

dérive. Si des facteurs d'émission ont pu être identifiés, ils présentent un niveau de validation faible et donc un potentiel d'utilisation en France avec les substances actives actuelles que l'on peut qualifier de faible. Divers outils fournissant une estimation des émissions vers l'atmosphère ont pu être identifiés. Ils présentent un degré de complexité variable, allant de relations de corrélation à des modèles mécanistes dédiés à la prédiction des émissions vers l'atmosphère. Leur capacité à être utilisés pour générer des facteurs d'émission pertinents pour le contexte agricole français est évaluée dans cette étude ainsi que les pistes de recherche. Quelques jeux de données sont disponibles mais en nombre limité. Il faudrait en produire d'autres pour mieux appréhender les processus, améliorer les modèles (et leur domaine d'application) et dégager des leviers d'action pour limiter les émissions de PPP vers l'atmosphère. »

Ces facteurs d'émission sont essentiels pour aller d'abord vers un inventaire des émissions de plus en plus précis et ensuite pour intégrer des modèles de dispersion des polluants qui amènent à une évaluation de la concentration locale en pesticides dans l'air. Il est possible de travailler par molécule ou par groupe de molécules ayant des propriétés physico chimiques comparables.

Trois niveaux de connaissance des facteurs d'émission sont de ce fait possibles :

Le niveau le plus bas, des facteurs d'émission annuels représentatifs des conditions globales du territoire qui seront associés à des données d'activité de ce territoire pour une période donnée.

Des facteurs d'émission évolutifs associés aux conditions agropédoclimatiques.

Le niveau le plus haut, pour réaliser la modélisation à fine échelle, des facteurs d'émission adaptés à des échelles spatio-temporelles ciblées (km²) et à des temps courts (heure ou jour).

Trois rapports de l'Environmental Protection Agency (EPA) proposent des facteurs globaux qui diffèrent selon deux propriétés : l'application (surface ou sol) et la tension de vapeur :

Tableau 16 : Facteurs d'émission selon la méthode d'application et la tension de vapeur (EPA)

Pression de vapeur (à 20-25°C)		Facteur d'émission	
mmHg	mPa	Kg/tonne	Lb/tonne
Application en surface			
>10 ⁻⁴	>13	580	1160
10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁴	0.13 - 13	350	700
Application par incorporation dans le sol			
>10 ⁻⁴	>13	52	104
10 ⁻⁶ - 10 ⁻⁴	0.13 - 13	21	42
<10 ⁻⁶	<0.13	2.7	5.4

Pour l'application par incorporation dans le sol, les valeurs sont issues du modèle mécanistique BAM proposé par Jury et al (1983a et b ; 1984).

Certaines AASQA (Air normand, 2013 ; Air Rhône Alpes, 2015 ; ASPA, 2006 ; Atmo Poitou-Charentes, 2006) ont déjà essayé d'utiliser les coefficients de l'EPA pour faire des premières estimations de leurs émissions régionales.

Si on considère par exemple les deux derniers rapports, Air normand s'est limité à 3 substances en se basant sur les enquêtes de pratiques culturales réalisées par la DRAAF de Haute Normandie alors qu'Air Rhône-Alpes a pris 82 substances en se basant sur la banque nationale des ventes. Dans les deux cas, il s'agit d'une évaluation annuelle à la commune ou au canton et le manque de précision des valeurs des FE de l'EPA est toujours mentionnée.

Air Breizh a aussi réalisé un inventaire des émissions de pesticides pour l'année 2003 dans le cadre du PRQA de 2008. Il concernait 74 molécules et était réalisé à l'échelle kilométrique.

Les calculs étaient basés sur des données récoltées et traitées à l'échelle kilométrique par l'ADASEA Bretagne ainsi que sur les facteurs d'émissions de l'EPA via l'Emission Inventory Guidebook de l'EEA. Les facteurs d'émissions étaient identiques à ceux présenté ici.

Seule la pression de vapeur était prise en compte, aucun élément lié aux méthodes d'épandage n'était intégré.

D'après le rapport bibliographique, « une des limites des FE d'EPA est que, calculés en cumulés pour une période de 30 jours, ces facteurs sous-estiment les flux instantanés en général plus élevés immédiatement après application que les jours suivants. Nous pouvons donc en conclure que ces FE ne peuvent pas être utilisés pour évaluer la contamination de l'air, à proximité d'un champ traité et sur un pas de temps relativement court, consécutive à l'application ».

Dans les guides issus de l'Union Européenne (EMAP, 2013), il n'y a que très peu d'outils disponibles. On trouve une table des ratios d'émission pour les pesticides organochlorés qui sont tous interdits et un tableau de coefficients globaux d'émission en fonction de la tension de vapeur :

Tableau 17 : facteurs d'émissions en fonction de la pression de vapeur (EMAP 2013)

Classe de pression de vapeur	Pression de vapeur (mPa)	Facteur d'émission (ratio)
Très élevée	>10	0.95
Elevée	1 - 10	0.50
Moyenne	0.1 - 1	0.15
Basse	0.01 - 0.1	0.05
Très basse	< 0.01	0.01

Des travaux spécifiques ont été rapportés pour les émissions autour des serres. Ils tiennent compte de la méthode de traitement et de la tension de vapeur (Rapport Focus, 2008 ; Linden et al, 2008).

A côté de ces facteurs globaux qui pour le moment ne sont pas totalement satisfaisants, on trouve de très nombreuses équations semi empiriques pour déterminer les différentes pertes. Ces relations ne vont pas être détaillées dans ce rapport. On va toutefois parler de l'outil « **Sph'Air** » développé par l'INERIS.

Les voies de transfert vers l'atmosphère décrites par cet outil sont :

- Le départ direct vers l'atmosphère pendant l'application,
- La volatilisation en post-application à partir du sol,
- La volatilisation en post-application à partir de la plante.

Le **départ direct** est essentiellement corrélé à l'outil de traitement et à la quantité de matière active utilisée.

Le modèle BAM a été retenu pour estimer le **flux de volatilisation des substances actives en post-application à partir du sol**.

Ce modèle classe les pesticides en trois catégories en fonction de la constante de Henry :

- Catégorie 1 : $K_H \gg 2.5 \cdot 10^{-5}$
- Catégorie 2 : $K_H = 2.5 \cdot 10^{-5}$
- Catégorie 3 : $K_H \ll 2.5 \cdot 10^{-5}$

Sans entrer dans tous les détails de ce modèle, sans prendre en compte l'évaporation de l'eau, pour les catégories 1 et 2 on peut utiliser l'équation suivante

$$J_{v1} = C_0 \sqrt{\frac{D_G^a K_H (\phi - \theta)^{10/3} + D_L^W \theta^{10/3}}{\phi^2 \pi t [\rho_b f_{oc} K_{oc} + \theta + (\phi - \theta) K_H]}}$$

Alors que pour la catégorie 3 on a :

$$J_{v2} = \frac{C_0 D_G^a K_H}{d[\rho_b f_{oc} K_{oc} + \theta + (\phi - \theta) K_H]}$$

J_{v1} et J_{v2} : taux de volatilisation (g/m²/jour)

C_0 : concentration initiale dans le sol (fixé à 1 g/m³)*

D_G^a : coefficient de diffusion gazeuse dans l'air (fixé à 0,43 m²/jour)*

K_H : constante de Henry (sans unité)
 ϕ : porosité du sol (fixé à $0.5 \text{ m}^3/\text{m}^3$)*
 θ : teneur en eau volumique dans le sol (fixée à $0,3 \text{ m}^3/\text{m}^3$)*
 D_{LW} : coefficient de diffusion liquide pour l'eau du sol (fixé à $4,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{jour}$)*
 t : temps après l'application (30 jours)
 ρ_b : densité du sol (fixée à $1350 \text{ kg}/\text{m}^3$)*
 f_{oc} : fraction de carbone organique du sol (fixée à $0,0125$)*
 K_{oc} : coefficient de partage du carbone organique (m^3/kg)
 d : épaisseur de la couche limite atmosphérique (fixée à $0,005 \text{ m}$)

*Les valeurs fixées peuvent être modifiées par l'utilisateur

On a ainsi une estimation des flux cumulés sur 7 jours.

Pour estimer la perte sur le couvert végétal, l'outil Sph'air utilise le modèle de Woodrov et al (1997) qui utilisent eux même l'équation de Tinsley (1979) :

$$Q = \beta P_v (M / 2\pi RT)^{1/2}$$

Avec

Q : flux ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)
 β : coefficient d'évaporation ($1,98 \cdot 10^{-5}$; sans unité) (égal à 1 dans le cas d'une évaporation dans un vide, déterminé empiriquement)
 P_v : pression de vapeur (Pa)
 M : masse molaire (kg/mol)
 R : constante universelle des gaz parfaits ($8,314 \text{ J}/\text{mol}/\text{K}$)
 T : température (K)

Un autre modèle publié et utilisé par l'INERIS (cf paragraphe 3.3.3.) est « **PestLCl** ». C'est un modèle modulaire développé par Birkved et Hauschild (2006 - PestLCl 1.0), mis à jour et étendu par Dijkman *et al.* (2012 - PestLCl 2.0) pour estimer les fractions de substances actives émises dans les différents compartiments environnementaux (air, eaux de surface et eaux souterraines) suite à l'application au champ de produits phytopharmaceutiques.

La version la plus récente du modèle possède une base de données pour 94 matières actives, 25 profils de climats européens et 7 profils de sol européens (Dijkman *et al.* 2012). Le modèle utilise des équations différentes pour la volatilisation directe, la volatilisation à partir du sol, la volatilisation à partir du couvert végétal et l'érosion par le vent. Il a fait l'objet de nombreuses applications et a de ce fait les équations ont pu être modifiées par quelques auteurs (Renaud-Gentie *et al.*, 2015).

