

PACTES – BMP

Particules Atmosphériques dans le Bassin Minier de Provence : Caractérisation, Toxicité, Evaluation par la Société

17 Décembre 2013

Projet réalisé par CNRS - AMU – Convention 0974C0260

Coordonnées de l'organisme :

Yves NOACK – CEREGE, UMR 7330 CNRS-AMU, BP 80, 13545 AIX en Provence Cedex

Thierry ORSIERE – IMBE, UMR 7263 CNRS-AMU, BP 80, 13009 MARSEILLE

Daniel BLEY – ESPACE, UMR 7300 CNRS-AMU, BP 80, 13545 AIX en Provence Cedex

Coordination technique : Emmanuel FIANI – Service entreprises et éco-technologies –
Direction productions et énergies durables – ADEME (Angers)



RAPPORT FINAL



En partenariat avec : Ciments Lafarge, Rio Tinto Alcan, EON-SNET et la Communauté du Pays d'Aix

REMERCIEMENTS

Financiers

- ADEME
- Ciments Lafarge
- Rio Tinto Alcan
- E.ON – SNET
- Communauté du Pays d'Aix
- ECCOREV, FR 3098

Comité de pilotage :

G. Barret, CPA
J-C. Blais, Ville de Fuveau
P. Boeglin, ADEME
H. Clerc, Ville de Trets
E. Fiani, ADEME
R. Girard, Ville de Meyreuil
F. Lemerrier, Ciments Lafarge
C. Sales, CPA
S. Seropian, SNET-E.On
P. Thibault, Alteo

Participants :

CEREGE : Y. Noack, H. Miche, B. Angeletti, C. Leoni, O. Hammard, A. Lemhedi, A. Bouaouz, A-C. Marquez

IMBE : A. Botta, T. Orsière, A. Bonnefoy, S. Plumejeaud, V. Tassistro

ESPACE : S. Robert, D. Bley, N. Vernazza, C. Labeur, S. Capezza, Y. Kryzhanovskyy, A. Bennani

AirPACA : D. Robin, P. Lozano, G. Gille, D. Lozano, J. Soubise, C. Blouvac

Remerciements: Messieurs Lemerrier, Seropian et Thibault pour respectivement les Cimenteries Lafarge, Alteo et la SNET, M. Girard à Meyreuil, M. Blais à Fuveau, Mme Clerc à Trets
La Mairie de Gardanne, le centre de tourisme de Gardanne, le Centre de Jeunesse de Gardanne, la Salle d'expositions de la galerie de Gardanne, le Service Culturel de la Mairie de Gardanne, Carole Darmon à la Mairie de Gardanne, Silvia Caramanna-Hernandez du Service Culture et Vie associative, la Médiathèque de Gardanne, et Aline Frosini, peintre gardannaise, Mme Cruveillier à Gardanne, et Mr Auric à Meyreuil.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par la caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Any representation or reproduction of the contents herein, in whole or in part, without the consent of the author(s) or their assignees or successors, is illicit under the French Intellectual Property Code (article L 122-4) and constitutes an infringement of copyright subject to penal sanctions. Authorised copying (article 122-5) is restricted to copies or reproductions for private use by the copier alone, excluding collective or group use, and to short citations and analyses integrated into works of a critical, pedagogical or informational nature, subject to compliance with the stipulations of articles L 122-10 – L 122-12 incl. of the Intellectual Property Code as regards reproduction by reprographic means.

Sommaire

Liste des figures et tableaux	5
Résumé/Abstract	9
I INTRODUCTION	11
I.1 Le contexte général	11
I.2 Le contexte local	11
I.3 Le projet	12
II LA CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE	13
II.1 Méthodologie de prélèvement et d'analyse	13
II.1.1 Les sites de prélèvements	13
II.1.2 Les appareils et méthodes de prélèvements	17
II.1.3 Les campagnes de prélèvements	17
II.1.4 Les méthodes analytiques	17
II.2 Les résultats	18
II.2.1 Les particules sédimentables	18
II.2.2 Les PM10 et PM2.5	24
II.2.3 Les HAP	31
II.2.4 Synthèse des résultats sur la caractérisation	32
III. ETUDE DE LA CYTOGENOTOXICITE « IN VITRO »	35
III.1 Généralités	35
III.1.1 Cytotoxicité	35
III.1.2 Génotoxicité	36
III.2 Stratégie de l'étude	38
III.3 Matériel et méthodes	39
III.3.1 Travail préliminaire	39
III.3.2 Tests de cytotoxicité	39
III.3.3 Test de génotoxicité	41
III.4 Résultats	44
III.4.1 Composition des solutions d'extractions	44
III.4.2 Cytotoxicité	45
III.4.3 Génotoxicité	48
III. 5 Synthèse des résultats de génotoxicité	63
IV. ETUDE DE LA PERCEPTION DE LA QUALITE DE L'AIR PAR LES POPULATIONS	67
IV.1 Rappel des objectifs annoncés	67
IV.2 Travaux effectués et aspects méthodologiques	67
IV.2.1 Les travaux préparatoires aux enquêtes	67
IV.2.2 Enquêtes qualitatives	68
IV.2.3 Enquête par questionnaires auprès de la population de Gardanne	69
IV.3 Revue de la littérature	70
IV.4 Résultats	71
IV.4.1 Le point de vue des acteurs	71
IV.4.2 La perception des populations des communes industrielles	72
IV.4.3 La perception de la population du site témoin de Trets	75
IV.4.4 L'analyse textuelle des discours sur la pollution	77
IV.4.5 Résultats de l'enquête quantifiée	81

IV.4.6 La cartographie des perceptions	89
IV.5 Conclusion	90
V. LES APPORTS DE LA PLURIDISCIPLINARITE	93
V.1 État de l'art sur Le territoire au début du projet	93
V.2 Les apports du projet PACTES-BMP	94
V.3 Quels ont été les apports de l'interdisciplinarité ?	95
BIBLIOGRAPHIE	99
ANNEXES	103

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1 : Carte de situation des cinq sites de prélèvements	14
Figure 2 : Le site S1 à Bouc Bel Air	14
Figure 3 : Le site S2 à Gardanne	15
Figure 4 : Le site S3 à Meyreuil	15
Figure 5 : Le site S4 à Fuveau	16
Figure 6 : Le site S5 à Trets	16
Figure 7 : Comparaison des flux moyens de particules sédimentables	19
Figure 8 : Évolution des flux de particules sédimentables pendant les campagnes d'été	19
Figure 9 : Évolution des flux de particules sédimentables pendant la campagne d'hiver	19
Figure 10 : Relation Cl – Na lors de la campagne d'été	21
Figure 11 : Flux de Chlore dans la phase soluble pendant la campagne d'hiver	21
Figure 12 : Fractions massiques en fonction des sites et des campagnes	23
Figure 13: Fractions massiques exprimées sous forme de phases minérales	24
Figure 14 : Répartition du Calcium entre phase soluble et phase particulaire	24
Figure 15 : Concentration moyenne en PM10 pour les 5 sites lors des deux campagnes	25
Figure 16 : Concentration moyenne en PM2.5 pour les 5 sites lors des deux campagnes	26
Figure 17 : Évolution du rapport PM2.5/PM10 sur les 5 sites pour les deux campagnes	26
Figure 18 : Fractions massiques moyennes des éléments majeurs sur les 5 sites pour les deux campagnes	28
Figure 19 : Évolution de la fraction massique de l'Aluminium en fonction de la granulométrie	30
Figure 20 : Évolution de la fraction massique du Fer en fonction de la granulométrie	30
Figure 21 : Évolution de la fraction massique du Calcium en fonction de la granulométrie	30
Figure 22 : Distribution des HAP sur les sites S3 et S4 en été	31
Figure 23 : Distribution des HAP pour les cinq sites et les deux saisons	32
Figure 24 : Processus génotoxiques : principales lésions primaires à l'ADN	37
Figure 25: Formation de micronoyaux	37
Figure 26 : Marquage des centromères par des Anticorps CREST	37
Figure 27 : Cellule binucléée de fibroblaste de poumon humain + MN (microscope à fluorescence, objectif 100 en immersion)	38
Figure 28 : Stratégie de l'étude	38
Figure 29 : Configuration de la plaque 96 puits	40
Figure 30: Test de génotoxicité en l'absence d'activation métabolique sur la fraction lipophile	42
Figure 31 : Test de génotoxicité en présence d'activation métabolique sur la fraction lipophile	42
Figure 32 : Réponse cytotoxique de la fraction hydrosoluble au test LDH	45
Figure 33: Réponse cytotoxique de la fraction lipophile au test LDH	45
Figure 34: Réponse cytotoxique de la fraction hydrosoluble au test XTT	46
Figure 35: Réponse cytotoxique de la fraction liposoluble au test XTT	46
Figure 36: Réponse cytotoxique de la fraction hydrosoluble au test NR	47
Figure 37: Réponse cytotoxique de la fraction lipophile au test NR	47
Figure 38: Réponse cytotoxique de la fraction hydrosoluble au test SRB	48
Figure 39 : Réponse cytotoxique de la fraction lipophile au test SRB	48
Figure 40: Arbre décisionnel	49
Figure 41: Réponse génotoxique sur la fraction hydrophile pour le site S1	50
Figure 42 : Réponse génotoxique sur la fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) pour le site S1	50
Figure 43 : Réponse génotoxique sur la fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) pour le site S1	51
Figure 44: Réponse génotoxique sur la fraction hydrophile pour le site S2	51
Figure 45 : Réponse génotoxique sur la fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) pour le site S2	52
Figure 46 : Réponse génotoxique sur la fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) pour le site S2	52
Figure 47: Réponse génotoxique sur la fraction hydrophile pour le site S3	53
Figure 48 : Réponse génotoxique sur la fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) pour le site S3	53

