

## Étude et traitement des données d'observation des pesticides en région PACA

Stage réalisé par Nicolas MARI d'Avril 2018 à Septembre 2018  
dans le cadre du master M2 SOAC EE

Responsable de stage : M. BouAlem MESBAH





## Résumé : Étude et traitement des données d'observation des pesticides en région PACA

De nombreuses études mettent en évidence la présence de produits phytosanitaires dans l'environnement. D'après l'INSERM (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale) et l'InVS (Institut de Veille Sanitaire), il existerait un rapport entre expositions aux pesticides et certaines maladies neurologiques, cancers ainsi qu'un risque pour le développement de l'enfant. Aucune réglementation en vigueur ne définit de seuils limites pour les concentrations en pesticides dans l'air ambiant. Plusieurs plans ont donc été mis en place, pour limiter, informer et surveiller l'exposition des populations aux pesticides.

Le travail d'AtmoSud, ces six dernières années, a permis de développer une méthode analytique et d'effectuer des prélèvements pour la surveillance des produits phytosanitaires dans l'air ambiant. Ainsi, en 2017, ce sont 59 substances qui ont été recherchées. Les résultats obtenus ont permis de conclure sur certaines spécificités. Mis à part l'influence considérable de la météorologie sur le traitement des parcelles agricoles, la présence des herbicides et des fongicides est prépondérante en milieu rural et au printemps. Tandis qu'en milieu urbain, ce sont les insecticides qui sont majoritaires, leur utilisation est variée et constante dans l'année. Depuis 2012, les concentrations en pesticides dans l'air ont considérablement chuté sur les sites de mesures de la région Provence-Alpes-Côte-D'azur. L'initiative des collectivités à limiter leur utilisation en pesticides est pour beaucoup dans cette baisse.

L'exposition des populations aux produits phytosanitaires est un enjeu sanitaire national. La première campagne nationale de surveillance des pesticides est en cours de réalisation. Chaque AASQA (Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air) réalise les prélèvements et analyses de la même manière afin d'obtenir des données comparables au niveau national.



Air PACA devient

**AtmoSud**  
Qualité de l'Air  
Provence - Alpes - Côte d'Azur

### Siège social

146, rue Paradis  
« Le Noilly Paradis »  
13294 Marseille Cedex 06  
Tél. 04 91 32 38 00  
Télécopie 04 91 32 38 29

### Établissement de Martigues

Route de la Vierge  
13500 Martigues  
Tél. 04 42 13 01 20  
Télécopie 04 42 13 01 29

### Établissement de Nice

333, Promenade des Anglais  
06200 Nice  
Tél. 04 93 18 88 00  
Télécopie 04 93 18 83 06





## REMERCIEMENTS

Je tiens sincèrement à remercier Xavier VILLETARD, directeur opérationnel, et Dominique ROBIN, directeur général, de m'avoir permis d'effectuer mon stage au sein d'AtmoSud.

Je remercie BouAlem MESBAH, responsable du service « ETUDES » et tuteur de mon stage, pour ses conseils, sa disponibilité et la confiance qu'il m'a accordée.

Merci à Florie CHEVRIER, qui a contribué à ma venue dans l'entreprise et qui fût ma collègue de bureau durant quelques semaines.

Merci également à Alexandre ARMENGAUD de m'avoir accordé du temps pour travailler sur mon sujet. Merci aussi à tous mes interlocuteurs et collègues de Marseille et Nice.

Enfin, un grand merci à toute l'équipe de Martigues qui m'a gentiment accueilli et intégré dans ses rangs. Je remercie toute l'équipe technique, Romain, Sandra, Sébastien, Simon, pour leur bonne humeur et pour m'avoir donné l'occasion de partir sur le terrain.

Merci à Fanny d'avoir été aussi présente quand j'avais besoin d'aide. Et pour finir, je remercie Christelle, Christelle, Frédéric, Julia, Malika, Mathieu, Mélanie, Morgan, Sébastien et Tamara.



## SOMMAIRE

Introduction .....	1
<b>I. Synthèse bibliographique .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Définition : Les pesticides .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Les effets sur la santé .....</b>	<b>2</b>
<b>3. Utilisation et réglementation des pesticides en France .....</b>	<b>2</b>
3.1 Utilisation des pesticides en France .....	2
3.2 Réglementation des pesticides en France .....	3
<b>4. Présence et devenir des pesticides dans l'atmosphère .....</b>	<b>3</b>
4.1 Volatilisation des pesticides .....	4
4.1.1 Volatilisation pendant l'épandage : la dérive .....	4
4.1.2 Volatilisation après l'épandage .....	5
4.2 Élimination des pesticides dans l'atmosphère .....	6
4.2.1 Dépôts atmosphériques .....	6
4.2.2 Dégradation atmosphérique par photolyse et photo-oxydation .....	6
<b>II. Méthodologie de mesure .....</b>	<b>7</b>
<b>1. Présentation de l'Observatoire des Résidus de Pesticides (ORP) .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Appareillages et techniques de mesures .....</b>	<b>7</b>
<b>3. Les sites de mesures .....</b>	<b>8</b>
<b>4. Stratégie d'échantillonnage 2017 .....</b>	<b>9</b>
<b>5. Substances recherchées .....</b>	<b>9</b>
<b>III. Résultats .....</b>	<b>11</b>
<b>1. Conditions météorologiques .....</b>	<b>11</b>
1.1 Les vents .....	11
1.2 Températures et précipitations .....	12
1.3 L'humidité relative .....	13
<b>2. Résultats obtenus lors de la campagne 2017 .....</b>	<b>14</b>
2.1 Molécules détectées : fréquence de détection .....	14
2.2 Concentrations mesurées par site de mesure .....	15
2.3 Concentrations mesurées : zoom sur les substances herbicides, insecticides et fongicides .....	17
2.3.1 Les herbicides .....	17
2.3.2 Les insecticides .....	18
2.3.3 Les fongicides .....	19
2.4 Les composés interdits à la vente sont présents dans l'atmosphère .....	19
<b>3. Évolution des résultats .....</b>	<b>21</b>
3.1 Nombre de molécules détectées .....	21
3.2 Variations des concentrations mesurées : une large tendance à la baisse .....	22
3.3 Cas particuliers : le site rural de Cavillon et le <i>chlorpyrifos-éthyl</i> .....	23
3.4 Les limites du sujet .....	24
<b>Conclusion .....</b>	<b>26</b>
<b>Perspectives .....</b>	<b>26</b>
<b>Conclusion personnelle .....</b>	<b>27</b>

## ANNEXES

### Bibliographie I

ANNEXE 1.	Limites de quantification .....	IV
ANNEXE 2.	Occupation du sol à Avignon et Cavaillon .....	V
ANNEXE 3.	Occupation du sol à Port-de-Bouc.....	VI
ANNEXE 4.	Occupation du sol à Cannes et Nice .....	VII
ANNEXE 5.	Occupation du sol à Arles .....	VIII
ANNEXE 6.	Occupation du sol à Toulon .....	IX
ANNEXE 7.	Recensement des parcelles agricoles en région PACA.....	X
ANNEXE 8.	Influence des paramètres météorologiques sur l'utilisation des produits phytosanitaires [16] .....	X
ANNEXE 9.	Températures et précipitations relevées pour l'année 2017.....	XI
ANNEXE 10.	Pourcentages de variations des concentrations cumulées globales entre 2012 et 2017 .....	XII

## GLOSSAIRE

**Adjuvant** : Un adjuvant est une substance qui permet de renforcer l'action des produits phytosanitaires. Sa présence dans l'air est notamment due à son ajout dans certaines préparations.

**AtmoSud** : Anciennement Air PACA, AtmoSud est l'Association Agréée pour la Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) en région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

**ECOPHYTO** : Plan lancé à la suite du Grenelle de l'Environnement 2008, piloté par le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, visant à réduire l'utilisation des produits phytosanitaires.

**Exposition aiguë** : Exposition élevée sur une courte durée. Les effets dus à cette exposition sont bien connus et sont généralement des brûlures chimiques oculaires, des lésions cutanées, des effets neurologiques voire des troubles hépatiques.

**Exposition chronique** : Exposition persistante, continue ou discontinue, se produisant sur une longue période. Les conséquences sur la santé sont peu connues, mais existent bel et bien.

**Néonicotinoïdes** : Classe de produits toxiques employée comme insecticides agissant sur le système nerveux central des insectes. Accusés d'être à l'origine de la baisse de population des abeilles.

**Phytopharmacovigilance** : Dispositif de vigilance complétant les missions menées par l'ANSES sur l'évaluation des risques lié aux produits phytopharmaceutiques.

**Rémanence** : Persistance d'un phénomène après disparition de sa cause.

**SPH'AIR** : Outil d'aide à la décision pour mesurer les pesticides en fonction de leur potentiel à contaminer l'atmosphère.

**Substance active** : Substance exerçant une action générale ou spécifique sur ou contre les organismes nuisibles.



## LISTE DES ACRONYMES

**AASQA** : Association Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air

**ANSES** : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

**ARS** : Agence Régionale de Santé

**BNV-d** : Banque Nationale des Ventes réalisées par les distributeurs de produits phytopharmaceutiques

**DRAAF** : Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt

**INERIS** : Institut National de l'Environnement Industriel et des RISques

**INSERM** : Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale

**InVS** : Institut de Veille Sanitaire

**LCE** : Laboratoire Chimie Environnement

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

**ORP** : Observatoire des Résidus de Pesticides

**PACA** : Provence-Alpes-Côte-D'azur

**PNSE** : Plan National Santé Environnement

**PRSE** : Plan Régional Santé Environnement

**VTR** : Valeur Toxicologique de Référence

## Introduction

Le sujet des pesticides fait grand débat en France, 1<sup>er</sup> consommateur européen, où l'utilisation de ces produits inquiète la population et les scientifiques. En effet, de nombreuses études ont mis en évidence la présence de produits phytosanitaires dans tous les compartiments de l'environnement. L'eau, l'air, les sols ainsi que la chaîne alimentaire sont donc contaminés. L'exposition importante de la population à ces substances pourrait favoriser le développement de maladies, il est donc primordial de s'interroger sur le devenir des pesticides dans l'environnement.

Connu comme la source principale de pollution atmosphérique de pesticides, l'agriculture n'est pas le seul domaine pointé du doigt. Les autres sources proviennent des industries, des villes ainsi que des particuliers. L'exposition des populations aux produits phytosanitaires se fait donc à la campagne comme à la ville.

Actuellement, aucune norme réglementaire sur la limite de concentration en pesticides dans l'air (intérieur et extérieur) n'existe. Sous l'impulsion du Plan Régional Santé Environnement (PRSE) et du plan ECOPHYTO, des mesures ont été mises en place pour améliorer nos connaissances sur l'exposition des populations aux produits phytosanitaires. C'est dans ce contexte qu'AtmoSud (anciennement Air PACA), l'Association Agréée pour la Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA) en région Provence-Alpes-Côte d'Azur, s'est portée volontaire dans l'élaboration d'une stratégie de surveillance des produits phytosanitaires depuis 2012. Le stage, que j'ai pu effectuer au sein d'AtmoSud, s'inscrit dans la continuité du travail établi ces dernières années. Il vise à traiter les données de mesures des pesticides récoltées en 2016 et 2017 et conclure sur l'évolution des concentrations relevées dans la région PACA. L'objectif principal étant de présenter l'état actuel des concentrations atmosphériques en pesticides. Par la suite, les mesures et analyses seront homogénéisées au niveau national et comparables entre les AASQA des différentes régions.

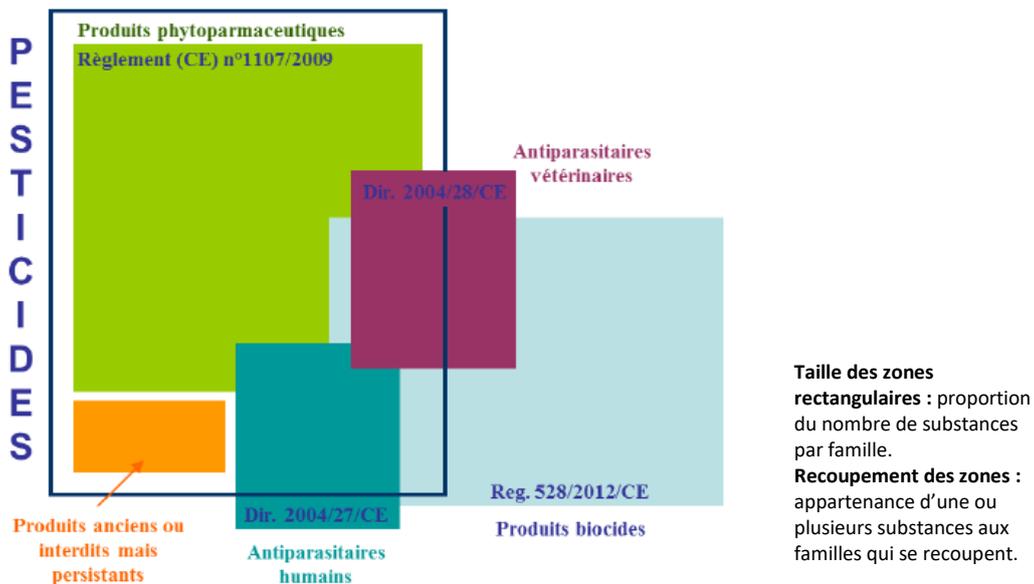
Ce rapport présente, en premier lieu, une étude bibliographique resituant le contexte des produits phytosanitaires en France. Cette partie traite de la réglementation et des impacts sanitaires des pesticides et évoque également le devenir de ces composés dans l'atmosphère. Dans un second temps, la méthode de prélèvement utilisée pour la récolte et le traitement des données sont détaillés. Ce rapport se focalise sur les résultats obtenus lors de la campagne 2017 ainsi qu'une présentation succincte de l'évolution des données de 2012 à aujourd'hui. Le rapport complet sur la surveillance des pesticides entre 2012 et 2017 sera prochainement accessible sur le site d'AtmoSud [1].

# I. Synthèse bibliographique

## 1. Définition : Les pesticides

Le terme « pesticide » désigne toutes les substances utilisées pour prévenir, contrôler ou lutter contre des organismes considérés comme indésirables ou nuisibles. On distingue, d'un point de vue réglementaire, une large gamme de molécules ayant des utilisations diverses (Figure 1):

- **Produits phytopharmaceutiques** : Les produits phytopharmaceutiques sont des préparations destinées à protéger les végétaux et les produits de culture.
- **Produits biocides** : Les produits biocides (désinfectants ménagers, insecticides et autres produits chimiques) sont utilisés pour éliminer les organismes nuisibles (parasites, champignons, bactéries, etc.) ou en protéger les matériaux.
- **Produits antiparasitaires humains** : Produits capables de tuer des parasites chez les humains.
- **Produits antiparasitaires vétérinaires** : Produits capables de tuer des parasites chez les animaux.



**Figure 1 . Classification réglementaire des pesticides [2]**

Les pesticides sont commercialisés sous forme de préparations composées d'une ou plusieurs substances actives exerçant une action envers les organismes indésirables. Associés aux substances actives, des adjuvants et des diluants liquides ou solides vont composer la formulation finale du pesticide. Etant donné le nombre important de substances actives sur le marché, la classification est rendue plus simple en répertoriant les pesticides en fonction des espèces qu'ils sont censés éliminer. **Les composés les plus fréquemment rencontrés sont les herbicides** (contre les végétaux indésirables), **les insecticides** (contre les insectes de types pucerons par exemple) **et les fongicides** (contre les champignons).

## 2. Les effets sur la santé

Lors de l'utilisation des pesticides, l'exposition se produit par de multiples vecteurs : par inhalation, par contact cutané ou suite à l'ingestion d'aliments ou d'eaux contaminés. L'exposition de la population aux pesticides peut être de type aiguë ou chronique. Dans le premier cas, il s'agit d'une exposition de courte durée et de forte concentration en pesticides. Ce cas se présente, la plupart du temps, lors de la manipulation de produits non dilués. Les effets qui font suite à cette contamination sont bien connus, il s'agit en général de brûlures chimiques oculaires, de lésions cutanées, d'effets neurologiques voire de troubles hépatiques. Dans le cas d'une exposition chronique, c'est-à-dire d'exposition répétée et prolongée à de faibles quantités de pesticides, les effets restent méconnus. D'après l'INSERM [3] (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale) et l'InVS [4] (Institut de Veille Sanitaire), il existerait un rapport entre exposition professionnelle aux pesticides et certaines maladies chez l'adulte. Il a été observé des pathologies telles que des maladies neurologiques (maladie de Parkinson), de multiples cancers et des problèmes de fertilité. Par ailleurs, l'exposition aux pesticides survenant au cours de la période prénatale semble être particulièrement à risque pour le développement de l'enfant.

