



Evaluation de l'utilisation des capteurs passifs pour la mesure des pesticides dans l'air

Campagne de mesures en 2023

CONDITIONS DE DIFFUSION

Diffusion libre pour une réutilisation ultérieure des données dans les conditions ci-dessous :

- Les données produites par ATMO Grand Est sont accessibles sous licence ouverte
- Sur demande, ATMO Grand Est met à disposition les caractéristiques des techniques de mesures et des méthodes d'exploitation des données mises en œuvre ainsi que les normes d'environnement en vigueur et les guides méthodologiques nationaux.
- ATMO Grand Est peut rediffuser ce document à d'autres destinataires.
- Rapport non rediffusé en cas de modification ultérieure des données.

PERSONNES EN CHARGE DU DOSSIER

Rédaction : *Chrétien Eve, Ingénieur d'études Unité Enjeux Emergents*
Rio Caroline, Responsable du Processus Analyses
Relecture : *Jantzem Emmanuel, Responsable Unité Enjeux Emergents*
Approbation : *Drab-Sommesous, Directrice Accompagnement et Développement*

Référence du modèle de rapport : COM-FE-001_8

Référence du projet : 900822

Référence du rapport : ENJEM-EN-111

Date de publication : 20/02/2023

ATMO Grand Est

Espace Européen de l'Entreprise – 5 rue de Madrid – 67300 Schiltigheim

Tél : 03 69 24 73 73

Mail : contact@atmo-grandest.eu

SOMMAIRE

INTRODUCTION	3
1. SELECTION DES SUBSTANCES ACTIVES ETUDIEES.....	4
1.1. DEFINITION DES PESTICIDES	4
1.2. LISTE DE SUBSTANCES ACTIVES	4
1.3. SELECTION DES SUBSTANCES ETUDIEES	5
2. STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE	7
2.1. DISPOSITIFS DE PRELEVEMENT	7
2.2. ANALYSE DES SUPPORTS ECHANTILLONNES	8
2.3. ZONE D'ETUDE	9
2.4. PERIODES DE MESURE	10
3. RESULTATS	12
3.1. RESULTATS DES CAPTEURS PASSIFS EN AIR AMBIANT	12
3.2. COMPARAISON DES RESULTATS DU CAPTEUR PASSIF EN AIR AMBIANT ET EN AIR INTERIEUR.....	15
3.3. COMPARAISON DES RESULTATS ENTRE LES PRELEVEURS ACTIFS ET LES CAPTEURS PASSIFS SUR LA TOTALITE DE LA CAMPAGNE	18
3.4. CALCUL DU DEBIT D'ECHANTILLONNAGE ESTIME (RS).....	20
CONCLUSION	24

INTRODUCTION

La mesure des pesticides en air ambiant fait l'objet d'un suivi par ATMO Grand Est depuis 2002 en région Grand Est.

En revanche, la contamination de l'air intérieur via le transfert par les pesticides est beaucoup moins documentée. Outre les sources provenant de l'air extérieur, la contamination intérieure provient également de l'utilisation de divers produits biocides. Ces derniers sont utilisés dans de nombreux produits à usage domestique et professionnels : soins aux animaux, pour le traitement du bois, des textiles et du cuir, dans l'industrie de la peinture, et pour la lutte contre les nuisibles...

Le principal frein pour la réalisation de mesures en air intérieur est le bruit occasionné par les appareils de mesures couramment utilisés en air ambiant qui nécessitent l'usage d'une pompe.

Aussi, ATMO Grand Est a souhaité tester l'utilisation de capteurs passifs pour la mesure de pesticides, permettant ainsi une large liberté d'installation, puisque ces derniers ne nécessitent pas d'alimentation électrique et n'occasionnent pas de nuisances sonores. En outre, cette technique pourrait également être une alternative à l'utilisation d'appareil plus imposant, pour l'évaluation indicative de pesticides en air ambiant.

La validation de l'usage du capteur passif a reposé par la mise en parallèle des capteurs passifs avec des préleveurs actifs déployés sur le Grand Est dans le cadre de l'observatoire régional et national des pesticides en air ambiant en 2023.

Cette étude a bénéficié d'un soutien financier de l'ARS Grand Est.

1. SELECTION DES SUBSTANCES ACTIVES ETUDIEES

1.1. DEFINITION DES PESTICIDES

Le terme "pesticides" couvre par définition deux catégories de produits :

- Les biocides, ou désinfectants, définis comme les substances actives ou produits « destinés à détruire, repousser ou rendre inoffensifs les organismes nuisibles, à en prévenir l'action ou à les combattre de toute autre manière, par une action chimique ou biologique ».
- Les produits phytosanitaires, essentiellement destinés à protéger les végétaux. Les produits phytosanitaires sont des préparations contenant une ou plusieurs substances actives, utilisés pour la prévention, le contrôle ou l'élimination d'organismes (plantes, animaux, champignons, bactéries) pouvant nuire au développement des cultures. Il en existe 3 principaux types : les fongicides, les insecticides et les herbicides.

1.2. LISTE DE SUBSTANCES ACTIVES

102 substances actives ont été recherchées dans les prélèvements. Il s'agit de substances identifiées comme prioritaire et hautement prioritaires pour une surveillance nationale dans l'air ambiant (Anses, 2017). D'autres substances actives ont été ajoutées selon les critères suivants :

- Substances quantifiées les années précédentes sur la région Grand Est,
- Substances présentant un intérêt pour la DRAAF Grand Est,
- Faisabilité analytique.

Cette liste est identique à celle utilisée dans le cadre de l'observatoire régionale des pesticides en air ambiant en Grand Est en 2023.

Les pesticides dans l'atmosphère peuvent se trouver sous forme gazeuse ou particulaire. De nombreux paramètres vont impacter ce partage [Martin_2022] :

- les propriétés des composés (coefficient de partage octanol/air (LogK_{oa}), pression de vapeur, constante d'Henry),
- les conditions environnementales (température, humidité relative, concentrations particulaires...),
- les caractéristiques des particules ambiantes.

La constante d'Henry, au même titre que le coefficient de partage octanol/air permet de prédire la distribution des molécules entre les phases gaz et particulaire.

Le coefficient de partage octanol/air (K_{oa}) d'une substance active peut être calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$\text{K}_{\text{oa}} = (\text{K}_{\text{ow}} * \text{T}) / \text{H}$$

Avec :

K_{ow} = coefficient de partage octanol/eau

T = température en K

H = constante d'Henry

Plus la valeur de K_{oa} est élevée, plus la présence des molécules dans la phase particulaire est attendue. Ainsi, les composés ayant un log K_{oa} inférieur à 10 sont plus à même de se retrouver dans la phase gaz [Martin_2022].

1.3. SELECTION DES SUBSTANCES ETUDIEES

Au total, 100 substances actives sont recherchées dans les prélèvements hebdomadaires (Tableau 1). Par rapport à la liste de 2021, 2 substances actives d'intérêt pour la DRAAF Grand Est ont été ajoutées. A noter que d'autres substances d'intérêt ont été identifiées mais nécessitent des développements analytiques et/ou des tests de prélèvements.

Tableau 1 : Liste des substances actives recherchées en 2022

Substance active	Fonction	Substance active	Fonction
2,4-D (ESTERS)	H	Flumetraline	Autre
2,4-DB (ESTERS)	H	Fluopyram	F
2,4-MCPA	H	Fluxapyroxade	F
Aclonifen	H	Folpel	F
Acetochlore	H	Heptachlore	I
Aldrine	I	Iprodione	F
Azoxystrobine	F	Lambda cyhalothrine	I
Bifenthrine	I	Lenacil	H
Boscalid	F	Lindane	I
Bromadiolone	Autre	Linuron	H
Bromoxynil octanoate	H	Metamitron	H
Butraline	H	Metazachlore	H
Carbetamide	H	Metolachlore(-s)	H
Chlordane (cis et trans)	I	Metribuzine	H
Chlordecone	I	Metsulfuron methyl	H
Chlorothalonil	F	Mirex	I
Chlorprophame	H	Myclobutanil	F
Chlorpyrifos ethyl	I	Napropamide	H
Chlorpyrifos methyl	I	Nicosulfuron	H
Chlortoluron	H	Oryzalin	H
Clomazone	H	Oxadiazon	H
Cymoxanil	F	Oxyfluorfe	H
Cypermethrine	I	Pendimethaline	H
Cyproconazole	F	Pentachlorophenol	F
Cyprodinil	F	Permethrine	I
Deltamethrine	I	Phenmediphame	H
Diclorane	I	Phosmet	I
Dicofol	I	Pinoxaden	H
Dieldrine	I	Piperonyl butoxide (PBO)	I
Difenoconazole	F	Prochloraz	F
Diflufenicanil	H	Propiconazole	F
Dimetachlore	H	Propyzamide	H
Dimethenamide(-p)	H	Proquinazide	F
Dimethoate	I	Prosulfocarbe	H
Dimethomorphe	F	Prothioconazole	F
Diuron	H	Pyraclostrobine	F
Endrine	I	Pyrimethanil	F
Epoxiconazole	F	Pyrimicarbe	I
Ethephon	Autre	Quinmerac	H
Ethion	I	Spiroxamine	F
Ethofumesate	H	Tebuconazole	F
Ethoprophos	I	Tebuthiuron	H
Etofenprox	I	Tembotrione	H
Fenarimol	F	Terbutryne	H
Fenpropidine	F	Terbuthylazine	H
Fenpropimorphe	F	Tolyfluanide	F
Fipronil	I	Triadimenol	F
Fonicamide	I	Triallate	H
Fluazinam	F	Trifloxystrobine	F
Flufenacet	H	Zoxamide	F

Légende :

Nouvelle substance suivie en 2022

Le Tableau 2 récapitule les substances actives recherchées ainsi que leurs paramètres physico-chimiques (Constante de Henry, Log K_{oa}...).