<i>Figure 49: Réponse génotoxique sur la fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) pour le site S3</i>	53
<i>Figure 50: Réponse génotoxique sur la fraction hydrophile pour le site S4</i>	54
<i>Figure 51: Réponse génotoxique sur la fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) pour le site S4</i>	54
<i>Figure 52: Réponse génotoxique sur la fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) pour le site S4</i>	55
<i>Figure 53: Réponse génotoxique sur la fraction hydrophile pour le site S5</i>	55
<i>Figure 54: Réponse génotoxique sur la fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) pour le site S5</i>	56
<i>Figure 55: Réponse génotoxique sur la fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) pour le site S5</i>	56
<i>Figure 56: Fréquence de micronoyaux pour la fraction hydrophile du site S1</i>	57
<i>Figure 57: Fréquence de micronoyaux pour la fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) du site S1</i>	57
<i>Figure 58: Fréquence de micronoyaux pour la fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) du site S1</i>	58
<i>Figure 59: Fréquence de micronoyaux pour la fraction hydrophile du site S2</i>	58
<i>Figure 60: Fréquence de micronoyaux pour la fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) du site S2</i>	59
<i>Figure 61: Fréquence de micronoyaux pour la fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) du site S2</i>	59
<i>Figure 62: Fréquence de micronoyaux pour la fraction hydrophile du site S3</i>	59
<i>Figure 63: Fréquence de micronoyaux pour la fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) du site S3</i>	60
<i>Figure 64: Fréquence de micronoyaux pour la fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) du site S3</i>	60
<i>Figure 65: Fréquence de micronoyaux pour la fraction hydrophile du site S4</i>	61
<i>Figure 66: Fréquence de micronoyaux pour la fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) du site S4</i>	61
<i>Figure 67: Fréquence de micronoyaux pour la fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) du site S4</i>	61
<i>Figure 68: Fréquence de micronoyaux pour la fraction hydrophile du site S5</i>	62
<i>Figure 69: Fréquence de micronoyaux pour la fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) du site S5</i>	62
<i>Figure 70: Fréquence de micronoyaux pour la fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) du site S5</i>	63
<i>Figure 71: Dendrogramme des classes d'uce</i>	78
<i>Figure 72: Diagramme F1-F2 de l'AFC des classes d'uce</i>	79
<i>Figure 73: Diagramme F1-F2 de l'AFC des variables</i>	79
<i>Figure 74: Diagramme de cooccurrence</i>	80
<i>Figure 75: Diagramme du wordcloud</i>	81
<i>Figure 76: Acteurs potentiels contre la pollution</i>	86
<i>Figure 77: Analyse des perceptions selon le lieu de naissance</i>	87
<i>Figure 78: Analyse des perceptions selon le niveau d'instruction</i>	87
<i>Figure 79: Analyse des perceptions selon l'image de la ville</i>	88
<i>Figure 80: Analyse des perceptions selon les sources de pollution</i>	88
<i>Figure 81: Analyse des perceptions selon l'inquiétude générée par la pollution</i>	89
<i>Figure 82: Analyse des perceptions selon la déclaration d'allergies</i>	89
<i>Figure 83: La perception de la pollution selon le secteur de résidence</i>	90
<i>Figure 84: Relation entre le paramètre « Perception » et les paramètres de mesure</i>	97

Tableau I : Coordonnées géographiques des sites de prélèvement	13
Tableau II : Flux moyens de particules sédimentables	18
Tableau III : Composition chimique moyenne des anions et cations dans la phase soluble	20
Tableau IV : Flux d'éléments dans la phase particulaire des particules sédimentables	22
Tableau V : Fractions massiques dans la phase particulaire des particules sédimentables	23
Tableau VI : Moyennes des concentrations en PM10 et PM2.5 pour les 5 sites de l'étude et trois stations avoisinantes du réseau AirPACA	25
Tableau VII : Concentrations moyennes dans les PM10 et PM2.5, campagne d'été	27
Tableau VIII : Concentrations moyennes dans les PM10 et PM2.5, campagne d'hiver	28
Tableau IX: Concentration (en ppb) de la solution issue de l'extraction des phases hydrosolubles	44
Tableau X : Concentration (en ppb) de la solution issue de l'extraction des phases lipophiles	44
Tableau XI : Récapitulatif des effets génotoxiques pour chaque extraction	64
Tableau XII : Synthèse des résultats génotoxicologiques par site	65
Tableau XIII : Profils des classes d'uce	78
Tableau XIV : Caractéristiques socio démographiques de la population enquêtée	82
Tableau XV: L'image de la ville	83
Tableau XVI: Perceptions de la pollution	84
Tableau XVII: Agir contre la pollution	85
Tableau XVIII : Résumé des principaux résultats de projet PACTES-BMP	94
Tableau XIX : Évolution qualitative comparative sur chaque site des paramètres évalués	96

Résumé

Le projet PACTES-BMP s'intéresse à un territoire urbano-industriel autour de la ville de Gardanne (Bouches du Rhône) et consiste en une caractérisation physico-chimique des particules sédimentables et inhalables (PM10 et PM2.5) émises par les principales sources industrielles et routières, une évaluation de la cytotoxicité et génotoxicité de la fraction PM2.5 ainsi qu'une évaluation de la perception par les populations riveraines de ces pollutions et du risque potentiel qu'elles présentent. Trois sites urbano-industriels (cimenterie, usine d'alumine et centrale thermique), un site de trafic routier et un site urbain ont été investigués lors de deux campagnes de mesure d'un mois chacune (été et hiver).

Les principaux résultats obtenus dans cette caractérisation physico-chimique des particules atmosphériques sont les suivants :

- en ce qui concerne les particules sédimentables, le site de Gardanne est de très loin le plus empoussiéré avec des particules composées essentiellement de phases alumineuses ;
- les concentrations en PM10 sont voisines de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avec un effet saisonnier sur certains sites ;
- pour les PM2.5, un effet saisonnier est clairement visible sur l'ensemble des sites, avec de plus fortes concentrations en hiver qu'en été ;

Une génotoxicité des PM2.5 susceptible d'induire la formation de micronoyaux a été observée sur chaque site et à chaque saison. Néanmoins, celle-ci peut être consécutive à des anomalies de répartition de chromosomes (aneugénie) ou à des lésions primaires de l'ADN qui engendrent des cassures double-brin (clastogénie). Les agents porteurs de ces dernières propriétés engendrent les lésions primaires à l'ADN les plus complexes. Leur réparation fait appel à des processus de recombinaison complexes, et la fidélité des réparations n'est pas toujours possible. L'impact saisonnier global semble relativement modéré lorsque l'on analyse l'ensemble des résultats. L'étude ne permet cependant pas d'établir ou de réfuter un lien entre ces résultats

L'étude de perception de la qualité de l'air, fait par enquête et questionnaires fait apparaître quelques tendances générales. Les personnes ont un sentiment de vivre dans une région très polluée, dont l'origine est attribuée à des sources locales ou plus lointaine selon les sites, avec un rôle assez important des conditions météorologiques. Ce sentiment peut varier en fonction des sites et des caractéristiques socio-démographiques (niveau d'instruction, ancienneté de résidence, ...), de la population concernée. Cette perception est très souvent basée sur l'association odeurs/poussières. Le lien avec la santé, et en particulier les allergies, est souvent mis en avant. Les industriels et l'État sont considérés comme les plus responsables, la responsabilité individuelle étant très rarement évoquée.

ABSTRACT

The PACTES-BMP project concerns an urbano-industrial territory around the city of Gardanne (Bouches du Rhône) and consists of a physico-chemical characterization of sedimentable and inhalables (PM10 et PM2.5) particles emitted by the main industrial sources and other sources (road traffic, residential, ..), an evaluation of the cytotoxicity and the genotoxicity of the PM2.5 fraction as well as an evaluation of the perception by the surrounding populations of these sites and the potential risk which these pollutions present. Three urbano-industrial sites (cement plant, factory of alumina and thermal power plant), a site of road traffic and an urban site were investigated during two sampling campaigns of one month each (summer and winter).

The main results obtained in this physico-chemical characterization of the atmospheric particles are the following:

- for sedimentable particles, the site of Gardanne is the most concerned the with particles consisted essentially of aluminous phases;
- the PM10 concentrations are around $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, with a seasonal effect for some sites;
- for PM2.5, a seasonal effect is clearly visible on all the sites, with larger concentrations in winter than in summer.

A genotoxicity of the PM2.5 susceptible to lead the formation of micro-nucleii was observed on every site and in every season. This one can be the result of anomalies of distribution of chromosomes (aneugenie) or primary hurts of the DNA (clastogène). The expanding(carrier) agents of these last properties engender the most complex primary hurts in DNA. Their repair calls on to complex processes of recombination, and the loyalty of the repairs is not always possible. The global seasonal impact seems relatively moderated when we analyze all the results. The study does not however allow to establish or to refute a link between these results and the sites or the PM2.5 composition.

The study of perception of the air quality, made by surveys(investigations) and questionnaires reveals some general trends: the people have a feeling to live in a very polluted region, the origin of which is attributed to local sources or more distant according to sites, with a important role importing for weather conditions. This feeling can vary according to sites and sociodemographic characteristics (academic level, time of residence; ...), of the concerned population. This perception is very often based on the association smells / dusts. The link with the health, and in particular the allergies, is often advanced. The industrials and the State are considered as the most responsible, the individual responsibility being very rarely evoked.

I. INTRODUCTION

I.1 Le contexte général

L'avis de l'AFSSET, en date du 23 Mars 2009, concernant la pollution par les particules dans l'air ambiant, a, s'il en était besoin, confirmé l'impact sanitaire important de ce type de pollution tant en milieu urbain qu'à proximité de sites industriels. Cet avis a mis en évidence :

- l'absence de seuil ;
- la prépondérance de l'exposition chronique sur l'exposition de pointe ;
- les inégalités d'exposition aux polluants en fonction des lieux d'habitats et de sensibilités particulière ;
- le manque de données sur les caractéristiques physico-chimiques et les impacts sanitaires potentiels des différents types de particules, en particulier de celles issues de sources non combustion.

Les recommandations qui en découlent sont l'abaissement de la valeur moyenne de la concentration particulaire, la prise en compte de la spécificité (en terme de santé ou de lieux de vie) de certains sous-groupes de la population et une sensibilisation du public et des décideurs à la problématique.

L'AFSSET indique très clairement que la réduction de l'exposition nécessite une meilleure connaissance des sources en terme de caractérisation physico-chimique et d'impact sanitaire, impliquant la mise en place de campagnes de mesure et de tests toxicologiques. Cette progression dans la connaissance des sources, tant quantitativement que qualitativement, est absolument indispensable si l'on veut mettre en place des actions de réduction des émissions qui soient efficaces sur le plan sanitaire et supportable économiquement.

S'il existe de nombreuses études et une littérature abondante sur l'impact sanitaire des particules en milieu urbain, en particulier issues du trafic routier, il n'en est pas de même pour les autres types de sources. Cela se limite pour l'essentiel à l'incinération des déchets, à la sidérurgie et à la métallurgie des métaux non ferreux du type Plomb/Zinc. Toutes ces études mettent en évidence l'importance d'un certain nombre de facteurs : la granulométrie, la saison de prélèvement, le type d'extraction utilisé (qui sélectionne le composé ou la famille de composé testé). Très peu d'études mènent conjointement un travail de toxicologie couplé à un travail fin de caractérisation physico-chimique des particules. Il y a également très peu de travaux concernant directement les sources et leur éventuel impact sanitaire.