Récemment condamné aux Etats-Unis, le géant Monsanto est accusé de ne pas avoir suffisamment informé les utilisateurs sur la dangerosité de son herbicide, le Roundup. Le jury a estimé que le produit avait contribué au développement du cancer du plaignant.

## 3. Utilisation et réglementation des pesticides en France

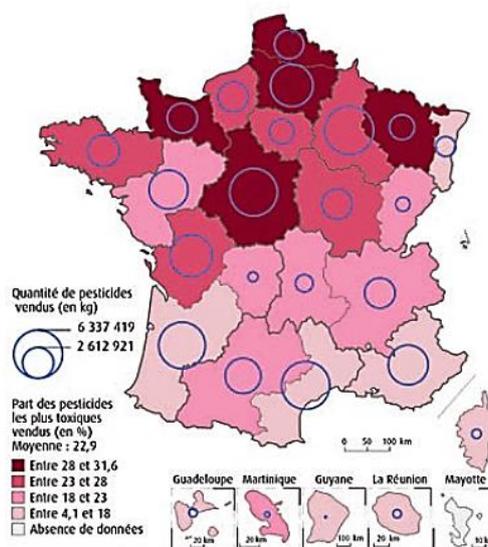
### 3.1 Utilisation des pesticides en France

L'usage des pesticides varie selon une multitude de paramètres. Le type de culture ainsi que les changements climatiques favorisent l'apparition de nuisibles et influencent ainsi l'utilisation des pesticides.

D'après la Banque nationale des ventes de produits phytosanitaires [5] (BNV-d), près de 68 milliers de tonnes de substances actives ont été vendues en France en 2015. Ce nombre important prouve que l'engouement pour les pesticides est toujours présent, comme indiqué par la BNV-d qui, depuis 2009, a constaté une hausse des achats pour les produits phytosanitaires. Suivant ces quantités de ventes, plus de 90 % des produits sont alloués à l'usage agricole.

En 2015, près de 23 % des ventes représentaient des produits dits les plus toxiques (cancérogènes, mutagènes ou reprotoxiques). La carte ci-contre (Cartographie 1) montre la quantité de pesticides vendus ainsi que la part des pesticides les plus toxiques vendus par régions en 2015.

**Cartographie 1 . Ventes de pesticides en 2015 en France [5]**



*Note de lecture : 22,9 % des pesticides vendus en France sont des pesticides classés parmi les plus toxiques.*

*Note : les pesticides les plus toxiques sont les pesticides classés T (toxique), T+ (très toxique) et CMR (cancérogène, mutagène, reprotoxique).*

*Source : Banque nationale de données des ventes des distributeurs de produits phytosanitaires (BNV-d), 2015. Traitements : SOeS, 2017*

Des différences marquantes sont tout d'abord observées sur la quantité de pesticides vendue. Les régions du Centre vendent moins de pesticides que les régions du Sud et du Nord. De plus, la part des ventes des pesticides les plus toxiques indique des valeurs élevées majoritairement dans le Nord de la France, où cinq régions présentent les valeurs maximales (entre 28 % et 31,6 % des ventes). A contrario, les valeurs minimales de ventes de produits les plus toxiques se trouvent dans le Sud et l'Est de la France.

### 3.2 Réglementation des pesticides en France

La réglementation sur les pesticides a pour but de préserver la santé des populations et de limiter les impacts environnementaux. Dans ce domaine, la France doit notamment respecter les conventions internationales ainsi que les directives européennes et peut aussi établir ses propres réglementations.

La Commission européenne a par exemple statué en 2013 sur la limitation d'utilisation de pesticides appartenant à la famille des néonicotinoïdes (la clothianidine, l'imidaclopride et le thiaméthoxame). La réglementation européenne, comme française, n'ont pour l'heure aucune limitation seuil pour les pesticides dans l'air contrairement au compartiment « eau » qui lui est bien codifié.

En France, l'Agence Nationale de Sécurité sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail (ANSES) procède à l'évaluation des risques des produits et s'occupe de délivrer les autorisations de mise sur le marché. En 2008, le plan ECOPHYTO est mis en place à la suite du Grenelle de l'Environnement. Une révision des objectifs de ce même plan a vu le jour en 2015. Ces objectifs prévoient de réduire de 25 % le recours aux pesticides d'ici 2020 puis de 50 % d'ici 2025. Pour atteindre ces ambitions, ECOPHYTO est accompagné par un dispositif de phytopharmacovigilance [6] permettant de surveiller les effets indésirables des produits phytopharmaceutiques sur la santé humaine, animale, végétale et la contamination des milieux. Un Plan National Santé Environnement (PNSE) a été mis en place en 2004. Aujourd'hui, ce plan en est à sa troisième édition. Parmi les objectifs stratégiques de ce plan, figurent des actions qui visent à contrôler et à restreindre l'usage des pesticides. L'interdiction en 2015 de l'épandage par voie aérienne en est un bon exemple. Ce plan existe aussi du point de vu régional (PRSE) et inclut des objectifs visant à réduire la présence des pesticides dans l'air.

## 4. Présence et devenir des pesticides dans l'atmosphère

Au cours de leur utilisation, une partie des pesticides ne parvient pas sur la surface ciblée. La technique de pulvérisation, la formulation des produits ainsi que la météorologie influencent la contamination du compartiment aérien. La proportion de produits émis dans l'atmosphère peut ainsi atteindre jusqu'à 50 %. Plusieurs procédés sont à l'origine de la présence des pesticides dans l'atmosphère [7] :

- La dérive lors du traitement,
- La volatilisation post-application,
- L'érosion éolienne.

Les concentrations dans l'air atteignent quelques dizaines de nanogrammes par mètre cube et sont tout aussi bien présents en milieu rural qu'urbain. Les masses d'air peuvent transporter ces substances à de très longues distances selon la stabilité du produit. L'élimination des pesticides présents dans l'atmosphère se fait :

- Par dépôt sec et humide,
- Par dégradation photochimique.

La figure suivante (Figure 2) représente les mécanismes d'évolution des pesticides dans l'atmosphère.

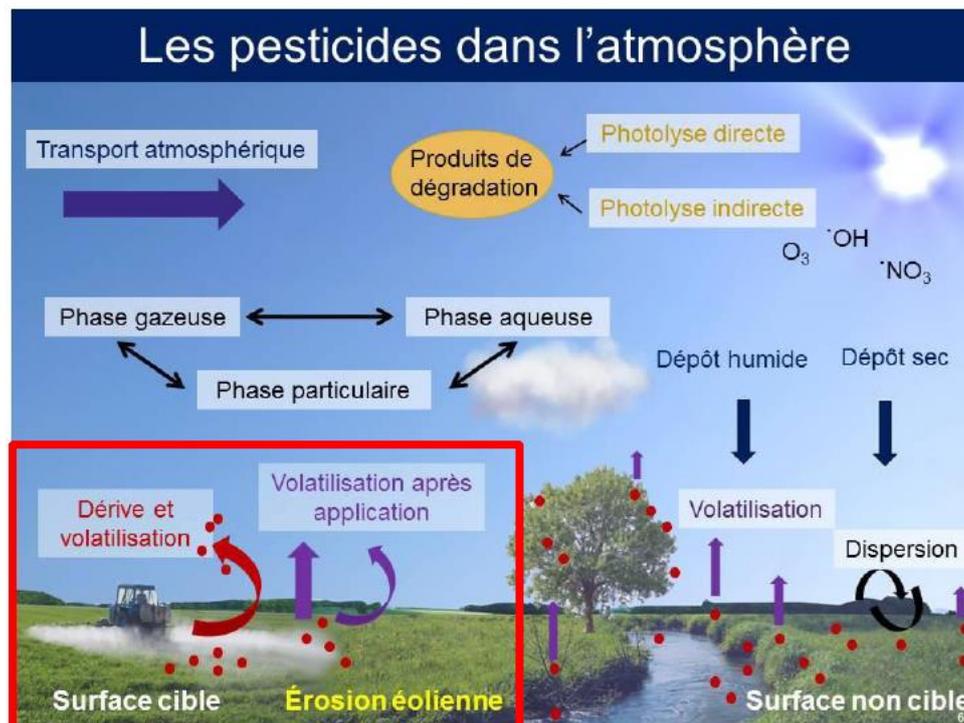


Figure 2 . Transfert et comportement des pesticides dans l'atmosphère [8]

## 4.1 Volatilisation des pesticides

### 4.1.1 Volatilisation pendant l'épandage : la dérive

Durant l'épandage, il est possible qu'il y ait un transfert de pesticides vers l'atmosphère. Ce processus se nomme la dérive, c'est-à-dire que le produit émit sous forme de gouttelettes en suspension n'atteint pas la surface cible. Les gouttelettes de petites tailles sont soumises plus facilement à la dérive et au vent tandis que celles de grandes tailles vont atteindre plus facilement la cible. Une grande partie des pesticides se retrouve transportée à une courte distance de l'application, néanmoins, sous l'effet du vent, les produits peuvent parcourir une longue distance. Cette perte de pesticides dépend donc en partie de la méthode d'application [9] et des conditions météorologiques (vent, température, humidité...).

## 4.1.2 Volatilisation après l'épandage

### 4.1.2.1 Volatilisation post-application

Le taux de volatilisation post-application est plus important dans la journée. La température ainsi que les mouvements atmosphériques favorisent le transport des pesticides. Au contraire de la nuit où l'humidité va plaquer les gouttelettes de pesticides au sol tout comme le fait la rosée en matinée. La volatilisation post-application se manifeste généralement par des processus d'évaporation, de sublimation et de désorption. Elle dépend notamment des propriétés physico-chimiques des pesticides, des conditions météorologiques, des propriétés du sol voire du taux de végétation. Elle peut avoir lieu à partir du sol ou de la plante et peut se prolonger pendant des semaines.

### 4.1.2.2 Érosion éolienne

Ce phénomène se manifeste lorsque le vent vient arracher des particules de pesticides présentes à la surface du sol. Ces particules vont donc être mises en suspension dans l'atmosphère et transportées par les masses d'air. Les sols nus, ayant très peu de couvert végétal, sont les plus sensibles à l'érosion éolienne.

### 4.1.2.3 « Effet sauterelle »

L'utilisation massive des pesticides fait qu'aujourd'hui, on peut détecter des quantités mesurables de particules dans l'air, dans la neige ou dans les sédiments des régions polaires. L'International Polar Foundation [10] fait état d'un grand nombre de substances retrouvées chez des espèces animales polaires. Les substances les plus stables et ayant un temps de vie conséquent circulent autour du globe grâce à l'« effet sauterelle » (Figure 3).

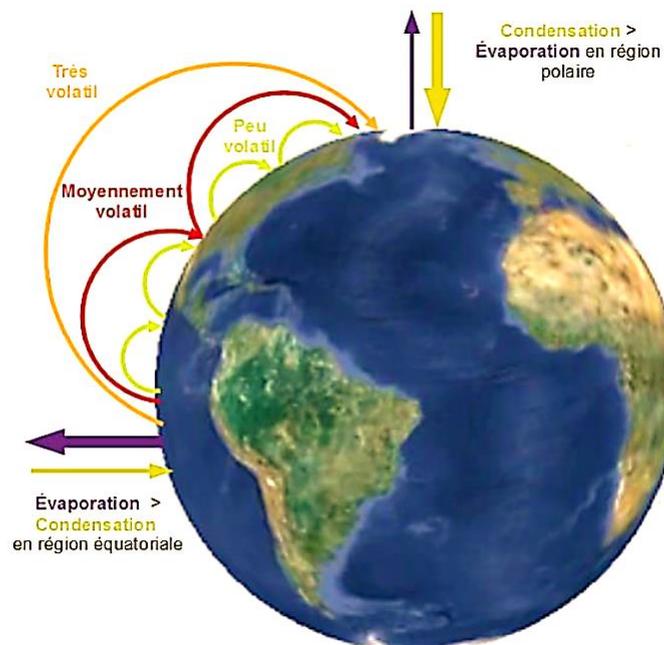


Figure 3 . L'effet sauterelle [8]

Ce phénomène saisonnier d'évaporations et de dépôts successifs permet aux polluants de rejoindre les régions éloignées polaires avec l'aide des courants atmosphériques. En hiver par exemple, des polluants provenant de l'Amérique du Nord sont retrouvés dans l'Arctique, tandis que durant l'été, les polluants proviendront d'Europe Centrale. Les températures élevées permettent aux particules de passer en phase gazeuse et d'être portées par les masses d'air. Lorsque la température baisse, ces dernières vont s'adsorber et revenir en surface et ainsi de suite. C'est ce cycle, répété plusieurs fois, qui va permettre aux pesticides de se retrouver dans les régions froides.

## **4.2 Élimination des pesticides dans l'atmosphère**

En plus d'être éliminés par des transformations photochimiques, les pesticides vont être soumis à des processus de retombées atmosphériques. Il s'agit des dépôts secs et humides. Ainsi, les facteurs météorologiques et les capacités physico-chimiques des composés influencent grandement les retombées des pesticides à la surface.

### **4.2.1 Dépôts atmosphériques**

#### **4.2.1.1 Dépôt humide**

Les pesticides peuvent être éliminés de l'atmosphère par des dépôts humides provenant des précipitations (pluie, neige). Autant en phase particulaire que gazeuse, les particules de pesticides vont pouvoir se dissoudre dans les gouttelettes de nuages ou de pluies. Lors des précipitations, les basses couches en surface sont lessivées et vont entraîner avec eux les pesticides.

#### **4.2.1.2 Dépôt sec**

Les dépôts secs sont caractérisés par le transport des pesticides vers la surface en s'adsorbant sur de la matière particulaire en suspension. Les pesticides retombent donc sur les sols, l'eau de surface ou bien des surfaces naturelles comme les plantes.

### **4.2.2 Dégradation atmosphérique par photolyse et photo-oxydation**

L'élimination des pesticides par l'atmosphère peut également provenir de processus photochimique. Ces réactivités atmosphériques induisent la formation de nouveaux composés dont la toxicité peut être élevée. Les réactions sont de deux sortes : la photolyse indirecte et la photolyse directe. Dans le premier cas, on parle d'oxydation avec les radicaux OH, l'ozone ou les oxydes d'azote. Dans le second cas, on parle de la réaction chimique se produisant lorsque les pesticides absorbent une partie du rayonnement solaire. Ainsi, les molécules sont susceptibles d'être photodissociées.

## II. Méthodologie de mesure

### 1. Présentation de l'Observatoire des Résidus de Pesticides (ORP)

Initié par l'ANSES en 2006, l'Observatoire des Résidus des Pesticides (ORP) a pour mission d'améliorer les connaissances sur les expositions et d'estimer l'exposition des populations aux pesticides. Bien qu'aucune réglementation ne prévoie actuellement une limite seuil aux concentrations en pesticides dans l'air, l'évaluation des concentrations est évoquée dans le Plan Nationale Santé Environnement (PNSE). Au niveau régional, le PRSE ainsi que le plan ECOPHYTO ont permis de mettre en avant les objectifs de réduction de l'utilisation des pesticides.

En 2011, AtmoSud, en partenariat avec le Laboratoire Chimie Environnement (LCE, Marseille), a mis en place un programme de surveillance des pesticides : ORP PACA. L'ORP PACA a tout d'abord réalisé un premier inventaire régional des émissions de produits phytosanitaires dans l'air. Par la suite, ces travaux ont permis de développer une méthode analytique et d'effectuer des prélèvements dans les sites préalablement choisis.

### 2. Appareillages et techniques de mesures



AtmoSud s'est appuyé sur les recommandations du LCSQA [11], de l'ANSES [12] et du Groupe de Réflexion Alpha<sup>1</sup> pour ses prélèvements. Ces derniers sont effectués à l'aide d'un préleveur haut débit ( $10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ) avec une tête PTS<sup>2</sup> (Particules Totales en Suspension). Cet appareil peut également fonctionner avec une tête PM10<sup>3</sup>. L'air, aspiré par la pompe, va traverser les différents supports d'échantillonnage, le filtre à particule (pour le prélèvement de la phase particulaire), la mousse polyuréthane et la résine (pour la phase gazeuse). Après la séquence de prélèvement, les supports sont analysés en laboratoire. Une extraction est réalisée suivi par une analyse par chromatographie en phase gazeuse ou chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse. Pour chaque résultat obtenu sur les supports d'échantillonnages, la concentration pour chaque pesticide correspond à sa phase particulaire et gazeuse. Aucun traitement n'est donc fait pour permettre de différencier les deux phases moléculaires [13].