L'autre modèle rapporté ici est celui appelé « **DynamiCROP** » parce qu'il a été également utilisé par l'INERIS (paragraphe 3.3.3.). Ce modèle, en réalité conçu pour estimer les résidus de pesticides dans les récoltes, contient néanmoins des équations qui permettent de calculer les coefficients de transfert depuis le sol vers l'air et depuis la plante vers l'air, selon la première loi de diffusion de Fick. La volatilisation depuis le sol est un processus qui implique le passage de la molécule au travers de deux couches successives : le sol puis la couche d'air d'où l'utilisation du modèle général à 2 films comme décrit par Schwarzenbach *et al.* (2003) mais toujours dans l'application de la première loi de diffusion de Fick. Pour la volatilisation depuis la plante, ce sont les travaux de Trapp et Matthies (1998) qui sont utilisés. Comme au cours de la distribution primaire, la modélisation de la volatilisation des pesticides ici ne prend pas en compte la température mais pourrait tout à fait être actualisée à cette fin en définissant des coefficients de partition qui en tiennent compte.

Les équipes françaises ont développé le modèle « **Volt'Air- pesticides** ». C'est un modèle de volatilisation des substances actives contenues dans les produits phytopharmaceutiques appliqués au champ adapté par Bedos *et al.* (2009), Garcia *et al.* (2011 et 2014) du modèle « Volt'Air » développé par Généromont et Cellier (1997). Ce dernier avait été initialement conçu pour décrire la volatilisation d'ammoniac après épandage.

Les entrées sont très nombreuses

- Composés actifs : propriétés physico-chimiques,
- Sol : texture et/ou propriétés hydrauliques, teneur en matière organique, teneur en eau initiale, densité apparente
- Techniques culturales : toute information concernant les pratiques agricoles (application {dose, date}, incorporation, irrigation)
- Configuration de la parcelle : latitude, taille, albedo, rugosité
- Météorologie : variables d'une station météorologique classique (température et humidité de l'air, vitesse du vent, rayonnement solaire, pluie)
- Eventuellement, concentrations et flux de volatilisation parcelle amont

Il s'applique à une parcelle et l'intégration sur une zone élargie devient délicate.

Nous ne sommes pas entrés dans tous les détails et tous les modèles cités par Guiral (2016). Il est assez clair qu'il n'y a pas de modèle « miracle » pour estimer les émissions pendant et après une application. De plus, Guiral (2016) met en garde sur le fait que dans la recherche des propriétés physico chimiques des matières actives, on trouve parfois des valeurs fort discordantes. De ce fait, l'intérêt d'un inventaire des émissions ne sera pas dans sa précision mais dans l'évolution des émissions. Enfin il faut souligner que dans le cas des pesticides, il faudra travailler molécule par molécule et non de manière globale.

Les évolutions dans le temps des émissions de produits phytopharmaceutiques dans l'atmosphère dépendront essentiellement des quantités de composés utilisées et ensuite de l'amélioration des techniques d'application.

III.3. Les situations d'exposition à considérer et les différentes approches d'une surveillance

Dans le cadre de la surveillance de l'exposition de l'ensemble d'une population, il faut à la fois prendre en compte la **situation** (urbain, péri urbain, rural et proximité avec les zones de traitement) et le **type d'exposition** à investiguer (exposition chronique de fond ou expositions particulière).

III.3.1 La surveillance de fond sur le long terme

Il serait bon pour une surveillance continue de l'exposition de choisir quelques points représentatifs de l'**exposition moyenne d'un habitant breton**.

Pour cela il est possible de s'appuyer sur l'étude nationale CNEP en reprenant les profils agricoles et les typologies. En étant exhaustif, on pourrait choisir dans les configurations suivantes en différenciant proximité (< 150 m des parcelles) et fond (> 150 m des parcelles) :

- **Points urbains** (site de fond) dans une ou plusieurs grandes agglomérations de Bretagne (Rennes, Brest, Lorient...) en choisissant des prélèvements au centre de la cité (zone dense de population).
- Une typologie **péri-urbaine** comme le point de Mordelles qu'Air Breizh suit depuis de nombreuses années. C'est l'exemple d'un site de fond à plus de 150 m des parcelles.
- **Point rural**, de fond ou de proximité en fonction des applications à proximité, sur le site rural de notre réseau de mesure.

A partir de l'étude de CNEP, il est possible de restreindre un peu le nombre de molécules ciblées en enlevant les molécules interdites depuis longtemps sauf peut-être le lindane qui représente une pollution quasi permanente. On peut également enlever les molécules spécifiques à la viticulture et l'arboriculture qui ne sont pas utilisées en Bretagne.

Stratégie régionale de surveillance des produits phytosanitaires dans l'air

Il est important de regarder les différences dues à l'assolement. En revanche, il faudrait ajouter régulièrement les nouvelles molécules issues de nouvelles pratiques liées aux mises sur le marché et aux interdictions d'utilisation.

Les analyses seraient faites sur des prélèvements moyens « une semaine » en allégeant le suivi lors des périodes sans traitement. Comme dans le cas de l'étude CNEP, il serait alors possible de définir une exposition moyenne annuelle en ng/m³, exposition qui serait un paramètre pertinent pour observer l'amélioration ou la dégradation de la situation.

Pour une exploitation optimale, cette surveillance de fond doit être pérennisée sur de nombreuses années. De plus il serait opportun de l'accompagner par des enquêtes générales :

- Matières actives utilisées et tonnages vendus,
- Recueil des analyses réalisées sur le réseau hydrographique,
- Recueil des données météorologiques par point de prélèvement.

Une connaissance supplémentaire pourrait être réalisée dans le cas d'enquêtes locales autour des points de prélèvements comme dans le cadre du programme « REPPAIR » :

- Relevé des cultures,
- Cahier des traitements et des doses utilisées,
- Relevé de la météorologie locale.

Cette approche très précise ne peut être réalisée qu'à travers un partenariat avec le monde de l'agriculture (chambre régionale, chambres départementale et exploitants).

Le cout estimé par point de contrôle est un investissement de 20 000€ et un cout de fonctionnement de 30 000 à 40 000 €/an.

III.3.2 La surveillance de proximité et les études ponctuelles

Les études bibliographiques qui ont été rapportées montrent qu'il y a encore de nombreux points où les données disponibles ne permettent pas d'avoir une idée très précise sur les expositions et le risque encouru par certaines populations. Toutefois, pour pouvoir mener à bien des études de proximité, il faut développer au sein de l'AASQA et de ses partenaires une procédure fiable d'utilisation d'échantillonneurs passifs.

a) Travail sur la mise au point d'un échantillonnage passif

La mise en place de la surveillance pérenne nécessite l'installation de préleveurs « lourds » avec la nécessité d'une alimentation électrique. De ce fait, cette procédure, même si elle est fiabilisée, est peu adaptée à des études ponctuelles réalisées en milieu habité ou en plein champs.

Il est donc important de fiabiliser l'approche par les prélèvements passifs. La littérature internationale rapporte de très nombreux exemples sur l'utilisation de ce type de prélèvements et le type d'outils utilisés a été présenté dans les paragraphes précédents.

En France, à notre connaissance, il n'y a que l'équipe universitaire de Strasbourg qui en collaboration avec Atmo Grand Est a commencé à travailler sur cette question. Les contacts pris avec nos collègues semblent montrer qu'il y a encore un bout de chemin à parcourir avant d'obtenir un protocole fiabilisé et utilisable en routine.

C'est pour cela qu'en collaboration avec le Grand Est, en utilisant leur savoir-faire, il serait très utile qu'un groupement breton associant l'AASQA à un ou plusieurs laboratoires locaux avance sur ce sujet et fiabilise la méthodologie.

C'est typiquement un sujet de recherche et développement qui pourrait avoir les phases suivantes :

- Consolidation de la bibliographie,
- Construction d'un prototype en s'inspirant des travaux réalisés et en prenant en compte les impératifs de terrain pour installer l'échantillonneur,

- En parallèle, mise en routine de l'analyse des 10 à 20 matières actives choisies parmi les plus utilisées en Bretagne,
- Etablissement des débits de diffusion en corrélant les résultats obtenus sur le prototype avec ceux obtenus en prélèvement actifs avec la méthodologie agréée par l'ANSES,
- Modification éventuelle du prototype,
- Etude de différents adsorbants potentiels : Résines XAD, mousse de polyuréthane, carbone graphitisé... pour arriver à la validation d'un prototype,
- Phase d'étude des débits de diffusion en fonction des molécules et des conditions atmosphériques, établissement des limites de détection et de quantification en fonction de la durée d'exposition,
- Recherche de corrélations sur les débits de diffusion prenant en compte les caractéristiques physico chimiques des matières actives (Tension de vapeur, constante de Henry, coefficients de partage...) et les conditions atmosphériques (température, vent, humidité...)
- Réalisations de petites études du type de celles qui sont décrites ci-après.

b) Etablissement de transept par rapport à une zone de traitement

Il n'y a pas de données concordantes pour évaluer correctement l'influence de la distance, en particulier sur une zone située à moins de 500 mètres de l'application. Plusieurs idées d'études peuvent être proposées. Comme cela a été déjà dit, il n'est pas possible techniquement de pouvoir analyser des échantillons ponctuels pour des raisons évidentes de sensibilité. Il faudra recourir à des analyses par échantillons moyens sur des durées allant de la journée à la semaine. Devant la lourdeur et le coût de la mise en place d'appareil de prélèvement actif comme lors d'un suivi pérenne, nous proposons l'utilisation d'échantillonnages passifs comme cela a été rapporté dans de très nombreuses publications.

Dans cette étude, il est tout d'abord nécessaire de travailler en concertation avec le monde agricole pour avoir les données sur les traitements réalisés (date, heure et durée des traitements avec les numéros des parcelles traitées, les matières actives employées, les doses à l'hectare utilisées, le type d'appareil de traitement...) dans une zone représentative proche des habitations d'une agglomération.

Il est ensuite possible de placer un ou plusieurs tubes à diffusion passive sur un transept perpendiculaire à la zone de traitement.