Nom	Fonction	Pression de vapeur à 20°C (mPa)	Constante de Henry à 25°C (Pa.m3/mol)	log K _{oa}
2,4-D (ESTERS)	H	9,0 * 10 ³	4,0 * 10 ⁶	8
2,4-DB (ESTERS)	H	9,0 * 10 ⁴	4,6 * 10 ⁶	10
2,4-MCPA	H	0,4	1,46 * 10 ³	7,4
Acetochlore	H	2,2 * 10 ²	2,1 * 10 ³	10,2
Acionifén	H	0,016	3,03 * 10 ¹	10,3
Aldrine	I	8,6	1,72 * 10 ⁴	8,7
Azoxystrobine	F	1,10 * 10 ¹	7,40 * 10 ⁴	14
Benzovindiflupyr	F	3,2 * 10 ²	8,3 * 10 ⁻⁶	13,6
Bifenthrine	I	1,78 * 10 ⁴	7,74 * 10 ¹	10,8
Boscalid	F	7,2 * 10 ²	5,18 * 10 ¹	10,6
Bromadiolone	Autre	2,13 * 10 ⁴	8,99 * 10 ⁷	13,5
Bromoxynil octanoate	H	0,024	0,19	10,3
Butraline	H	0,77	7,38 * 10 ¹	8,5
Carbetamide	H	3 * 10 ⁴	1,93 * 10 ⁴	12,9
Chlordane	I	1,3	2,53 * 10 ¹	9,6
Chlordecone	I	3,5 * 10 ⁴	2,53 * 10 ¹	10,5
Chlorothalonil	F	0,076	2,5 * 10 ⁻²	7,9
Chlorprophame	H	24	0,047	8,5
Chlorpyrifos éthyl	I	1,43	0,478	8,4
Chlorpyrifos méthyl	I	3	0,235	8
Chlortalon	H	8,0 * 10 ³	9,07 * 10 ⁷	12,4
Clomazone	H	27	8,9 * 10 ⁻³	8,3
Cymoxanil	F	1,5 * 10 ¹	3,3 * 10 ⁵	8,5
cyperméthrine (alpha+beta+theta+zeta)	I	8,78 * 10 ⁻³	0,31	10,4
Cyproconazole	F	0,026	5,0 * 10 ⁵	10,8
Cyprodinil	F	5,1 * 10 ¹	6,6 * 10 ³	9,5
Deltaméthrine	I	1,1 * 10 ⁻²	8,10 * 10 ⁻²	9,5
Diclorane	I	0,261	8,44 * 10 ⁻³	8,3
Dicofol	I	0,25	2,45 * 10 ¹	9,3
Dieldrine	I	0,024	6,5 * 10 ²	8,3
Difenoconazole	F	8,33 * 10 ⁻²	9,0 * 10 ⁷	13,8
Diffenicanil	H	8,25 * 10 ⁻³	8,18 * 10 ⁻²	9,5
Dimetachlore	H	8,0 * 10 ⁻³	2,8 * 10 ⁴	9,1
diméthénamide (dont diméthénamide)	H	0,37	8,60 * 10 ⁻³	7,7
Diméthoate	I	2,5	1,42 * 10 ⁶	10
Diméthomorphe	F	9,7 * 10 ⁴	2,5 * 10 ⁵	10,7
Diuron	H	1,15 * 10 ¹	2 * 10 ⁶	11,9
Endosulfan (alpha + beta)	I	0,83	8,48	8 et 9,3
Endrine	I	2,0 * 10 ²	8,48 * 10 ⁻⁴	7,4
Epoconazole	F	3,5 * 10 ⁴	1,649 * 10 ¹	11,5
Ethion	I	0,2	8,85 * 10 ⁻²	8,9
Ethofumesate	H	0,65	3,72 * 10 ¹	8,5
Ethoprophos	I	78	1,35 * 10 ²	8,3
Etofenprox	I	8,13 * 10 ¹	1,36 * 10 ²	12,2
Fenarimol	F	0,065	7,0 * 10 ⁴	10,2
Fenpropidine	F	17	3,39	5,8
Fenpropimorphe	F	3,5	2,74 * 10 ¹	11,5
Fipronil	I	0,002	2,31 * 10 ⁴	10,8
Fonicamide	I	9,43 * 10 ¹	4,20 * 10 ⁸	7,4
Fluazinam	F	0,0172	5,93 * 10 ²	9,5
Fludioxonil	F	3,9 * 10 ⁴	5,4 * 10 ⁵	11,7
Flufenacet	H	0,09	1,3 * 10 ³	10,9
Flumetraline	Autre	0,72	30,38	7,4
Fuopyram	F	1,2 * 10 ³	2,98 * 10 ⁻⁵	11,2
Fluxapyroxade	F	2,7 * 10 ⁶	3,03 * 10 ⁷	13
Folpel	F	2,1 * 10 ²	8 * 10 ³	8,5
Heptachlore	I	53	3,53 * 10 ²	6,3
Iprodione	F	5,1 * 10 ⁴	7,0 * 10 ⁶	11,5
Lambda cyhalothrine	I	2,0 * 10 ⁴	2,0 * 10 ²	10,6
Lenacil	H	8,7 * 10 ⁻⁶	1,3 * 10 ⁷	12
Lindane	I	4,4	1,48 * 10 ⁶	12,7
Linuron	H	0,051	2,0 * 10 ⁴	10,1
Metamitron	H	7,44 * 10 ¹	8,95 * 10 ³	11,3
Metazachlore	H	0,089	5,9 * 10 ³	10,1
Métolachlore (dont S-Métolachlore)	H	3,7	2,2 * 10 ³	9,1
Metrifluzine	H	0,121	8,71 * 10 ⁻⁵	5,8
Metsulfuron méthyl	H	1,0 * 10 ⁶	2,87 * 10 ⁶	7,1
Mirex	I	3 * 10 ⁵	839,4	5,8
Myclobutanil	F	0,198	4,33 * 10 ¹	9,6
Naprogamide	H	2,2 * 10 ²	8,1 * 10 ³	10,8
Nicosulfuron	H	8,0 * 10 ⁷	1,48 * 10 ¹¹	5
Oryzalin	H	1,1 * 10 ⁷	3,37 * 10 ⁸	14,6
Oxadiazon	H	0,67	3,8 * 10 ²	10,1
Oxyfluorène	H	0,026	2,4 * 10 ²	9,9
Pendiméthaline	H	3,34	1,27	8,7
Pentachlorophénol (forme phénol)	F	16000	4,3 * 10 ¹	7,1
Permethrine	I	0,007	1,89 * 10 ¹	10,2
Phenmediphame	H	7,0 * 10 ⁷	2,7 * 10 ⁸	13,7
Phosmet	I	0,065	1,36 * 10 ³	9,1
Pinoxaden	H	2,0 * 10 ⁴	9,2 * 10 ²	12,6
Piperonyl butoxide (PBO)	I	2,0 * 10 ²	2,3 * 10 ⁶	13,8
Prochloraz	F	0,15	1,64 * 10 ³	9,7
Propiconazole	F	5,6 * 10 ²	9,2 * 10 ⁶	11,1
Propyzamide	H	0,058	7,52 * 10 ⁹	14,8
Proquinazide	F	0,09	3,0 * 10 ²	10,4
Prosulfocarbe	H	0,79	0,0152	9,7
Pyraclostroline	F	2,6 * 10 ⁴	5,31 * 10 ⁶	12,7
Pyriméthanil	F	1,1	2,2 * 10 ⁻³	8,7
Pyrimicarbe	I	0,43	3,3 * 10 ⁵	9,6
Quinmécac (forme acide)	H	1,0 * 10 ⁷	1,0 * 10 ¹⁰	12
Spiroxamine	F	3,5	3,8 * 10 ³	8,7
Tebuconazole	F	1,3 * 10 ³	1,0 * 10 ⁵	12,1
Tebuthiuron	H	0,27	2,47 * 10 ¹	9,8
Terbutriolone	H	1,1 * 10 ³	1,71 * 10 ¹⁰	12,1
Terbutryne	H	0,13	1,5 * 10 ⁵	9,9
Terbutylazine	H	0,152	2,3 * 10 ⁵	9,4
Tolyfluanide	F	0,2	7,7 * 10 ⁶	8,4
Triadiménol	F	0,5 * 10 ⁴	3,5 * 10 ⁶	12
Triallate	H	12	0,89	7,5
Trifloxystrobine	F	3,4 * 10 ³	2,3 * 10 ³	10,5
Tritosulfuron	H	9,3 * 10 ⁴	8,8 * 10 ⁻¹⁰	13,1
Zoxamide	F	1,3 * 10 ⁷	6,59 * 10 ¹	9,3

Légende : H/Herbicide ; F/Fongicide ; I/Insecticide

Tableau 2 : Liste des substances actives recherchées

2. STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

2.1. DISPOSITIFS DE PRELEVEMENT

Les dispositifs de prélèvement utilisés pour cette étude ont été :

- **Le préleveur actif** répondant à la norme XP X43-058 relative aux prélèvements de pesticides dans l'air ambiant. L'air est aspiré par une tête PM10, permettant de sélectionner les particules dont le diamètre est inférieur à 10 μm . Le préleveur est équipé d'une cartouche de prélèvement composée d'un filtre en fibres de quartz destiné à recueillir les composés sous leur forme particulaire, et d'une mousse PUF (polyuréthane) piégeant les composés sous leur forme gazeuse. **La durée du prélèvement est d'une semaine.** Cette méthode permet de connaître la concentration de substances actives piégées pendant 1 temps donné, avec **des résultats exprimés en concentration de substances actives (ng/m^3)**.
- **Le capteur passif**, Tisch 200 PAS, composé d'une coupole en acier inoxydable (Figure 1) avec à l'intérieur une mousse PUF permettant de piéger les pesticides **durant 4 semaines.** Cette méthode permet de connaître les quantités cumulées de substances actives déposées sur la mousse pendant 1 temps donné, avec **des résultats exprimés en masse de substances actives (ng)**. **Ce système de prélèvement est couramment utilisé pour l'analyse de composés organiques semi-volatils, les composés trop volatils ne seront pas piégés.**



Figure 1 : Coupole du capteur passif

Le capteur passif est installé au niveau de la ligne de prélèvement du préleveur actif en air ambiant à une hauteur comprise entre 1,5m et 2m (Figure 2).

Les différents supports échantillonnés (cartouche du préleveur actif et la mousse Tisch du capteur passif) sont préalablement conditionnés par le laboratoire chargé des analyses afin d'éliminer toute trace en pesticides en amont du prélèvement. Après prélèvement, le transport des échantillons du site de prélèvement jusqu'au lieu de stockage a été réalisé sous glacière à température $< \text{ou} = 8^\circ\text{C}$. Les échantillons ont été conservés au maximum 2 semaines à une température $< \text{ou} = -18^\circ\text{C}$, avant expédition au laboratoire. L'expédition des échantillons vers le laboratoire s'est effectuée sous 24h en colis réfrigéré maintenant une température $< \text{ou} = 8^\circ\text{C}$. Les échantillons ont été stockés au laboratoire à une température inférieure à -18°C jusqu'à l'analyse.



Figure 2 : Préleveur actif et capteur passif

2.2. ANALYSE DES SUPPORTS ECHANTILLONNES

L'analyse des échantillons hebdomadaires est confiée au laboratoire IANESCO. Ce laboratoire est accrédité en portée flexible par le Cofrac (attestation n°1-6209) pour ce type d'analyse et est reconnu pour son expertise dans le domaine (laboratoire retenu pour 2 études d'ampleur nationale pilotées par l'ANSES).

L'analyse des pesticides est réalisée selon la norme XP X43-059. Les pesticides sont extraits de leur support par voie chimique à l'aide d'un mélange de solvants. L'extrait obtenu est purifié puis concentré jusqu'à un volume de quelques millilitres. L'analyse est réalisée selon les composés soit par LCMSMS ou par GCMSMS. Les performances analytiques pour chaque substance sont en ANNEXE 1.

Afin de maîtriser l'ensemble de la chaîne, du prélèvement à l'analyse, plusieurs contrôles permettent de :

- s'assurer de l'absence de contamination (du matériel, des solvants),
- détecter une éventuelle contamination lors du stockage et du transport des échantillons (l'utilisation de blanc terrain, filtre et/ou mousse dans leur support respectif),

2.3. ZONE D'ETUDE

Les sites de mesures étudiés figurent parmi les sites de l'observatoire pesticides en air ambiant d'ATMO Grand Est de 2023. Des préleveurs passifs ont été mis en parallèle sur 3 des 4 sites de l'observatoire. Un capteur passif a également été mis en air intérieur à proximité d'un des préleveurs actifs.

Le Tableau 3 indique le dispositif de mesure déployé pour chacun des sites de mesures, et la Figure 3 les photos des différents emplacements.

Site de mesure	Matrice	Influence/typologie	Préleveur actif	Capteur passif
Reims_Sacré Cœur (Marne)	Air ambiant	Grandes-cultures et viticole/urbain	✓	✓
Voué (Aube)	Air ambiant	Grandes-cultures/rural	✓	✓
Château-Salins (Moselle)	Air ambiant	Grandes-cultures/rural	✓	✓
Reims_Sacré Cœur (Marne)	Air intérieur	Grandes-cultures et viticole/urbain		✓

Tableau 3 : Dispositifs de mesure déployés



Reims_Sacré Coeur_Air ambiant



Reims_Sacré Coeur_Air intérieur



Voué



Château-Salins

Figure 3 : Photos des dispositifs de mesure

2.4. PERIODES DE MESURE

La stratégie d'échantillonnage temporel était basée sur les recommandations¹ de l'ANSES, afin d'étudier au mieux les profils viticoles et grandes-cultures annuels en région Grand Est.

Le Tableau 4 indique les périodes de prélèvement en air ambiant pour les 2 méthodes de prélèvement, et le

Tableau 5 les périodes de prélèvement en air intérieur.