I.2 Le contexte local

Entre Marseille et Aix-en-Provence, le bassin minier des Bouches-du-Rhône constitue un territoire caractéristique des espaces péri-urbains où la question de la pollution de l'air se pose de manière prégnante. Cette situation résulte à la fois de particularismes locaux et de caractères propres à toutes les périphéries métropolitaines. A moins de 20 km du cœur d'Aix ou du centre de Marseille, la partie occidentale du bassin concentre une population grandissante et des zones d'emploi dynamiques, qui sont venues s'installer sur un espace historiquement marqué par la présence d'établissements industriels à fort impact environnemental. Traversé par plusieurs axes routiers majeurs, eux même générateurs de nuisances, ce territoire relativement restreint fait cohabiter des sources de pollution atmosphériques avérées et une population qui, de plus en plus soucieuse de qualité de vie, s'organise pour défendre ses intérêts.

Dans ce contexte, le corridor industriel constitué autour de l'axe Bouc-Bel-Air – Meyreuil représente une zone d'étude particulièrement intéressante. Structurée autour d'une route départementale à gabarit autoroutier, complétée par la ligne de chemin de fer Aix-Marseille, elle concerne directement 4 communes (Bouc-Bel-Air, Simiane-Collongue, Gardanne et Meyreuil) totalisant une population de plus de 45 000 habitants en 2009 (en augmentation de près de 10 % depuis 1999). Du Sud-Ouest en direction du Nord-Est, se succèdent sur environ 10 kilomètres : une cimenterie, une usine de production d'alumine et une centrale électrique thermique au charbon. Ces établissements se situent à proximité, sinon au sein même, de zones d'habitations et des équipements sportifs, des espaces commerciaux, etc. se localisent à leurs alentours. La station d'AirPACA située dans le centre de Gardanne et à proximité immédiate de l'usine d'alumine enregistre d'une part un niveau moyen de PM10 supérieure à la valeur limite annuelle ($43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au lieu de 40 en 2008) et d'autre part un nombre de dépassements de la valeur limite journalière très au-dessus de la réglementation (74 au lieu de 35 en 2008). Très visibles dans le paysage et potentiellement générateurs de nuisances (particules, odeurs, bruits, ...), les industriels sont pointés du doigt mais leur impact effectif sur la santé des populations dans la zone n'est pas connu. Bien que les industriels aient faits

des efforts en terme de réduction des émissions, ceux-ci ne sont pas perçus par les populations riveraines. Différentes études (Atmopaca-Cerege, 2003) montrent que l'impact de certaines sources est beaucoup plus étendu que communément admis. La zone est par ailleurs probablement également influencée par la circulation automobile sur la route qui relie l'Est du bassin minier – et l'autoroute A8 - au Nord de Marseille. Dépassant les 20 000 véhicules par jour, cet axe accueille un nombre élevé de navettes domicile-travail, caractéristiques des espaces péri-urbains, auxquelles s'ajoute un important trafic fret de transit régional voire international.

I.3 Le projet

Le projet consiste en une caractérisation physico-chimique fine des particules inhalables (PM10 et PM2.5) émises par les principales sources industrielles et routières, une évaluation de leur cytotoxicité et génotoxicité ainsi qu'une évaluation de la perception par les populations riveraines de ces pollutions et du risque potentiel qu'elles présentent. Il vise à apporter aux populations et aux décideurs, une meilleure connaissance de la réalité objective et donc une meilleure approche du risque éventuel. Les résultats pourront alimenter le débat tripartite industriels-collectivités-populations en apportant des éléments d'information basés sur la mesure. Une meilleure connaissance des sources, tant en terme de caractérisation physico-chimique qu'en terme de toxicité, permettra également d'améliorer les modèles d'évaluation des contributions de source et d'exposition des populations à un risque donné

Il tente également d'apporter des éléments de réponse à certaines questions de recherche :

- Amélioration des connaissances sur la composition physico-chimique des particules et leur granulométrie. Mieux décrire les aérosols particuliers et évaluer les effets sanitaires associés aux différentes composantes des particules.
- Amélioration des connaissances sur la composition et la toxicité des particules produites par certaines activités industrielles hors combustion (ex : fabrication de plâtre, carrières).
- Perception et représentation d'un risque sanitaire défini (pathologie, agent, milieu) : approche par enquêtes qualitatives ou quantitatives
- Inscription territoriale des activités à risque. Pourquoi et comment des mobilisations collectives sur les risques émergents dans certains territoires et pas dans d'autres, ou sous d'autres formes ?
- Construction de l'expertise scientifique pluraliste associant les différentes parties prenantes.

Le projet se décompose en trois axes :

- la caractérisation physico-chimique des principales sources d'émissions
- la caractérisation des cyto- et géno- toxicités (globales et par composants) des particules
- la perception de ces pollutions par les populations concernées et la confrontation avec la réalité de la mesure

L'association et imbrication de ces trois axes constituent à la fois l'originalité et l'intérêt du projet proposé. Les associations caractérisation physico-chimiques et étude toxicologique sont assez fréquentes dans la littérature, mais le plus souvent avec une prédominance très forte de la partie toxicologique par rapport à la caractérisation ce qui entraîne des impossibilités de conclure par manque de connaissance de base sur la nature même du composé supportant la toxicité. Par ailleurs, il n'existe pas ou très peu d'études confrontant la perception de la pollution et du risque qui lui est lié avec la réalité de la mesure. Le Programme PRIMEQUAL-PREDIT, par exemple, a financé des recherches sur la qualité de l'air en ce qui concerne les mesures (Primequal-Predit, 2011) ou bien la perception (Primequal-Predit, 2009), mais toujours de façon indépendante.

L'ensemble du projet se situe dans la filiation des activités menées par l'Observatoire Homme-Milieus du Bassin Minier de Provence (OHM-BMP, CNRS-INEE) sur ce territoire.

II LA CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE

II.1 Méthodologie de prélèvement et d'analyse

II.1.1 Les sites de prélèvements

Les emplacements exacts des sites ont été définis de façon optimale en fonction de différents critères :

- topologie du site
- direction des vents dominants par rapport aux émetteurs visés
- contraintes logistiques (alimentation électrique, sécurité, accès)

Les sites sont exactement les mêmes pour les deux campagnes de mesure

Site	Commune	Emetteur	Latitude (N)	Longitude (E)
S1	Bouc Bel Air	Cimenterie	43,42111	5,38403
S2	Gardanne	Usine d'alumine	43,45363	5,46672
S3	Meyreuil	Centrale thermique	43,46929	5,49844
S4	Fuveau	Trafic routier	43,47880	5,56662
S5	Trets	Urbain	43,44697	5,68693

Tableau I : Coordonnées géographiques des sites de prélèvement

Les cinq sites s'étalent d'Ouest en Est le long de la D6 (Tab. I et Fig. 1)

- Le site S1 à Bouc Bel Air (voir Fig. 2)

Le site de prélèvement est situé sur le toit-terasse de l'agence commerciale régionale des Ciments Lafarge, au Nord/Nord-Est des cheminées de l'usine, à environ 300 m des cheminées ; la carrière exploitée se trouve à environ 1 km au sud du point de prélèvement.

- Le site S2 à Gardanne (voir Fig. 3)

Le site de prélèvement est à 200 m à l'Ouest de l'usine d'alumine, du côté des stocks de bauxite ; les préleveurs sont installés dans le jardin de la Maison du Droit, à côté de la station fixe d' AirPACA

- Le site S3 à Meyreuil (voir Fig. 4)

Le site de prélèvement est situé à l'Ouest de la centrale thermique, à environ 50 m de l'extrémité des tas de charbon, dans un endroit isolé du parking d'une entreprise

- Le site S4 à Fuveau (voir Fig. 5)

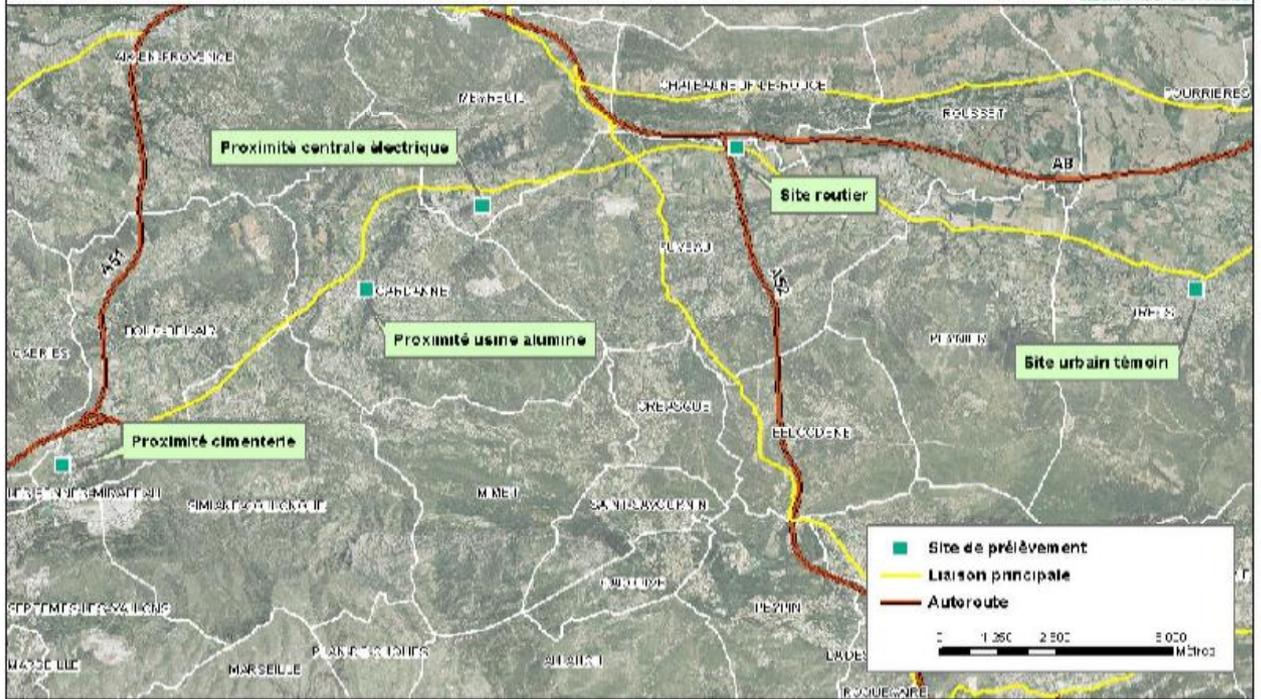
Le site de prélèvement est en bordure de la D6, sur le terrain de la station d'épuration de Fuveau, à environ 10 m de l'axe de la route, à 200 m de l'autoroute A52 et 300 m de l'autoroute A8.