**Figure 4 . Préleveur haut débit (DA 80)**

<sup>1</sup> Groupe de réflexion ayant pour but de définir une liste socle nationale de pesticides à mesurer.

<sup>2</sup> La tête PTS permet de capter des particules de toutes tailles.

<sup>3</sup> La tête PM10 permet de capter des particules de diamètre inférieur à  $10 \mu\text{m}$  ( $10^{-6} \text{ m}$ ).

### 3. Les sites de mesures

Pour son lancement en 2011 [14], l'ORP PACA a décidé de constituer sa liste de pesticides à observer sur un site pilote à Avignon. Le positionnement de ce dernier a permis de collecter des données sur des substances provenant de tous types d'activités. En effet, une grande zone agricole est située au sud de ce point et une zone de maraîchage est au Nord. Les pesticides utilisés en milieu urbain ainsi que pour l'entretien des infrastructures sont aussi très présents dans cette zone.

En 2012 [2] et 2013 [15], cinq sites de mesures ont été choisis. Quatre d'entre eux sont des sites urbains et un seul est rural. Les sites urbains sont : Avignon, Arles, Cannes et Toulon. Ces sites ont pour point commun d'être des agglomérations situées dans des zones où les pratiques agricoles sont bien présentes. Le site rural est quant à lui représenté par Cavaillon/Les Vignères. Ce site est localisé dans une zone d'arboriculture intensive permettant d'estimer l'exposition des populations aux parcelles traitées avec des pesticides. En 2014 [16], 2015 [17] et 2016, les sites d'Arles et de Cannes ont été remplacés par les sites de Port-de-Bouc et Nice. Enfin, en 2017, les prélèvements sur le site de Toulon sont arrêtés. L'ensemble des sites de mesures, exploités pour les campagnes portant sur les pesticides, sont visibles sur la figure suivante (Figure 5). Les caractéristiques de l'occupation du sol environnant des sites de mesures sont décrites en annexe (page V à IX) ainsi que le recensement des parcelles agricoles en région PACA (ANNEXE 7).



Figure 5 . Carte de localisation des sites de mesures de 2012 à 2017 en région PACA

## 4. Stratégie d'échantillonnage 2017

La planification des prélèvements a été réalisée selon les recommandations de l'ANSES et du Groupe de Réflexion ALPHA. La campagne de mesure 2017 s'est déroulée durant toute l'année. Pendant la période de traitement intensif (d'avril à septembre), les prélèvements ont été densifiés. Toutes les mesures ont été réalisées sur une période de 48h et en simultanées sur tous les sites d'études. Une hypothèse est émise : les concentrations sont supposées constantes pendant toute la durée de l'échantillon, soit 48h. En parallèle, les paramètres météorologiques associés aux concentrations relevées ont une fréquence horaire. Ceci permet de corréliser les variations de concentrations aux conditions météorologiques.

La planification des prélèvements pour l'année 2017 est détaillée dans le tableau suivant (Tableau 1).

**Tableau 1 . Stratégie d'échantillonnage (nombre de prélèvements par site) 2017**

Site de prélèvement	Faible activité			Forte activité						Faible activité			Total
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Avignon	1	1	0	4	4	4	4	4	2	1	1	0	27
Cavaillon	1	1	0	4	4	0	4	4	2	1	1	1	24
Nice	1	1	0	4	4	4	4	4	2	1	1	1	28
Port de Bouc	1	1	0	3	4	4	4	4	2	1	1	1	27
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>106 échantillons</b>

Au total, 106 échantillons ont été récoltés en 2017. Sur les six années que compte la campagne de surveillance des pesticides, ce sont 703 échantillons qui ont été réalisés.

## 5. Substances recherchées

La liste des substances actives définie aujourd'hui a été déterminée [13] :

- Sur la base de la liste socle de l'ORP national (41 molécules),
- Complétée avec l'appui de l'INERIS<sup>4</sup> et de l'outil SPH'AIR<sup>5</sup>,
- Adaptée aux recommandations du LCE<sup>6</sup>, de la DRAAF<sup>7</sup> PACA et de l'ARS<sup>8</sup> PACA.

En 2012 et 2013, 43 composés ont été recherchés. La dernière campagne, datant de 2017, a visé 59 composés. Ces derniers sont récapitulés dans le tableau suivant (Tableau 2). En 2017, **9 nouvelles molécules ont été recherchées** : **4 herbicides** (clomazone, dimethenamid-P, lenacil et triallat), **4 fongicides** (époxicoazole, fenpropidine, fluazinam, tolylfluanid) et **1 insecticide** (chlorpyrifos-méthyl).

<sup>4</sup> Institut National de l'Environnement Industriel et des RISques

<sup>5</sup> Outil d'aide à la décision pour mesurer les pesticides en fonction de leur potentiel à contaminer l'atmosphère.

<sup>6</sup> Laboratoire Chimie Environnement

<sup>7</sup> Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt

<sup>8</sup> Agence Régionale de Santé

Le choix de ces molécules a été effectué en fonction du type de cultures présentes en PACA, de leur toxicité, de leur classification comme molécule potentiellement cancérigène ainsi que de la capacité à les identifier analytiquement.

**Tableau 2 . Liste des molécules herbicides, insecticides et fongicides d'intérêt**

HERBICIDES	INSECTICIDES	FONGICIDES
2,4D	Chlorpyriphos-éthyl	Boscalid
2,4MCPA	Chlorpyriphos-méthyl	Cymoxanil
Aclonifen	Cypermethrine	Cyprodinil
<b>Amitrole</b>	Deltamethrine	Difenoconazole
Chlorpropham	Diflubenzuron	Dimethomorphe
Clomazone	Esbiothrine	Epoxiconazole
Diclofop-methyl	Fenoxycarbe	Fenhexamid
Diflufenican	<b>Fipronil</b>	Fenpropidine
Dimethenamid-P	Imidaclopride	Fenpropimorphe
Flazasulfuron	Lambda-cyhalothrine	Fluazinam
Flumioxazine	<b>Lindane</b>	Flusilazole
Flurochloridone	Permethrine	Folpel
Fluroxypyr	Piperonyl Butoxide (PBO)	Iprodione
<b>Isoproturon</b>	Pirimicarbe	Kresoxim-methyl
Lenacil	Thiamethoxame	Pyrimethanil
Linuron		Spiroxamine
Metazachlore		Tebuconazole
S-Metolachlore		Tetraconazole
Oxadiazon		<b>Tolyfluanid</b>
Pendimethaline		
Propyzamide		
Prosulfocarbe		
Sulcotrione		
<b>Terbuthylazine</b>		
Triallat		

**\*Substances actives interdites à la vente**

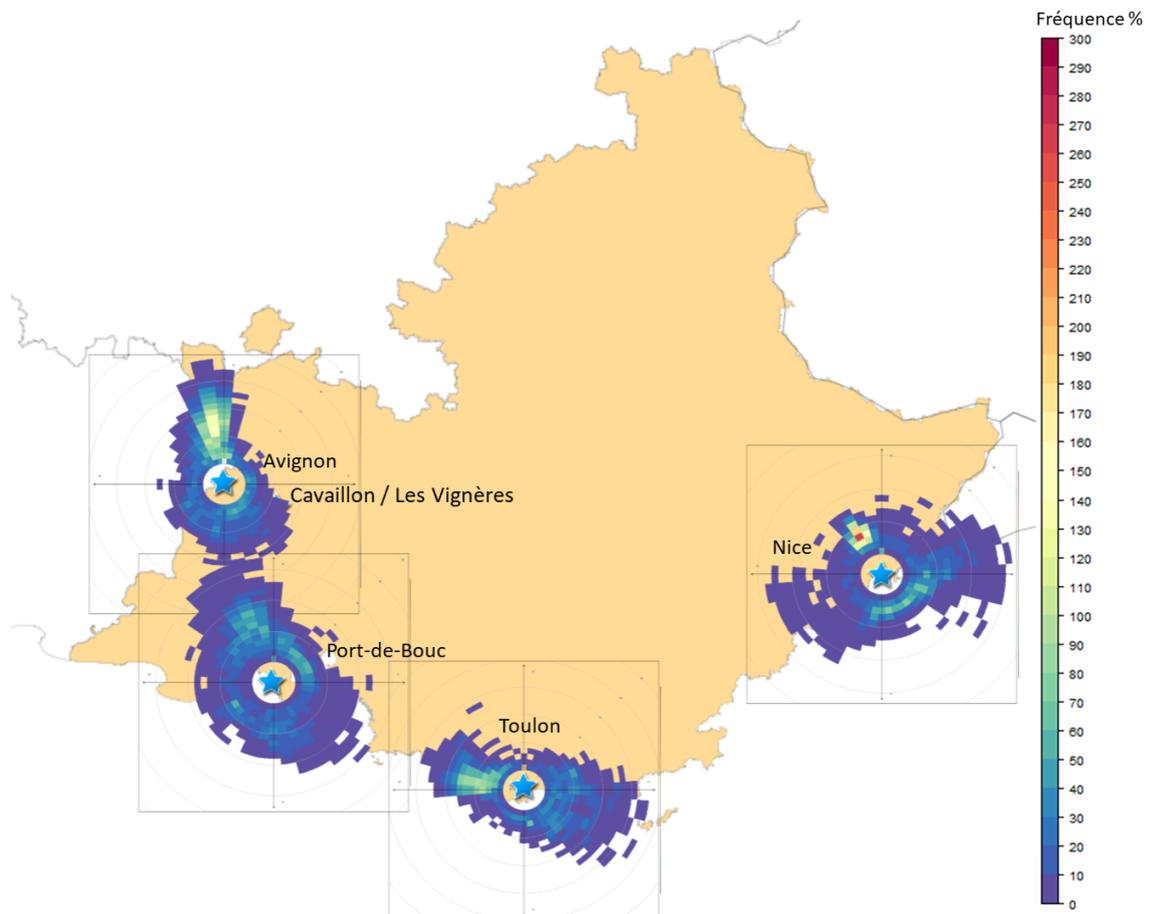
- Pour les herbicides :
  - l'**amitrole** et l'**isoproturon** ont été retiré des ventes en septembre 2016. Un délai d'utilisation a néanmoins été émis jusqu'en septembre 2017.
  - la **terbuthylazine** est interdite en France depuis 2003 sauf dérogation sur le maïs.
- Pour les insecticides :
  - le **fipronil** a été interdit en agriculture en France depuis 2004.
  - le **lindane** a été interdit en agriculture depuis 1998 et est interdit comme produit biocide depuis 2006.
- Pour les fongicides :
  - le **tolyfluanid** a été interdit en agriculture (2007) mais autorisé comme biocide.

### III. Résultats

#### 1. Conditions météorologiques

Ce chapitre décrit les conditions météorologiques rencontrées sur les sites de mesures durant la campagne 2017. Les paramètres météorologiques, tels que la température, la précipitation, l'hygrométrie ou les régimes de vents, ont une influence majeure sur l'utilisation et la dispersion des pesticides dans l'atmosphère. Pour prévenir les risques de forte dispersion des produits, il est conseillé de ne pas traiter les parcelles en situation de vent fort ( $\approx 20$  km/h). L'humidité est aussi un paramètre significatif à prendre en compte. En effet, plus importantes en début de matinée et en fin de journée, les gouttelettes d'eau en suspension dans l'air vont permettre aux molécules de pesticides d'atteindre plus efficacement la cible à traiter. L'influence des conditions météorologiques sur les différentes familles de pesticides étudiées est présentée en ANNEXE 8.

##### 1.1 Les vents



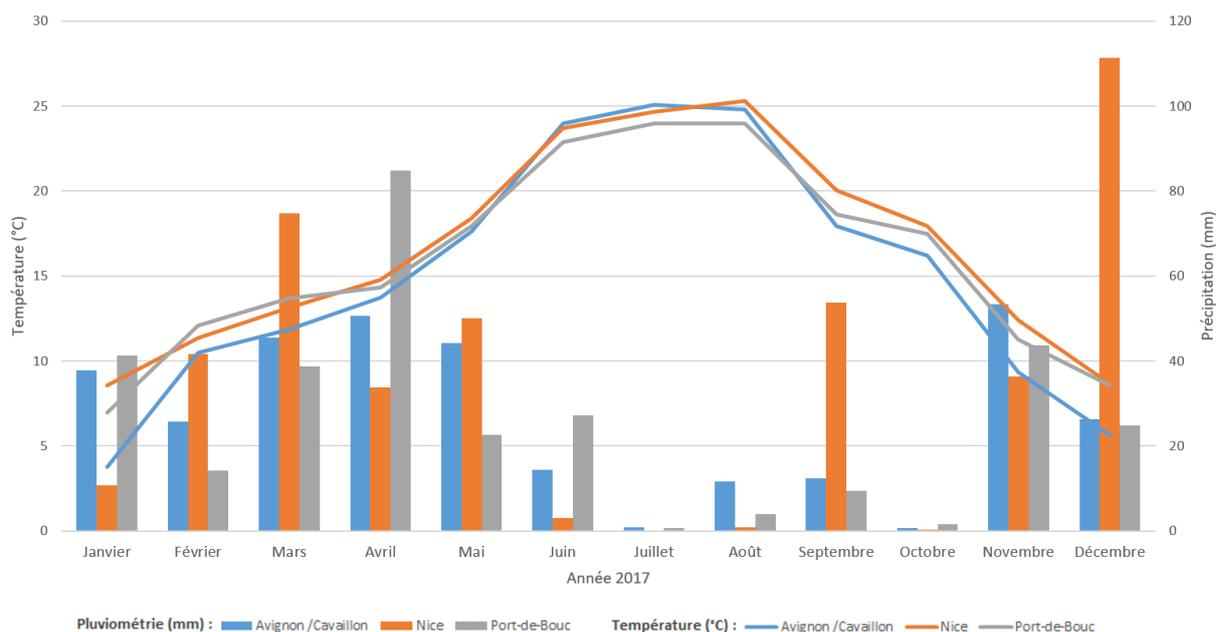
**Figure 6 . Roses des vents**

La figure ci-dessus (Figure 6) expose les roses des vents pour une sélection de sites de mesures ayant fonctionné lors des campagnes sur les pesticides. Le fait d'étudier les données de vent de plusieurs années, permet d'extraire les vents dominants plus aisément

autour des sites d'études en région PACA. Les roses des vents ont pour but d'informer sur la distribution des directions de vents en y associant les vitesses de vents. La longueur des segments est proportionnelle à la vitesse des vents et les couleurs correspondent à la fréquence ; la couleur rouge correspond à des vents fréquents tandis que la couleur bleue correspond à des vents peu fréquents. Les données utilisées pour constituer cette figure proviennent toutes de stations Météo-France.

Le régime de vent constaté sur les sites d'Avignon et de Port-de-Bouc est très largement influencé par le secteur Nord-Nord-Ouest. Pour Toulon, l'influence dominante du vent provient majoritairement de l'Ouest. Pour ces trois sites, le même vent est en cause ; il s'agit du Mistral. En plus d'être le vent le plus fréquent, il est aussi le vent le plus fort. De fortes vitesses de vents sont aussi observées de secteur Sud-Sud-Est. Pouvant atteindre des rafales de plus de 100 km/h, le Mistral est favorable au ré-envol des molécules qui peuvent parcourir de longues distances. À ne pas oublier que la station de Cavaillon, proche d'Avignon, subit aussi l'influence du Mistral. En ce qui concerne Nice, le vent dominant est aperçu de secteur Nord-Ouest. Néanmoins, les vents les plus forts proviennent des secteurs Sud-Ouest et Nord-Est.