Les mesures passives en air ambiant se sont déroulées en continu du 30/01 au 18/12/2023. La durée d'échantillonnage passif a été de 28 jours excepté pour la dernière période afin d'être en adéquation avec la fin de prélèvement des préleveurs actifs. Il est également à noter que pour les 2 premiers mois de l'étude, la durée des prélèvements actifs ne recouvre pas toute la période du prélèvement passif.

Les mesures passives en air intérieur ont débuté le 27/03 pour se terminer le 18/12/2023. A noter que des durées de prélèvement ont été variables en raison de la non-accessibilité au bâtiment.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/recommandations-de-l-e2%80%99anses-pour-la-mise-en-c5%93uvre-d-e2%80%99une-surveillance-nationale-des-pesticides>

Date de début prélèvement passif	Date de fin prélèvement passif	Durée prélèvement passif	Date de début prélèvement actif	Date de fin prélèvement actif	Durée cumulée des prélèvements actifs
30/01/2023	27/02/2023	28j	23/01/2023	30/01/2023	14j
			13/02/2023	20/02/2023	
27/02/2023	27/03/2023	28j	06/03/2023	27/03/2023	21j
27/03/2023	24/04/2023	28j	27/03/2023	24/04/2023	28j
24/04/2023	22/05/2023	28j	24/04/2023	22/05/2023	28j
22/05/2023	19/06/2023	28j	22/05/2023	19/06/2023	28j
19/06/2023	17/07/2023	28j	19/06/2023	17/07/2023	28j
17/07/2023	14/08/2023	28j	17/07/2023	14/08/2023	28j
14/08/2023	11/09/2023	28j	14/08/2023	11/09/2023	28j
11/09/2023	09/10/2023	28j	11/09/2023	09/10/2023	28j
09/10/2023	06/11/2023	28j	09/10/2023	06/11/2023	28j
06/11/2023	04/12/2023	28j	06/11/2023	04/12/2023	28j
04/12/2023	18/12/2023	14j	04/12/2023	18/12/2023	14j

Tableau 4 : Période des prélèvements passifs et actifs en air ambiant

Date de début prélèvement passif	Date de fin prélèvement passif	Durée prélèvement passif
27/03/2023	02/05/2023	36
02/05/2023	22/05/2023	20
22/05/2023	19/06/2023	28
19/06/2023	13/07/2023	24
13/07/2023	21/08/2023	39
21/08/2023	11/09/2023	21
11/09/2023	09/10/2023	28
09/10/2023	06/11/2023	28
06/11/2023	04/12/2023	28
04/12/2023	18/12/2023	14

Tableau 5 : Période des prélèvements passifs en air intérieur

3. RESULTATS

3.1. RESULTATS DES CAPTEURS PASSIFS EN AIR AMBIANT

Les résultats obtenus pour les composés mesurés sur l'ensemble des prélèvements passifs figurent en ANNEXE 2.

Le pourcentage de détection des substances actives et la quantité maximale mensuelle (ng/support) relevée sur les 12 périodes de prélèvement sont présentés dans le Tableau 6.

40 substances actives ont été détectées tous sites confondus, dont 9 substances actives interdites d'utilisation en 2023.

Les substances les plus souvent détectées sont le lindane, la pendiméthaline, le prosulfocarbe et la triallate sur les 3 sites. D'autres substances ressortent selon le site : la propyzamide pour les sites de Reims et Voué, le folpel pour le site de Reims.

Les teneurs maximales mensuelles les plus importantes ont été relevées pour 3 herbicides : la triallate (590 ng/support), la pendiméthaline (1900 ng/support), et le prosulfocarbe (3900 ng/support).

Un pourcentage de détection élevé n'est pas forcément associé à une quantité maximale élevée comme pour le lindane, qui présente un taux de détection à 100%, et des teneurs maximales mensuelles inférieures à 20 ng/support.



Tableau 6 : Taux de détection et quantité maximale mensuelle des substances actives sur les capteurs passifs des 3 sites en air ambiant

L'évolution des cumuls de substances actives piégées pour chaque site durant la campagne de mesure est présentée dans la Figure 4.

La quantité d'herbicides est majoritaire sur les 3 sites, en particulier à l'automne. Le site de Voué présente un cumul plus important au printemps par rapport aux 2 autres sites.

Il est à noter une augmentation des fongicides sur le site de Reims_Sacré Cœur du 22/05 au 14/08, correspondant à la période des traitements fongicides effectués contre le mildiou et l'oïdium sur le vignoble.

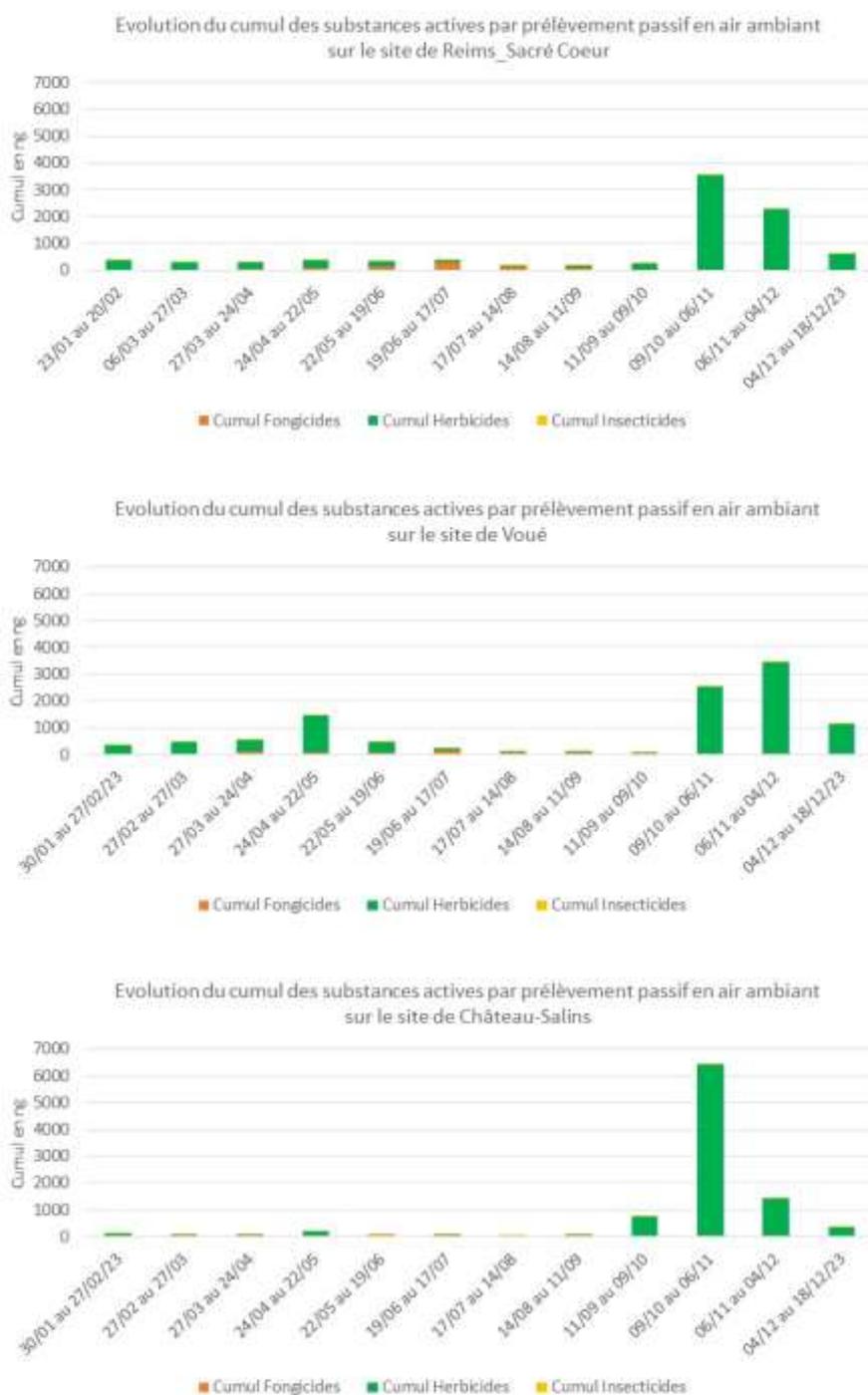


Figure 4 : Evolution du cumul par usage des substances actives détectées sur les capteurs passifs en air ambiant sur les sites de Reims_Sacré Cœur, Voué et Château-Salins

3.2. COMPARAISON DES RESULTATS DU CAPTEUR PASSIF EN AIR AMBIANT ET EN AIR INTERIEUR

5 substances actives ont été quantifiées à la fois en air intérieur et en air ambiant sur le site de Reims_Sacré Cœur (Figure 5) :

- 1 insecticide : le lindane. Cette substance, interdite d'utilisation depuis 1998, est habituellement quantifiée en air ambiant du fait de sa rémanence dans les sols agricoles². Sa présence en air intérieur peut être due à l'utilisation antérieure à son interdiction comme biocide et sa rémanence dans les poutres en bois.
- 4 herbicides : le s-metolachlore, la pendiméthaline, le prosulfocarbe et la triallate. Ces 4 herbicides font parties des substances les plus quantifiées en air ambiant sur le site de Reims_Sacré Coeur.

Le cumul en air ambiant est très nettement supérieur à celui en air intérieur (Figure 6). En zoomant le graphique en air intérieur, une prépondérance de l'insecticide (Lindane) est constatée en air intérieur, excepté en octobre, où le cumul d'herbicides est en nette hausse comme en air ambiant.

Excepté pour le lindane, les 4 autres substances communes évoluent globalement de la même manière dans les 2 environnements (Figure 7, page suivante), ce qui montre que la présence des herbicides en air intérieur est due à leur transfert de l'air ambiant vers l'air l'intérieur.

Les niveaux en lindane en air intérieur plus élevés qu'en air ambiant, semblent constants durant toutes les périodes ce qui laisse penser à une source intérieure.

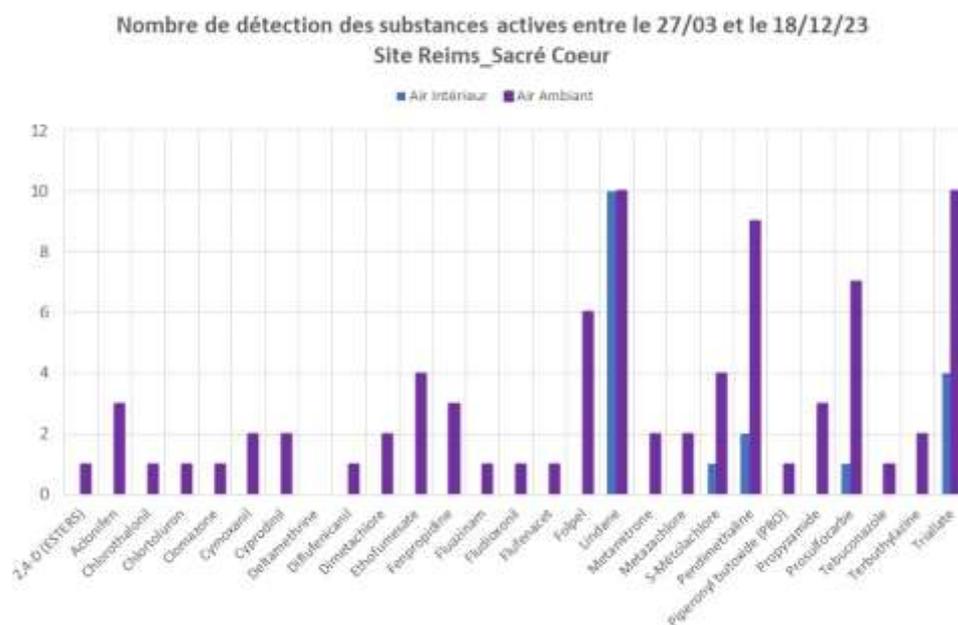


Figure 5 : Nombre de substances actives détectées au moins 1 fois sur le capteur passif en air intérieur et/ou en air ambiant sur le site de Reims_Sacré Coeur

² <https://www.donnees.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lesessentiels/essentiels/sol-contamination-lindane.htm>