- Le site S5 à Trets (voir Fig. 6)

Les préleveurs sont installés sur le toit de la cantine de l'école Edmond Brun, à proximité du boulevard circulaire entourant le vieux village de Trets

PACTES-BMP

Sites de prélèvement



Document de travail - Date : 5 Février 2013 - CRP-BEFCOUREV 2013

Figure 1 : Carte de situation des cinq sites de prélèvements



Figure 2 : Le site S1 à Bouc Bel Air



Figure 3 : Le site S2 à Gardanne



Figure 4 : Le site S3 à Meyreuil



Figure 5 : Le site S4 à Fuveau

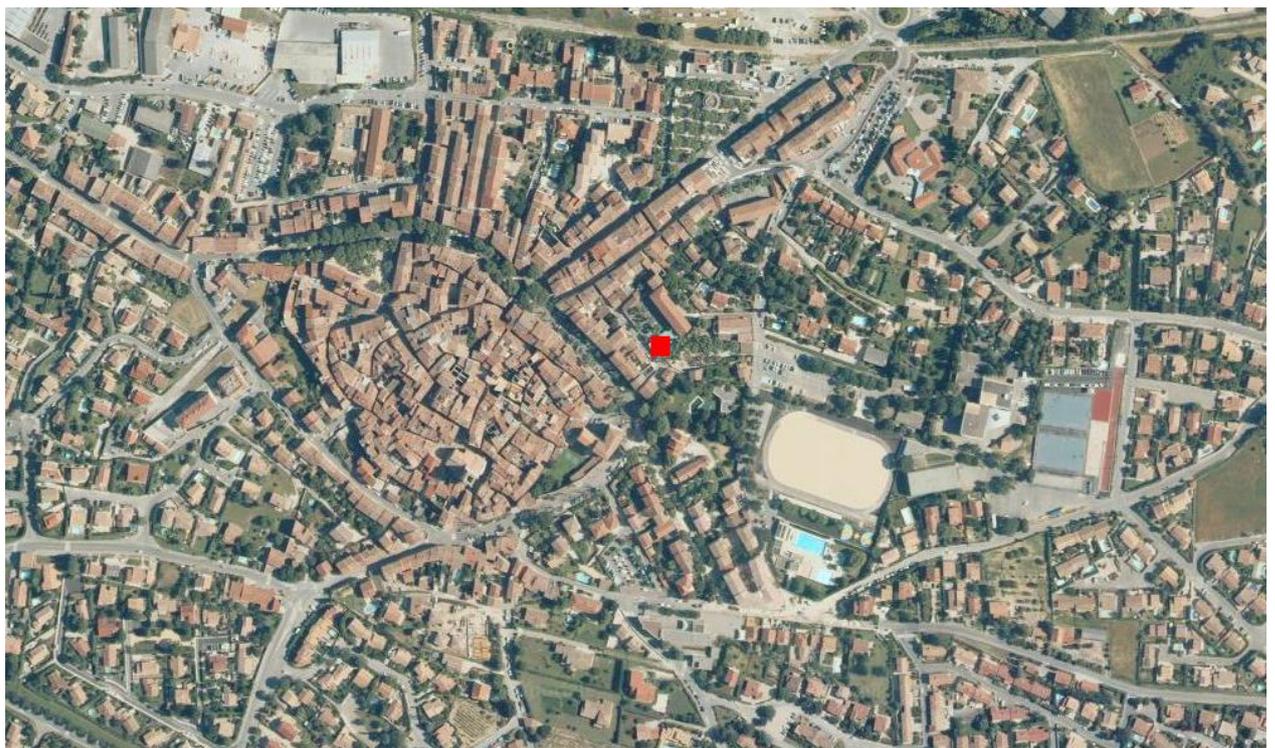


Figure 6 : Le site S5 à Trets

II.1.2 Les appareils et méthodes de prélèvements

Les poussières sédimentables : elles sont récupérées avec un système de type jauge, constitué d'un entonnoir et d'une bouteille de 5l, le tout en polyéthylène ; le bas de l'entonnoir est fermé par une toile nylon de maille 100 μm , pour éviter au maximum de récupérer insectes et débris végétaux. La surface de collection est de 0,1385 m^2 sauf pour le site S2 avec une surface de 0,0804 m^2 . Le pas de temps théorique de prélèvement est d'une semaine. La récupération des particules se fait de deux façon différentes :

- en cas de dépôt sec, l'entonnoir est rincé avec de l'eau ultrapure, récupérée dans la bouteille ; la suspension est ensuite filtrée sur deux filtres préalablement pesés : un en cellulose (porosité 0,45 μm), l'autre en polycarbonate (porosité 0,40 μm). Les filtres sont mis à sécher en étuve à 40°C pendant 48 h, puis pesés. La quantité de solution filtrée (environ 300 ml au total) est déterminée par pesée ; deux aliquotes de 30 ml, dont un acidifié avec HNO_3 , sont conservés en chambre froide.
- en cas de dépôt humide (pluie durant la période de prélèvement), la suspension présente dans la bouteille est traitée de la même façon que ci-dessus ; ensuite, seulement, l'entonnoir est rincé et les particules récupérées

Les PM10 et PM2.5 : elles sont prélevées par aspiration à l'aide de préleveur bas-volume (16,7l/mn théorique) de type Partisol 2025. Les filtres utilisés sont des filtres en téflon Zefluor ; les filtres subissent le même protocole de pesée que pour les poussières sédimentaires Le pas de temps de prélèvement est de 24 heures, de 0 h 00 TU à 23 h 59 TU. Les valeurs moyennes de température, pression et humidité relative de chaque prélèvement sont récupérées en fin de campagne ainsi que la liste des incidents.

Les PM2.5 pour la toxicologie : les analyses de toxicologie nécessitant des quantités de particules assez importantes, les PM2.5 ont été prélevés à l'aide de système haut débit (500 l/mn) pendant 24 h. Les filtres utilisés sont des filtres en fibre de quartz de 150 mm de diamètre. La procédure de pesée est toujours la même.

II.1.3 Les campagnes de prélèvements

Deux campagnes (Annexe 1) de prélèvement ont eu lieu :

- la campagne « Été » du 30 Juin au 2 Août 2010 ;
- la campagne « Hiver » du 3 Janvier au 1er Février 2011

Durant les deux campagnes, l'ensemble des sites était équipé d'un préleveur poussières sédimentables, d'un préleveur PM10 et d'un préleveur PM2.5. Au total, ont été obtenu 40 prélèvements de particules sédimentables et, compte tenu de certains dysfonctionnements des préleveurs, 280 prélèvements pour les PM10 (146 en été et 134 en hiver) ainsi que 280 prélèvements pour les PM2.5 (141 en été et 139 en hiver).

Pour les prélèvements « Toxicologie », trois préleveurs étaient disponibles et ont donc tourné sur les sites. Sur chaque site, sept prélèvements ont été fait (plus un blanc), aussi bien en été qu'en hiver.

II.1.4 Les méthodes analytiques

II.1.4 .1 Le protocole de pesée

La balance utilisée est une balance Sartorius MP210, avec une précision de 10 μg . Chaque filtre, vide ou chargé, est pesée au minimum 3 fois, de façon à obtenir 3 valeurs dans un intervalle de 40 μg ; le temps de chaque pesée est de 1 mn. C'est la valeur médiane qui est retenue.

II.1.4.2 La minéralisation des filtres

Les filtres en cellulose des particules sédimentables ont été minéralisés avec une solution d'eau régale (mélange HCl/HNO_3) pendant 35 mn à 150°C et 10 bars dans un four micro-onde Mars 5. Après refroidissement, la solution est filtrée à 0,45 μm et ajustée à 30 ml par l'eau ultra pure. La quantité exacte de solution est déterminée par pesée comparative.

Les filtres en téflon des PM10 et PM2.5 sont minéralisés de la même manière, avec ajout d'acide fluorhydrique et, après refroidissement, neutralisation à l'acide borique.

II.1.4 .3 Méthodes d'analyses chimiques

La plupart des éléments chimiques ont été analysés avec une ICP-AES du type Ultima C de Jobin-Yvon.

Pour des questions de concentration, sensibilité mais également d'interférence, certains éléments (Cd, Ni et Pb) ont été analysés en absorption atomique à four graphite de type Hitachi Z-8200.

Pour les particules sédimentables, les fractions soluble (eau de pluie ou solution de rinçage) ont été analysés en chromato-ionique pour les anions (ICS 1000 de l'équipe GSE-INRA) et en électrophorèse capillaire pour les anions (CIA Waters)

II.1.4.4 La Diffraction des Rayonx X

Pour les particules sédimentables, une étude minéralogique a été menée par diffraction des rayons X directement sur les filtres en polycarbonate. Le diffractomètre utilisé est un X'Pert Pro de Pan'analytical, équipé d'un tube Co. Le logiciel de détermination des phases et de quantification est le logiciel X'Pert High Score de Pan(analytical).

II.2 Les résultats

II.2.1 Les particules sédimentables

II.2.1.1 Les flux de particules

Les flux moyens varient de 0,01 g/m²/j à 0,18 g/m²/j en fonction des sites et des saisons (Tab. II).

Les flux moyens sont toujours plus élevés en été qu'en hiver, en relation directe avec la pluviométrie. Pour les deux saisons, les flux moyens décroissent du site S2 au site S5 via les sites S4, S3 et S1 (Tab. II et Fig. 7).

Les écart-types importants (parfois 50 % de la valeur moyenne) indiquent une forte variation d'un prélèvement à l'autre sur le même site pendant une campagne (Fig. 8 et 9).