## 1.2 Températures et précipitations



**Figure 7 . Températures et précipitations en 2017**

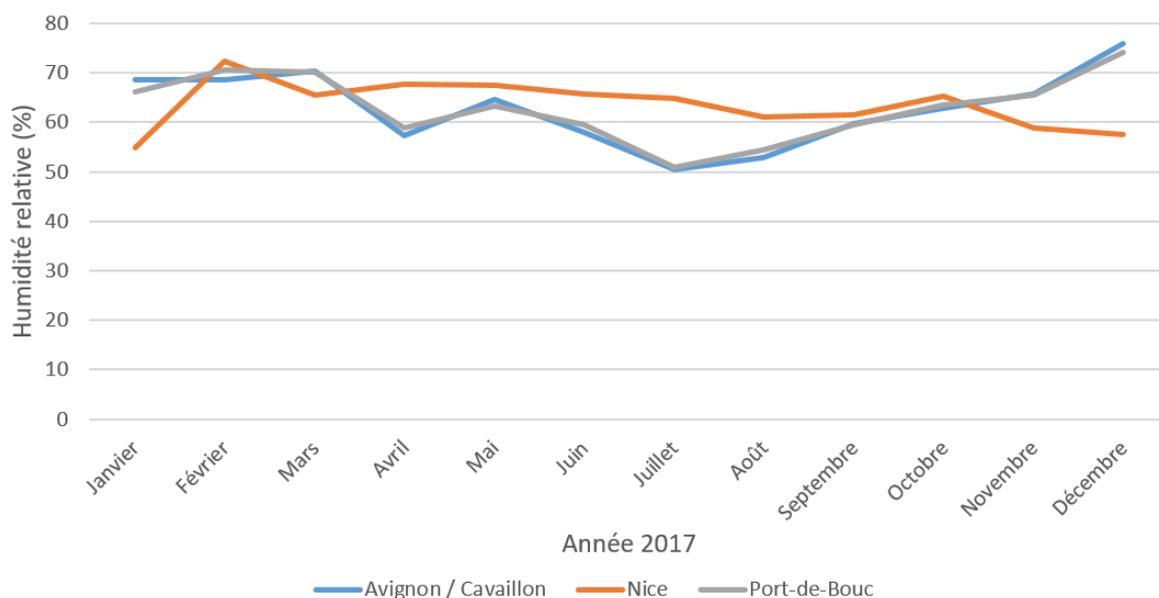
L'évolution des moyennes mensuelles en température, ainsi que des cumuls moyens mensuels en précipitations pour l'année 2017, est représentée dans la figure ci-dessus (Figure 7). Les stations d'Avignon et de Cavaillon ont les mêmes résultats, car les mesures météorologiques retenues proviennent de la station Météo-France d'Avignon.

Les températures ont majoritairement été supérieures aux valeurs moyennes normales observées lors de la période 1981-2010 sur la région. L'année 2017 admet des températures élevées, ce qui rend moins favorable le développement des adventices (mauvaises herbes).

Le cumul des précipitations sur tous les sites est inférieur aux valeurs moyennes normales. Ce cumul atteint, par exemple, 323,2 mm de précipitations à Avignon/Cavaillon alors que les conditions normales affichent des statistiques de 676,6 mm de pluies. La pluie permet le lessivage de l'atmosphère et permet ainsi la diminution des concentrations en substances actives dans l'air. Il est donc possible, que les pesticides soient présents plus longtemps dans l'air lorsque les précipitations sont faibles.

Un tableau, récapitulant les températures, cumuls de précipitations et nombre de jours de pluie mensuelle, est disponible en annexe (ANNEXE 9).

### 1.3 L'humidité relative



**Figure 8 . Humidités relatives en 2017**

La moyenne mensuelle en humidité relative pour l'année 2017 est présentée dans la figure ci-dessus (Figure 8).

Les sites de Avignon/Cavaillon et de Port-de-Bouc suivent la même tendance. Tandis qu'à Nice, l'humidité relative a été clairement plus importante entre mars et octobre. Ces valeurs plus élevées ont un impact important sur la volatilisation des molécules lors des traitements agricoles. Une haute valeur en humidité relative permet un ré-envol des molécules moindre, et contraint les pesticides à rejoindre le sol et non l'atmosphère.

Les conditions remarquées à Avignon/Cavaillon et Port-de-Bouc sont donc plus favorables à la volatilisation des pesticides, notamment lors d'épisodes venteux.

## 2. Résultats obtenus lors de la campagne 2017

### 2.1 Molécules détectées : fréquence de détection

Durant la campagne de mesure effectuée en 2017, il y a eu 39 substances sur les 59 recherchées qui ont été détectées au moins une fois. La répartition de ces substances est dominée par la famille des fongicides, qui représente 44 % des molécules détectées, suivi par les herbicides et les insecticides, qui eux sont répartis de manière équivalente à hauteur de 28 %. Le nombre de composés retrouvés en zone urbaine et en zone rural est quasiment identique. À Cavaillon et Avignon, ce sont 35 composés qui ont été détectés, tandis qu'à Nice et Port-de-Bouc ce nombre s'élève respectivement à 33 et 32 composés. 4 substances se révèlent être présentes exclusivement aux stations de mesures situées en ville : 1 herbicide (le diclofop-méthyl), 1 insecticide (la deltaméthrine) et 2 fongicides (le flusilazole et le tolylfluaniid). En zone agricole, seul 1 fongicide (le fluazinam) est spécifique à la station de mesure concerné. Les limites de quantifications de l'ensemble des composés recherchés sont visibles dans l'ANNEXE 1.

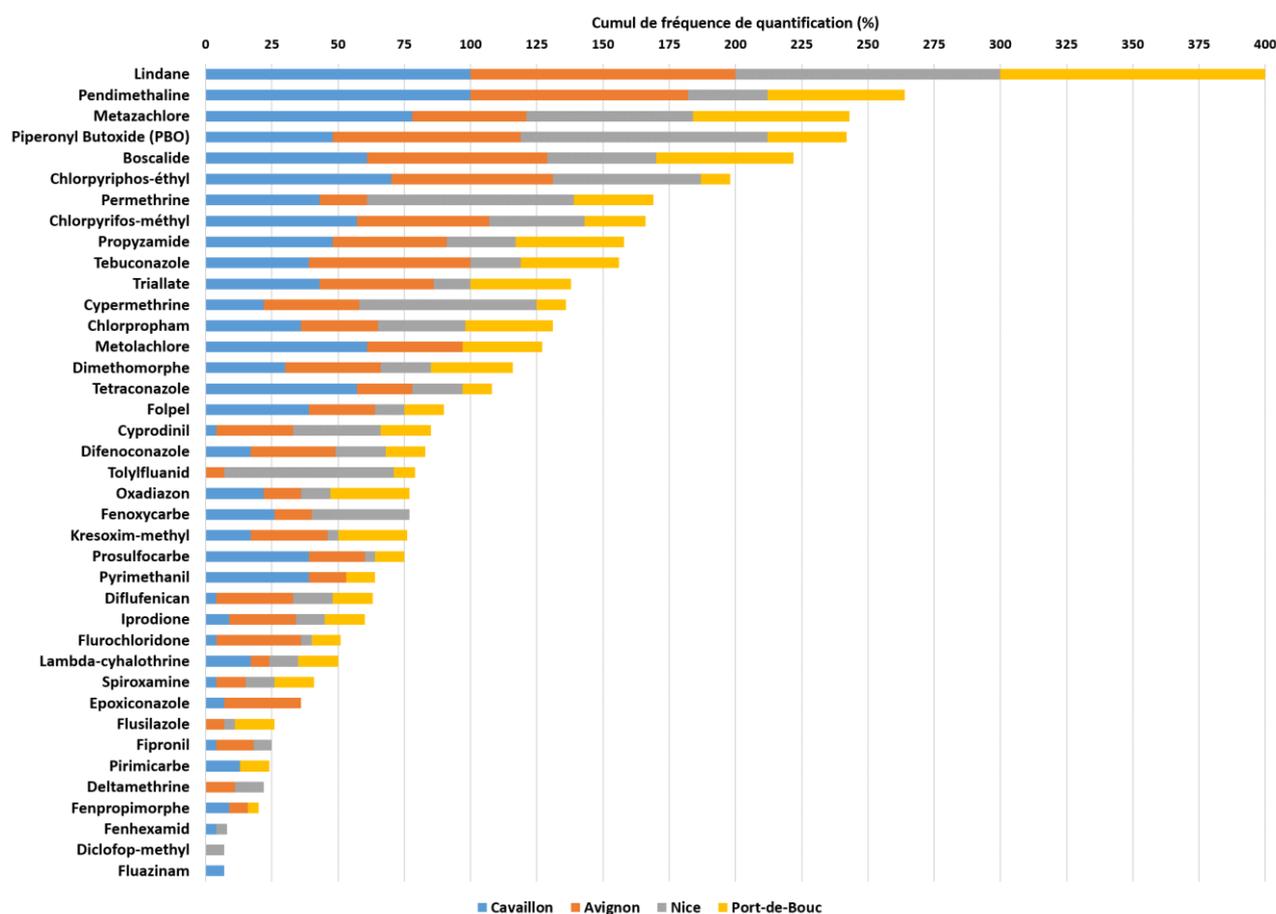


Figure 9 . Pourcentage de détection cumulé de pesticides sur tous les sites de mesures

La Figure 9, donne le pourcentage de détection des substances actives relevées dans la région PACA. La part qui revient à chacun des sites de mesures est mis en évidence. La

présentation du cumul de pourcentage permet de mettre en évidence les substances les plus retrouvées tous sites de mesures confondus.

Le **lindane**, insecticide interdit à la vente pour une utilisation agricole depuis 1998, est le pesticide le plus fréquemment retrouvé sur l'ensemble des sites de mesures. Autrefois très utilisé, il a également servi en tant que biocide, notamment dans le traitement du bois, jusqu'en 2006. Présent dans 100 % des échantillons, ce résultat n'est pourtant pas étonnant. Malgré l'interdiction et du fait de sa rémanence, le lindane est encore présent dans les sols et l'air. La faible dégradation de ce composé lui permet une grande durabilité qui a été observée sur la France entière.

La **pendiméthaline** et le **métazachlore** font aussi partie des substances actives les plus retrouvées. Tous deux sont des herbicides à usage varié, et leur utilisation concerne notamment les grandes cultures légumières, arboricoles, céréalières et les vignes. D'après l'utilisation de ces composés, il n'est pas étrange de remarquer que le site le plus exposé est placé à Cavaillon, seul site rural de l'étude.

Enfin, les deux dernières substances classées dans les 5 substances les plus fréquemment détectées sont le **piperonyl butoxide** et le **boscalid**. La première est un adjuvant et pour des raisons pratiques, cette molécule est associée au groupe des insecticides. La deuxième molécule citée est un fongicide très utilisé en vigne. Il permet de combattre efficacement les maladies et les champignons rencontrés dans les parcelles viticoles mais aussi céréalières, fruitières et légumières.

## 2.2 Concentrations mesurées par site de mesure

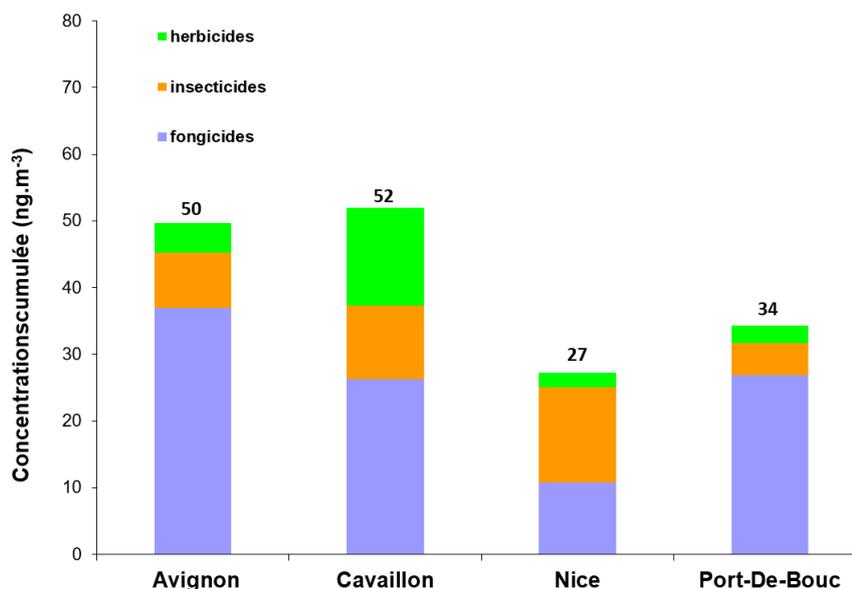


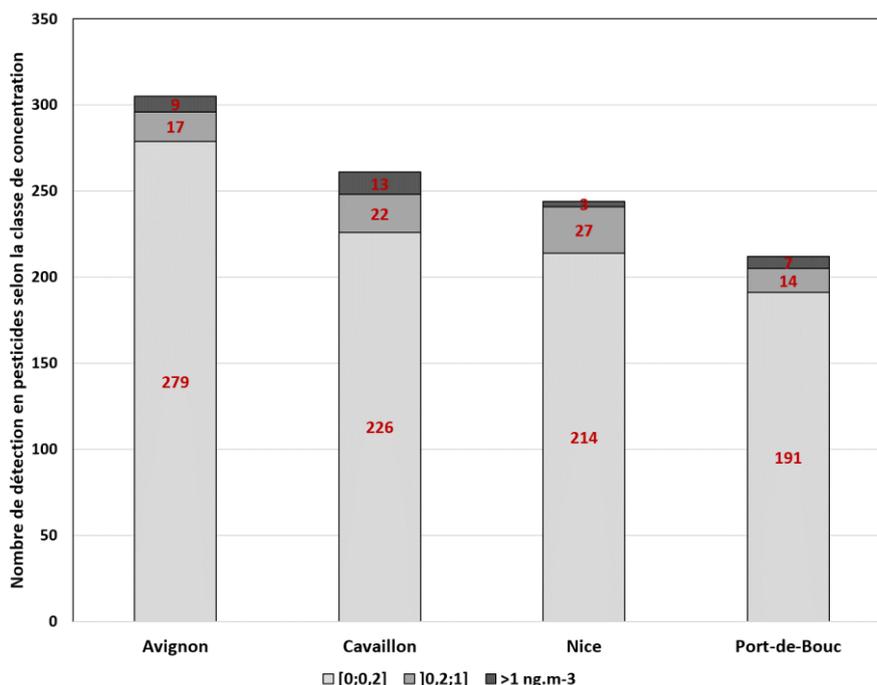
Figure 10 . Concentrations cumulées par site

Selon la nature du site de mesure et en procédant à une analyse adéquate, il est possible de connaître des spécificités propres à chacun des sites. L'examen des échantillons révèle que le site le plus impacté est celui qui se trouve en zone agricole : Cavaillon (Figure

10). Parmi les trois familles de pesticides, les fongicides détiennent la plus grande contribution en détection de substances actives de la région (51 %). Au printemps, le temps chaud et humide, rencontré dans la région, favorise le développement de champignons et la multiplication des insectes. Ainsi, l'utilisation de pesticides à cette période est plus élevée qu'à l'accoutumée. Les pesticides retrouvés en zone rurale se retrouvent tout aussi bien en zone urbaine. Les teneurs en fongicides relevées à Avignon (74 %) et Port-de-Bouc (78 %) indiquent l'influence de cultures alentours. Les taux les plus élevés en fongicides sont mesurés à Avignon et dépassent ceux rencontrés à Cavaillon. Ces deux villes sont pourtant assez proches, éloignées seulement de 36 km et sous la domination de cultures arboricoles et viticoles (ANNEXE 7).

L'usage de pesticides non agricoles se fait notamment remarqué dans les sites de mesures urbains. Dans une ville comme Nice, où l'influence agricole est moindre, ce sont les insecticides qui prédominent les émissions de pesticides dans l'air (53 %). À noter que la présence en grande quantité des herbicides sur le site de Cavaillon, en fait une caractéristique des sites ruraux.

Globalement, les concentrations mesurées sont pour une grande majorité inférieures ou égales à  $0,2 \text{ ng.m}^{-3}$  (Figure 11). Ces faibles concentrations correspondent pour 90 % en moyenne sur les sites urbains et 87 % sur le site rural. En ce qui concerne les concentrations comprises entre  $0,2 \text{ ng.m}^{-3}$  et  $1 \text{ ng.m}^{-3}$ , le pourcentage de détection est de 8 % sur tous les sites. Les pesticides sont détectés à de faibles concentrations, qui dépassent rarement  $1 \text{ ng.m}^{-3}$  (environ 5% du temps en zone rurale et 2% du temps en zone urbaine).