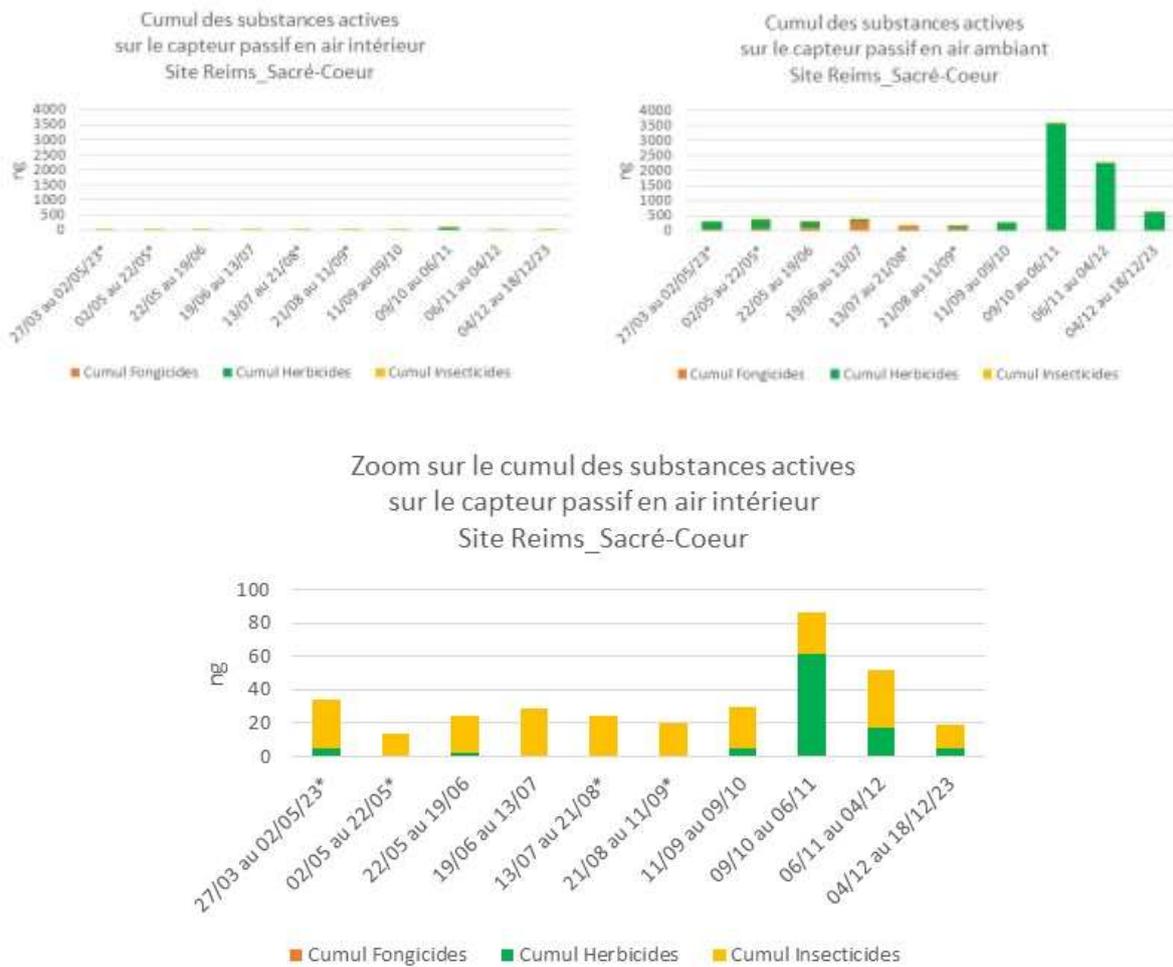


Figure 6 : Evolution du cumul par usage des substances actives détectées sur le capteur passif en air intérieur et en air ambiant sur le site de Reims_Sacré Cœur

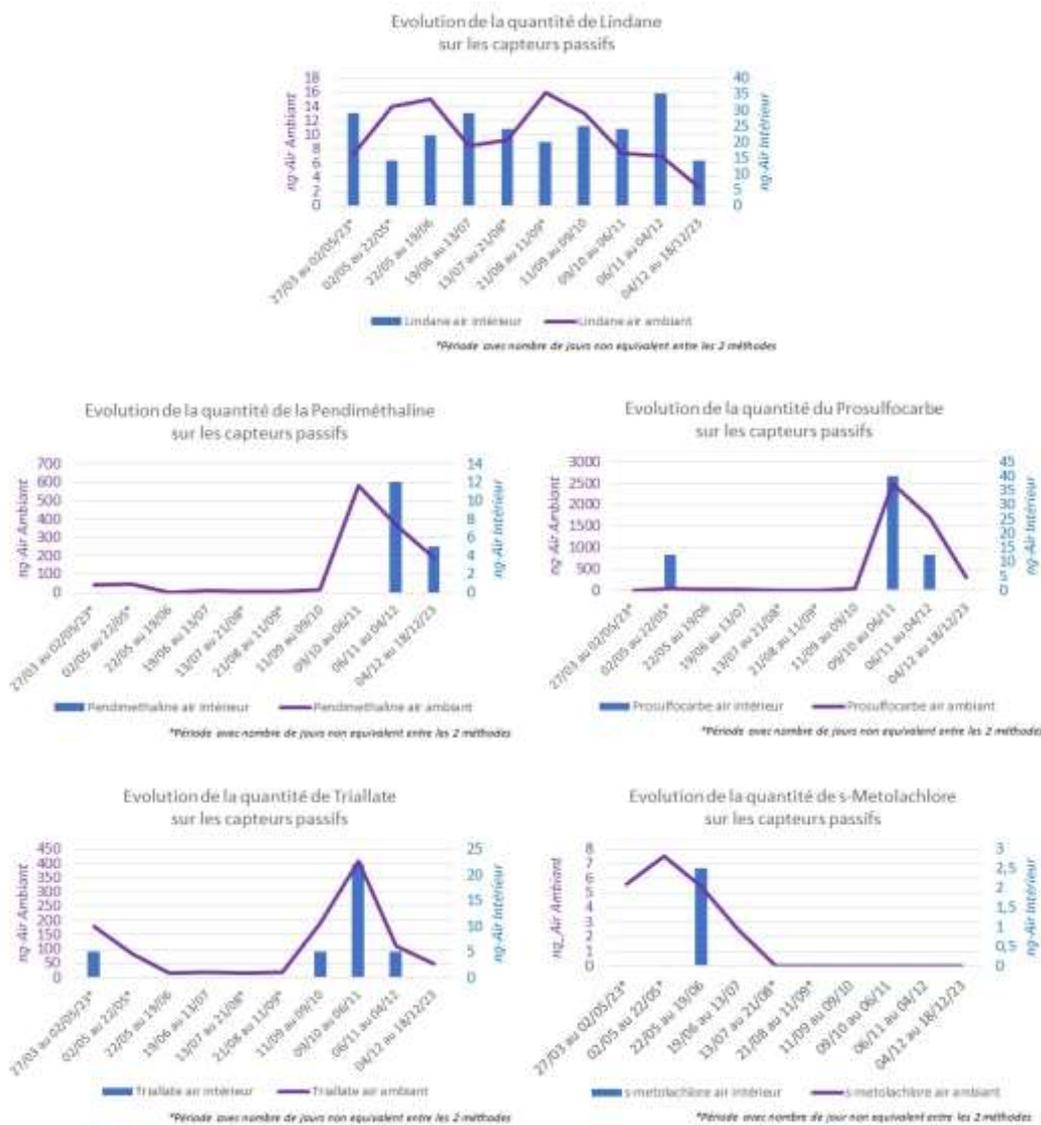


Figure 7 : Evolution de la quantité par support des différentes substances actives détectées sur le capteur passif en air intérieur et en air ambiant sur le site de Reims_Sacré Cœur

3.3. COMPARAISON DES RESULTATS ENTRE LES PRELEVEURS ACTIFS ET LES CAPTEURS PASSIFS SUR LA TOTALITE DE LA CAMPAGNE

Le Tableau 7 indique la détection des substances actives pour les 2 méthodes de mesures pour chaque site.

	Détection Reims_Sacré Cœur		Détection Voué		Détection Château-Salins	
	Passif	Actif	Passif	Actif	Passif	Actif
2,4-D (ESTERS)	oui	oui	oui	oui	non	non
2,4-DB (ESTERS)	non	non	non	non	non	non
2,4-MCPA	non	oui	non	non	non	non
Acetochlore	non	non	oui	oui	non	non
Actonifen	oui	oui	oui	oui	non	oui
Aldrine	non	non	non	non	non	non
Azoxystrobine	non	non	oui	oui	non	non
Benzovindiflupyr	non	non	non	non	non	non
Bifenthrine	non	non	non	non	non	non
Boscalid	non	non	non	non	oui	oui
Bromadiolone	non	non	non	non	non	non
Bromoxynil octanoate	non	non	non	non	non	non
Butraline	non	non	non	non	non	non
Carbetamide	non	non	non	non	non	non
Chlordane	non	non	non	non	non	non
Chlordecone	non	non	non	non	non	non
Chlorothalonil	oui	oui	non	oui	non	non
Chlorprophame	non	non	non	oui	non	non
Chlorpyrifos ethyl	non	oui	non	non	non	non
Chlorpyrifos methyl	non	oui	non	oui	oui	oui
Chlortoluron	oui	oui	non	oui	non	non
Clomazone	oui	oui	oui	oui	non	oui
Cymoxanil	oui	oui	oui	oui	oui	non
Cyperméthrine (alpha+bêta+thêta+zêta)	non	non	non	non	non	non
Cyproconazole	non	non	non	oui	non	non
Cyprodinil	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Deltaméthrine	non	non	non	non	non	non
Diclorane	non	non	non	non	non	non
Dicofol	non	non	non	non	non	non
Dieldrine	non	non	non	non	non	non
Difenoconazole	non	non	oui	oui	non	non
Diflufenicanil	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Diméthachlore	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Diméthamide (dont diméthamide-P)	non	oui	oui	oui	oui	oui
Diméthoate	non	non	non	non	non	non
Diméthomorphe	non	non	non	non	non	non
Diuron	non	non	non	non	non	non
Endosulfan (alpha + bêta)	non	non	non	non	non	non
Endrine	non	non	non	non	non	non
Epoconazole	non	non	non	non	non	non
Ethion	non	non	non	non	non	non
Ethofumesate	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Ethoprophos	non	non	non	non	non	non
Etofenprox	non	non	non	non	non	non
Fenarimol	non	non	non	non	non	non
Fenpropiidine	oui	oui	oui	oui	non	oui
Fenpropimorphe	non	non	non	non	non	non
Fipronil	non	non	non	non	non	non
Fonicamide	non	non	non	non	non	non
Fluzinam	oui	oui	oui	oui	non	non
Fludioxonil	oui	oui	non	non	non	non
Flufenacet	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Flumetraline	non	non	non	non	oui	non
Fluopyram	non	oui	oui	oui	non	oui
Fluxapyroxadé	non	non	non	non	non	non
Folpet	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Héptachlore	non	non	non	non	non	non
Iprodione	non	non	non	non	non	non
Lambda cyhalothrine	non	non	non	oui	non	non
Lenacil	non	oui	oui	oui	non	non
Lindane	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Linuron	non	non	non	non	non	non
Metamitron	oui	non	oui	oui	non	non
Métachlore	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Métolachlore (dont S-Métolachlore)	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Metribuzine	non	non	oui	non	non	non
Metsulfuron methyl	non	non	non	non	non	non
Mirex	non	non	non	non	non	non
Myclobutanil	non	non	non	non	non	non
Napropamide	non	non	non	non	non	non
Nicosulfuron	non	non	non	non	non	non
Onyzalin	non	non	non	non	non	non
Oxadiazon	non	non	non	non	non	non
Oxyfluorène	non	non	non	non	non	non
Pendiméthaline	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Pentachlorophenol (forme phénol)	non	oui	non	non	oui	non
Permethrine	non	non	non	oui	oui	oui
Phenimedipham	non	non	non	non	non	non
Phosmet	non	non	non	non	non	non
Pinoxaden	non	non	non	non	non	non
Piperonyl butoxide (PBO)	oui	non	non	non	oui	non
Prochloraz	non	non	non	non	non	non
Propiconazole	non	non	non	non	oui	non
Propyzamide	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Proquinazide	non	oui	non	non	non	non
Prosulfocarbe	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Pyraflostrobin	non	non	non	non	non	non
Pyriméthanil	non	oui	non	oui	non	non
Pyrimicarbe	non	non	non	non	non	non
Quinmérac (forme acide)	non	non	non	non	non	non
Spiroxamine	non	oui	non	oui	non	oui
Tebuconazole	oui	oui	oui	oui	non	oui
Tebuuthiuron	non	non	non	non	non	non
Tembotriozone	non	non	non	non	non	non
Terbutryne	non	non	non	oui	oui	non
Terbutylazine	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Tolyfluanide	non	non	non	non	non	non
Triadiménol	non	non	non	non	non	non
Triallate	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Trifloxystrobine	non	non	non	non	non	oui
Triflurofururon	non	non	non	non	non	non
Zoxamide	non	oui	non	oui	non	non

Légende : substance interdite d'utilisation
Détecté Non détecté

Tableau 7 : Comparaison de la détection des substances par les 2 méthodes de mesure

72% des substances actives détectées par le prélèvement actif le sont également en passif. Il s'agit des substances habituellement quantifiées en air ambiant.