	Eté		Hiver	
	Moyenne (g/m ² /j)	s.d. (g/m ² /j)	Moyenne (g/m ² /j)	s.d. (g/m ² /j)
S1	0,06	0,02	0,02	0,01
S2	0,18	0,08	0,12	0,06
S3	0,07	0,01	0,03	0,01
S4	0,09	0,02	0,05	0,02
S5	0,03	0,01	0,01	0,01

Tableau II : Flux moyens de particules sédimentables

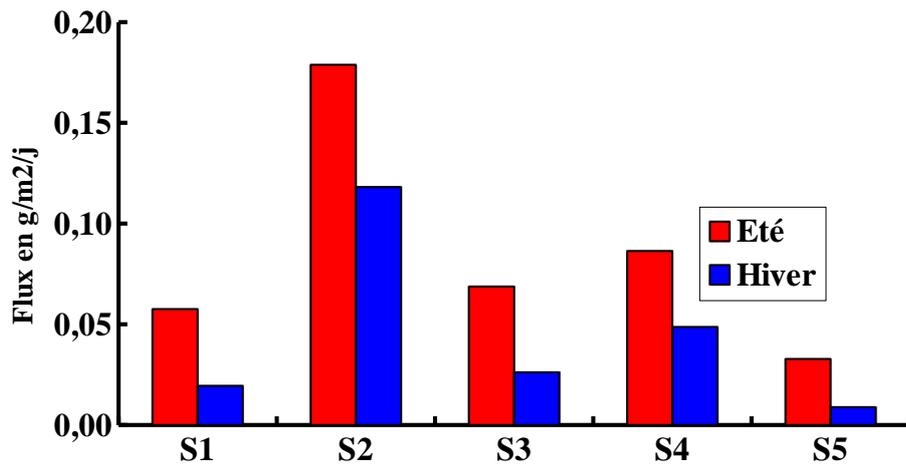


Figure 7 : Comparaison des flux moyens de particules sédimentables

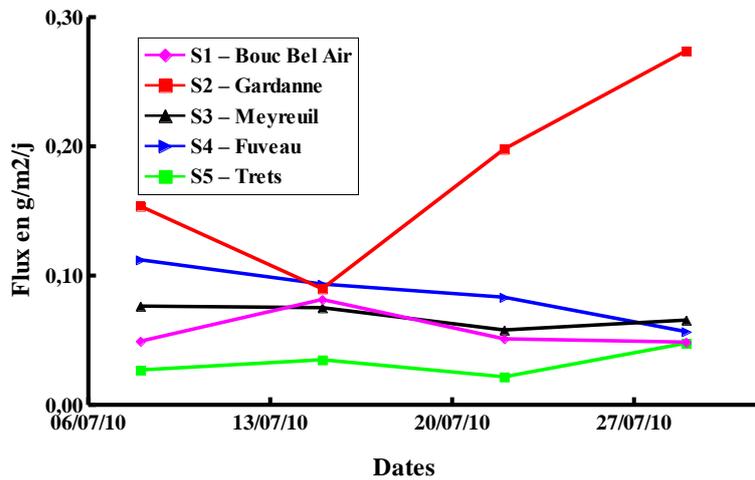


Figure 8 : Évolution des flux de particules sédimentables pendant la campagne d'été

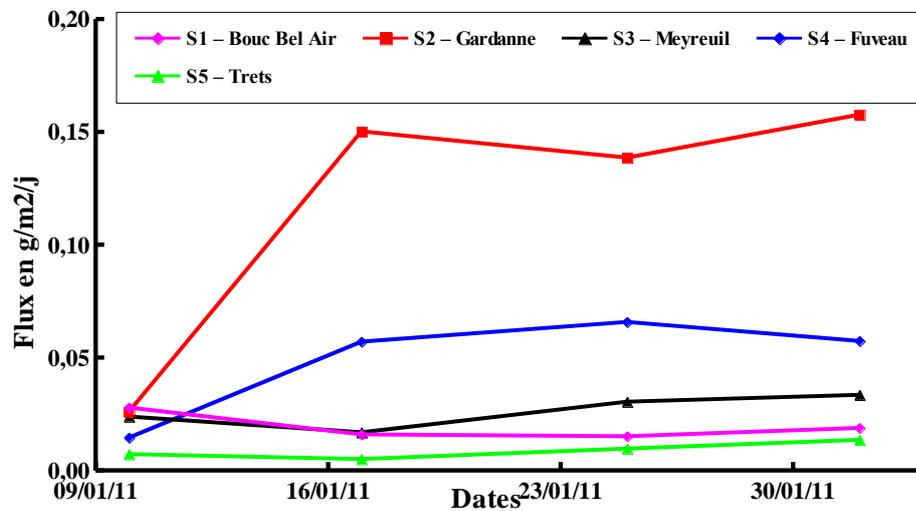


Figure 9 : Évolution des flux de particules sédimentables pendant la campagne d'hiver

II.2.1.2 Minéralogie des particules

L'ensemble des prélèvements présente une composition minéralogique de base similaire avec la présence de Quartz, Calcite, Dolomite et minéraux argileux (Chlorite, Mica, Kaolinite). Ces minéraux sont typiques des sols locaux et proviennent probablement du réenvol de particules de sol. Tous les prélèvements du site S2-Gardanne contiennent en plus des quantités importantes de phases alumineuses (Gibbsite, Oxyde d'Aluminium, Boehmite, ...) provenant de l'usine d'alumine (soit du stock de bauxite, soit du procédé industriel). Ces phases alumineuses peuvent se retrouver, en quantité moindre, dans un certain nombre des prélèvements des autres sites, en fonction des conditions atmosphériques.

II.2.1.3 La composition de la phase soluble

Dans la phase soluble, les anions (Cl^- , SO_4^{2-}) et les cations (Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} et Na^+) ont été analysés (Tab. III).

Pour le Chlore et les Sulfates, les flux sont très nettement plus importants en hiver qu'en été, en particulier pour la première et la dernière semaine du mois de Janvier pendant lesquelles les précipitations ont été les plus importantes. Il en est de même pour le Sodium (sauf pour le site S2) et le Calcium (excepté pour le site S5).

Lors de la campagne d'été, les prélèvements du site S2 montrent un très net excès de sodium par rapport à une composition théorique de chlorure de sodium (Fig. 10). Cet excès peut probablement être attribué à des émanations de soude, utilisée dans le procédé Bayer par l'usine d'alumine.

Lors de la campagne d'hiver, le site trafic routier S4 présente également des flux de Sodium et Chlore (Fig. 11) nettement supérieurs à ceux des autres sites pendant la troisième semaine. Cette semaine correspond à une période de neige et ces excès sont sans doute liés à des remises en suspension de particules de sel de déneigement.

		Cl ⁻ (mg/m ² /j)	SO ₄ ⁻⁻ (mg/m ² /j)	Ca ⁺⁺ (mg/m ² /j)	K ⁺ (mg/m ² /j)	Mg ⁺⁺ (mg/m ² /j)	Na ⁺ (mg/m ² /j)
Eté							
S1	Moyenne	0,31	1,33	2,32	0,38	0,12	0,21
	s.d.	0,09	0,83	0,90	0,07	0,04	0,04
S2	Moyenne	0,17	0,74	1,00	0,19	0,02	1,11
	s.d.	0,13	0,47	0,32	0,13	0,03	0,56
S3	Moyenne	0,26	1,26	1,72	0,15	0,10	0,23
	s.d.	0,20	0,59	0,81	0,05	0,02	0,05
S4	Moyenne	0,28	0,86	1,48	0,23	0,11	0,23
	s.d.	0,08	0,72	0,72	0,06	0,03	0,09
S5	Moyenne	0,26	0,60	0,75	0,29	0,06	0,18
	s.d.	0,14	0,34	0,18	0,05	0,05	0,07
Hiver							
S1	Moyenne	1,53	4,09	10,17	0,38		0,98
	s.d.	1,61	3,33	12,56	0,18		0,83
S2	Moyenne	1,28	2,52	1,86	0,03		1,20
	s.d.	1,20	2,51	2,60	0,01		0,85
S3	Moyenne	1,37	3,55	3,35			1,23
	s.d.	1,50	3,35	4,15			1,23
S4	Moyenne	2,60	2,83	3,88			1,75
	s.d.	1,73	2,15	3,02			1,06
S5	Moyenne	1,58	2,52	0,49	0,06		1,22
	s.d.	1,86	3,08	0,38	0,04		1,55

Tableau III : Composition chimique moyenne des anions et cations dans la phase soluble

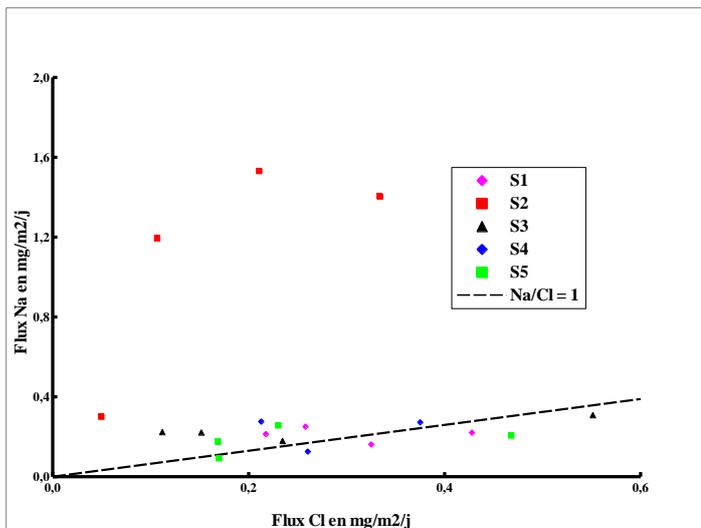


Figure 10 : Relation Cl – Na lors de la campagne d'été

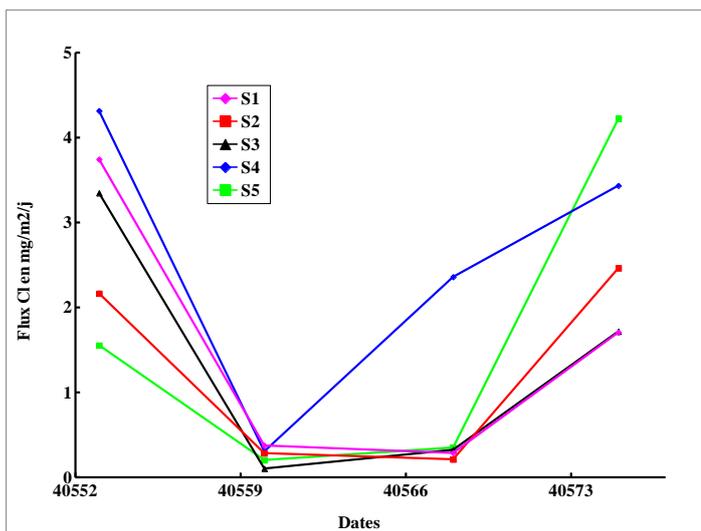


Figure 11 : Flux de Chlore dans la phase soluble pendant la campagne d'hiver

Pendant cette même campagne, le flux de Calcium dans la phase soluble est très nettement plus élevé lors de la première semaine de Janvier sur le site, sans relation avec les autres éléments, les Sulfates notamment.