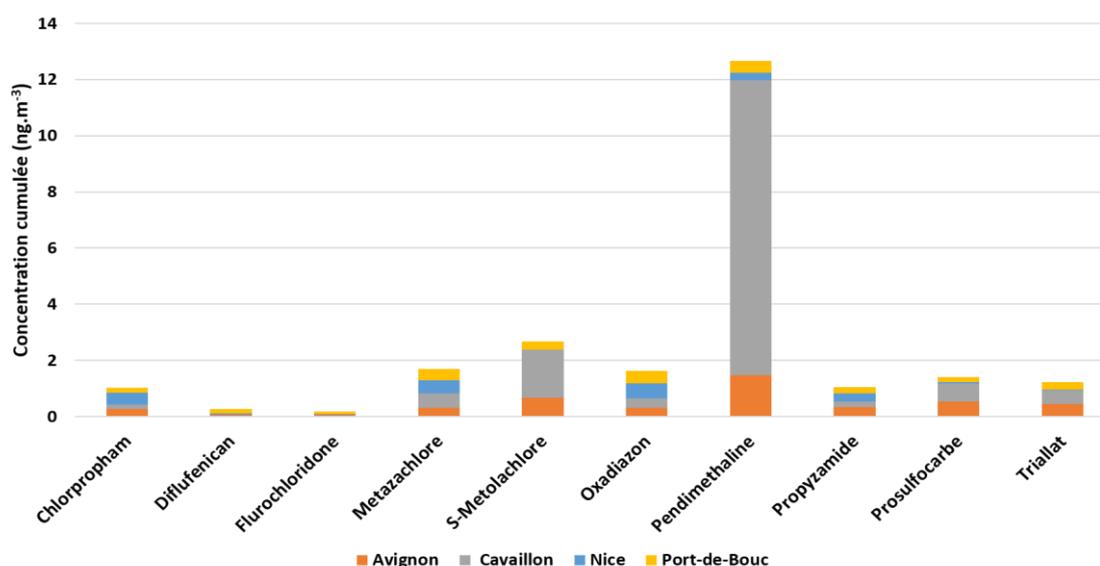
**Figure 11 . Répartition des concentrations mesurées suivant trois classes**

Les teneurs les plus élevées en pesticides proviennent essentiellement des fongicides. Sur l'ensemble des sites urbains, les fongicides représentent 89 % des teneurs les plus

élevées tandis que sur le site rural ce chiffre atteint 69 %. La prédominance de cette famille de pesticides est en grande partie due au **folpel**, présent sur toutes les stations de mesures. Les herbicides et les insecticides sont bien moins importants en terme de concentrations. L'essentiel des détections se trouvent dans la gamme de concentration comprise entre 0 et 0,2 ng.m<sup>-3</sup>.

## 2.3 Concentrations mesurées : zoom sur les substances herbicides, insecticides et fongicides

### 2.3.1 Les herbicides

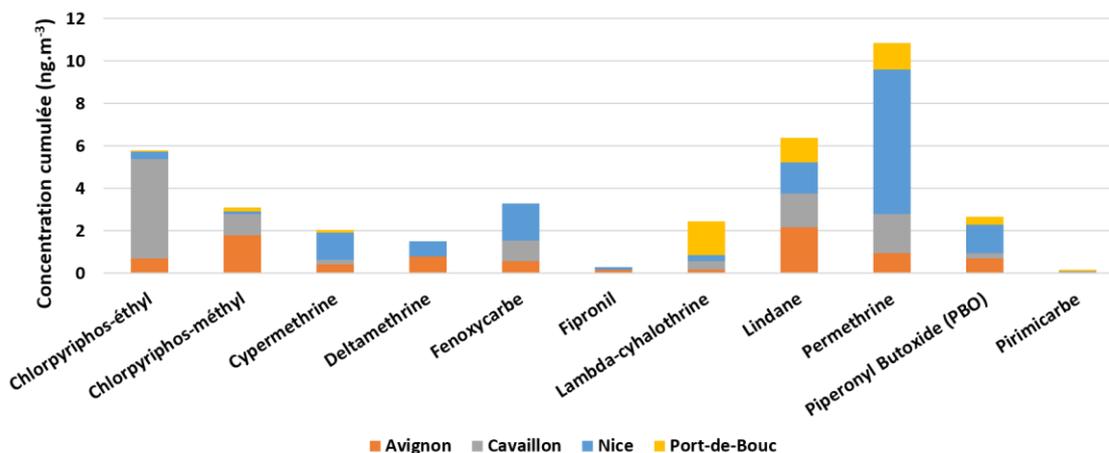


**Figure 12 . Concentrations cumulées en herbicides réparties selon les sites de mesures associés**

Le principal herbicide présent dans l'air en région PACA est la **pendiméthaline** (Figure 12). Il est important de noter que cette substance est présente sur tous les sites. Ceci est notamment dû à son usage varié. Associé à un important pourcentage de détection (cf. 2.1) et à une utilisation importante, la concentration cumulée en pendiméthaline atteint 12,7 ng.m<sup>-3</sup>, dont 83 % uniquement pour Cavaillon. Cette substance est retrouvée à deux reprises dans des concentrations élevées, supérieures à 1 ng.m<sup>-3</sup>.

Les herbicides sont utilisés de façon continue dans l'année. Son application abondante en secteur agricole, engendre des concentrations élevées essentiellement localisées à Cavaillon. Le second herbicide le plus souvent quantifié est le **S-métolachlore**. Cette substance active est le dérivé d'un composé nommé le métolachlore, interdit en France depuis 2003. Sa concentration cumulée est de 2,7 ng.m<sup>-3</sup>, soit près de cinq fois moins que la pendiméthaline. En ce qui concerne le **métazachlore**, les mesures de concentrations ne se hissent pas au même niveau que la fréquence de détection qui lui est associée. Avec 1,7 ng.m<sup>-3</sup>, les concentrations relevées indiquent une utilisation faible, mais continue de ce composé.

### 2.3.2 Les insecticides

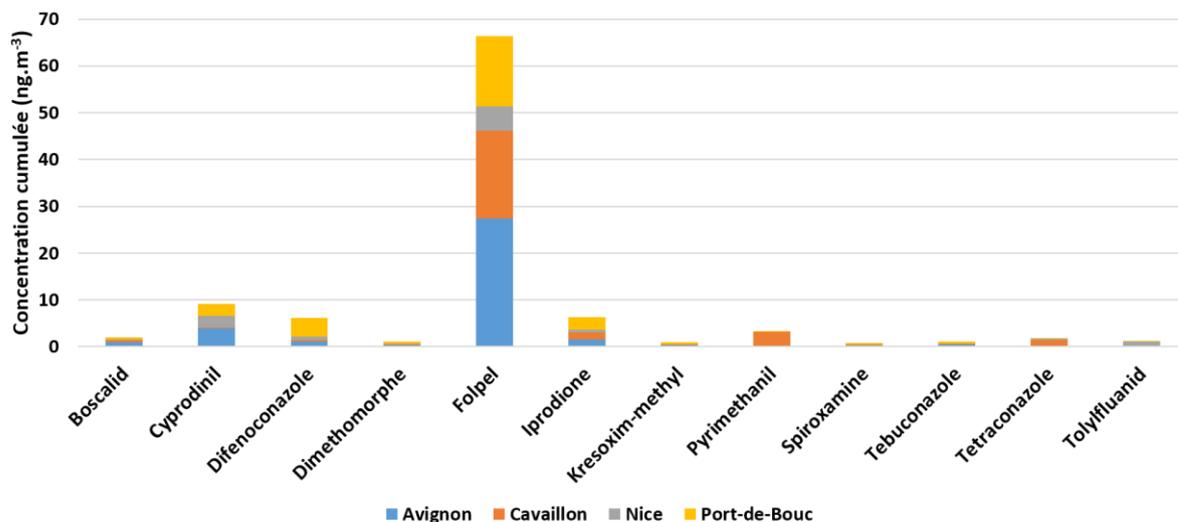


**Figure 13 . Concentrations cumulées en insecticides réparties selon les sites de mesures associés**

Pendant la période printemps-été, les insecticides deviennent davantage présents dans l'air. La prolifération d'insectes durant la saison estivale, menace les cultures et autres aménagements non agricoles. Le principal insecticide relevé dans la région est la **perméthrine** (Figure 13). Les teneurs d'insecticides dépassant  $1 \text{ ng.m}^{-3}$  ont été mesurées trois fois. Ces valeurs conséquentes correspondent par deux fois au **chlorpyrifos-éthyl** et une fois au **chlorpyrifos-méthyl**, composé nouvellement recherché en 2017. Anciennement très important dans la région, le chlorpyrifos-éthyl a vu ses concentrations baisser au profit de la perméthrine. Avec 37 % des valeurs totales d'insecticides observées à Nice, ce site est le plus influent concernant cette famille de pesticides. C'est d'autant plus remarquable sur les teneurs en perméthrine de la région, qui représentent  $10,8 \text{ ng.m}^{-3}$  et proviennent à 63 % du site de mesure niçois. L'application des insecticides est marquée par un usage plus diversifié en ville, accentué ici par les cultures horticoles localisées à l'ouest de Nice (ANNEXE 7). Ceci suggère un transport de molécules, des zones agricoles vers les zones urbaines.

Les concentrations mesurées en insecticides sont principalement plus fortes que pour les herbicides. Hormis la perméthrine, ce sont deux autres insecticides qui admettent des concentrations cumulées importantes. Premièrement, le **lindane**, largement en tête des molécules les plus quantifiées, a été observé avec une concentration de  $6,4 \text{ ng.m}^{-3}$ . La provenance de ces résultats est équitable entre tous les sites de mesures. De plus, sa variabilité saisonnière et annuelle est quasiment nulle. Cette tendance a été vérifiée sur tout le territoire français. La deuxième substance évoquée ici est le chlorpyrifos-éthyl. Ce composé a longtemps été la substance la plus retrouvée dans la région. Les concentrations de cette substance ont atteint jusqu'à  $727,5 \text{ ng.m}^{-3}$  en 2012 contre  $5,8 \text{ ng.m}^{-3}$  en 2017.

### 2.3.3 Les fongicides



**Figure 14 . Concentrations cumulées en fongicides réparties selon les sites de mesures associés**

Comme pour les herbicides et les insecticides, les fongicides détiennent des concentrations majoritairement inférieures à  $0,2 \text{ ng.m}^{-3}$ . Cependant, le nombre de détections supérieures à  $1 \text{ ng.m}^{-3}$  est bien plus élevé pour cette famille de pesticides. Entre autre, ce sont 32 détections qui ont été observées et dépassant ce seuil, dont près de 70 % émanent d'Avignon et Cavaillon. Seul Nice est très peu touché par ces résultats. La majeure partie de ces observations est essentiellement due au **folpel**, composé présent sur tous les sites de mesures. Il n'est donc pas étonnant de voir la prédominance du folpel sur les autres substances fongicides. Les  $66,3 \text{ ng.m}^{-3}$ , que compte la concentration cumulée en folpel (Figure 14), représentent 66 % des concentrations en fongicides, toutes substances et sites confondus. Comparé aux herbicides ( $23,8 \text{ ng.m}^{-3}$ ) et aux insecticides ( $38,4 \text{ ng.m}^{-3}$ ), les fongicides ( $100,8 \text{ ng.m}^{-3}$ ) sont relativement plus présents en région PACA. Ceci est notamment explicable par le traitement intense au printemps, attribuable à une météo favorable au développement des champignons.

Bien que le **boscalid** ait une fréquence de détection mesurée dans les plus élevées de la région, les concentrations qui lui sont associées ne dépassent pas  $2 \text{ ng.m}^{-3}$ . Le cyprodinil, quant à lui, obtient une concentration de  $9,1 \text{ ng.m}^{-3}$ , ce qui représente le deuxième taux le plus élevé en fongicide.

### 2.4 Les composés interdits à la vente sont présents dans l'atmosphère

Les composés interdits se retrouvent, eux aussi, dans l'air ambiant. Les composés concernés sont au nombre de deux : le **fipronil** et le **tolyfluanid**. Le nombre de détections de ces composés est respectivement de 7 et 10 détections. Le principal site de mesure touché est celui placé à Nice (10 détections). Principalement dû au tolyfluanid, cette présence peut s'expliquer par l'utilisation de cette substance comme biocide. Notamment présent dans la composition des peintures pour bateau, la proximité du site avec le port de Nice est sans doute une explication acceptable quant à la détection de ce composé dans l'air.

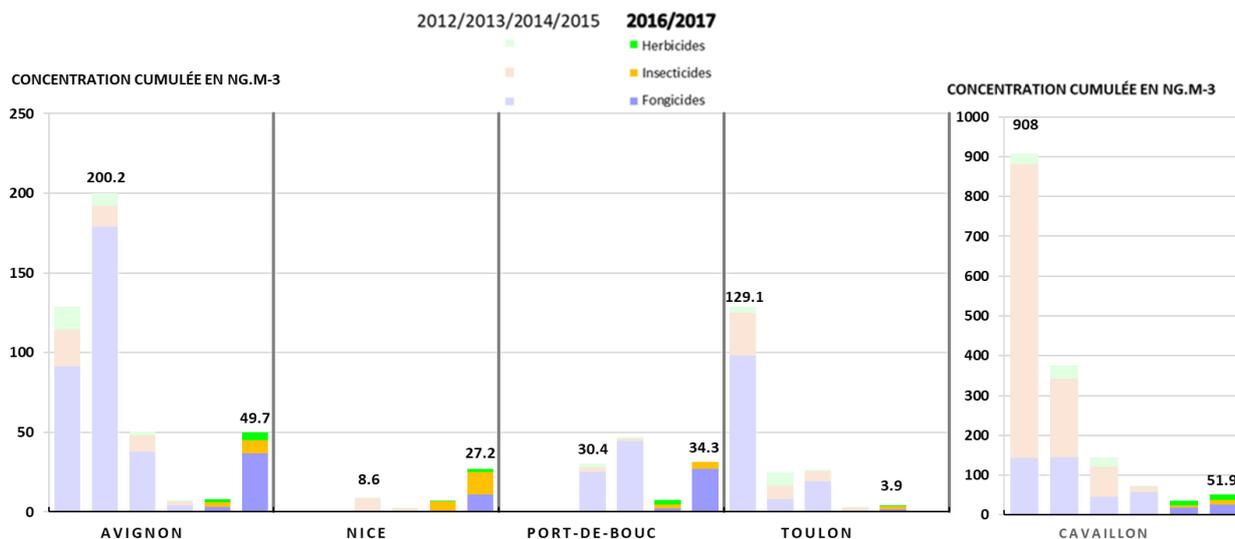
Sa concentration dépasse tout juste  $1 \text{ ng.m}^{-3}$ . En ce qui concerne le fipronil, son utilisation est principalement en tant qu'antiparasitaire vétérinaire et a été par le passé, un pesticide permettant le traitement des semences de maïs. Sa concentration n'excède pas  $0,2 \text{ ng.m}^{-3}$ .

Récemment, la Commission européenne a fait savoir l'interdiction de trois néonicotinoïdes dits « tueurs d'abeilles ». Cette interdiction prendra effet en décembre 2018 et concerne la **clothianidine**, l'**imidaclopride** et le **thiaméthoxame**. Les deux derniers composés cités ont été recherchés dans l'air en 2017. Aucun de ces composés n'a été détecté.



En 2017, 5 des 9 nouvelles molécules recherchées sont détectées (le triallate, le chlorpyriphos-méthyl, l'époxiconazole, le fluazinam et le tolylfluanid). L'apparition de composés déjà recherchés dans le passé, mais jamais ou très peu détectés, fait la particularité de la campagne 2017. L'augmentation considérable de ce nombre de molécules est un phénomène d'ampleur régional.

### 3.2 Variations des concentrations mesurées : une large tendance à la baisse



\*Le total des concentrations cumulées est indiqué au-dessus de certains histogrammes.