Excepté pour la propyzamide, les substances exclusivement détectées par le préleveur actif présentent des concentrations inférieures à leur limite de quantification.

A noter également que quelques substances sont détectées uniquement sur le capteur passif : la flumétraline, la métribuzine, la BPO et le propinocazole.

Pour chacune des substances quantifiées en passif et en actif, les évolutions de quantité mesurée sur une même période et pour un même site sont présentées en ANNEXE 3. Ces graphiques mettent en évidence une bonne corrélation entre les 2 méthodes de prélèvement. Aussi pour confirmer cette hypothèse, un test statistique a été réalisé par substance présentant au moins un nombre de quantifications simultanées passif/actif au moins égal à 3. La limite de quantification est utilisée plutôt que la limite de détection pour garantir la fiabilité, la précision et l'exactitude des données, ce qui est essentiel pour des analyses statistiques robustes.

Le Tableau 8 présente les résultats des tests statistiques de corrélation de Spearman. Ce test de corrélation mesure le lien monotone³ entre deux variables quantitatives. Plus précisément, elle consiste à trouver un lien entre les rangs des valeurs et non pas entre les valeurs elles-mêmes. La P-Value permet de décider si un test est significatif statistiquement, à partir du seuil fixé α (seuil généralement fixé à 5 % ou 0,05). Si elle est égale ou inférieure à ce seuil, alors cela indique que le test est significatif.

La robustesse du test est illustrée par la Puissance qui doit être proche de 100%. Celle du dimetachlore est beaucoup plus faible que les autres, aussi l'une des façons d'améliorer ce paramètre serait d'augmenter le nombre de couples.

Les composés ayant la plus faible corrélation entre les résultats obtenus par prélèvements actifs et passifs sont :

- la fenpropidine et le diflufénicanil, pour lesquels le nombre de données utilisées est uniquement de 3, les incertitudes d'analyse respectivement de 68 et 42%, et dans le cas du diflufénicanil les quantités mesurées sur la mousse sont faibles (<17%), ce qui peut expliquer cette faible corrélation,
- le lindane qui est très régulièrement mesuré mais toujours à des valeurs faibles (≤ 35 ng/support pour les prélèvements passifs et ≤ 0.09 ng/m³ pour les prélèvements actifs), ce qui augmente l'incertitude sur la masse mesurée et impacte la corrélation,
- l'aclonifen qui, quant à lui, possède uniquement 4 couples de données dont 1 valeur qui apparaît trop faible sur le prélèvement passif par rapport à la valeur qui a été mesurée sur le prélèvement actif. Là encore, un nombre de couple plus important permettrait d'améliorer la corrélation.

³ En mathématiques, une fonction monotone est une fonction entre ensembles de données ordonnées qui évoluent toujours dans le même sens

Substance active	Nombre de couple>LQ	Corrélation (%)	P-Value	Puissance (%)	Significatif
Metazachlore	4	99,6	0	95,2	Oui
Triallate	34	96,4	0	94,8	Oui
Pendiméthaline	32	96,4	0	95,3	Oui
2,4D	5	93,3	0	94,3	Oui
Dimetachlore	3	92,5	0	4,4	Oui
Prosulfocarbe	18	91,1	0	95,9	Oui
Propyzamide	15	90,9	0	95,5	Oui
Folpel	8	86,7	0	92,4	Oui
Metolachlore	7	85,1	0	95,3	Oui
Ethofumesate	6	79,9	0	95,1	Oui
Fenpropidine	3	76	0	91,9	Oui
Diflufenicanil	3	62,7	0,001	95,4	Oui
Lindane	31	62,4	0,0001	94,5	Oui
Aclonifen	4	59,1	0,0024	94,8	Oui

Tableau 8 : Résultats du test statistique de Spearman

3.4. CALCUL DU DEBIT D'ECHANTILLONNAGE ESTIME (RS)

Le principe de mesure du capteur passif est basé sur la diffusion moléculaire de l'air vers un adsorbant à écoulement libre pour fournir des concentrations moyennes pondérées dans le temps.

Pour déterminer les concentrations de polluants dans l'air, en ng/m³ par exemple, il faut connaître le flux d'air qui diffuse à travers l'adsorbant, appelé débit d'échantillonnage. Ce dernier est établi pour chaque substance active car il dépend des propriétés physico-chimiques des substances actives mais également des paramètres météorologiques [Tuduri_2006]. Le débit d'échantillonnage peut être déterminé par comparaison sur le terrain de mesures obtenues à l'aide d'échantillonneurs par diffusion avec les mesures obtenues en utilisant la méthode de référence (NFX 43-058 et NFX 43-059). Cette approche a pu être décrite par Martin et al. (2022).

Le débit d'échantillonnage (Rs) d'une substance active peut être calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$Rs = M (\text{capteur passif}) / C (\text{préleveur actif}) * t$$

Avec :

Rs (m³/j) est le débit d'échantillonnage de la substance active,

M (*capteur passif*) est la teneur en ng de la substance active accumulée dans la mousse du capteur passif pendant le temps t,

C (*préleveur actif*) est la concentration de la substance active dans l'air (ng/m³) mesurée pendant le temps t,

et t la durée de l'échantillonnage (jours).

Le calcul du Rs prenant en compte des prélèvements réalisés sur l'ensemble de l'année, le Rs obtenu permet de nous affranchir de la variabilité des conditions météorologiques.

Un Rs a donc été calculé pour chaque substance à chaque période de mesure et pour chaque site de mesures dans l'air ambiant. Lorsque l'une des 2 valeurs de la substance active (cumul du capteur passif ou concentration du préleveur actif) était <LQ, le Rs a été exclu.

Le Tableau 9 indique la moyenne des Rs bruts par substance pour chaque site, ainsi que le Rs brut moyen. L'étude du coefficient de variation (CV) permet d'identifier la dispersion des Rs par rapport à la moyenne, et si une analyse des valeurs doit être réalisée lorsque le CV est supérieur à 30%.

Nom	Reims		Voué		Château-Salins		Rs brut moyen	CV
	couple actif/passif >LQ	Rs brut	couple actif/passif >LQ	Rs brut	couple actif/passif >LQ	Rs brut		
2,4-D (ESTERS)	1	8,6	4	8,4			8,5	1%
Aclonifen	2	10,2	2	6,9			8,5	28%
Chlorpyrifos methyl					1	9,4	9,4	
Clomazone			1	2,6			2,6	
Cymoxanil	1	9,6					9,6	
Cyprodinil	1	10,2	2	7,0	1	10,3	9,2	20%
Diflufenicanil			2	18,5	1	6,5	12,5	67%
Dimetachlore	1	5,3	2	5,6			5,4	4%
Diméthénamide (dont diméthénamide-P)			1	5,4			5,4	
Ethofumesate	3	6,5	3	5,9			6,2	6%
Fenpropidine			3	0,6			0,6	
Fludioxonil	1	11,7					11,7	
Flufenacet			1	4,0			4,0	
Folpel	5	7,5	2	7,6	1	5,4	6,8	18%
Lindane	10	9,0	10	11,1	11	10,5	10,2	11%
Metamitronne			1	96,4			96,4	
Metazachlore	1	7,8	1	4,8	2	18,5	10,4	70%
Métolachlore (dont S-Métolachlore)	3	9,8	2	10,4	2	3,6	8,0	47%
Pendimethaline	10	5,9	11	6,4	11	5,4	5,9	8%
Propyzamide	5	14,4	7	11,3	3	13,1	12,9	12%
Prosulfocarbe	7	7,5	7	6,8	4	22,5	12,3	72%
Terbuthylazine	1	6,0			1	4,6	5,3	18%
Triallate	12	5,9	12	5,3	10	6,9	6,0	14%

Tableau 9 : Rs brut (m^3/j) pour chaque substance quantifiée en actif et passif

L'analyse des données avec un CV > 30% a conduit à :

- l'invalidation d'un Rs du diflufenicanil du site de Voué à $30 m^3/j$,
- l'invalidation d'un Rs du métazachlore du site de Château-Salins à $23 m^3/j$,
- l'invalidation d'un Rs du prosulfocarbe du site Château-Salins à $61 m^3/j$,
- le maintien de la valeur du Rs du métolachlore en l'état. Le Rs moyen du site de Château-Salins se démarque de ceux des 2 autres sites. Les 2 valeurs du site de Château-Salins sont du même ordre de grandeur, et ne peuvent donc pas être invalidées.

La valeur du Rs de la métamitronne a été invalidée compte tenu de sa valeur hors gamme et de la faible représentativité des mesures (1 seul couple disponible).

Excepté la valeur du Rs de la fenpropidine ($0,6 m^3/j$), l'ensemble des Rs sont compris entre 2,6 et 12,9 ce qui est du même ordre de grandeur que ceux mesurés, pour d'autres composés, dans la publication de Martin et al., 2022.

Le Tableau 9 indique les Rs moyen validés par substance pour chaque site, ainsi que le Rs validé moyen.

Nom	Reims		Voué		Château-Salins		Rs validé moyen
	Nombre de couple actif/passif > LQ	Rs validé	Nombre de couple actif/passif > LQ	Rs validé	Nombre de couple actif/passif > LQ	Rs validé	
2,4-D (ESTERS)	1	8,6	4	8,4			8,5
Aclonifen	2	10,2	2	6,9			8,5
Chlorpyrifos methyl					1	9,4	9,4
Clomazone			1	2,6			2,6
Cymoxanil	1	9,6					9,6
Cyprodinil	1	10,2	2	7,0	1	10,3	9,2
Diflufenicanil			1	6,7	1	6,5	6,6
Dimetachlore	1	5,3	2	5,6			5,4
Diméthnamide (dont diméthnamide-P)			1	5,4			5,4
Ethofumesate	3	6,5	3	5,9			6,2
Fenpropidine			3	0,6			0,6
Fludioxonil	1	11,7					11,7
Flufenacet			1	4,0			4,0
Folpel	5	7,5	2	7,6	1	5,4	6,8
Lindane	10	9,0	10	11,1	11	10,5	10,2
Metamitron							Invalide
Metazachlore	1	7,8	1	4,8	1	13,4	8,7
Métolachlore (dont S-Métolachlore)	3	9,8	2	10,4	2	3,6	8,0
Pendimethaline	10	5,9	11	6,4	11	5,4	5,9
Propyzamide	5	14,4	7	11,3	3	13,1	12,9
Prosulfocarbe	7	7,5	7	6,8	3	9,6	8,0
Terbuthylazine	1	6,0			1	4,6	5,3
Triallate	12	5,9	12	5,3	10	6,9	6,0

Tableau 10 : Rs validé moyen (m^3/j) pour chaque substance quantifiée en actif et passif

La Figure 8 indique la distribution des Rs de chaque substance active tous sites confondus. Les substances présentent une distribution globalement homogène, avec peu ou pas de valeurs aberrantes.