II.2.1.4 Composition de la phase particulaire

Pour la phase particulaire des particules sédimentables, ont été analysés Al, Ca, Fe, Si, Ti, Ba, Cr, Mn, Ni, V, Zn (Tab. IV).

D'une manière générale, les flux d'éléments sont plus élevés en été qu'en hiver, en liaison directe avec le flux total de particules.

Pour l'Aluminium, c'est bien sur le site S2 qui présente les flux les plus importants, environ vingt fois plus élevés que sur les autres sites. Le site S5 est très nettement le plus faible pour cet élément.

Les comportements du Fer, du Titane et du Vanadium sont sensiblement les mêmes.

Le rapport Fe/Al est de 0,3 en été pour le site S2 alors qu'il varie entre 0,8 et 0,9 pour les autres sites à la même période (pour la campagne hiver, les valeurs sont respectivement 0,27 et de 0,7 à 2). Le rapport Ca/Al est nettement plus faible pour le site S2 que pour les autres sites, en particulier en hiver.

Plus que les flux, ce sont les fractions massiques (quantité d'un élément par gramme de particules) qui sont intéressantes pour la détermination des sources (Tab. V).

Pour le site S2, l'Aluminium représente entre 11 et 14% de la composition des poussières, alors qu'il ne représente que 1 à 3 % pour les autres sites. Sur ces sites, c'est le Calcium qui est l'élément le plus important. Le site S2 présente également les fractions massiques les plus élevées pour Fe, Cr et V, confirmant l'origine principale supposée de ce type de poussière, à savoir des envols à partir des stocks de bauxite.

		Al	Ca	Fe	Si	Ti	Ba	Cr	Mn	Ni	V	Zn
		(mg/m2.j)	(mg/m2.j)	(mg/m2.j)	(mg/m2.j)	(mg/m2.j)	(µg/m2.j)	(µg/m2.j)	(µg/m2.j)	(µg/m2.j)	(µg/m2.j)	(µg/m2.j)
Été												
S1	Moyenne	1,03	9,78	0,82	2,81	0,05	7,76	3,72	13,04	3,69	8,60	23,16
	s.d.	0,88	5,09	0,61	1,67	0,03	4,97	1,30	8,79	2,49	5,99	9,88
S2	Moyenne	26,82	7,36	8,39	2,55	0,55	13,01	26,05	27,89	3,61	42,55	40,37
	s.d.	17,38	2,12	7,18	0,58	0,48	3,37	19,00	12,07	0,93	37,11	11,03
S3	Moyenne	1,42	5,13	1,13	1,57	0,03	12,23	3,32	20,71	0,57	3,53	30,25
	s.d.	0,32	4,75	0,27	0,24	0,01	2,54	0,82	4,08	0,12	0,91	7,21
S4	Moyenne	1,59	5,64	1,31	2,26	0,04	15,76	4,85	25,84	0,83	3,06	90,97
	s.d.	0,61	5,53	0,42	0,74	0,02	5,38	1,31	9,11	0,18	1,12	39,24
S5	Moyenne	0,60	3,84	0,52	1,11	0,01	5,42	2,20	7,01	1,69	0,98	18,90
	s.d.	0,34	1,42	0,22	0,63	0,01	1,49	0,35	2,58	0,58	0,42	6,37
Hiver												
S1	Moyenne	0,61	2,07	0,44	0,85	0,02	3,65	1,70	7,71	1,26	2,59	24,70
	s.d.	0,23	1,32	0,22	0,40	0,02	1,08	0,35	4,00	0,60	1,40	9,14
S2	Moyenne	15,66	1,10	4,18	0,97	0,38	5,52	31,86	13,26	0,74	23,36	36,42
	s.d.	10,81	1,31	5,32	1,29	0,51	6,38	41,03	16,46	0,84	30,25	43,09
S3	Moyenne	0,84	0,91	1,64	0,73	0,17	2,59	13,75	6,68	0,60	10,02	19,13
	s.d.	0,33	1,48	0,22	0,31	0,01	2,43	0,73	4,19	0,34	1,10	6,10
S4	Moyenne	0,82	6,72	0,86	1,16	0,02	8,79	2,97	16,43	0,70	1,72	52,61
	s.d.	0,47	4,51	0,43	0,56	0,01	4,53	1,44	8,94	0,52	0,88	32,09
S5	Moyenne	0,17	0,55	0,17	0,29	0,00	2,01	0,90	2,22		0,23	10,74
	s.d.	0,09	0,31	0,07	0,11	0,00	0,37	0,34	0,71		0,11	2,93

Tableau IV : Flux d'éléments dans la phase particulaire des particules sédimentables

L'ensemble des éléments analysés représente entre 15 et 25% de la masse totale des particules et est toujours plus élevé en été qu'en hiver (Fig. 12).

Le reste de la masse est constitué par les éléments non analysés (Na, Mg par exemple), par l'oxygène et l'hydrogène (les éléments sont essentiellement sous formes minérales: oxydes, hydroxydes, silicates, carbonates) et la matière organique (en particulier les pollens en été). Si l'on exprime l'Aluminium, le Fer, le Silicium et le Titane sous forme d'oxydes, le Calcium sous forme de Carbonate, la fraction massique totale expliquée varie alors entre 30 et 57 % (Fig. 13). Si l'Aluminium est exprimé sous forme d'Hydroxyde, entre 32 et 64% de la masse est expliquée.

La fraction massique du Calcium est toujours plus faible en hiver qu'en été alors que celle de l'Aluminium est plus élevée ou sensiblement identique. Cela s'explique en fait par une répartition différente du Calcium entre particulaire et soluble, la fraction soluble du Calcium étant toujours plus importante en hiver qu'en été (Fig. 14). Cette différence peut être due à l'importance des précipitations en hiver et éventuellement à un changement de spéciation du Calcium entre les deux saisons.

		Al (mg/g)	Ca (mg/g)	Fe (mg/g)	Si (mg/g)	Ti (mg/g)	Ba (µg/g)	Cr (µg/g)	Mn (µg/g)	Ni (µg/g)	V (µg/g)	Zn (µg/g)
Été												
S1	Moyenne	16,14	167,94	13,26	43,96	0,74	128,29	60,95	214,00	60,59	139,56	402,54
	s.d.	8,88	79,85	6,49	12,59	0,27	60,47	3,81	104,84	29,74	64,09	155,40
S2	Moyenne	139,04	45,24	41,15	15,87	2,61	79,38	153,84	156,53	21,70	205,07	251,64
	s.d.	33,96	14,18	18,80	6,02	1,42	24,83	94,41	9,09	5,01	103,34	96,49
S3	Moyenne	20,47	81,56	16,39	22,89	0,44	177,36	47,95	299,50	8,33	50,93	442,41
	s.d.	2,65	78,42	2,40	2,67	0,06	22,97	7,19	25,29	1,47	8,10	107,23
S4	Moyenne	18,08	75,07	15,02	26,46	0,45	179,02	56,65	292,82	10,62	34,78	1024,11
	s.d.	3,79	72,40	1,83	6,38	0,14	27,32	7,85	39,80	5,35	6,29	178,57
S5	Moyenne	18,27	118,58	16,01	33,78	0,42	174,09	70,57	214,92	51,74	31,00	578,13
	s.d.	8,51	19,39	5,13	15,66	0,27	52,37	13,80	47,09	7,89	11,64	87,71
Hiver												
S1	Moyenne	31,59	104,58	21,75	42,62	1,08	189,03	89,20	382,32	63,05	126,93	1258,58
	s.d.	11,06	48,81	5,31	7,75	0,44	25,25	12,75	99,45	21,68	34,18	240,14
S2	Moyenne	114,03	11,35	34,48	6,47	2,66	60,45	250,62	118,09	8,24	179,90	373,09
	s.d.	60,23	7,15	11,11	5,70	1,93	37,68	102,78	38,55	6,15	82,12	195,40
S3	Moyenne	32,21	89,39	19,09	30,13	0,79	220,29	81,44	260,87	35,91	83,24	849,49
	s.d.	9,05	42,42	4,01	4,35	0,23	43,03	17,67	88,87	27,12	34,16	174,11
S4	Moyenne	16,01	123,33	17,79	23,83	0,38	176,70	63,74	322,70	11,79	34,59	985,01
	s.d.	4,39	52,93	2,75	0,79	0,15	18,40	14,88	70,48	9,24	4,56	364,62
S5	Moyenne	19,05	68,58	19,42	32,89	0,39	247,63	119,93	261,59		26,89	1473,06
	s.d.	3,1	38,7	1,1	5,1	0,0	71,1	67,1	49,3		12,4	968,8

Tableau V : Fractions massiques dans la phase particulaire des particules sédimentables

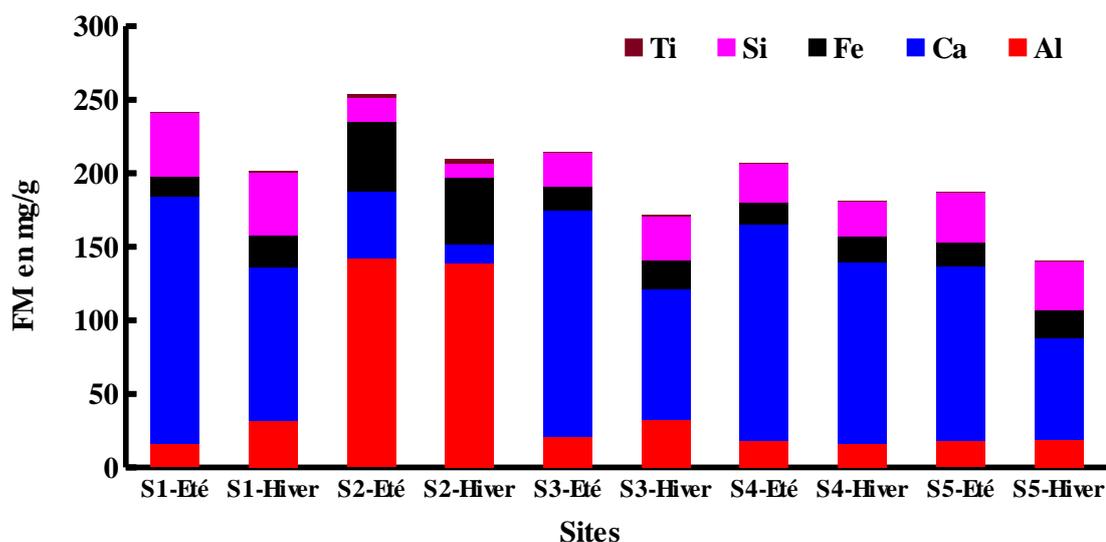


Figure 12: Fractions massiques des éléments analysés en fonction des sites et des campagnes