**Figure 16 . Évolutions des concentrations cumulées par site entre 2012 et 2017.**

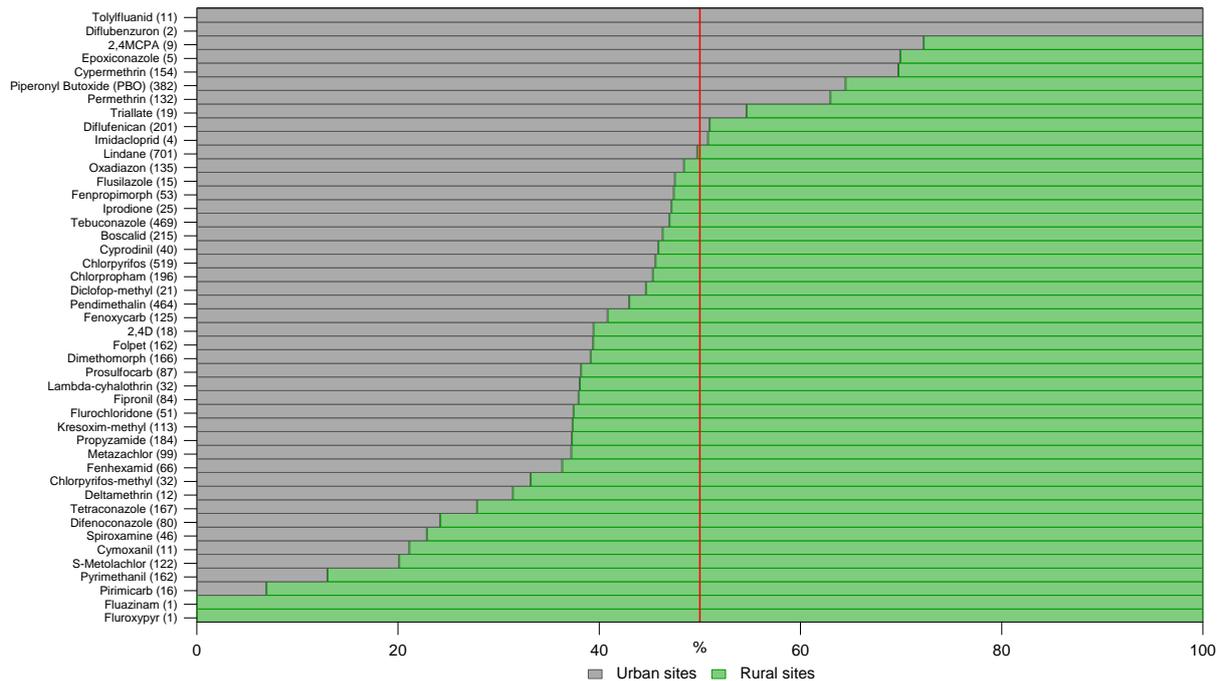
La principale information qu'apporte la Figure 16 est la prédominance des concentrations observées en zone rurale, à Cavaillon. Avec 908 ng.m<sup>-3</sup>, les concentrations relevées lors de l'année 2012, laissent à penser qu'un intense traitement phytosanitaire est à l'origine de ces résultats. L'influence majeure de ces résultats provient principalement des insecticides et d'un composé en particulier : le **chlorpyriphos-éthyl**. Un échantillon de mai 2012 a atteint une valeur de 407,8 ng.m<sup>-3</sup> pour ce composé (cf. 3.3).

La baisse des concentrations en pesticides dans l'air, est observée à Avignon, Toulon et Cavaillon. Pour ce dernier site de mesure, la chute est de -94 %, passant de 908 ng.m<sup>-3</sup> à 51,9 ng.m<sup>-3</sup>. Une campagne d'information initiée par les élus locaux auprès des agriculteurs explique, en partie, cette forte baisse. Au contraire, sur les sites de Nice et Port-de-Bouc, l'évolution est plutôt à la hausse.

Sur quasiment tous les sites, le minimum de concentration de pesticides dans l'air est observé en 2016. La principale raison en est l'absence du **folpel**, fongicide présent à des taux élevés les années précédentes. La réapparition du folpel l'année suivante, explique aussi l'augmentation globale observée en 2017. De plus, l'émergence de nouveaux composés vient accentuer les résultats obtenus. Ce phénomène d'envergure est constaté sur tous les sites de mesures.

L'évolution des résultats, par site et par année, est disponible sous forme de tableau en ANNEXE 10.

### 3.3 Cas particuliers : le site rural de Cavaillon et le *chlorpyrifos-éthyl*



\*Le nombre entre parenthèses, indique le total d'échantillons où la substance associée a été détectée

**Figure 17 . Distribution des fréquences de détection opposant les sites urbains (en gris) au site rural (en vert) [18].**

La Figure 17 met en évidence que la plupart des substances actives, ces six dernières années, sont retrouvées en majorité sur des sites de typologies rurales (78 %). Certaines substances ne sont présentes que sur des sites urbains (le tolylfluanid et le diflubenzuron). Elles sont détectées à plusieurs reprises au cours des années (respectivement 11 et 2 fois). Également, il est observé la présence de certaines substances uniquement retrouvées sur le site rural de Cavaillon. Néanmoins, elles ont été détectées qu'à une reprise chacune :

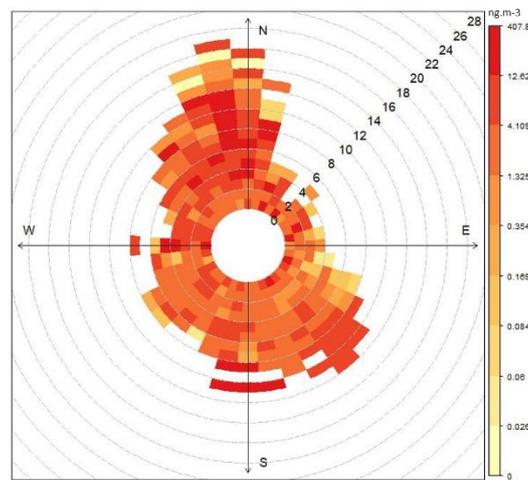
- Le fluazinam : ayant été recherché uniquement en 2017, des mesures au cours des années à venir seront nécessaires pour statuer sur la présence du composé dans la région.
- Le fluroxypyr : recherché depuis 2012, il a été détecté qu'une seule fois et n'est donc pas ou peu présent dans la région.

La quasi-totalité des substances est détectée sur les deux types de sites, urbains et ruraux, même les substances utilisées pour des cultures spécifiques : par exemple, le triallate, utilisé pour la culture de betterave et d'oléagineux. Il y a donc transport des pesticides utilisés dans les zones rurales jusque dans les zones urbaines par le biais du vent [18].

En croisant les roses de polluants avec les données de vitesse et de direction de vent, il est possible d'émettre une analyse sur le transport des composés détectés. La Figure 18, représente les concentrations en *chlorpyrifos-éthyl* selon la direction et la vitesse de vent (valeur indiquée en diagonale et en m.s<sup>-1</sup>) pour les journées spécifiques où des prélèvements de substances actives ont été effectués durant six ans à Cavaillon. Plus la cellule est de couleur rouge et plus la concentration est élevée. Étant donné la variation du maximum de concentration, l'échelle placée à droite de la figure s'adapte selon les mesures relevées. Le

chlorpyriphos-éthyl exposé ci-dessous est le composé ayant enregistré les maximums de cumuls sur ces six dernières années d'études.

Le Mistral, vent dominant dans l'ouest de la région, est clairement représenté en secteur Nord-Nord-Ouest. Ce vent atteint même un maximum de  $17 \text{ m.s}^{-1}$  à Cavaillon. Ces valeurs élevées de vent, indiquent qu'un ré-envol de pesticides a pu avoir lieu et donc que les résultats obtenus découlent d'un transport de molécules éloignées. Le chlorpyriphos-éthyl est utilisé en agriculture viticole, prépondérante dans les zones situées au Nord-Ouest et au Sud-Est du point de mesure (ANNEXE 7). Il est donc très probable que cet insecticide provienne du traitement de ces parcelles en présence de vents forts du Nord-Ouest et du Sud-Est. Les plus fortes concentrations sont d'ailleurs présentes en secteur Nord. De plus, le chlorpyriphos-éthyl est utilisé en agriculture fruitière. Le site de mesure est entouré de cultures arboricoles (ANNEXE 7). En présence de vent faible, le site de mesure est sous l'influence locale des parcelles fruitières alentours.



**Figure 18 . Rose de pollution intégrant les données météorologiques et les concentrations de chlorpyriphos-éthyl, récoltées entre 2012 et 2017 à Cavaillon.**

### 3.4 Les limites du sujet

La sélection préalable des substances à rechercher, permet de prioriser les composés pertinents à observer. La liste réduite qui en résulte est plus facile à exploiter et permet d'améliorer les connaissances de l'exposition des populations aux niveaux des pesticides dans l'atmosphère.

Néanmoins, cette priorisation met de côté de nombreuses substances potentiellement nocives pour la santé. À cela, il faut rajouter un nombre de substances actives très important sur le marché. S'intéresser à l'ensemble de ces substances représenterait un coût et des moyens logistiques trop importants.

Le défaut de réglementation vis-à-vis des pesticides dans l'air, n'aide pas à la décision lorsqu'il s'agit de faire prévaloir la surveillance d'un composé plutôt qu'un autre. Les institutions telles que l'Institut de Veille Sanitaire, tente de pallier à ce manque de connaissances en étudiant les conséquences dangereuses que peut causer l'inhalation de

produits phytosanitaires sur la santé. Des outils existent pourtant, mais ils ne sont fixés que pour des expositions de types ingestion alimentaire ou intoxication par l'eau dans le cas des substances étudiées, et n'ont pas encore été déterminé dans l'air ambiant. Un de ces outils est la Valeur Toxicologique de Référence (VTR). C'est une valeur de référence sanitaire définie par l'ANSES et représente un indice toxicologique qui met en relation une dose et une probabilité d'effet. La durée d'exposition est un facteur pris en compte par les VTR. Pour avoir cette valeur en fonction d'une exposition due à l'inhalation, il faut transposer la valeur obtenue pour une exposition par ingestion. Ceci ne présente pas un bon indicateur concernant les pesticides dans l'air ambiant. C'est donc un sujet à explorer pour permettre une meilleure estimation de l'exposition des populations.

Enfin, pour conclure sur les limites du sujet, le traitement des données de grande envergure couplé à un nombre important de sites de mesures, rend compliquée l'interprétation des résultats. Ajouté à cela, la liste des molécules à rechercher est changeante en fonction des années, il est donc souvent difficile d'émettre une explication quant à l'apparition ou la disparition d'un composé. Pour permettre d'étudier les évolutions des concentrations dans l'atmosphère, le développement d'outils propres aux pesticides est essentielle pour appuyer les études à venir.

## Conclusion

Ce travail a permis, dans un premier temps, de mettre en évidence les spécificités d'usage des pesticides en fonction du type de zone étudiée :

- Les zones rurales, influencées par la météorologie saisonnière, rencontrent des concentrations élevées, le plus fréquemment au printemps. Les herbicides et les fongicides sont prédominants dans ces zones où l'agriculture est très présente.
- Tandis qu'en zones urbaines, l'usage des pesticides est plus varié et est marqué par la prédominance des insecticides.

Les concentrations cumulées en pesticides ont diminué entre 2012 et 2017 sur les sites d'Avignon, Cavaillon et Toulon. Les concentrations élevées proviennent majoritairement du site rural de Cavaillon. La diminution dans le temps des concentrations mesurées en pesticides montre l'efficacité des plans visant à limiter l'utilisation des produits phytosanitaires, le cas du chlorpyrifos-éthyl en est un parfait exemple. Sous l'impulsion des campagnes d'informations, certaines communes décident de revoir leur politique en terme d'utilisation de produits phytosanitaires. Par exemple, la ville de Cannes a fait l'effort de s'engager dans une charte recommandant l'utilisation « zéro pesticide ». D'ailleurs, lors des campagnes de l'Observatoire des Résidus de Pesticides en PACA, la ville de Cannes a obtenu les plus faibles concentrations cumulées en pesticides [19].

La réduction des produits phytosanitaires dans le compartiment aérien passe par la prise de conscience des agriculteurs et des particuliers. Il est essentiel de continuer à observer et améliorer nos connaissances afin d'établir une réglementation sur les pesticides dans l'air.

## Perspectives

La saisine 2017 de l'ANSES [20] recommande la surveillance nationale des pesticides dans l'air ambiant. Ainsi, les stratégies d'échantillonnages, de prélèvements et d'analyses seront homogénéisées afin que les résultats des différentes régions de France soient comparables. Les données récoltées seront partagées dans la base de données PHYT'ATMO. Une première campagne nationale est en cours de réalisation. Suite aux travaux des AASQA et de l'ANSES, une liste de 90 substances prioritaires a été dévoilée. Les prélèvements dureront un an et seront effectués sur trois sites de mesures en région PACA : Cavaillon, Avignon et Carpentras.

Récemment, le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation a annoncé son envie de renforcer le plan ECOPHYTO [21]. Un plan de financement est prévu pour accompagner les agriculteurs et ainsi diminuer leur utilisation de pesticides. Ce plan sera soumis à la consultation publique avant fin 2018.

## **Conclusion personnelle**

Ce stage a été très instructif pour moi. Cette expérience m'a permis de me confronter au monde du travail et de collaborer avec l'ensemble des acteurs concernés. J'ai pu, à travers ce stage, participer concrètement à l'activité de l'entreprise, notamment en prenant l'initiative de partir sur le terrain avec l'équipe technique. Mon envie de partir sur le terrain vient de mon questionnement sur l'origine des données que j'étudiais. J'ai ainsi pu installer une nouvelle station de mesure et en apprendre davantage sur l'appareillage et les techniques de prélèvements, ce qui a éveillé ma curiosité sur le futur de ma carrière. J'ai su comprendre qu'un bon suivi des projets tient à la communication entre tous les services. Ce stage m'a donné l'envie de piloter un projet jusqu'à son terme tout en animant une équipe. C'est pour cela, que j'aimerais m'orienter vers une carrière de chef de projet.

L'entreprise qui m'a accueilli pendant ce stage, doit sans cesse se renouveler pour entreprendre de nouvelles actions de surveillance. L'évolution de l'entreprise sert un objectif commun à toutes les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air qui est d'informer le grand public. Les travaux qui en résultent ont une grande influence sur la société et permettent aux autorités compétentes d'adapter les lois pour une meilleure qualité de vie. Je suis donc fier d'avoir pu contribuer à la surveillance des pesticides dans l'air, qui pour le moment est un sujet encore peu exploité.

Les différents stages que j'ai pu effectuer dans mon cursus scolaire, m'ont apporté une expérience dans les métiers de l'environnement et de la météorologie. Mon objectif est d'intégrer une entreprise dans l'un de ces domaines pour y développer une idée innovante projetée vers l'avenir.

## Bibliographie

- [1] AtmoSud, « Observatoire des Résidus de Pesticides en région PACA - Bilan 2016/2017 », 2018.
- [2] ORP PACA, LCE, « Observatoire des Résidus de Pesticides en région PACA : résultats 2012. », 2012.
- [3] INSERM, « Pesticides : Effets sur la santé ». 2013.
- [4] InVS, « Estimation de l'exposition environnementale aux produits phytosanitaires d'usage agricole - Utilisation des données géographiques nationales disponibles », 2016.
- [5] Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, en charge des relations internationales sur le climat, « Pesticides : Evolution des ventes, des usages et de la présence dans les cours d'eau depuis 2009 », 2017.
- [6] ANSES, « Phytopharmacovigilance : Fiches de synthèse des données de surveillance et de vigilance par substance active », 2017.
- [7] INERIS, « Pesticides dans l'air ambiant ». 2001.
- [8] J. SOCORRO, « Etude de la réactivité hétérogène de pesticides adsorbés sur des particules modèles atmosphériques : cinétiques et produits de dégradation. », Université AIX-MARSEILLE, 2015.
- [9] G. R. Kruger, « Spray drift of pesticides », University of Nebraska, Institute of Agriculture and Natural Resources, 2013.
- [10] International Polar Foundation, « Les "POPs" et autres polluants des régions polaires: situations de l'arctique et de l'antarctique », 12-avr-2018.
- [11] LCSQA, « Observation des niveaux de concentration en pesticides dans l'air ambiant », 2009.
- [12] ANSES, « Recommandations et perspectives pour une surveillance nationale de la contamination de l'air par les pesticides », 2010.
- [13] Air PACA, « Mise en place d'un observatoire des résidus de pesticides (ORP) en PACA - Note technique ». 2012.
- [14] ORP PACA, « Bilan d'activité 2011 », Air PACA, 2011.
- [15] Air PACA, LCE, « Observatoire des Résidus de Pesticides en région PACA : synthèse - résultats 2013. », 2013.
- [16] ORP PACA, LCE, « Observatoire des Résidus de Pesticides en région PACA : résultats 2012-2013-2014. », 2014.
- [17] ORP PACA, LCE, « Observatoire des Résidus de Pesticides en région PACA : résultats 2015. », 2015.
- [18] Marine Désert, Sylvain Ravier, Grégory Gille, Angéline Quinapallo, Alexandre Armengaud, Gabrielle Pochet, Jean-Luc Savelli, Henri Wortham, Etienne, et Quivet, « Spatial et temporal distribution of Current-Use Pesticides in ambient air of Provence-Alpes-Côte-d'Azur Region and Corsica, France ». Atmospheric Environment, 2018.
- [19] Air PACA, « Zéro pesticides dans les espaces verts <https://www.lesbonsplanspourl'air.org/-Zero-pesticides-dans-les-espaces->. »
- [20] ANSES, « Proposition de modalités pour une surveillance des pesticides dans l'air ambiant », 2017.
- [21] Communiqué de presse, « Nicolas Hulot, Agnès Buzyn, Stéphane Travert et Frédérique Vidal donnent une nouvelle impulsion au plan Ecophyto. » 27-juill-2018.