Typiquement, il serait possible d'établir des zones d'implantation des dispositifs passifs, les points de chaque zone pouvant être équipés de trois échantillons enlevés au bout de 24h, 72h et une semaine. La distance des zones par rapport au champ pourrait par exemple être :

- 0 – 50 mètres
- 50 - 100 mètres
- 100 - 200 mètres
- 200 - 500 mètres
- 500 - 2000 mètres

Cela représente 15 analyses par semaine à répéter 8 semaines, soit en période de traitement de printemps soit en période de traitement d'hiver selon les cultures et les traitements de proximité. L'utilisation d'un échantillonneur actif classique de type « Partisol » devrait permettre de caler le taux de diffusion des différentes molécules analysées.

Les analyses ne se feraient que sur les molécules des matières actives utilisées.

Ce type d'étude n'a pas été trouvé dans la littérature car sa préparation est longue et délicate pour qu'un partenaire du monde de l'agriculture fasse adhérer les exploitants à la fourniture de leurs données. De plus le nombre d'échantillonnage et d'analyses est conséquent ce qui entraîne des coûts non négligeables.

c) Evaluer le rôle d'une haie par rapport à l'exposition

Ce travail de recherche peut être plus simple que le précédent en utilisant simplement entre deux et quatre points de mesure relativement proches, la moitié d'entre eux étant derrière une haie et l'autre moitié étant disposé sur une zone non protégée. Les points de prélèvement devront être placés dans une zone 0 - 50 mètres de la zone de traitement.

L'échantillonnage peut être réalisé avec des préleveurs actifs ou passifs.

L'expérimentation peut être menée sur une saison (traitements de printemps ou traitements d'automne).

En comptant 12 semaines de prélèvement, cela correspond à 24 ou 48 analyses pour un coût global estimé entre 25 000 et 50 000 €.

d) Mesure de l'exposition d'équipements publics ou de citoyens

Dans le cas où il serait envisagé de connaître l'exposition d'un équipement public type école ou collège ou d'un groupe de maison en proximité de traitements, il est possible d'envisager d'installer un préleveur actif ou passif et de mesurer l'exposition par une accumulation sur de longue périodes, typiquement 1 mois.

En réalisant 8 mois d'analyse par an on va couvrir l'ensemble des périodes de traitement. Par comparaison, il serait utile de prendre un témoin éloigné du prélèvement de proximité.

Cela représente 16 analyses pour un cout global estimé à 16 000€ pour un site et un témoin.

III.3.3 Inventaire des émissions de pesticides

La bibliographie fait apparaître quelques tentatives faites par les AASQA pour commencer à établir un inventaire des émissions sur un territoire. Ce n'est qu'avec des inventaires des émissions spatialisés et temporalisés qu'il sera possible d'envisager la modélisation de l'exposition avec des mailles de calcul les plus fines possibles.

La partie inventaire peut être réalisée par l'AASQA en collaboration étroite avec les autres AASQA française. Il existe d'ailleurs au sein des AASQA dans le cadre d'un GIE une opération appelée « PRISME » où sont développés en commun des modules qui permettent de réaliser l'inventaire des émissions de polluants et de gaz à effets de serre. Les modules « routier » et « agriculture » sont réalisés et l'ensemble des nouveaux modules sera opérationnel en 2023. Cette nouvelle plateforme remplacera la plateforme « ICARE » actuellement utilisée.

La première étape serait de réaliser un inventaire basique qui d'appuierait sur la banque de données des ventes existant à la commune qu'il faudrait peut-être élargir à l'EPCI car ce qui est acheté sur une commune est forcément utilisé ailleurs. La temporalisation pourrait être déduite des mesures existantes et des guides de bonnes pratiques édités par les chambres d'agriculture. Dans un premier temps les coefficients d'émissions pourraient être globaux afin d'englober sur une période d'une ou deux semaine les différentes volatilisations (directe, sol et plantes) et l'érosion.

Cette première étape peut être réalisée par l'AASQA sur 10 à 20 molécules les plus utilisées dans la région. Il sera de ce fait possible de mettre à disposition une première approche des émissions et de voir l'évolution année après année en sachant que le plan « Ecophyto » prévoit une réduction de 50% des traitements dès 2025.

Le cout estimé de cette première étape est évalué à 30 000 €.

La deuxième étape doit aller dans deux sens :

- Le premier est de passer de la banque de donnée des ventes à une banque de données des utilisations. Cela veut dire en clair, qu'en collaboration avec la chambre d'agriculture, il faudrait renseigner les parcelles traitées avec la date, le nom de la ou des matières actives (ou des formulations commerciales) utilisées et les doses à l'hectare. Il s'agit dans ce cas d'un travail régional. Il serait alors possible d'utiliser quelques équations déjà publiées pour prendre en compte les différentes émissions et commencer à travailler sur un inventaire des émissions spatialisé avec un pas de temps qui pourrait être la journée. Il est aujourd'hui malheureusement impossible d'évaluer d'abord l'acceptabilité de la fourniture

- des données (à part une obligation réglementaire) par les exploitants agricoles ainsi que le coût de collecte et la mise en base avec un système SIG.
- Le deuxième axe consiste à affiner les coefficients d'émission, en fonction des propriétés physico chimiques des molécules et des conditions pédoclimatiques, en distinguant la volatilisation quasi immédiate, la volatilisation par le sol et les plantes, l'érosion et éventuellement les retombées atmosphériques ainsi que les transformations chimiques ou photochimiques subies par les polluants. On est ici dans un cadre qui ne peut être que national ou européen pour obtenir des coefficients qui soient admis par l'ensemble des utilisateurs.
 - Il y a enfin le stade de la modélisation qui, si on veut prendre en compte l'essentiel des paramètres ne peut se faire qu'au niveau national. Dans le cadre du programme « ECOPHYTO II – axe 3- action 11, l'INERIS a remis un rapport récent (2019) intitulé « construction d'une méthodologie intégrative de caractérisation de l'exposition spatialisée : application aux pesticides ». Le travail a été réalisé sur deux types de molécules, les pyrèthrine et les chloropyrifos. A partir de la banque nationale des ventes, la volatilisation immédiate a été calculée à partir du modèle « Pest-LCI » et la volatilisation à long terme à partir du modèle « DynamiCROP ». Dans cette étude les auteurs ont développé un modèle statistique, le modèle déterministe étant jugé trop lourd à mettre en œuvre. Les perspectives et les actions à mener en conclusion de cette première approche ciblée sur une exposition générale aux pesticides sont dans le cadre des PNSE 3 et 4 :
 - « Identifier et analyser les méthodes de construction d'indicateurs d'exposition spatialisés et intégrés »
 - « Documenter les expositions des populations vivant à proximité des zones d'applications des pesticides », ce qui rejoint le paragraphe « d » des mesures de proximité.

III.3.4 Modélisation de la dispersion atmosphérique des pesticides

Avec des avancées sur les points précédents en termes d'estimation des émissions de pesticides, la modélisation de la dispersion atmosphérique de certaines molécules et leur calcul d'exposition annuelle pourraient, à terme, être réalisés par l'AASQA en travaillant en partenariat (LCSQA, INERIS, CNRS, Universités, ...).

La partie modélisation nécessitera des moyens informatiques et humains importants, en particulier si le périmètre étudié est la région avec une résolution relativement fine (kilométrique)..

L'intégration d'un projet de modélisation national de la pollution par les pesticides dans l'air **pour identifier l'exposition des populations serait une première approche de modélisation.**

La publication prochaine (courant 2021) des résultats du projet national COPPR⁷ « Modélisation de la Contamination de l'Air par les Produits Phytosanitaires à l'échelle Régionale » permettront d'obtenir une première approche dans la modélisation de la dispersion de certaines molécules.

III.3.5 Les moyens nécessaires à une surveillance pérenne

La surveillance pérenne de l'exposition des citoyens aux pesticides éventuellement présents dans l'air est un processus assez long qui comprend deux étapes principales :

- Le prélèvement d'un échantillon représentatif d'une exposition,
- L'analyse de l'échantillon prélevé.

a) Le prélèvement

Pour des raisons de sensibilité analytiques, il n'est pas possible pour l'instant de faire des prélèvements ponctuels de gaz. Il est nécessaire de s'orienter vers des prélèvements moyens sur des substances absorbantes avec des durées de prélèvement qui peuvent aller de 24 heures à une semaine voire plus longtemps en utilisant des préleveurs passifs.

⁷ <https://www.atmosud.org/fiche-etude/coppr-modelisation-de-la-contamination-de-lair-par-les-produits-phytosanitaires-lechelle>

Stratégie régionale de surveillance des produits phytosanitaires dans l'air

En ce qui concerne les prélèvements actifs, en fonction de la durée de prélèvement et de la substance à analyser, selon la méthodologie agréée, les AASQA utilisent deux types d'appareils :

- Les « Partisols » qui prélèvent avec un débit de 1 m³/h et qui permettent d'obtenir une valeur moyenne d'exposition sur une semaine.
- Les « DA 80 » qui prélèvent avec un débit de 10 à 30 m³/h et qui peuvent être mis en place pour obtenir des valeurs d'exposition sur une période plus courte ou pour des molécules spécifiques comme le glyphosate sur une période d'une semaine.

Selon la méthodologie mise en place par l'ANSES dans le cadre de la campagne nationale, l'adsorption se fait sur un mélange mousse de polyuréthane/résine XAD2. Dans le cadre de ces analyses, pour des raisons de reproductibilité, les cartouches de prélèvements sont remplies par le laboratoire extérieur chargé de l'analyse.

La mise en place des préleveurs est assurée par l'AASQA ainsi que l'acheminement des cartouches de prélèvements vers le laboratoire d'analyse.