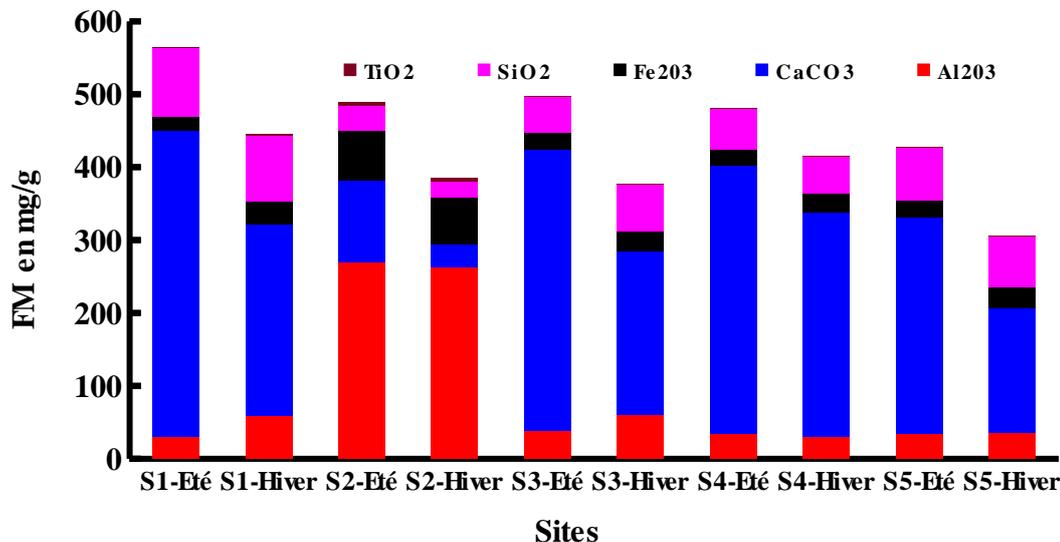


Figure 13: Fractions massiques des éléments analysés exprimées sous forme de phases minérales

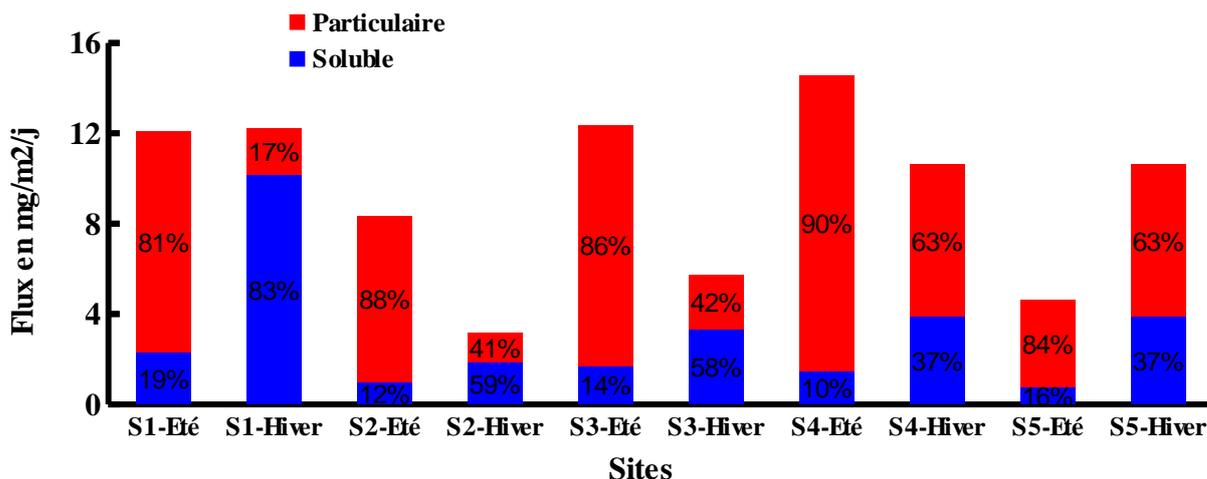


Figure 14 : Répartition du Calcium entre phase soluble et phase particulaire

II.2.2 Les PM10 et PM2.5

II.2.2.1 Les concentrations

Les concentrations en PM10 varient entre 19 et 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en été et entre 29 et 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en hiver (Tab. VI et Fig. 15).

En été, la moyenne pour le site S5 est 25 % plus basse que pour les autres sites qui présentent des moyennes équivalentes, supérieures aux stations de fond urbaines du réseau AirPACA (Aix Beaux-Arts ou Marseille 5 Avenues), mais nettement inférieures à la station « trafic » (Marseille Rabateau). En hiver, le site S4 a une moyenne environ 20% plus élevée que pour les autres sites. Ceux-ci ont une concentration moyenne similaire aux stations de fond urbaines du réseau AirPACA. Hormis pour les stations S5 en été (nettement plus basse) et S4 en hiver (nettement plus élevée), les concentrations moyennes en PM10 sont proches de l'objectif de qualité (30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Pour les PM2.5 (Tab. VI et Fig. 16), les moyennes varient entre 12 et 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en été, équivalentes à la moyenne du site urbain d'Aix et pas très éloignées de l'objectif de qualité de l'OMS (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Elles

augmentent fortement en hiver (entre 17 et 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), en particulier pour les deux sites urbains de Gardanne et de Trets mais également pour le site trafic routier. Cette augmentation peut atteindre 100% par rapport à l'été. Ce comportement est très souvent observé pour les sites urbains du réseau AirPACA.

		S1	S2	S3	S4	S5	Aix-BA	Mrs-5Av	Mrs-Rab	
PM10										
	Eté	moyenne	33	33	30	31	20	24	29	48
		e.t.	13	7	7	13	8	6	7	14
Hiver		moyenne	29	30	29	38	32	27	34	53
		e.t.	14	14	16	17	15	12	13	22
PM2.5										
	Eté	moyenne	14	14	15	14	12	14	23	21
		e.t.	7	5	6	6	5	6	7	7
Hiver		moyenne	18	26	22	27	25	21	22	28
		e.t.	9	14	10	12	13	9	10	13

Tableau VI : Moyennes des concentrations en PM10 et PM2.5 pour les 5 sites de l'étude et trois stations avoisinantes du réseau AirPACA

(Aix-BA : Aix en Provence Beau-Arts, station urbaine de fond ; Mrs-5Av: Marseille 5 Avenues, station urbaine de fond ; Mrs-Rab : Marseille Rabateau, station de trafic)

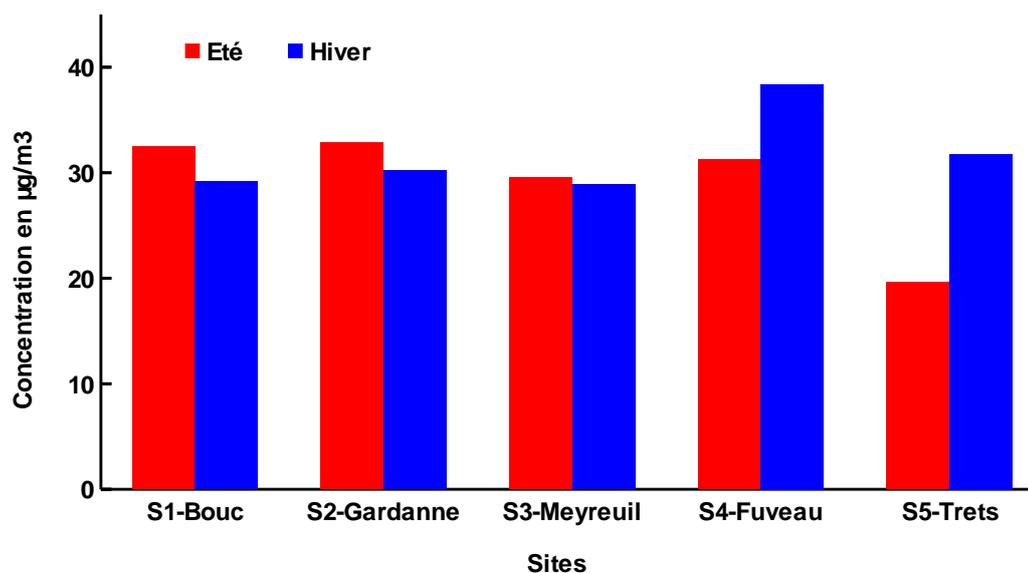


Figure 15 : Concentration moyenne en PM10 pour les 5 sites lors des deux campagnes

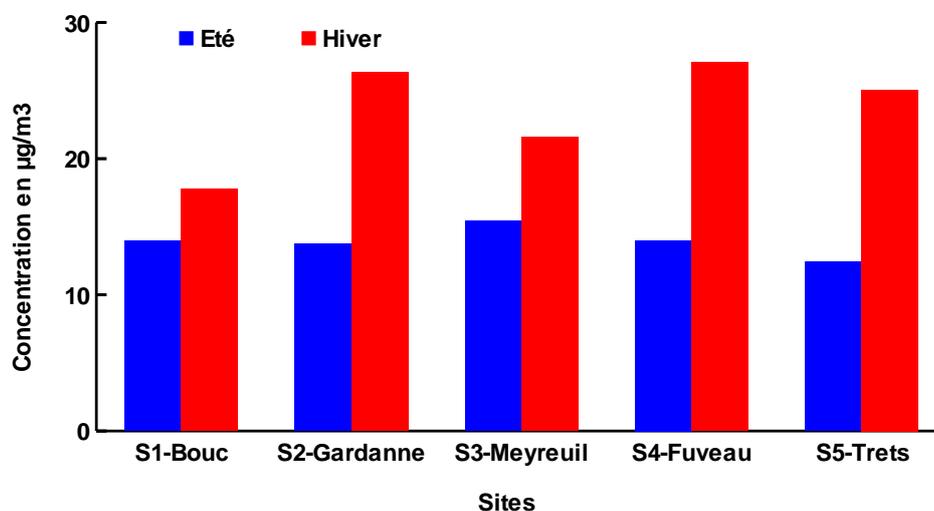


Figure 16 : Concentration moyenne en PM2.5 pour les 5 sites lors des deux campagnes