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 . Stratégie d'échantillonnage (nombre de prélèvements par site) 2017 .....	9
Tableau 2 . Liste des molécules herbicides, insecticides et fongicides d'intérêt .....	10

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 . Classification réglementaire des pesticides [1] .....	1
Figure 2 . Transfert et comportement des pesticides dans l'atmosphère [7] .....	4
Figure 3 . L'effet sauterelle [7] .....	5
Figure 4 . Préleveur haut débit (DA 80).....	7
Figure 5 . Carte de localisation des sites de mesures de 2012 à 2017 en région PACA.....	8
Figure 6 . Rose des vents.....	11
Figure 7 . Températures et précipitations en 2017.....	12
Figure 8 . Humidités relatives en 2017.....	13
Figure 9 . Pourcentage de détection cumulé de pesticides sur tous les sites de mesures .....	14
Figure 10 . Concentrations cumulées par site.....	15
Figure 11 . Répartition des concentrations mesurées suivant trois classes .....	16
Figure 12 . Concentrations cumulées en herbicides réparties selon les sites de mesures associés.....	17
Figure 13 . Concentrations cumulées en insecticides réparties selon les sites de mesures associés.....	18
Figure 14 . Concentrations cumulées en fongicides réparties selon les sites de mesures associés.....	19
Figure 15 . Nombre de molécules détectées entre 2012 et 2017 .....	21
Figure 16 . Évolutions des concentrations cumulées par site entre 2012 et 2017.....	22
Figure 17 . Distribution des fréquences de détection opposant les sites urbains (en gris) au site rural (en vert) [17]. .....	23
Figure 18 . Rose de pollution intégrant les données météorologiques et les concentrations de chlorpyrifos-éthyl, récoltées entre 2012 et 2017 à Cavaillon.....	24

## LISTE DES CARTOGRAPHIES

Cartographie 1 . Ventes de pesticides en 2015 en France [5] .....	2
---	---

# ANNEXES

## ANNEXE 1. Limites de quantification

Pesticide	Limite de quantification (ng.m-3)
2,4D	0,240
2,4MCPA	0,120
Aclonifen	0,475
Amitrole	0,720
Boscalid	0,015
Chlorpropham	0,013
Chlorpyrifos Ethyl	0,030
Chlorpyrifos-Méthyl	0,071
Clomazone	0,022
Cymoxanil	0,560
Cypermethrin	0,043
Cyprodinil	0,270
Deltamethrin	0,400
Diclofop-methyl	0,015
Difenoconazole	0,100
Diflubenzuron	0,740
Diflufenican	0,010
Dimethenamid-P	0,025
Dimethomorph	0,020
Epoxiconazole	0,021
Esbiothrin	0,345
Fenhexamid	0,020
Fenoxycarb	0,300
Fenpropidine	0,187
Fenpropimorph	0,010
Fipronil	0,015
Flazasulfuron	0,490
Fluazinam	0,217
Flumioxazine	0,387
Flurochloridone	0,010
Fluroxypyr	0,210
Flusilazole	0,010
Folpet	1,700
Imidaclopride	0,270
Iprodion	0,250
Isoproturon	0,238
Kresoxim-methyl	0,015
Lambda-cyhalothrin	0,100
Lenacil	0,102
Lindane	0,015
Linuron	0,020
Metazachlor	0,020
S-Metolachlor	0,040
Oxadiazon	0,025
Permethrin	0,071
Pendimethalin	0,015
Piperonyl Butoxide (PBO)	0,015
Pirimicarb	0,040
Propyzamide	0,015
Prosulfocarb	0,015
Pyrimethanil	0,015
Spiroxamine	0,150
Sulcotrione	1,200
Tebuconazole	0,010
Terbutylazine	0,060
Tetraconazole	0,010
Tolyfluanid	0,090
Thiamethoxame	1,500
Triallat	0,026

## ANNEXE 2. Occupation du sol à Avignon et Cavailon

### Legende

#### CORINE Land Cover

##### Territoires artificialisés - Zones urbanisées

- 111 : Tissu urbain continu
- 112 : Tissu urbain discontinu

##### Territoires artificialisés - Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication

- 121 : Zones industrielles et commerciales
- 122 : Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés
- 123 : Zones portuaires
- 124 : Aéroports

##### Territoires artificialisés - Mines, décharges et chantiers

- 131 : Extraction de matériaux
- 132 : Décharges
- 133 : Chantiers

##### Territoires artificialisés - Espaces verts artificialisés, non agricoles

- 141 : Espaces verts urbains
- 142 : Equipements sportifs et de loisirs

##### Territoires agricoles - Terres arables

- 211 : Terres arables hors périmètres d'irrigation
- 212 : Périmètres irrigués en permanence

##### Territoires agricoles - Cultures permanentes

- 221 : Vignobles
- 222 : Vergers et petits fruits

##### Territoires agricoles - Prairies

- 231 : Prairies

##### Territoires agricoles - Zones agricoles hétérogènes

- 242 : Systèmes culturaux et parcellaires complexes
- 243 : Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants

##### Forêts et milieux semi-naturels - Forêts

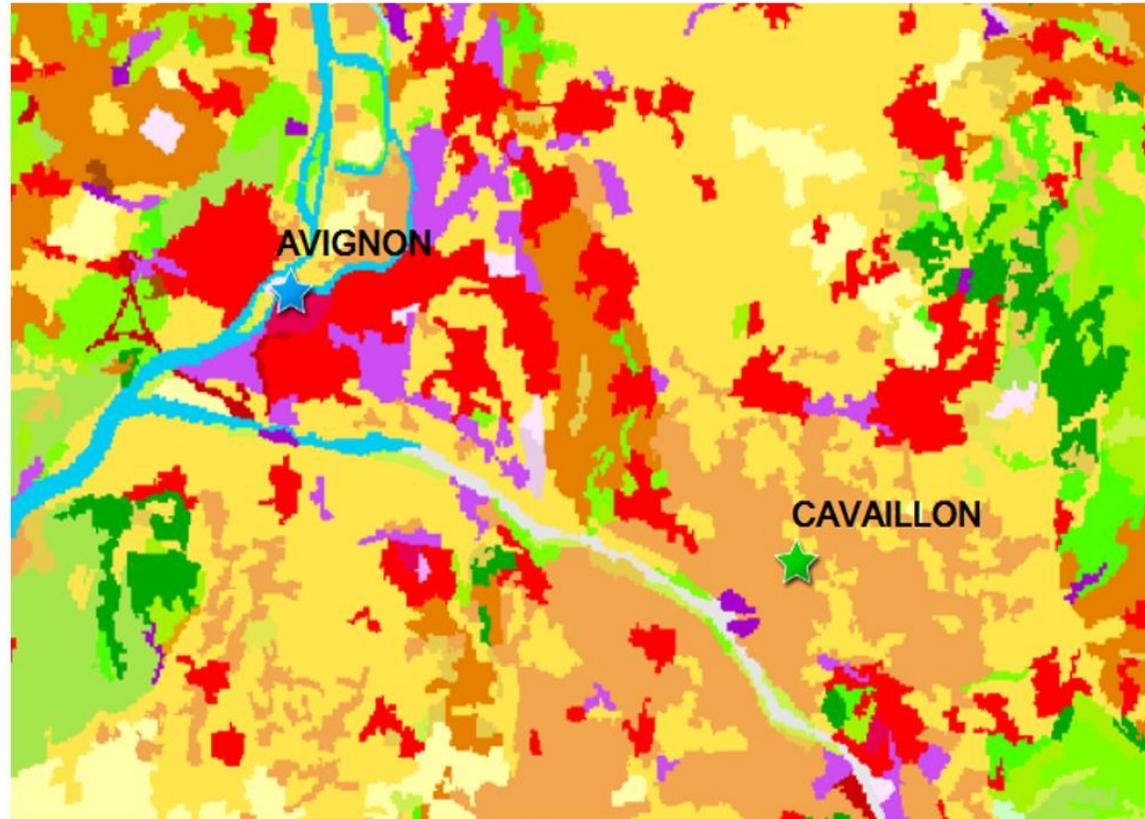
- 311 : Forêts de feuillus
- 312 : Forêts de conifères
- 313 : Forêts mixtes

##### Forêts et milieux semi-naturels - Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée

- 321 : Pelouses et pâturages naturels
- 322 : Landes et broussailles
- 324 : Forêt et végétation arbustive en mutation

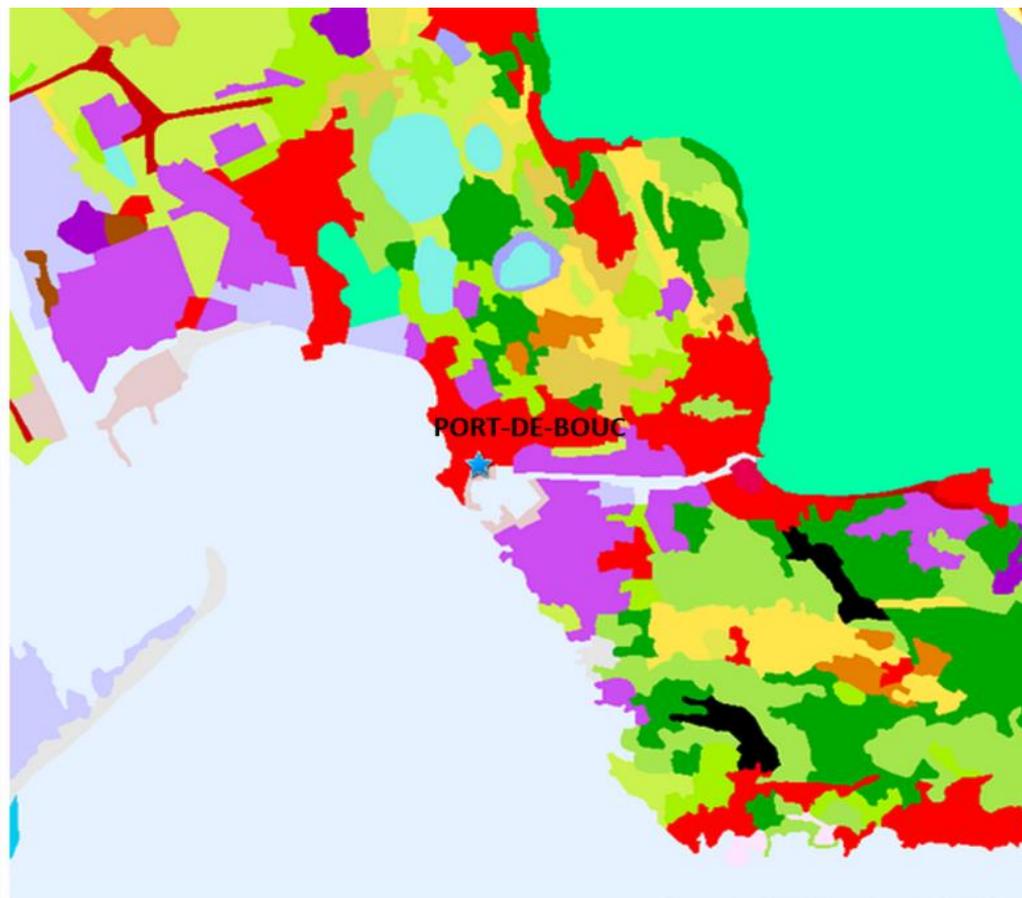
##### Forêts et milieux semi-naturels - Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation

- 331 : Plages, dunes et sable
- 332 : Roches nues
- 333 : Végétation clairsemée
- 335 : Glaciers et neiges éternelles



Source : CORINE Land Cover

### ANNEXE 3. Occupation du sol à Port-de-Bouc



Source : CORINE Land Cover

## ANNEXE 4. Occupation du sol à Cannes et Nice

### Legende

#### CORINE Land Cover

##### Territoires artificialisés - Zones urbanisées

- 111 : Tissu urbain continu
- 112 : Tissu urbain discontinu

##### Territoires artificialisés - Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication

- 121 : Zones industrielles et commerciales
- 122 : Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés
- 123 : Zones portuaires
- 124 : Aéroports

##### Territoires artificialisés - Mines, décharges et chantiers

- 131 : Extraction de matériaux
- 132 : Décharges
- 133 : Chantiers

##### Territoires artificialisés - Espaces verts artificialisés, non agricoles

- 141 : Espaces verts urbains
- 142 : Equipements sportifs et de loisirs

##### Territoires agricoles - Terres arables

- 211 : Terres arables hors périmètres d'irrigation
- 212 : Périmètres irrigués en permanence

##### Territoires agricoles - Cultures permanentes

- 221 : Vignobles
- 222 : Vergers et petits fruits

##### Territoires agricoles - Prairies

- 231 : Prairies

##### Territoires agricoles - Zones agricoles hétérogènes

- 242 : Systèmes culturaux et parcellaires complexes
- 243 : Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants

##### Forêts et milieux semi-naturels - Forêts

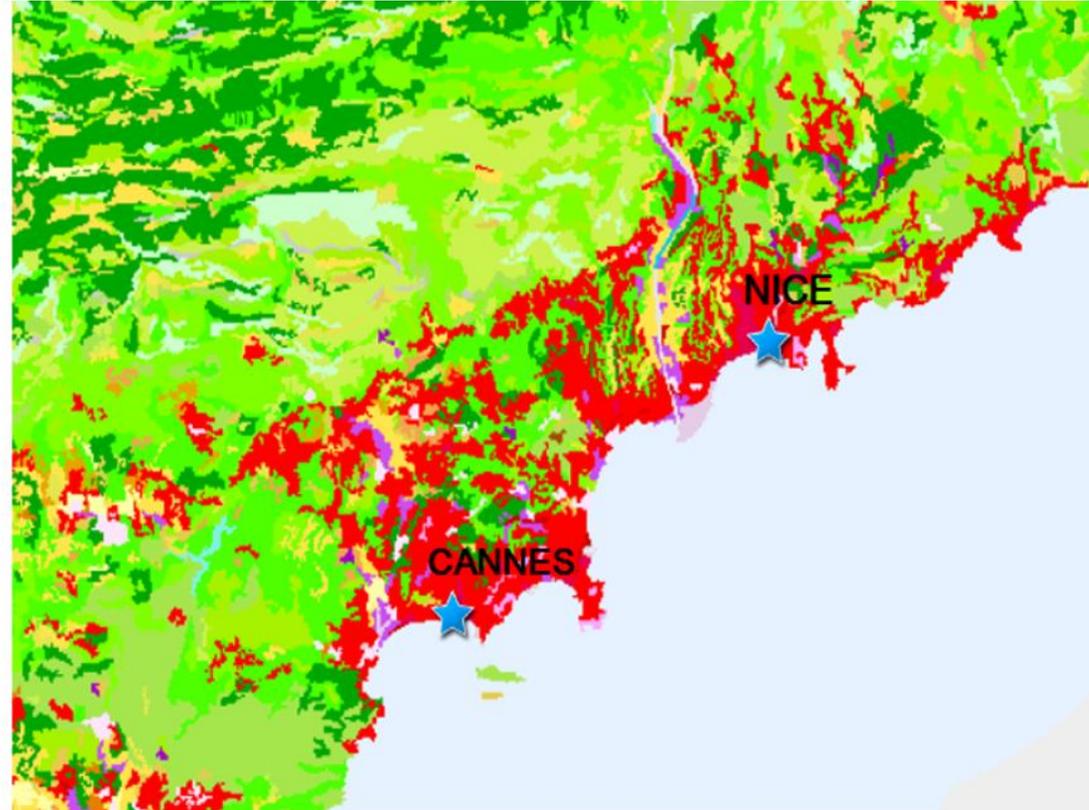
- 311 : Forêts de feuillus
- 312 : Forêts de conifères
- 313 : Forêts mélangées

##### Forêts et milieux semi-naturels - Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée

- 321 : Pelouses et pâturages naturels
- 322 : Landes et broussailles
- 324 : Forêt et végétation arbustive en mutation

##### Forêts et milieux semi-naturels - Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation

- 331 : Plages, dunes et sable
- 332 : Roches nues
- 333 : Végétation clairsemée
- 335 : Glaciers et neiges éternelles