Moyens nécessaires

Pour ses besoins propres et pour répondre aux différentes études Air Breizh possède un certain nombre de préleveurs. Dans le cadre d'une action concertée pour la surveillance des produits phytosanitaires, une subvention exceptionnelle d'investissement sera indispensable pour mener à bien les différentes études. Pour un coût d'investissement de 140 000 €, les besoins recensés sont les suivants :

- 3 préleveurs bas débit de type Partisol pour prélever, comme dans la campagne CNEP une liste de molécules choisies à l'avance (Pour mémoire, dans le cadre de la campagne CNEP cette liste comportait 75 molécules).
- 1 préleveur de type haut débit « DA 80 » pour prélèvement du glyphosate ou sur des durées plus courtes

b) L'analyse

L'analyse des pesticides étant très spécifique et nécessitant des moyens d'analyse lourds et coûteux, elle sera sous -traitée à un laboratoire privé ou public compétant en la matière.

Il n'y a pas actuellement d'AASQA française équipée pour réaliser ce type d'analyse même dans le cadre du laboratoire commun à plusieurs AASQA.

La campagne nationale CNEP a été analysée par le laboratoire « Ianesco chimie » à Poitiers.

Des laboratoires nationaux comme le « CARSO » ou « EUROFINS » sont capables de répondre à ce type de sollicitation.

En Bretagne quelques laboratoires pourraient être partenaires de programmes de surveillance : sans vouloir être exhaustif, citons l'EHESP à Rennes, LABOCEA, L'ENSC à Rennes...

Si on exclut « Ianesco chimie » qui a déjà mis au point la préparation des supports pour les prélèvements actifs et les analyses des 75 substances recherchées dans le programme national, les autres laboratoires devront effectuer des études en amont pour mettre au point les techniques et travailler ensuite en routine.

IV. Conclusion

En se projetant dans l'avenir et en mettant des priorités, il serait possible de proposer le programme suivant.

1. Le point primordial est de mettre en place un **programme pérenne de surveillance des pesticides** en Bretagne. Ce programme pourrait commencer avec 3 points : un site rural (de fond ou de proximité), un site urbain de fond et un site péri-urbain de fond.
2. Commencer à travailler (2021 – 2022) sur un premier **inventaire simple des émissions** en Bretagne en se référant aux travaux effectués par les AASQA voisines
3. A partir de 2021, effectuer des premiers travaux sur les **prélèvements passifs** : établir un partenariat avec un organisme de recherche, déposer des dossiers de financement de cette recherche pour un travail à mener à partir de 2022.
4. **Actualiser et sécuriser les données d'un inventaire des émissions** basé sur une connaissance des utilisations et non des ventes. Ce nouvel inventaire devra prendre en compte des facteurs d'émission liés aux différents phénomènes physico chimiques ainsi qu'aux conditions agropédoclimatiques (2023 – 2024).
5. Intégrer un programme national de **modélisation de la pollution par les pesticides** pour identifier l'exposition des populations (à partir de 2024/2025 ou plus tôt si un programme national est mis en place).

Toutefois, ce programme régional ne pourra se faire qu'en associant plusieurs acteurs locaux ou nationaux :

- Le monde de l'agriculture, chambre régionale d'agriculture, agriculteurs, ferme pilote, ...
- Les autres AASQA et le laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA) avec l'INERIS
- Le monde de la recherche agronomique
- Le monde des laboratoires d'analyse
- Des réponses ponctuelles à des demandes précises pourront être réalisées par Air Breizh en complément de ce programme (domaine des études).

La création d'un comité d'experts régionaux serait souhaitable.

V. BIBLIOGRAPHIE

Air Normand, « Etude de faisabilité relative à l'estimation des émissions dans l'air de pesticides d'origine agricole en Haute Normandie », Rapport N° 10-19-13, 2013.

Air Paris, « Les pesticides dans l'air ambiant Francilien, campagne 2013 – 2014, mai 2016.

Air Rhône Alpes, « Estimation des émissions potentielles de pesticides dans l'air en région Rhône Alpes ; estimation des quantités et répartition géographique », 2015.

Alegria H.A., Bidleman F.F., Shaw T.J., *Environ. Sci. Technol.*, 34, 1953, 2000.

ANSES, Avis saisine N° 2013 – SA 0138.

ANSES, Pharmacovigilance, Synthèse des données de surveillance, Prosulfocarb, décembre 2018.

Arkan T. et Molnár-Perl I., *Microchemical J.*, 121, 99, 2015.

ASPA, « Note sur la surveillance des produits phytopharmaceutiques en Alsace », 2006.

Atmo Poitou-Charentes, « Inventaire des émissions liées aux utilisations de pesticides » 2006.

Babina K., Dollard M., Pilotto L., Edwards J., *Environment international*, 48, 109-120, 2012.

▲ Baldi I., Cordier S., Coumoul X., Elbaz A., Gamet-Payrastré L., Lebaillay P., Multigner L., Rahmani R., Spinosi Y., Van Maele-Fabry G., Colloque « Exposition des populations aux produits phytosanitaires et risques sanitaires », EHESP Rennes, le 14 mars 2017.

Mis en forme : Anglais (Royaume-Uni)

Barriuso E., Calvet R., Schiavon M., Soulas G., *Etude et gestion des sols*, 3, 4, 1996.

▲ Bedos C., Cellier P., Calvet R., Barriuso E., Gabrielle B., « Mass transfer of pesticides into the atmosphere by volatilisation from soils and plants, an overview » *Agronomie*, 22, 21 – 33, 2002.

Mis en forme : Français (France)

▲ Bedos C., Genermont S., Le Cadre E., Garcia L., Barriuso E., Cellier P., *Atmospheric Environment*, 43, (22-23), 3630-3639, 2009.

Mis en forme : Anglais (Royaume-Uni)

Bedos C., Colloque « Exposition des populations aux produits phytosanitaires et risques sanitaires », EHESP Rennes, le 14 mars 2017.

Birkved, M. et Hauschild M.Z. 2006. « PestLCI—A Model for Estimating Field Emissions of Pesticides in Agricultural LCA », *Ecological Modelling*, 198, (3-4), 433-45, 2006.

Briand O., Millet M., Bertrand F., Cellier P., Bedos C., Seux R., *Fresenius Environmental Bulletin*, 12, (7), 675-679, 2003.

Briand O., Seux R., Millet M., Clement M., *Revue des Sciences de l'Eau*, 15(4), 767-787, 2002 (a).

▲ Briand O., Millet M., Bertrand F., Clement M., Seux R., *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 374, 848-857, 2002 (b).

Mis en forme : Français (France)

Burhler S., Basu I., Hites R.A., *Environ. Sci. Technol.*, 38, 414, 2004.

Chevrier C, Petit C, Limon G, Monfort C, Durand G, Cordier S. « Biomarqueurs urinaires d'exposition aux pesticides des femmes enceintes de la cohorte Pélagie réalisée en Bretagne (2002-2006) ». *Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire*. 16 Juin 2009, Edition spéciale.

Chevrier C, Limon G, Monfort C, Rouget F, Garlantézec R, Petit C, Durand G, Cordier S., *Environ Health Perspect.*, 119(7), 1034-1041, 2011.

Chevrier C., Colloque «Exposition des populations aux produits phytosanitaires et risques sanitaires», EHESP Rennes, le 14 mars 2017.

Climent M.J., Coscolla C., Lopez A., Barra R., Urrutia R., *Sci. Tot. Environ.*, 662, 646 – 654, 2019.

Coronado G. D., Holte S., Vigoren E., Griffith W. C., Faustman E., Thompson B., 2011, *Journal of occupational and environmental medicine / American College of Occupational and Environmental Medicine*, 53, (8), 884-891, 2011.

Coscola C., Yusa V., Marti P., Pastor A., *J. Chrom. A.*, 1200, 100, 2008.

Coscolla C., Lopez A., Yahyaoui A., Colin P., Robin C., Poinson Q., Yusa V., *Sci. Tot. Environ.*, 584-585, 856 – 868, 2017.

Coscolla C., Munoz A., Borrás E., Vera T., Rodenas M., *Atmospheric Environment*, 95, 29, 2014.
Curl C. L., Fenske R. A., Elgethun K., 2003, *Environmental Health Perspectives*, 111, (3), 377-382, 2003.

Desert M., Ravier S., Gille G., Quinapallo A., Armengaud A., Pochet G., Savelli J.L., Wortham H., Quivet E., *Atmos. Environ.*, 192, 241 – 256, 2018.

Mis en forme : Anglais (Royaume-Uni)

Mis en forme : Anglais (Royaume-Uni)

Deziel N. C., Ward M. H., Bell E. M., Whitehead T. P., Gunier R. B., Friesen M. C., *Environmental Health Perspectives*, 121, (5), 565-571, 2013.

Dijkman T. J., M. Birkved M., et Hauschild M.Z., « PestLCI 2.0: a second generation model for estimating emissions of pesticides from arable land in LCA », *International Journal of Life Cycle Assessment*, 17, (8), 973-986, 2012.

EMEP/EEA, « Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2013. Technical Guidance to Prepare National Emission Inventories », *EEA Technical report No 12/2013*.

Estellano V.H., Pozo K., Efstathiou C., Corsolini S., Focardi S., *Environ. Pollut.*, 205, 52 – 59, 2015.

Esteve-Turillas F.A., Pastor A., De La Guardia M., *Anal. Chim. Acta*, 626, 21, 2008.
Fantke P., Jolliet O., Life cycle human health impacts of 875 pesticides. *Int J Life Cycle Assess* (online), 2015.

Fantke P., Wieland P., Juraske R., Shaddick G., Sevine Itoiz E., Friedrich R., Jolliet O., *Environ. Sci. Technol.* 46, 12864 - 12872, 2012.

Fantke P., Wieland P., Wannaz C., Juraske R., Friedrich R., Jolliet O., *Environ. Modelling and Software*, 40, 316 - 324, 2013.

Fantke P., Friedrich R., Jolliet O., *Environment International*, 49, 9 – 17, 2012.

Fantke P., Gilespie B.G., Juraske R., Jolliet O., *Environ. Sci. Technol.* 48, 8588 - 8602, 2014.