Une plus grande variabilité des données avec des valeurs atypiques est constatée pour le lindane. Les données sont extrêmement proches de la limite de quantification qui induit une incertitude élevée.

La distribution des Rs de la fenpropidine est mise en évidence par ses faibles valeurs bien en dessous des autres composés, ce qui conforte la nécessité de réaliser de nouvelles mesures pour renforcer la robustesse du Rs moyen.

Distribution des Rs de chaque substance active

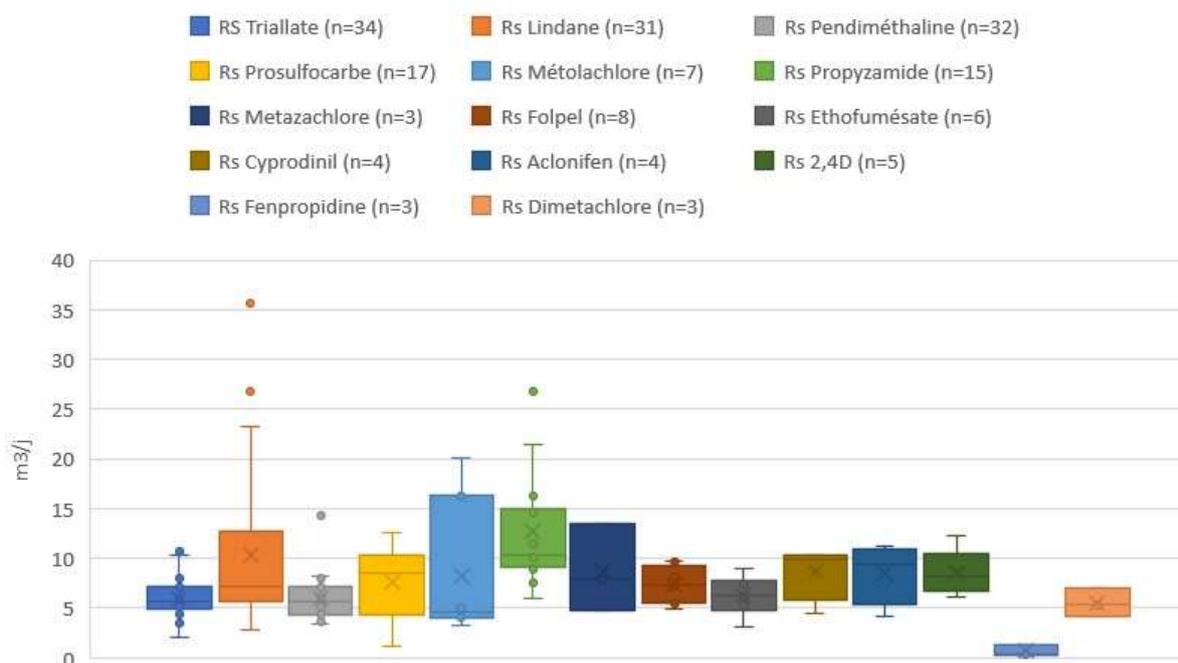


Figure 8 : Distribution des Rs de chaque substance (n=nombre de valeur Rs)

CONCLUSION

L'évaluation des capteurs passifs a été réalisée sur 3 sites de l'observatoire des pesticides en air ambiant en Grand Est (Reims_Sacré Cœur, Voué et Château-Salins) en 2023.

Pour cela un capteur passif a été installé sur la tête de prélèvement du préleveur actif (méthode de référence pour la mesure des pesticides en air ambiant) sur l'année entière. En complément, un capteur passif été installé en air intérieur au niveau du site Reims-Sacré Cœur.

40 substances actives ont été détectées tous sites confondus en air ambiant, dont 9 substances actives interdites d'utilisation en 2023.

Les substances les plus souvent détectées sont le lindane, la pendiméthaline, le prosulfocarbe et la triallate sur les 3 sites. Il s'agit de substances majoritairement quantifiées sur l'observatoire des pesticides en air ambiant en Grand Est.

Les teneurs maximales mensuelles les plus importantes ont été relevées pour 3 herbicides : la triallate (590 ng/support), la pendiméthaline (1900 ng/support), et le prosulfocarbe (3900 ng/support).

5 substances actives ont été quantifiées à la fois en air intérieur et en air ambiant sur le site de Reims_Sacré Cœur : 1 insecticide (le lindane) et 4 herbicides (le s-metolachlore, la pendiméthaline, le prosulfocarbe et la triallate). La teneur maximale mensuelle en air intérieur est de 35 ng/support pour le lindane. Excepté pour le lindane, les 4 autres substances communes évoluent globalement de la même manière dans les 2 environnements, ce qui montre que la présence des herbicides en air intérieur est due à leur transfert de l'air ambiant vers l'air l'intérieur. Les niveaux en lindane en air intérieur plus élevés qu'en air ambiant, semblent constants durant toutes les périodes ce qui laisse penser à une source intérieure.

Une bonne corrélation entre les 2 méthodes de mesures (active et passive) est mise en évidence sur la majorité des substances actives quantifiées. Des substances pour lesquelles les valeurs sont proches de la limite de quantification présentent une corrélation moins forte comme le lindane.

72% des substances actives détectées par le prélèvement actif le sont également en passif. Il s'agit des substances habituellement quantifiées en air ambiant. Excepté pour la propyzamide, les substances exclusivement détectées par le préleveur actif présentent des concentrations inférieures à leur limite de quantification.

Le calcul d'un débit de diffusion (R_s) a été réalisé pour les espèces quantifiées. Celui-ci permet de remonter à la concentration de la substance active à partir de la quantité mesurée sur le support passif. Pour que le R_s soit robuste, le nombre de couple doit être suffisant et avec des gammes variées.

A la vue de ces résultats, les capteurs passifs peuvent donc être utilisés comme méthode indicative complémentaire à la méthode active, qui reste la référence dans le cadre d'une stratégie de mesures. L'utilisation des capteurs passifs pour connaître l'empreinte globale de pesticides d'un site de mesure en air ambiant et en air intérieur est pertinente compte tenu des atouts liés à cette méthode (mesure mensuelle pour limiter les coûts d'analyse, absence de bruit, possibilité de remonter à la concentration).

En perspective, il serait opportun de consolider les R_s à partir de campagnes de mesures de typologies différentes (air intérieur, influence viticole/agricole/arboricole, proximités des cultures), et d'appliquer les R_s pour remonter à la concentration

BIBLIOGRAPHIE

Martin S, Dévier M-H, Cruz J, Duporté G, Barron E, Gaillard J, Le Menach K, Pardon P, Augagneur S, Flaud P-M, Villenave E, Budzinski H, Passive Sampling as a Tool to Assess Atmospheric Pesticide Contamination Related to Vineyard Land Use. Atmosphere. 2022.

Tuduri L, Harner T, Hung H, Polyurethane foam (PUF) disks passive air samplers: Wind effect on sampling rates. Environmental Pollution. 2006.

ANNEXE 1 : PERFORMANCES ANALYTIQUES

Nom	Méthode d'analyse	Technique d'extraction	Rendement d'extraction	Incertitude	LQ prélèvement actif (ng)	LQ prélèvement passif (ng)
2,4-D (ESTERS)	GCMSMS	ASE	95	26	5	5
2,4-DB (ESTERS)	GCMSMS	ASE	101	32	20	20
2,4-MCPA	GCMSMS	ASE	88	49	10	10
Acetochlore	GCMSMS	ASE	85	33	10	10
Acionifén	GCMSMS	ASE	96	29	20	20
Aldrine	GCMSMS	ASE	69	53	10	10
Azoxystrobine	GCMSMS	ASE	102	40	50	50
Benzovindiflupyr	GCMSMS	ASE	130	46	25	25
Bifenthrine	GCMSMS	ASE	99	37	5	5
Boscalid	LCMSMS	ASE	93	35	25	25
Bromadiolone	LCMSMS	ASE	51	99	25	25
Bromoxynil octanoate	GCMSMS	ASE	91	30	20	20
Butraline	GCMSMS	ASE	84	25	25	25
Carbetamide	LCMSMS	ASE	96	23	25	25
Chlordane	GCMSMS	ASE	73	43	100	100
Chlordecone	LCMSMS	ASE	88	38	25	25
Chlorothalonil	GCMSMS	ASE	75	48	40	40
Chlorprophame	GCMSMS	ASE	90	45	25	25
Chlorpyrifos éthyl	GCMSMS	ASE	89	32	10	10
Chlorpyrifos méthyl	GCMSMS	ASE	86	37	20	20
Chlortoluron	LCMSMS	ASE	95	39	25	25
Cimazone	LCMSMS	ASE	87	42	25	25
Cymoxanil	LCMSMS	ASE	96	35	25	25
cyperméthrine (alpha+bêta+théta+zéta)	GCMSMS	ASE	113	47	40	40
Cyproconazole	LCMSMS	ASE	110	31	25	25
Cyprodinil	GCMSMS	ASE	93	37	10	10
Deltaméthrine	GCMSMS	ASE	99	31	20	20
Diclorane	GCMSMS	ASE	92	35	25	25
Dicofol	GCMSMS	ASE	115	38	50	50
Dieldrine	GCMSMS	ASE	91	30	50	50
Difenoconazole	LCMSMS	ASE	104	30	25	25
Diffufenicanil	GCMSMS	ASE	87	42	5	5
Diméthachlore	GCMSMS	ASE	97	33	5	5
méthénamide (dont diméthénamide)	LCMSMS	ASE	85	35	25	25
Diméthoate	GCMSMS	ASE	108	48	50	50
Diméthomorphe	LCMSMS	ASE	91	41	25	25
Diuron	LCMSMS	ASE	89	42	25	25
Endosulfan (alpha + bêta)	GCMSMS	ASE	91	30	20	20
Endrine	GCMSMS	ASE	96	37	100	100
Epoxiconazole	LCMSMS	ASE	104	42	25	25
Ethion	GCMSMS	ASE	108	38	10	10
Ethofumesate	GCMSMS	ASE	87	35	10	10
Ethoprophos	GCMSMS	ASE	89	35	20	20
Etofenprox	GCMSMS	ASE	97	44	10	10
Fenarimol	GCMSMS	ASE	95	45	10	10
Fenpropiidine	LCMSMS	ASE	82	68	25	25
Fenpropimorphe	LCMSMS	ASE	94	54	25	25
Fipronil	GCMSMS	ASE	91	38	20	20
Flonicamide	LCMSMS	ASE	75	40	50	50
Fluazinam	LCMSMS	ASE	90	44	25	25
Fludioxonil	GCMSMS	ASE	95	46	20	20
Flufenacet	LCMSMS	ASE	86	24	25	25
Flumétraline	GCMSMS	ASE	86	26	20	20
Flupyram	LCMSMS	ASE	92	27	25	25
Fluxapyroxade	LCMSMS	ASE	95	25	25	25
Folpé	GCMSMS	ASE	101	51	30	30
Heptachlore	GCMSMS	ASE	82	33	10	10
Iprodione	GCMSMS	ASE	88	49	25	25
Lambda cyhalothrine	GCMSMS	ASE	116	37	10	10
Lenacil	GCMSMS	ASE	111	32	20	20
Lindane	GCMSMS	ASE	81	40	5	5
Linuron	LCMSMS	ASE	97	35	25	25
Metamitron	LCMSMS	ASE	80	33	25	25
Metazachlore	GCMSMS	ASE	95	19	13	13
Métolachlore (dont S-Métolachlore)	GCMSMS	ASE	88	33	5	5
Metribuzine	GCMSMS	ASE	97	41	10	10
Metsulfuron méthyl	LCMSMS	ASE	68	66	25	25
Mirex	GCMSMS	ASE	96	15	10	10
Myclobutanil	GCMSMS	ASE	94	32	20	20
Napropamide	GCMSMS	ASE	95	35	10	10
Nicosulfuron	LCMSMS	ASE	38	60	25	25
Oryzalin	LCMSMS	ASE	90	31	25	25
Oxadiazon	GCMSMS	ASE	102	37	5	5
Oxyfluorène	LCMSMS	ASE	96	31	25	25
Pendiméthaline	GCMSMS	ASE	92	42	10	10
Pentachlorophénol (forme phénol)	LCMSMS	ASE	82	62	25	25
Permethrine	GCMSMS	ASE	105	33	20	20
Phenmediphame	GCMSMS	ASE	41	198	125	125
Phosmet	GCMSMS	ASE	92	40	20	20
Pinoxadén	GCMSMS	ASE	125	30	25	25
Piperonyl butoxide (PBO)	GCMSMS	ASE	98	30	10	10
Prochloraz	LCMSMS	ASE	100	24	25	25
Propiconazole	LCMSMS	ASE	92	32	25	25
Propyzamide	GCMSMS	ASE	92	32	10	10
Proquinazide	LCMSMS	ASE	102	20	25	25
Prosulfocarbe	LCMSMS	ASE	85	37	25	25
Pyraclostrobin	LCMSMS	ASE	78	66	25	25
Pyriméthanil	GCMSMS	ASE	89	30	10	10
Pyrimicarbe	LCMSMS	ASE	85	21	25	25
Quinmérac (forme acide)	LCMSMS	ASE	44	74	50	50
Spiroxamine	LCMSMS	ASE	61	104	25	25
Tebuconazole	LCMSMS	ASE	103	35	25	25
Tebuéthuron	LCMSMS	ASE	95	19	25	25
Tebuéthione	LCMSMS	ASE	77	56	25	25
Terbutryne	LCMSMS	ASE	95	25	25	25
Terbutylazine	GCMSMS	ASE	85	33	10	10
Tolylflusulfonide	GCMSMS	ASE	91	29	20	20
Triadiménol	LCMSMS	ASE	102	27	25	25
Triallate	GCMSMS	ASE	78	41	10	10
Trifloxystrobine	GCMSMS	ASE	108	35	20	20
Trifosulfuron	LCMSMS	ASE	101	27	25	25
Zoxamide	LCMSMS	ASE	91	55	25	25