Source : CORINE Land Cover

## ANNEXE 5. Occupation du sol à Arles

### Legende

#### CORINE Land Cover

##### Territoires artificialisés - Zones urbanisées

- 111 : Tissu urbain continu
- 112 : Tissu urbain discontinu

##### Territoires artificialisés - Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication

- 121 : Zones industrielles et commerciales
- 122 : Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés
- 123 : Zones portuaires
- 124 : Aéroports

##### Territoires artificialisés - Mines, décharges et chantiers

- 131 : Extraction de matériaux
- 132 : Décharges
- 133 : Chantiers

##### Territoires artificialisés - Espaces verts artificialisés, non agricoles

- 141 : Espaces verts urbains
- 142 : Equipements sportifs et de loisirs

##### Territoires agricoles - Terres arables

- 211 : Terres arables hors périmètres d'irrigation
- 212 : Périmètres irrigués en permanence

##### Territoires agricoles - Cultures permanentes

- 221 : Vignobles
- 222 : Vergers et petits fruits

##### Territoires agricoles - Prairies

- 231 : Prairies

##### Territoires agricoles - Zones agricoles hétérogènes

- 242 : Systèmes culturaux et parcellaires complexes
- 243 : Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants

##### Forêts et milieux semi-naturels - Forêts

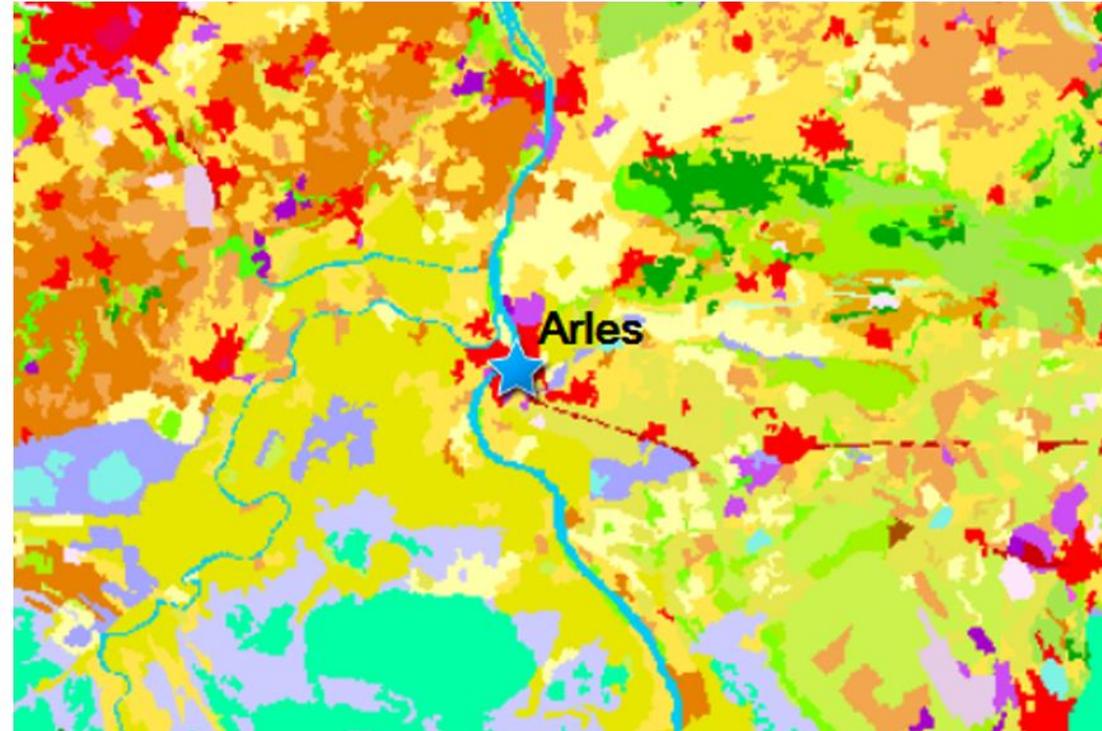
- 311 : Forêts de feuillus
- 312 : Forêts de conifères
- 313 : Forêts mélangées

##### Forêts et milieux semi-naturels - Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée

- 321 : Pelouses et pâturages naturels
- 322 : Landes et broussailles
- 324 : Forêt et végétation arbustive en mutation

##### Forêts et milieux semi-naturels - Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation

- 331 : Plages, dunes et sable
- 332 : Roches nues
- 333 : Végétation clairsemée
- 335 : Glaciers et neiges éternelles



Source : CORINE Land Cover

## ANNEXE 6. Occupation du sol à Toulon

### Legende

#### CORINE Land Cover

##### Territoires artificialisés - Zones urbanisées

- 111 : Tissu urbain continu
- 112 : Tissu urbain discontinu

##### Territoires artificialisés - Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication

- 121 : Zones industrielles et commerciales
- 122 : Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés
- 123 : Zones portuaires
- 124 : Aéroports

##### Territoires artificialisés - Mines, décharges et chantiers

- 131 : Extraction de matériaux
- 132 : Décharges
- 133 : Chantiers

##### Territoires artificialisés - Espaces verts artificialisés, non agricoles

- 141 : Espaces verts urbains
- 142 : Equipements sportifs et de loisirs

##### Territoires agricoles - Terres arables

- 211 : Terres arables hors périmètres d'irrigation
- 212 : Périmètres irrigués en permanence

##### Territoires agricoles - Cultures permanentes

- 221 : Vignobles
- 222 : Vergers et petits fruits

##### Territoires agricoles - Prairies

- 231 : Prairies

##### Territoires agricoles - Zones agricoles hétérogènes

- 242 : Systèmes culturaux et parcellaires complexes
- 243 : Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants

##### Forêts et milieux semi-naturels - Forêts

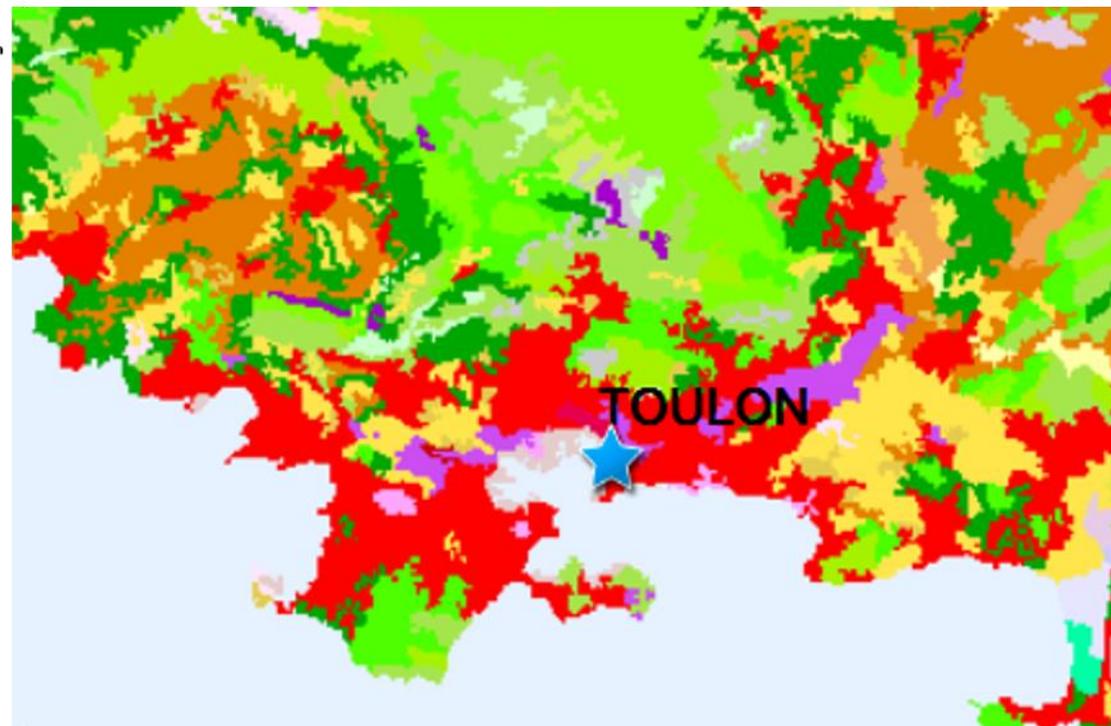
- 311 : Forêts de feuillus
- 312 : Forêts de conifères
- 313 : Forêts mélangées

##### Forêts et milieux semi-naturels - Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée

- 321 : Pelouses et pâturages naturels
- 322 : Landes et broussailles
- 324 : Forêt et végétation arbustive en mutation

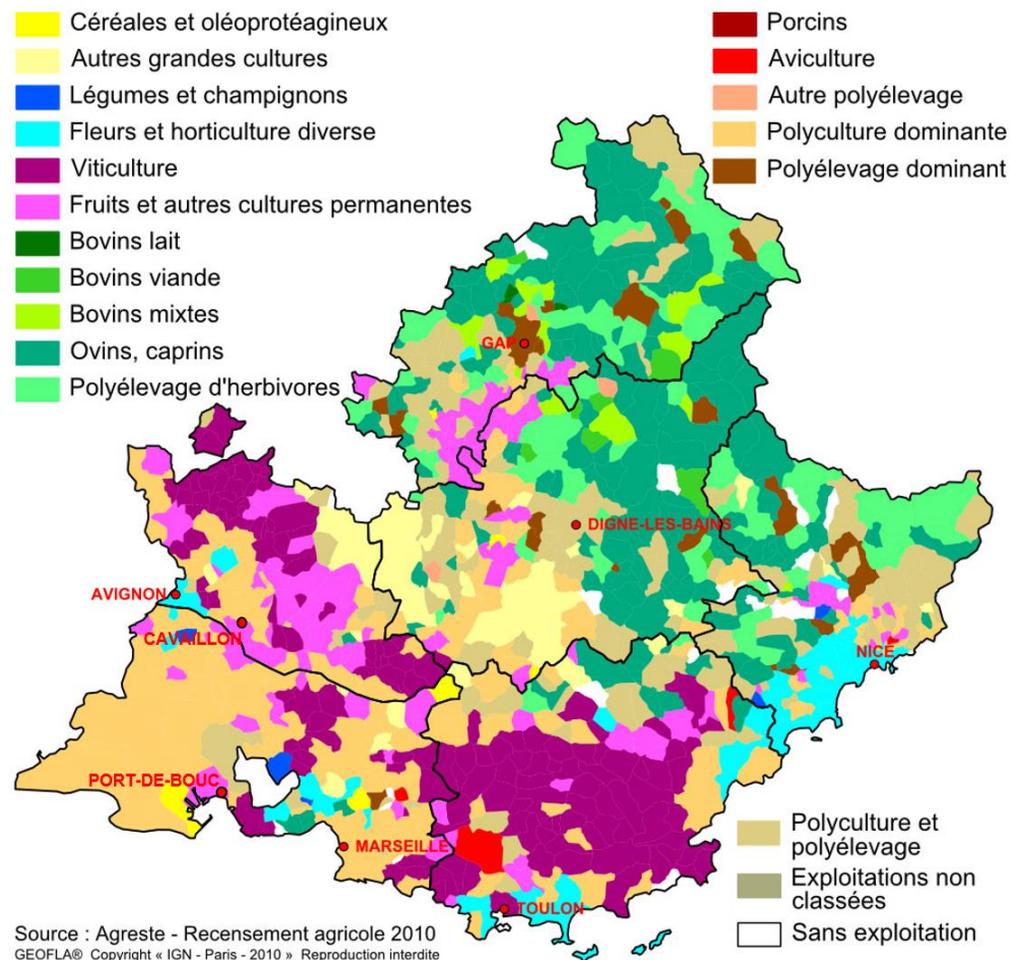
##### Forêts et milieux semi-naturels - Espaces ouverts, sans ou avec peu de végétation

- 331 : Plages, dunes et sable
- 332 : Roches nues
- 333 : Végétation clairsemée
- 335 : Glaciers et neiges éternelles



Source : CORINE Land Cover

## ANNEXE 7. Recensement des parcelles agricoles en région PACA



Source : Télécharger sur le site internet de l'Agreste : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/en-region/provence-alpes-cote-d-azur/>

## ANNEXE 8. Influence des paramètres météorologiques sur l'utilisation des produits phytosanitaires [17]

	TEMPERATURES	VENTS	PRECIPITATIONS
<b>HERBICIDES</b>	Toute l'année sauf sécheresse favorable au développement des adventices.	Majorité des observations pour des vents moyens <5 m.s <sup>-1</sup> . <u>Causes</u> : Volatilisation des molécules les plus volatiles.	Diminution des concentrations en substances actives dans l'air quand les précipitations augmentent.
<b>INSECTICIDES</b>	<u>Printemps/été</u> Naissance et multiplication d'insectes.	Soulèvement des particules (érosion éolienne). Dérive et dilution des composés dans l'air.	<u>Causes</u> : Lessivage de l'atmosphère (impaction). Bonnes pratiques agricoles (pas de traitement par fortes précipitations).
<b>FONGICIDES</b>	<u>Printemps/été</u> Temps chaud et humide : Plus favorable au développement des champignons.	Bonnes pratiques agricoles (pas de traitement par vents forts).	

## ANNEXE 9. Températures et précipitations relevées pour l'année 2017

Mois	Températures moyennes (°C) + Normales (1981-2010)						Précipitations moyennes (mm) + Normales (1981-2010)						Nombre de jours de pluie (>1 mm)+ Normales (1981-2010)					
	Avignon /Cavaillon		Nice		Port-de-Bouc		Avignon /Cavaillon		Nice		Port-de-Bouc		Avignon /Cavaillon		Nice		Port-de-Bouc	
Janvier	3,8	6,0	8,6	9,2	7,0	7,1	37,8	59,7	10,8	69,0	41,2	52,2	4	6	3	6	4	5
Février	10,5	7,4	11,3	9,6	12,1	7,9	25,7	34,5	41,7	44,7	14,2	36,8	4	5	8	5	3	4
Mars	11,8	10,7	13,1	11,6	13,7	9,9	45,4	32,6	74,8	38,7	38,7	31,8	4	4	4	5	3	4
Avril	13,7	13,5	14,8	13,6	14,3	11,9	50,6	62,1	33,7	69,3	84,8	49,6	5	7	4	7	5	6
Mai	17,6	18,0	18,4	17,4	17,9	15,9	44,3	61,1	50,1	44,6	22,7	38,7	8	6	3	5	3	4
Juin	24,0	22,1	23,7	20,9	22,9	19,6	14,3	32,0	3,1	34,3	27,2	24,8	2	4	1	4	3	3
Juillet	25,1	24,7	24,7	23,8	24,0	22,7	0,8	21,9	0	12,1	0,6	10,1	0	3	0	2	0	1
Août	24,8	24,2	25,3	24,1	24,0	21,8	11,7	32,7	0,8	17,8	4,0	29,1	3	4	0	2	1	3
Septembre	17,9	19,5	20,0	21,0	18,6	19,4	12,3	117,2	53,8	73,1	9,4	79,0	2	6	4	5	2	4
Octobre	16,2	15,7	17,9	17,4	17,5	16,0	0,6	90,8	0,2	132,8	1,6	80,7	0	6	0	7	0	6
Novembre	9,3	10,0	12,4	12,9	11,3	11,3	53,4	80,9	36,4	103,9	43,6	60,4	1	8	5	7	2	6
Décembre	5,7	6,3	8,7	10,0	8,5	8,4	26,3	51,1	111,4	92,7	24,8	48,7	6	6	6	6	4	5
<b>TOTAL</b>							323,2	676,6	416,8	733	312,8	541,9	39	62	38	61	30	53

## ANNEXE 10. Pourcentages de variations des concentrations cumulées globales entre 2012 et 2017

Chaque pourcentage indiqué dans le tableau suivant correspond à l'évolution des concentrations entre chaque année d'étude.

	2012	2013	2014	2015	2016	2017		2012v2017*	2014v2017
<b>Avignon</b>	REF	55%	-75%	-85%	-52%	525%		-61%	
<b>Cavaillon</b>	REF	-59%	-61%	-50%	-52%	49%		-94%	
<b>Nice</b>			REF	-70%	174%	286%			213%
<b>Port-de-Bouc</b>			REF	55%	-83%	325%			12%
<b>Toulon</b>	REF	-62%	3%	-94%	42%			-97%	

\*Toulon a été un site de mesure jusqu'à 2016 et non 2017  
REF signifie « référence »