Fantke P., Juraske R., Antón A., Friedrich R., Jolliet O., *Environ. Sci. Technol.* 45, 8842 - 8849, 2011.

Farrar N., Prevedouros K., Harner T.; Sweetman A.J., Jones K.C., *Environ. Pollut.*, 144, 423, 2006.
FOCUS, « Pesticides in Air: Considerations for Exposure Assessment. » Report of the FOCUS Working Group on Pesticides in Air EC Document Reference SANCO/10553/2006 Rev 2 June 2008.

Fortin M.-C., M. Bouchard, G. Carrier., « Comparaison de l'excrétion urinaire de biomarqueurs d'exposition aux pyréthrinoides et aux pyréthrinés chez les résidents de régions urbaine et rurale de la Province de Québec, Canada », *revue*, 57, 395-401, 2009.

Stratégie régionale de surveillance des produits phytosanitaires dans l'air

Gaffney S. H., Curriero F. C., Strickland P. T., Glass G. E., Helzlsouer K. J., Breyse P. N., 2005, *Environmental Health Perspectives*, 113, (12), 1712-1716 2005.

Garcia L., Bedos C., Genermont S., Braud I., Cellier P., *Science of the Total Environment*, 409, (19), 3980-3992, 2011.

Garcia L., Bedos C., Genermont S., Benoit P., Barriuso E., Cellier P., *Environ. Sci. Technol.*, 48, (9), 4991-4998, 2014.

Genermont, S., et P. Cellier, *Agricultural and Forest Meteorology*, 88, (1-4), 145-167, 1997.

Gouin T., Harner T., Blanchard P., Mackay D., *Environ. Sci. Technol.*, 39, 9115, 2005.

Gouin T., Wania F., Ruepert C., Castillo L.E., *Environ Sci. Technol.*, 42, 6625, 2008.

Gozy, A., et R. Farret R., « Détermination des pesticides à surveiller dans le compartiment aérien: approche par hiérarchisation », Synthèse du comité de pilotage No. N°INERIS-DRC-MECO-CGR-143/2005.

Guiral C., Bedps C., Ruelle B., Basset-Mens C., Douzals J.P., Cellier P. ? Barriuso F., « Les émissions de produits phytopharmaceutiques dans l'air. Facteurs d'émissions, outils d'estimation des émissions, évaluations expérimentales et perspectives de recherche », synthèse bibliographique, ADEME, 2016.

Gunier R. B., Ward M. H., Airola M., Bell E. M., Colt J., Nishioka M., et al., *Environmental Health Perspective*, 119, 970-976, 2011.

▲ Harner T., *Environ. Sci. Technol.*, 38, 4474, 2004.

▲ Harner T., Pozo K., Gouin T., Macdonald A.M., Hung H., Caine J., Peters A., *Environmental Pollution*, 144, 445 - 452, 2006.

Harner, T., Shoeib, M., Diamond, M., Stern, G., Rosenberg, B., *Environ. Sci. Technol*, 38, 4474 – 4483, 2004.

Hart E., Coscolla C., Pastor A., Yusa V., *Atmospheric Environment*, 62, 118, 2012.

▲ <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>.

<http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/607600002.pdf>.

▲ <https://bretagne-environnement.fr/evolution-ventes-produits-phytosanitaires-bretagne-datavisualisation>.

<https://www.actu-environnement.com/ae/news/residus-pesticides-alimentation-europe-france-efsa-2017-33699.php4>.

<https://www.generations-futures.fr/publications/residus-de-pesticides-fruit-legume/>.

<https://www.nouvelle-aquitaine.ars.sante.fr/pesticides-comment-preserver-sa-sante-comment-agir?>

▲ Iakovides M., Apostolaki M., Stephanou E.G., *Atmos. Environ.*, à paraître, 2020.

▲ Islam M.N., Huang L., Siciliano S.D., *Chemosphere*, 248, 126031, 2020.

Jacobsen R.E., Fantke P., Trapp S., *Environmental Research*, 26, (4), 325 - 342, 2015

Jaward F., Farrar N., Harner T., Sweetman A.J., Jones A., *Environ. Sci. Technol.*, 38, 34, 2004.

Mis en forme : Anglais (Royaume-Uni)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Anglais (Royaume-Uni)

Mis en forme : Anglais (Royaume-Uni)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Français (France)

Jayaraj R., Megha P., Sreedev P., *Interdisciplin. Toxicol.*, 9, 90 – 100, 2016.

Jury, W. A., Spencer W.F., Farmer W.J. » *Journal of Environmental Quality* 13: 573-79, 1984.

Jury, W. A., Spencer W.F., Farmer W.J., *Hazard Assessment of Chemicals: Current Developments* 2: 1-43, 1983 (a).

Jury, W. A., Spencer W.F., Farmer W.J., *Journal of Environmental Quality*, 12, (4), 558 – 64, 1983 (b).

Klanova J., Kohoutek J., Hamplova L., Urbanova P., Holoubek I., *Environ. Pollut.*, 144, 393, 2006.

Koch D., Lu C., Fisker-Andersen J., Jolley L., Fenske R. A., *Environmental health perspectives*, 110, 829-833, 2002.

Kosikowska M. et Biziuk M., *Trends in Analytical Chemistry*, 29, (9), 1064, 2010.

Lammel G., Ghim Y., Grados A., Gao H., Huhnerfuss H., Lohmann R., *Atmospheric Environment*, 41, 452, 2007.

Levy M., Al-Alama J., Ridackera C., Massemin S., Milleta M., *Atmospheric Environment*, 195, 12, 2018.

Levy M., Ba H., Pallares C., Pham-Huu C., Millet M., *Atmos. Poll. Research*, 11, 1217, 2020.

Liaud C., Schwartz J.J., Millet M., *Environ. Sci. Health, part B*, 52, 458, 2017.

Linden, A., Van der M.A., Groenwold J.G., Kruijne R., Lutik R., Merkelbach R.C.M., 2008. « Dutch Environmental Indicator for Plant Protection Products, Version 2: Input, Calculation and Aggregation Procedures ». Report 607600002/2008. RIVM.

Lu C., Fenske R. A., Simcox N. J., Kalman D., *Environmental Research*, 84, (3), 290–302, 2000.

▲ Narbonne J.F., « *Nutrition Clinique Pratique* » Elsevier, 2018.

▲ Norskov N.P., Jensen S.K., Sorensen M.L.T., *J. Chrom. A*, 1605, 360343, 2019.

Pivato A., Barausse A., Zecchinato F., Palmeri L., Raga R., Lavagnolo M.C., Cossu R., *Atmospheric Environment*, 111, 136, 2015.

Pozo K., Harner T., Rudolph A., Oyola G., Estellano V.H., *Atm. Pollut. Research*, 3, 426 – 434, 2012.

Pozo K., Harner T., Shoeib M., Urrutia R., Barra R., Parra O., Focardi S., *Environ. Sci. Technol.*, 38, 6529, 2004.

Pozo K., Harner T., Shoeib M., Urrutia R., Barra R., Parra O., Focardi S., *Environ. Sci. Technol.*, 38 (24), 6529 – 6537, 2004.

Ravier I., Haouissee E., Clement M., Seux R., BRIAND O., *Crops Pest Management Science*, 61, 728-736, 2005.

▲ Renaud-Gentié C., Dijkman T.J., Bjorn A., et Birkved M., « Pesticide emission modelling and freshwater ecotoxicity assessment for Grapevine LCA: adaptation of PestLCI 2.0 to viticulture », *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20, (11), 1528-1543, 2015.

Royster M. O., Hilborn E. D., Barr D., Carty C. L., Rhoney S., Walsh D., *Journal of Exposure Analysis And Environmental Epidemiology*, 12, (6), 433-440, 2002.

Mis en forme : Anglais (Royaume-Uni)

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Français (France)

Sarigiannis D.A., Kontoroupi P., Solomou E.S., Nikolaki S., Karabelas A.J., *Atmospheric Environment*, 75, 6-14, 2013.

Scheyer A., Morville S., Mirabel P., Millet M., *Atmos Environ*, 41, 3604, 2005.

Schummer C., Mothiron E., Appenzeller B.M.R., Rizet A.L., Wenning R., Millet M., *Environ. Pollution*, 158, 576, 2010.

Seux R., Communication personnelle, 2020.

Shen L., Wania F., Lei Y.D., Teixeira C., Bidleman T.F., *Environ. Sci. Technol.*, 39, 409, 2005.

Shunthirasingham, C., Oyiliagu, C.E., Cao, X.S., Gouin, T., Wania, F., Lee, S.-C., Pozo, K. Harner, T., Muir, D.C.G., *Journal of Environmental Monitoring*, 12, 1650 - 1657, 2010.

Sofuoglu A., Odabasi M., Tasdemirc Y., Khalilid N.R., Holsen T.M., *Atmospheric Environment*, 35, 6503, 2001.

Soheilifard F., Marzban A., Raini M.G., Taki M., Van Zelm R., *Sci. Total Environ.*, 732, 139118, 2020.

Sverko E., *Atmos Environ.*, 40, 4339, 2006.

Tinsley, I. J. « Chapter 4: Evaporation ». In *Chemical Concepts in Pollutant Behavior*. New York, Wiley, 1979.

Van Den Berg, F., Kubiak, R., Benjey, W.G., Majewski, M.S., Yates, S.R., Reeves, G.L., Smelt, J.H., Van Der Linden, A.M.A., *Water, Air, and Soil Pollution*, 115, 195, 1999.

Villiot A., Chretien E., Drab-Sommesous E., Riviere E., Chakir A., Roth E., *Atmospheric Environment*, 171, 82 – 91, 2018.

Villiot A., Chretien E., Drab-Sommesous E., Rivière E., Chakir A., Roth E., *Atmospheric Environment*, 174, 22, 2018.

Waite D. T., Cessna A. J., Grover R., Kerr I.A., Snihura A.D., *J. Environ Qual.*, 33, 1616, 2004.