ANNEXE 2 : TABLEAUX DE DONNEES DES MESURES PASSIVES

Quantité en ng	Reims-Sacré Cœur_Air Ambiant											
	30/01/2023	27/02/2023	27/03/2023	24/04/2023	22/05/2023	19/06/2023	17/07/2023	14/08/2023	11/09/2023	09/10/2023	06/11/2023	04/12/2023
Substance active	27/02/2023	27/03/2023	24/04/2023	22/05/2023	19/06/2023	17/07/2023	14/08/2023	11/09/2023	09/10/2023	06/11/2023	04/12/2023	18/12/2023
2,4-D (ESTERS)					24							
2,4-DB (ESTERS)												
2,4-MCPA												
Acetochlor												
Acifluorfen	10				41					23		
Aldrine												
Azoxystrobin												
Benzovindiflupyr												
Bifenthrin												
Boscalid												
Bromadiolone												
Bromoxynil octanoate												
Butraline												
Carbetamide												
Chloridane												
Chloridone												
Chlorothalonil				20								
Chlorprophame												
Chlorpyrifos ethyl												
Chlorpyrifos methyl												
Chlorzoluron												
Closozone												
Cyoxazinil						27	12,5	12,5				
Cyperméthrine (alpha+bêta+thêta+zêta)												
Cyproconazole												
Cyprodinil			20	5								
Deltaméthrine												
Diclofène												
Dicofol												
Dieldrine												
Difenoconazole												
Diflufenicanil										5,1	8,8	
Diméthachlore									34	7,5		
Diméthénamide (dont diméthénamide-P)												
Diméthoate												
Diméthomorph												
Diuron												
Endosulfan (alpha + bêta)												
Endrine												
Epoxiconazole												
Ethion												
Ethofumesate			5	110	70	11						
Ethoprophos												
Etofenprox												
Fenarimol												
Fenpropridine						12,5	12,5	12,5				
Fenpropimorph												
Fipronil												
Flonicamide												
Fluazinam										12,5		
Fludioxonil					23							
Flufenacet												
Flumetsaline											12,5	12,5
Fluopyram												
Fluxapyroxade												
Folpet			15	43	90	260	120	45				
Heptachlore												
Iprodione												
Lambda cyhalothrine												
Lenacil												
Lindane	2,5	6,5	7,3	14	15	8,4	9,3	16	13	7,4	7	2,5
Linuron												
Metamitron				12,5	12,5							
Metazachlore									33	6,25		
Métolachlore (dont S-Métolachlore)			5,6	7,5	5,5	2,5						
Metribuzine												
Metsulfuron methyl												
Mirex												
Myclobutanil												
Napropamide												
Nicosulfuron												
Oryzalin												
Oxadiazon												
Oxyfluorène												
Pendiméthaline	52	100	43	45		11	5	5	14	580	370	190
PentachlorophénoI (forme phénoI)												
Permethrin												
Phenmedipham												
Phosmet												
Pinoxadén												
Piperonyl butoxide (PBO)									5			
Prochloraz												
Propiconazole												
Propyzamide	65	53	15								51	78
Proquinazide												
Prosulfocarbe	87	67		45	12,5	12,5			51	2500	1700	300
Pyraclostrobin												
Pyrimethanil												
Pyrimicarbe												
Quinméac (forme acide)												
Siproxamine												
Tebuconazole					12,5							
Tebuthiuron												
Tembotrione												
Terbutyline												
Terbutylazine					10	5						
Tolyfluamide												
Triadiménol												
Triallate	140	83	180	85	14	20	14	18	190	410	110	47
Trifloxystrobin												
Tritosulfuron												
Zoxamide												

Légende : <Limite de quantification

Quantité en ng Substance active	Voué Air Ambient											
	30/01/2023 27/02/2023	27/02/2023	27/03/2023	24/04/2023	22/05/2023	19/06/2023	17/07/2023	14/08/2023	11/09/2023	09/10/2023	06/11/2023	04/12/2023
2,4-D (ESTERS)		2,5	130	53	6,9			8				
2,4-DB (ESTERS)												
2,4-MCPA												
Acetochlore			10									
Aciflufen		10		78	83							
Aldrine												
Azoxystrobine			25									
Benzovindiflupyr												
Bifenthrine												
Boscalid												
Bromadiolone												
Bromoxynil octanoate												
Butraline												
Carbetamide												
Chlordane												
Chlordecone												
Chlorothalonil												
Chlorprophame												
Chlorpyrifos ethyl												
Chlorpyrifos methyl												
Chlortoluron												
Clomazone				12,5	29			12,5				
Cymoxanil						12,5						
Cyperméthrine (alpha+beta+theta+zeta)												
Cyproconazole												
Cyprodinil		5	72	39								
Deltaméthrine												
Diclorane												
Dicofol												
Dieldrine												
Difenoconazole						12,5						
Diffufenicanil	2,5	2,5								17	15	
Dimetachlore								28	5,9			
Diméthénamide (dont diméthénamide-P)				48								
Diméthoate												
Diméthomorphe												
Diuron												
Endosulfan (alpha + beta)												
Endrine												
Epoxiconazole												
Ethion												
Ethofumesate			5	280	140	26						
Ethiofiphos												
Etofenprox												
Fenarimol												
Fenpropiidine						110	81	52				
Fenpropimorphe												
Fipronil												
Fonicamide												
Fluazinam						12,5		12,5				
Fludioxonil												
Flufenacet										12,5	29	
Flumetraline												
Fluopyram				12,5	12,5							
Fluxapyroxade												
Folpel			15	30	35	15						
Heptachlore												
Iprodione												
Lambda cyhalothrine												
Lenacil					10							
Lindane	2,5	10	5,1	18	11	11	11	6,3	8,3	7,2	7,1	2,5
Linuron												
Metamitron				54	12,5							
Metazachlore								16	6,25			
Métolachlore (dont S-Métolachlore)			9,1	26	2,5							
Metribuzine				5								
Metsulfuron methyl												
Mirex												
Myclobutanil												
Napropamide												
Nicosulfuron												
Oryzalin												
Oxadiazon												
Oxyfluorène												
Pendimethaline	94	160	100	110	12	15	5		12	330	630	620
Pentachlorophenol (forme phénol)												
Permethrine												
Phenmediphame												
Phosmet												
Pinoxaden												
Piperonyl butoxide (PBO)												
Prochloraz												
Propiconazole												
Propyzamide	57	59	12	5	23						53	82
Proquinazide	71	130		600	54		12,5		12,5	1900	2600	420
Pyraflotobine												
Pyrimethanil												
Pyrimicarbe												
Quinmèrac (forme acide)												
Spiroxamine												
Tebuconazole					12,5							
Tebuuthiuron												
Tembotrione												
Terbutryne												
Terbutylazine					5		5					
Tolyfluanide												
Triadimenol												
Triallate	110	83	160	100	20	22	10	5	45	290	110	28
Trifloxystrobine												
Tritosulfuron												
Zoxamide												

Légende : <limite de quantification

Quantité en ng	Château-Salins_Air Ambiant											
	30/01/2023	27/02/2023	27/03/2023	24/04/2023	22/05/2023	19/06/2023	17/07/2023	14/08/2023	11/09/2023	09/10/2023	06/11/2023	04/12/2023
Substance active	27/02/2023	27/03/2023	24/04/2023	22/05/2023	19/06/2023	17/07/2023	14/08/2023	11/09/2023	09/10/2023	06/11/2023	04/12/2023	18/12/2023
2,4-D (ESTERS)												
2,4-DB (ESTERS)												
2,4-WCPA												
Acetochlore												
Aciflufen												
Aldrine												
Azoxystrobine												
Benzovindiflupyr												
Bifenthrine												
Boscalid				12,5								
Bromadiolone												
Bromoxynil octanoate												
Butraline												
Carbetamide												
Chloridane												
Chlordecone												
Chlorothalonil												
Chlorprophame												
Chlorpyrifos ethyl												
Chlorpyrifos methyl			21									
Chlortoluron												
Clomazone												
Cymoxanil											43	
Cyperméthrine (alpha+bêta+thêta+zêta)												
Cyproconazole												
Cyprodinil			23									
Deltaméthrine												
Diclorane												
Dicofol												
Dieldrine												
Difenoconazole												
Diflufenicanil										11	5,9	
Diméthachlore								5,8	2,5			130
Diméthénamide (dont diméthénamide-P)				12,5				12,5				
Diméthoate												
Diméthomorphé												
Diuron												
Endosulfan (alpha + bêta)												
Endrine												
Epoxiconazole												
Ethion												
Ethofumesate					12	10			5			
Ethoprophos												
Etofenprox												
Fenarimol												
Fenpropidine												
Fenpropimorphé												
Fipronil												
Flonicamide												
Fluazinam												
Fludioxonil												
Flufenacet											12,5	
Flumétaline												65
Fluopyram												
Fluxapyroxade												
Folpel					53	15						
Heptachlore												
Iprodione												
Lambda cyhalothrine												
Lenacil												
Lindane	2,5	7,5	6,4	9,1	8,6	8,8	11	7,4	7,1	11	12	7,7
Linuron												
Metamitron												
Metazachlore								30	33			
Métolachlore (dont S-Métolachlore)			2,5	23	6,7	2,5						
Metribuzine												
Metsulfuron methyl												
Mirex												
Myclobutanil												
Napropamide												
Nicosulfuron												
Oryzalin												
Oxadiazon												
Ocyfluorène												
Pendiméthaline	29	29	24	120		16	22	12	26	1900	340	92
Pentachlorophenol (forme phénol)								12,5		12,5		
Permethrine	29			10								
Phenmediphame												
Phosmet												
Pinoxaden												
Piperonyl butoxide (PBO)								5			21	
Prochloraz												
Propiconazole									12,5			
Propyzamide	42	21										68
Proquinazide												
Prosulfocarbe	12,5								120	3900	660	130
Pyraclostrobine												
Pyrimethanil												
Pyrimicarbe												
Quinnérac (forme acide)												
Spiroxamine												
Tebuconazole												
Tebuthiuron												
Tembotrione												
Terbutryne							5					
Terbutylazine					18							
Tolyfluanide												
Triadiménol												
Triallate	47	31	22	14		12	13	5	540	590	230	59
Trifloxystrobine												
Trisulfuron												
Zoxamide												