Wang X.P., Gong P., Yao T.D., Jones K.C., *Environ Sci. Technol.*, 44, 2988, 2010.

Wania, F., Shen, L., Lei, Y.D., Teixeira, C., Muir, D.C.G., *Environ. Sci. Technol.*, 37, 1352 – 1359, 2003.

Wennrich L., Popp P., Hafner C., *J. Environ. Monit.*, 4, 371, 2002.

Westgate, J.N., Shunthirasingham, C., Oyiliagu, C., von Waldow, H., Wania, F., *Atmospheric Environment*, 44, 4380 – 4387, 2010.

White L.M., Ernest W.R., Julen G., Garron C., Leger M., *Pest Manage Sci.* 62, 126, 2006.

Woodrow, J. E., Seiber J.N., Baker L.W., *Environ. Sci. Technol.*, 31, (2), 523-29, 1997.

www.fao.org

www.ofb.gouv.fr

Yang Y., Li D., Mu D., *Atmos. Environ.*, 42, 677, 2008.

Yao Y., Tuduri I., Harner T., Blanchard P., Waite D., Poissant L., Murphy C., Belzer W., Aulagnier F., *Atmospheric Environment*, 40, 4339 – 4351, 2006.

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Anglais (Royaume-Uni)



Stratégie régionale de surveillance des produits phytosanitaires dans l'air

Valcke M., Samuel O., Bouchard M., Dumas P., Belleville D., Tremblay C., *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 79, 568-577, 2006.

Ward M. H., Lubin J., Giglierano J., Colt J. S., Wolter C., Bekiroglu N., et al., *Environmental Health Perspectives*, 114, (6), 893-897, 2006.

Baldi I., Cordier S., Coumoul X., Elbaz A., Gamet-Payrastre L., Lebailly P., Multigner L., Rahmani R., Spinosi Y., Van Maele-Fabry G., Colloque « Exposition des populations aux produits phytosanitaires et risques sanitaires », EHESP Rennes, le 14 mars 2017.



[Annexe I : Présentation d'Air Breizh](#)



Stratégie régionale de surveillance des produits phytosanitaires dans l'air

Présentation d'Air Breizh

La surveillance de la qualité de l'air est assurée en France par des associations régionales, constituant le dispositif national représenté par la Fédération ATMO France.

Ces organismes, agréés par le Ministère de la Transition écologique et solidaire, ont pour missions de base, la mise en œuvre de la surveillance et de l'information sur la qualité de l'air, la diffusion des résultats et des prévisions, et la transmission immédiate au Préfet et au public, des informations relatives aux dépassements ou prévisions de dépassements des seuils de recommandation et d'information du public et des seuils d'alerte.

En Bretagne, cette surveillance est assurée par Air Breizh depuis 1986.

Le réseau de mesure s'est régulièrement développé et dispose en 2017, de 18 stations de mesure, réparties sur le territoire breton, ainsi que d'un laboratoire mobile, de cabines et de différents préleveurs, pour la réalisation de campagnes de mesure ponctuelles.

L'impartialité de ses actions est assurée par la composition quadripartite de son Assemblée Générale regroupant quatre collèges :

- Collège 1 : services de l'Etat,
- Collège 2 : collectivités territoriales,
- Collège 3 : émetteurs de substances polluantes,
- Collège 4 : associations de protection de l'environnement et personnes qualifiées.

Missions d'Air Breizh

- Surveiller les polluants urbains nocifs (SO₂, NO₂, CO, O₃, Métaux lourds, HAP, Benzène, PM10 et PM2.5) dans l'air ambiant,
- Informer la population, les services de l'Etat, les élus, les industriels..., notamment en cas de pic de pollution. Diffuser quotidiennement l'indice ATMO, sensibiliser et éditer des supports d'information : plaquettes, site web...,
- Etudier l'évolution de la qualité de l'air au fil des ans, et vérifier la conformité des résultats par rapport à la réglementation.
- Apporter son expertise sur des problèmes de pollutions spécifiques et réaliser des campagnes de mesure à l'aide de moyens mobiles (laboratoire mobile, tubes à diffusion, préleveurs, jauges OWEN...) dans l'air ambiant extérieur et intérieur.

Réseau de surveillance en continu

La surveillance de la qualité de l'air pour les polluants réglementés est assurée via des d'analyseurs répartis au niveau des grandes agglomérations bretonnes. Ce dispositif est complété par d'autres outils comme l'inventaire et la modélisation, qui permettent d'assurer une meilleure couverture de notre région.

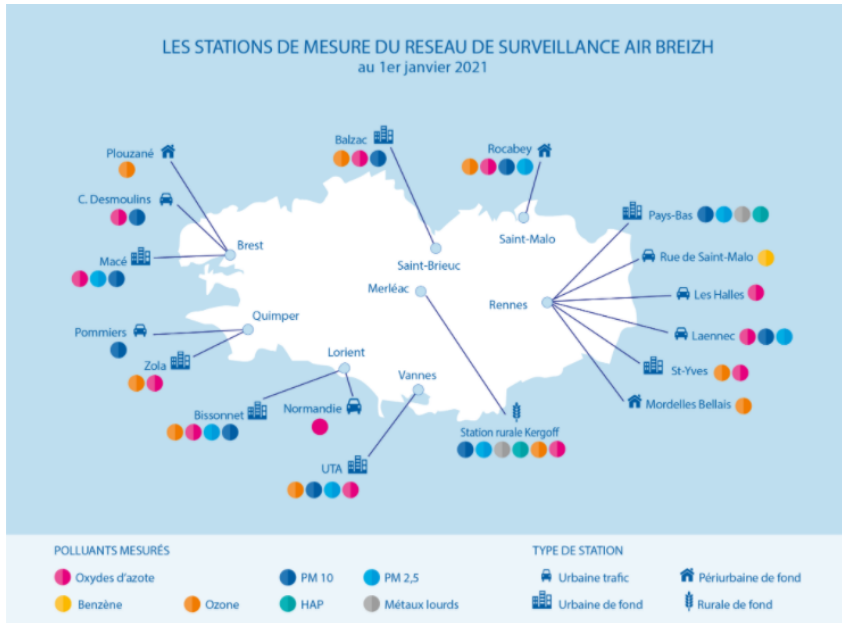


Figure 48: Implantation des stations de mesure d'Air Breizh (au 01/01/21)

Moyens

Afin de répondre aux missions qui lui incombent, Air Breizh compte onze salariés, et dispose d'un budget annuel de l'ordre d'1,4 million d'euros, financé par l'Etat, les collectivités locales, les émetteurs de substances polluantes, et des prestations d'intérêt général et produits divers.

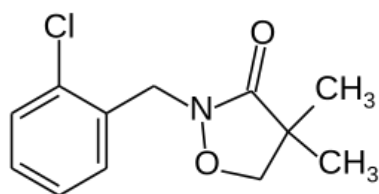


Annexe II : Informations sur les principaux produits phytosanitaires retrouvés en Bretagne

LE CLOMAZONE

Le clomazone est un [herbicide](#) qui appartient à la famille chimique des [isoxazolidines](#).

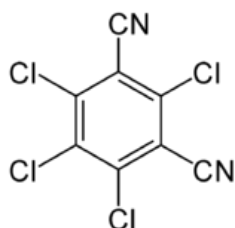
DJA : 133 µg/kgPC.J



Propriétés physico chimiques

N° CAS	81777-89-1
FORMULE BRUTE	C₁₂H₁₄ClNO₂ [Isomères]
MASSE MOLAIRES	239,698 ± 0,013 g/mol
T° FUSION	25°C
T° EBULLITION	275°C
SOLUBILITE DANS L'EAU	1100 mg/L à 20°C
TENSION DE VAPEUR	0.01 Pa à 25°C
MASSE VOLUMIQUE	1.19

LE CHLOROTHALONIL



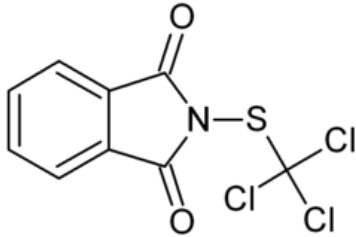
Le chlorothalonil pur est une substance cristalline incolore et inodore. Il est utilisé comme [biocide](#) dans la composition de certains [antifongiques](#) en raison de ses propriétés [fongicides](#). C'est aussi un antigerminatif de contact. Il appartient à la famille chimique des organochlorés dérivés du [benzène](#).

Entre 2010 et 2017, les tonnages vendus varient entre 1300 et 1700 tonnes.

Propriétés physico chimiques

N° CAS	1897-45-6
FORMULE BRUTE	C₈Cl₄N₂ [Isomères]
MASSE MOLAIRES	265,911 ± 0,015 g/mol
T° FUSION	250°C
T° EBULLITION	350°C
SOLUBILITE DANS L'EAU	0.6 mg/L à 25°C
TENSION DE VAPEUR	1.3 Pa à 40°C
MASSE VOLUMIQUE	1.8

LE FOLPEL



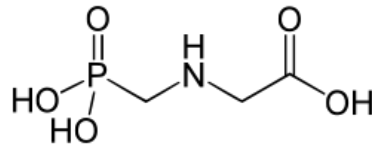
C'est un **fongicide** du groupe des dicarboximides, à large spectre. Il est notamment efficace contre l'oïdium, le mildiou, le botrytis et le rouget parasitaire. Il est pour ces raisons très utilisé et depuis plus d'un demi-siècle contre le mildiou de la vigne et de la tomate. Il est également utilisé sur le blé.

Propriétés physico chimiques

N° CAS	133-07-3
FORMULE BRUTE	$C_9H_4Cl_3$ [Isomères]
MASSE MOLAIRES	$169,0731 \pm 0,0047$ g/mol
T° FUSION	177°C
T° EBULLITION	Décomposition à 184°C
SOLUBILITE DANS L'EAU	0.5 mg/L à 15°C et 1.4 mg/L à 20°C
TENSION DE VAPEUR	$2,1 \times 10^{-5}$ Pa à 25 °C et $9,7 \times 10^{-5}$ Pa à 35 °C

Dans l'air, on a longtemps considéré qu'une fois pulvérisé, ce produit n'était pas ou très peu volatil (constante de Henry calculée = 8×10^{-3} Pa·m³·mol⁻¹ à 25 °C et tension de vapeur très faible) ou qu'il présentait une volatilisation « négligeable ». Mais si la pulvérisation est faite dans de mauvaises conditions (par temps sec et/ou venteux, sous la pluie, ou avec des buses de pulvérisateur de mauvaise qualité ou mal nettoyées, une grande partie du produit pulvérisé peut être immédiatement dispersé par le vent et/ou la pluie). Même dans des conditions normales (selon 9 tests faits en Europe du Nord et du Sud), environ 50 à 85 % du produit pulvérisé était « intercepté » par la plante pour la vigne et selon 4 tests faits pour le blé d'hiver, ce taux était de 70 % environ. 30 à 50 % du produit peut donc être retrouvé dans l'environnement immédiatement après la pulvérisation

LE GLYPHOSATE



Le glyphosate ou (*N*-(phosphonométhyl)glycine est un herbicide total foliaire systémique, c'est-à-dire non sélectif, absorbé par les feuilles et à action généralisée. Autrefois exclusivement produit par Monsanto (à partir de 1974, sous la marque Roundup), son brevet est passé dans le domaine public en 2000, de sorte que d'autres entreprises le produisent désormais.

Le glyphosate seul est peu efficace, car il n'adhère pas aux feuilles et les pénètre difficilement. On lui adjoint donc au moins un tensioactif. C'est le désherbant le plus utilisé au monde (environ 8 000 t/an de matière active en France en 2016). Il est utilisé sur tout type de culture. Aujourd'hui, il n'est plus autorisé pour les particuliers.

Le glyphosate est classé depuis le 20 mars 2015 comme « probablement cancérigène » par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC). Cette agence de l'OMS précise que ce classement est uniquement une estimation du danger, et que l'estimation du risque pour la population générale est du ressort des agences de sécurité sanitaire⁶. Depuis lors, un panel d'experts de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture et de l'Organisation mondiale de la santé estime en mai 2016 qu'il est improbable que le glyphosate soit cancérigène par voie alimentaire. Des appréciations similaires ont été rendues par l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) ainsi que par les différentes agences nationales ayant été chargées récemment d'évaluer le risque sanitaire du glyphosate par voie alimentaire. Ses opposants lui prêtent par ailleurs des effets néfastes sur l'environnement, notamment certains insectes et de façon indirecte les oiseaux qui s'en nourrissent, ainsi que sur la santé des personnes exposées aux pulvérisations (agriculteurs et populations rurales).

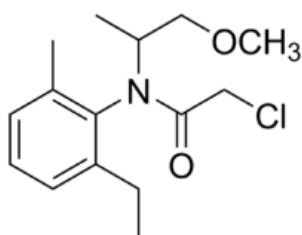
La DJA est de 500µg/kgPC.J

Propriétés physico chimiques

N° CAS	1071-83-6
FORMULE BRUTE	C₃H₈NO₅P [Isomères]
MASSE MOLAIRES	169,0731 ± 0,0047 g/mol
T° FUSION	Décomposition à 230°C
T° EBULLITION	Décomposition à 230°C
SOLUBILITE DANS L'EAU	12000 mg/L à 25°C
TENSION DE VAPEUR	Négligeable
MASSE VOLUMIQUE	1.7 à 20°C

Peu analysée dans l'air, cette substance, ainsi que le glufosinate d'ammonium et l'AMPA, ont fait l'objet de mesures dans l'air dans le cadre d'une étude exploratoire en région PACA. Sur les 83 analyses réalisées entre 2014 et 2016, le glyphosate a été détecté 5 fois (soit un taux de détection de 6 %).

LE S-METOLACHLORE



Le metolachlore ou (*RS*)-2-chloro-*N*-(2-éthyl-6-méthylphényl)-*N*-(1-méthoxypropan-2-yl)acétamide est autorisé et utilisé en France sous sa forme *S*. C'est un herbicide largement utilisé à la fois pour les grandes cultures, l'arboriculture et le maraichage. C'est un des herbicides qui a été substitué à l'atrazine.

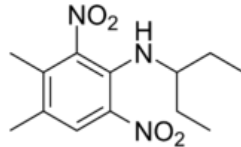
Entre 2010 et 2017, les tonnages vendus varient entre 1500 et 2000 tonnes.

Propriétés physico chimiques

N° CAS	178961-20-1 (<i>R</i>) et 87392-12-9 (<i>S</i>)
FORMULE BRUTE	C₁₅H₂₂ClNO₂
MASSE MOLAIRE	283,794 ± 0,016 g/mol
T° FUSION	-62.1°C
T° EBULLITION	100° C sous pression réduite (5.38 Pa)
SOLUBILITE DANS L'EAU	490 mg/L à 25°C
TENSION DE VAPEUR	0.0042 Pa à 20°C
MASSE VOLUMIQUE	1.12 à 20°C

Entre 2013 et 2016, les AASQA ont procédé à 1643 analyses sur 81 sites. Il a été quantifié au moins une fois sur 80 à 90% des sites. Les valeurs médianes vont de 0.22 à 0.34 ng/m³ et les valeurs maximales sont comprises entre 8 et 14 ng/m³

LE PENDIMETHALINE



Cet **herbicide** est largement utilisé sur toutes les cultures (céréales, maraichage, arboriculture, vigne)

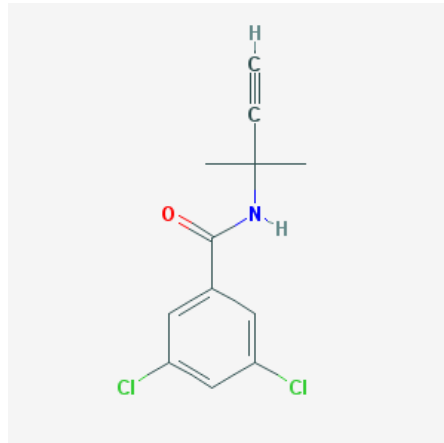
Les quantités vendues sont en augmentation passant de 740 tonnes en 1350 à 840 tonnes en 2017. La DJA est de 125 µg/kgPC.J

Propriétés physico chimiques

N° CAS	40487-42-1
FORMULE BRUTE	C₁₃H₁₉N₃O₄
MASSE MOLAIRES	281,3077 ± 0,0135 g/mol
T° FUSION	56°C
T° EBULLITION	330°C
SOLUBILITE DANS L'EAU	0.275 mg/L
TENSION DE VAPEUR	

Entre 2013 et 2016, les AASQA ont procédé à 1709 analyses sur 83 sites. Il a été quantifié au moins une fois sur 74 à 90% des sites. Les valeurs médianes vont de 0.19 à 0.40 ng/m³ et les valeurs maximales sont comprises entre 4 et 14 ng/m³.

LE PROPYZAMIDE

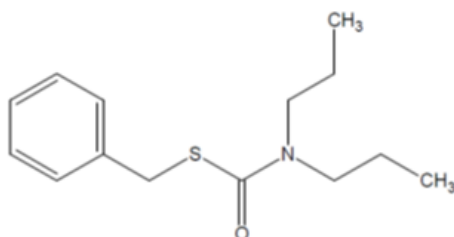


De formule chimique C₁₂H₁₁Cl₂NO, il est utilisé comme herbicide pour combattre certaines graminées annuelles (vulpin, ray-grass, bromes, phalaris, folles avoines) ou vivaces (chiendent rampant, pâturin des prés, avoine à chapelet) et de nombreuses dicotylédones. Il est utilisable dans les cultures de colza, pois, soja, tournesol, féveroles d'hiver, sur les vignes et vergers et sur certaines cultures légumières (salade, artichaut, cardon, salsifis, scorsonère, ciboulette, lentille, chicorée).

Les quantités vendues sont en augmentation passant de 250 tonnes en 2010 à 840 tonnes en 2017. La DJA est de 50 µg/kgPC.J

Entre 2013 et 2016, les AASQA ont procédé à 1374 analyses sur 59 sites. Il a été quantifié au moins une fois sur 21 à 46% des sites. Les valeurs médianes vont de 0.12 à 0.16 ng/m³ et les valeurs maximales sont comprises entre 0.21 et 1.7 ng/m³

LE PROSULFOCARB



De formule brute C₁₄H₂₁NOS, ce thiocarbamate est utilisé comme herbicide sur de nombreuses graminées et certaines dicotylédones. Il est également utilisé sur les céréales d'hiver (blé tendre, orge, escourgeon, seigle, triticale) et les pommes de terre.

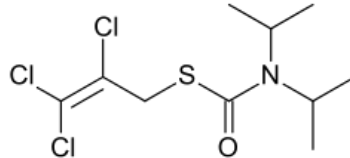
Les quantités vendues sont en augmentation passant de 1000 tonnes en 2010 à 4500 tonnes en 2017. La DJA est de 5µg/kgPC.J

Propriétés physico chimiques

N° CAS	52888-80-9
FORMULE BRUTE	C₁₄H₂₁NOS
MASSE MOLAIRES	251 g/mol
T° FUSION	
T° EBULLITION	
SOLUBILITE DANS L'EAU	13.2 mg/L
TENSION DE VAPEUR	7.14 10 ⁻² mP

Entre 2013 et 2016, les AASQA ont procédé à 1670 analyses sur 83 sites. Il a été quantifié au moins une fois sur 56 à 85% des sites. Les valeurs médianes vont de 0.36 à 2.51ng/m³ et les valeurs maximales sont comprises entre 8.8 et 90.5ng/m³

LE TRIALLATE



C'est une substance appartenant à la famille des carbamates de formule chimique C₁₀H₁₆SONCl₃. IL est utilisé comme herbicide sur de nombreuses graminées et il est sélectif des cultures de dicotylédones et il est particulièrement utilisé sur le lin, lecolza, le trèfle violet, la luzerne, et les betteraves. Il est également utilisable, sous certaines conditions techniques ou agronomiques, dans le désherbage de certaines cultures de céréales.