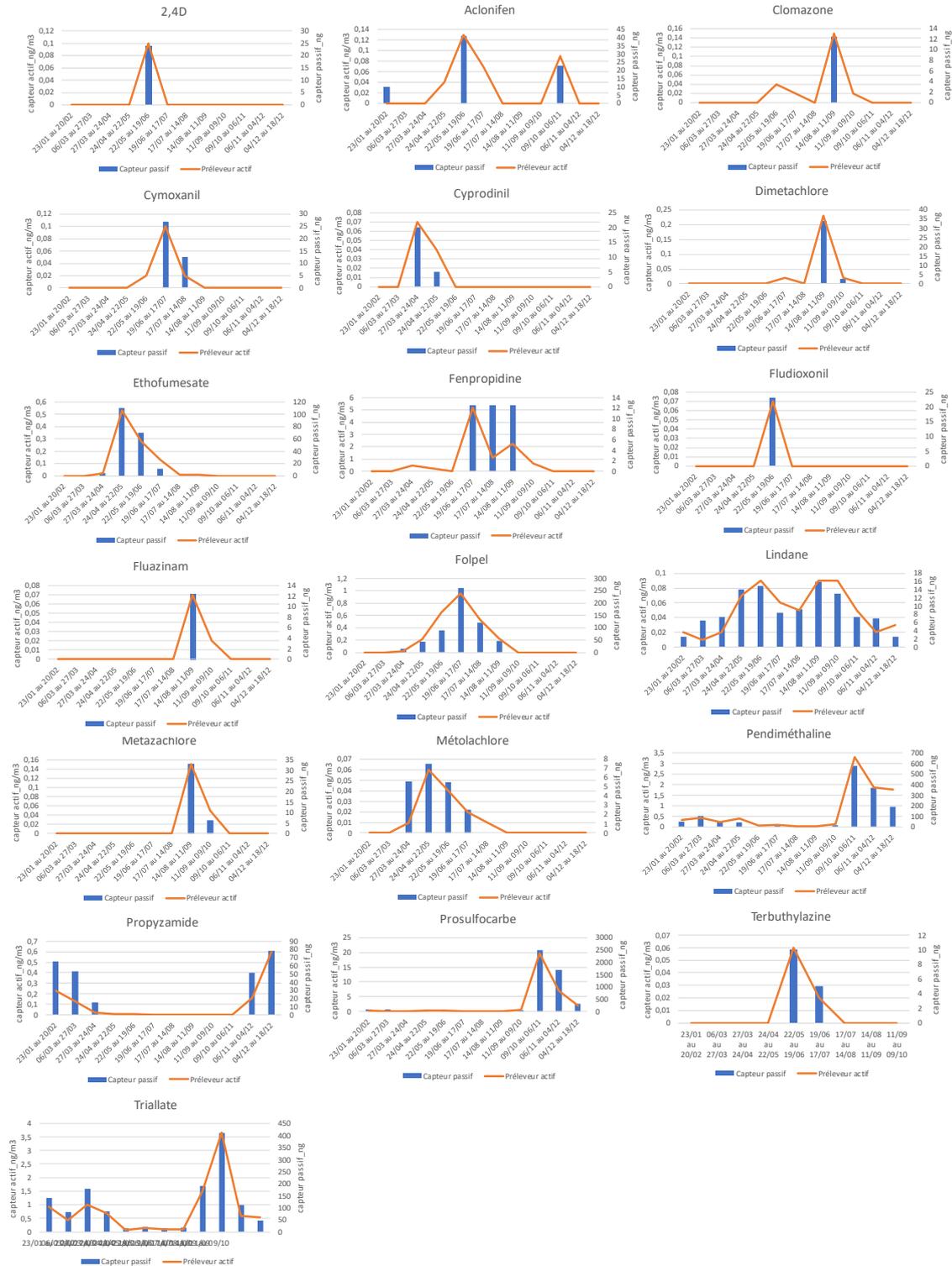
Légende : <Limite de quantification

Quantité en ng	Reims-Sacré Cœur_Air Intérieur									
	27/03/2023	02/05/2023	22/05/2023	19/06/2023	13/07/2023	21/08/2023	11/09/2023	09/10/2023	06/11/2023	04/12/2023
Substance active	02/05/2023	22/05/2023	19/06/2023	13/07/2023	21/08/2023	11/09/2023	09/10/2023	06/11/2023	04/12/2023	18/12/2023
2,4-D (ESTERS)										
2,4-DB (ESTERS)										
2,4-MCPA										
Acetochlore										
Acronifen										
Aldrine										
Azoxystrobine										
Benzovindiflupyr										
Bifenthrine										
Boscalid										
Bromadiolone										
Bromoxynil octanoate										
Butraline										
Carbétamide										
Chlorfane										
Chlordecene										
Chlorothalonil										
Chlorprophame										
Chlorpyrifos ethyl										
Chlorpyrifos methyl										
Chlortoluron										
Clozalone										
Cymoxanil										
Cyperméthrine (alpha+bêta+thêta+zêta)										
Cyproconazole										
Cyprodinil										
Deltaméthrine										
Diclorane										
Dicofol										
Dieldrine										
Difenoconazole										
Diflufenicanil										
Diméthachlore										
Diméthénamide (dont diméthénamide-P)										
Diméthoate										
Diméthomorphe										
Diuron										
Endosulfan (alpha + bêta)										
Endrine										
Epoxiconazole										
Ethion										
Ethofumesate										
Ethoprophos										
Etofenprox										
Fenarimol										
Fenpropiidine										
Fenproplimorphe										
Fipronil										
Flonicamide										
Fluazinam										
Fludioxonil										
Flufenacet										
Flumetraline										
Fluopyram										
Fluxapyroxade										
Folpêl										
Heptachlore										
Iprodione										
Lambda cyhalothrine										
Lenacil										
Lindane	29	14	22	29	24	20	25	24	35	14
Linuron										
Metamitron										
Metazachlore										
Métolachlore (dont S-Métolachlore)			2,5							
Metribuzine										
Metsulfuron methyl										
Mirex										
Myclobutanil										
Napropamide										
Nicosulfuron										
Oryzalin										
Oxadiazon										
Oxyfluorène										
Pendiméthaline									12	5
Pentachlorophenol (forme phénol)										
Permethrine										
Phenmediphame										
Phosmet										
Pinoxaden										
Piperonyl butoxide (PBO)										
Prochloraz										
Propiconazole										
Propyzamide										
Proquinazide										
Prosulfocarbe		12,5						40	12,5	
Pyraclostrobine										
Pyrimethanil										
Pyrimicarbe										
Quinmêrac (forme acide)										
Spiroxamine										
Tebuconazole										
Tebuthiuron										
Tembotrione										
Terbutryne										
Terbutylazine										
Tolyfluanide										
Triadiménol										
Triallate	5						5	22	5	
Trifloxystrobine										
Tritosulfuron										
Zoxamide										

Légende : <Limite de quantification

ANNEXE 3 : EVOLUTION DES QUANTITES DE SUBSTANCES ACTIVES QUANTIFIEES EN ACTIF ET EN PASSIF SUR CHAQUE SITE

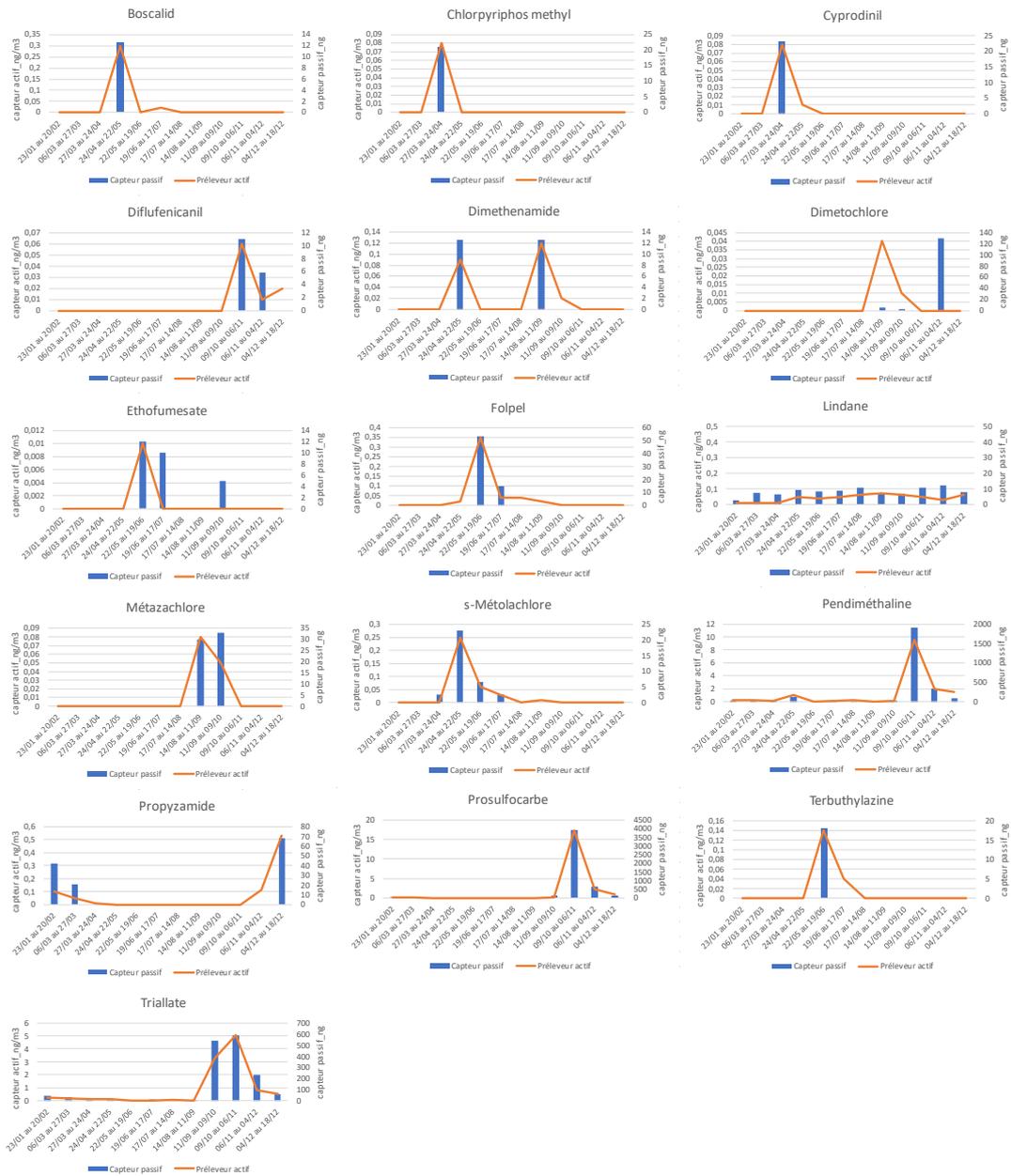
REIMS SACRE COEUR



VOUE



CHÂTEAU-SALINS





AtMO
GRAND EST

Metz - Nancy - Reims - Strasbourg

Air • Climat • Energie • Santé

Espace Européen de l'Entreprise - 5 rue de Madrid - 67300 Schiltigheim

Tél : 03 69 24 73 73 - contact@atmo-grandest.eu

Siret 822 734 307 000 17 - APE 7120 B

Association agréée de surveillance de la qualité de l'air