Propriétés physico chimiques

N° CAS	2303-17-5
FORMULE BRUTE	C₁₀H₁₆Cl₃NOS [Isomères]
MASSE MOLAIRES	304,664 ± 0,021 g/mol
T° FUSION	29 – 30°C
T° EBULLITION	117° C sous pression réduite (40 Pa)
SOLUBILITE DANS L'EAU	4mg/L à 25°C
TENSION DE VAPEUR	0.016 Pa à 25°C



Annexe III : Caractéristiques physico-chimiques et
environnementales de matières actives

Matière active	T. vapeur (mPa)	Cste Henry (Pa*m ³ /mol)	log Kow	Log Koa	DT ₅₀ dans air (h)
Acetochlor *	2,2 ^E -02	2,1 ^E -03			
Aldrin *	8,6 ^E -01	1,7 ^E +01	6.5	8.7	6
alpha- endosulfan	8,3	1,5	4.7	8.0	48
béta- endosulfan	8,0 ^E -02	9,2 ^E -03	3.8	9.3	48
Bifenthrin *	1,8 ^E -02	7,7 ^E -05	6.6	14.1	8,7
Bromoxyunil *	0,17	5,3 ^E -04			
Clomazone *	19,9		2.5		
Chlorothalonil *	1400 (40°C)		4.38		30 jours
Chlorpropham *	0,24	4,7 ^E -02	3.8	8.5	3,84
Chlorpyrifos-éthyl *	1,4	4,8 ^E -01	4.7	8.4	1,4
Chlorpyrifos-méthyl *	3,0	2,4 ^E -01	4.0	8.0	2,11
Cyfluthrin	3,0 ^E -04	5,3 ^E -02	6.0	10.7	25,7
Cypermethrin *	2,3 ^E -04	2,0 ^E -02	5.3	10.4	3,47
Cyprodinil *	0,51	6,6 ^E -03			
Deltamethrin *	1,2 ^E -05	3,1 ^E -02	4.6	9.5	16
Diazinon	12	6,1 ^E -02	3.7	8.3	1,33
Dicofol *	0,25	2,5 ^E -02	4.3	9.3	74,4
Dieldrin *	2,4 ^E -02	6,5 ^E -02	3.7	8.3	42
Diffufenican *	4,25 ^E -03	1,18 ^E -02			
Diphenylamine	0,85	3,2 ^E -01	3.8	7.7	0,65
Diuron *	1,15 ^E -03	2,0 ^E -06			
Endosulfan-sulfate	8,3 ^E -01	1,5 ^E +00	4.7	8.0	-
Ethoprophos *	78	1,4 ^E -02	3.0	8.3	3,72
Fenitrothion	0,68	9,9 ^E -03	3.3	8.7	6
Fenpropridine *	17	1,07 ^E +01			
Fipronil *	2,0 ^E -03	2,3 ^E -04	3.7	10.8	2,64
Fludioxonil	3,9 ^E -04	5,4 ^E -05	4.1	11.8	3,6
Folpel *	2,1 ^E -02	8,0 ^E -03	3.0	8.5	6,16
Iprodione *	5,0 ^E -04	7,0 ^E -06	3.0	11.5	1,42
Kresoxim-methyl	2,3 ^E -03	3,6 ^E -04	3.4	10.2	11,1
Lambda-cyhalothrin *	2,0 ^E -04	2,0 ^E -02	5.5	10.6	4,1
Lindane *	4,4	1,5 ^E -06	3.5	12.7	2,3 à 84 jours
Malathion	3,1	1,0 ^E -03	2.7	9.1	9,94
Penconazole	0,37	6,6 ^E -04	3.7	10.3	16
Pendimethaline	1,94	2,73 ^E -03			
Permethrin *	7,0 ^E -03	1,9 ^E -01	6.1	10.2	9,8
Propargite	4,0 ^E -03	6,4 ^E -02	5.7	10.3	2,16
Prosulfocarb *	7,14 ^E -2		4.65		
Pyrimethanil *	1,1	3,6 ^E -03	2.8	8.7	1,8
Quinoxifen	1,2 ^E -02	3,2 ^E -02	4.7	9.6	45,6
S-Metolachlor *	3,7	2,2 ^E -03			
Tebuconazol *	1,3 ^E -03	1,0 ^E -05			
Terbutryne *	0,13	1,5 ^E -03			
Tolclofos-methyl	0,88	3,7 ^E -01	4.6	8.4	5,3
Triadimefon *	2,0 ^E -02	9,0 ^E -05	3.2	10.6	-
Trifloxystrobine *	3,4 ^E -03	2,3 ^E -03			
Triallate	16		4.6		
Trifluralin	9,5	1,0 ^E +0	5.3	7.7	5,3
Vinclozolin	1,6 ^E -2	1,4 ^E -03	3.0	9.3	4



Annexe IV : Molécules analysées dans la campagne ANSES :
méthodologie, limites de détection (LD) (Echantillon et
concentration)

Molécule	Méthode	Incertitude %	LD ng/échantillon	LD ng/m3
2,4-D (2-ethylhexyl ester)	GCMSMS	26	1.5	0.009
2,4-DB (2-ethylhexyl ester)	GCMSMS	42	6	0.035
Acetochlore	GCMSMS	30	3	0.018
Bifenthrine (cis à 97)	GCMSMS	24	1.5	0.009
Boscalid	LCMSMS	30	7.5	0.045
Bromoxynil octanoate	GCMSMS	22	6	0.035
Butraline	GCMSMS	28	7.5	0.045
Carbetamide	LCMSMS	32	7.5	0.045
Chlordecone	LCMSMS	20	7.5	0.045
Chlorothalonil	GCMSMS	46	12	0.07
Chlorprophame	GCMSMS	48	7.5	0.045
Chlorpyrifos ethyl	GCMSMS	35	3	0.035
Cyperméthrine (alpha+ bêta+thêta+zêta)	GCMSMS	50	12	0.07
Cyproconazole	LCMSMS	38	7.5	0.045
Cyprodinil	GCMSMS	30	3	0.018
Deltaméthrine	GCMSMS	30	6	0.035
Diclorane	GCMSMS	8	7.5	0.045
Dieldrine	GCMSMS	42	15	0.09
Diffufenicanil	GCMSMS	46	1.5	0.009
Diméthoate	GCMSMS	54	15	0.09
Diuron	LCMSMS	32	7.5	0.045
Endrine	GCMSMS	48	30	0.18
Epoxiconazole	LCMSMS	34	7.5	0.045
Etofenprox	GCMSMS	50	6	0.035
Fenarimol	GCMSMS	16	3	0.018
Fipronil	GCMSMS	18	6	0.035
Fluazinam	LCMSMS	26	7.5	0.045
Flumétraline	GCMSMS	8	6	0.035
Fluopyram	LCMSMS	14	7.5	0.045
Heptachlore	GCMSMS	40	3	0.018
Iprodione	GCMSMS	28	7.5	0.045
Linuron	LCMSMS	32	7.5	0.045

Metazachlore	GCMSMS	20	3.75	0.022
Metribuzine	GCMSMS	48	3	0.018
Mirex	GCMSMS	12	3	0.018
Myclobutanil	GCMSMS	42	6	0.035
Oryzalin	LCMSMS	38	7.5	0.045
Oxadiazon	GCMSMS	50	1.5	0.009
Oxyfluorène	LCMSMS	16	7.5	0.045
Pendiméthaline	GCMSMS	46	3	0.018
Pentachlorophénol	LCMSMS	30	7.5	0.045
Permethrine (cis + trans)	GCMSMS	28	6	0.035
Phosmet	GCMSMS	52	6	0.035
Prosulfocarbe	LCMSMS	34	7.5	0.045
Pyriméthanil	GCMSMS	30	3	0.018
Metolachlore(S) (total R+S)	GCMSMS	38	1.5	0.009
Tebuconazole	LCMSMS	40	7.5	0.045
Tebuthiuron	LCMSMS	24	7.5	0.045
Terbutryne	LCMSMS	28	7.5	0.045
Tolylfluanide	GCMSMS	28	6	0.035
Triadiménol	LCMSMS	28	7.5	0.045
Trifloxystrobine	GCMSMS	36	6	0.035
Glyphosate	LC FL	32	3.75	0.022
Acide aminométhylphosphonique (AMPA)	LC FL	33	3.75	0.022
Glufosinate	LC FL	41	3.75	0.022
<i>Substances avec une analyse robuste mais sous-estimation potentielle sur la base des tests de piégeage</i>				
Bromadiolone	LCMSMS	72	7.5	0.045
Chlordane	GCMSMS	28	30	0.18
Chlorpyrifos méthyl	GCMSMS	46	6	0.035
Clomazone	LCMSMS	52	7.5	0.045
Difenoconazole	LCMSMS	34	7.5	0.045
Diméthamide(-p) (total)	LCMSMS	42	7.5	0.045
Ethion	GCMSMS	50	3	0.018
Ethoprophos	GCMSMS	18	3	0.018
Fenpropidine	LCMSMS	60	7.5	0.045

Lenacil	GCMSMS	35	6	0.035
Lindane	GCMSMS	34	1.5	0.009
Metamitrone	LCMSMS	40	7.5	0.045
Piperonyl butoxide (PBO)	GCMSMS	38	3	0.018
Prochloraz	LCMSMS	32	7.5	0.045
Propyzamide	GCMSMS	24	3	0.018
Pyrimicarbe	LCMSMS	22	7.5	0.045
Spiroxamine	LCMSMS	108	7.5	0.045
Triallate	GCMSMS	50	3	0.018



Stratégie régionale de surveillance des produits phytosanitaires dans l'air