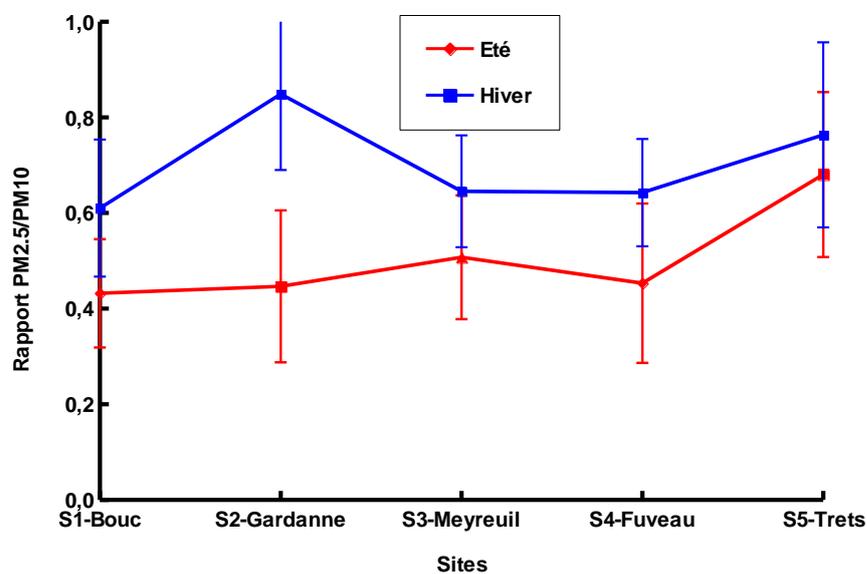


Figure 17 : Évolution du rapport PM2.5/PM10 sur les 5 sites pour les deux campagnes

D'une façon générale, et pour les deux fractions, les écart-types sont plus importants en hiver qu'en été, reflétant une plus grande variation des concentrations, sans doute liée aux précipitations pendant le mois de Janvier 2011.

En été, le rapport PM2.5 sur PM10 est semblable sur les sites S1 à S4, avec une valeur moyenne de l'ordre de 0,5, assez nettement inférieure à celle mesurée habituellement dans des sites urbains (Fig. 17).

Par contre, sur le site S5, le rapport est nettement plus élevé (environ 0,62 en moyenne), reflétant bien le caractère urbain de ce site.

En hiver, tous les rapports augmentent. C'est cependant sur les deux sites urbains (S2 et S5) qu'ils sont les plus élevés avec des valeurs moyennes supérieures à 0,75.

II.2.2.2 Les compositions chimiques

Les éléments suivants ont été analysés : Al, Ca, Fe, Mg, Na, Ti, Ba, Cd, Cr, Ni, Pb, V. Pour des raisons de limite de détection, tous les éléments n'ont pas été analysés dans chaque campagne. Comme pour les particules sédimentables, les valeurs moyennes présentent des écart-types important (Tab. VII et VIII).

Pour les prélèvements où ils ont été analysés, les métaux réglementés (As, Cd, Ni et Pb) ont tous des concentrations très nettement inférieures aux valeurs limites réglementaires.

Pour les PM10 en été, c'est pour le site que les concentrations en Al et Na sont les plus importantes alors que le Calcium est plus concentré au site. Pour les autres éléments, en particulier le Fer, les différences entre sites sont moins nettes. Pour les PM2.5, les concentrations d'Aluminium augmentent fortement d'Ouest en Est. C'est toujours sur le site S2 que les concentrations en Sodium sont les plus fortes.

En hiver, les concentrations sont généralement plus basses. On ne retrouve pas de fortes concentrations d'Aluminium dans les PM2.5.

en ng/m ³		Al	Ca	Fe	Mg	Mn	Na	Ti	Ba	Cr	Ni	Pb	V	Zn
S1-10	moyenne	934	4794	545	184	8	861	34	11	5		11	8	
	e.t.	407	1621	151	106	3	1054	15	4	2		7	5	
S2-10	moyenne	1162	2783	584	97	6	2260	34	8	9		8	5	
	e.t.	788	824	160	44	2	1239	25	3	8		5	4	
S3-10	moyenne	739	3114	529	368	7	1065	25	10	10		9	7	
	e.t.	429	820	210	816	3	307	25	4	7		0	7	
S4-10	moyenne	827	3667	745	82	11	591	18		13		15	4	
	e.t.	581	1567	217	104	6	191	14		9		11	2	
S5-10	moyenne	368	1809	294	19	7	386	10		20		15	4	
	e.t.	191	337	63	53	1	85	25		27		10	3	
S1-2.5	moyenne	499	949	155	140	6	262	30	11	8	9	11	11	117
	e.t.	196	161	34	71	1	96	18	11	4	3	7	5	117
S2-2.5	moyenne	988	524	166	168	5	1346	16	17	11	8	7	8	87
	e.t.	259	264	41	85	2	670	7	9	5	4	2	4	49
S3-2.5	moyenne	1950	943	202	238	5	601	13	22	10	6	6	10	62
	e.t.	733	275	45	82	2	810	7	7	7	4	2	5	29
S4-2.5	moyenne	1632	731	295	236	7	473	14	19	47	23	5	7	104
	e.t.	383	151	147	57	6	192	4	5	86	43	2	4	124
S5-2.5	moyenne	1663	1484	221	282	5	494	25	19	6	5	6	6	78
	e.t.	306	1990	29	82	3	220	26	5	5	3	2	4	87

Tableau VII : Concentrations moyennes dans les PM10 et PM2.5, campagne d'été

ng/m3		Al	Ca	Fe	Mg	Mn	Na	As	Cd	Cr	Ga	Ni	Pb	V	Zn
S1-10	moyenne	705	1039	338	109	13,50	557	0,3	0,2	7,1	0,7	9,0	6,7	9,4	44
	e.t.	837	819	212	97	9,35	507	0,3	0,2	2,5	1,0	5,4	4,3	5,6	43
S2-10	moyenne	524	596	232	23	5,46	288	0,3	0,1	6,4	1,6	4,4	6,0	5,2	49
	e.t.	484	666	143	19	2,77	165	0,2	0,1	6,0	0,9	3,0	2,4	2,5	35
S3_10	moyenne	234	1310	288	62	12,06	361	0,2	0,1	8,5	0,3	8,0	5,6	5,0	94
	e.t.	171	1403	141	48	6,90	285	0,1	0,1	6,5	0,1	8,5	2,6	2,5	33
S4-10	moyenne	410	1611	464	57	9,18	411		0,1	4,2	0,1	6,1	5,0	3,0	42
	e.t.	402	1507	318	36	5,82	258		0,1	4,3	0,1	6,6	3,6	2,4	54
S5-10	moyenne	143	1364	141	56	10,67	387		0,2	4,2	0,1	4,1	5,8	3,3	178
	e.t.	102	837	81	39	2,45	304		0,2	3,1	0,1	6,1	4,8	2,4	29

		Al	Ca	Fe	Mg	Mn	Na	As	Cd	Cr	Ga	Ni	Pb	V	Zn
S1-2.5	moyenne	81	216	88	18	4,78	145			4,2		9,6	4,7	4,4	
	e.t.	96	158	70	24	4,15	129			2,0		7,7	4,1	3,3	
S2-2.5	moyenne	86	226	87	13	2,60	119			2,8		3,2	4,0	3,4	
	e.t.	70	184	43	15	1,22	84			1,6		2,3	3,1	2,2	
S3-2.5	moyenne	76	368	115	17	1,96	223			3,0		3,8	2,7	2,2	
	e.t.	122	306	83	19	1,07	310			4,4		3,1	1,4	1,8	
S4-2.5	moyenne	102	629	190	20	2,55	105			1,3		1,3	2,8	1,8	
	e.t.	79	260	126	11	1,66	90			0,8		0,9	1,9	1,5	
S5-2.5	moyenne	43	415	44	10	1,16	51			1,1		1,7	3,3	1,7	
	e.t.	23	171	21	5	0,67	38			0,6		1,2	3,3	0,9	

Tableau VIII : Concentrations moyennes dans les PM10 et PM2.5, campagne d'hiver

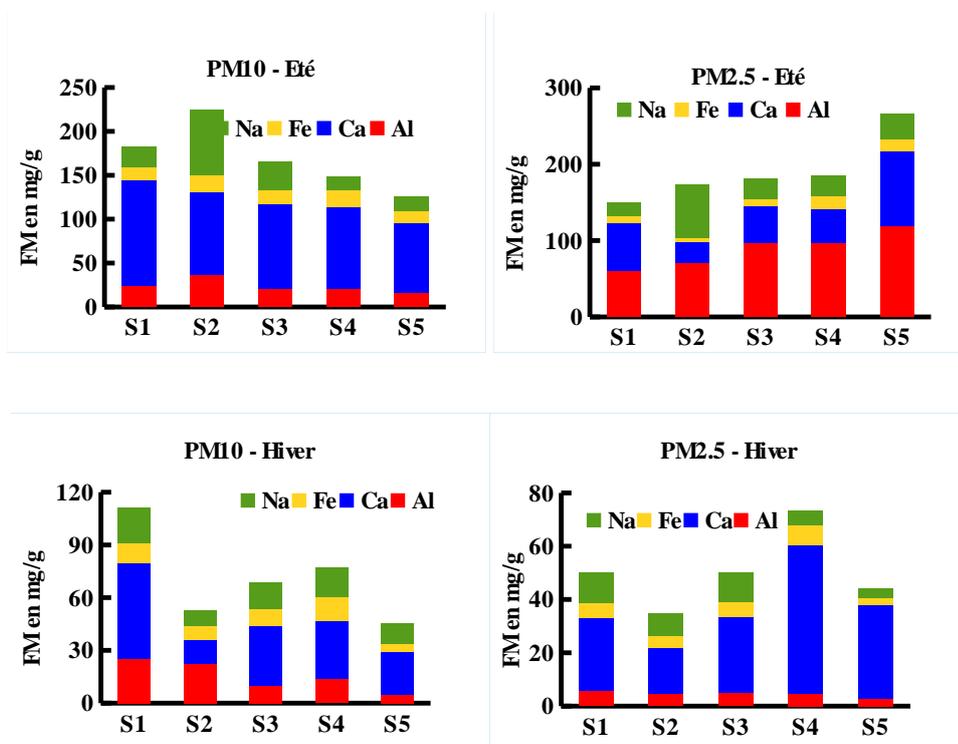


Figure 18 : Fractions massiques moyennes des éléments majeurs sur les 5 sites pour les deux campagnes

Les concentrations volumiques étant fortement dépendantes de la concentration totale en PM, il est plus intéressant d'étudier les variations des fractions massiques (Fig. 18).

Globalement, les fractions massiques des éléments analysés sont toujours plus faibles en hiver qu'en été. Cela peut s'expliquer par une proportion plus élevée de composés organiques, lié soit à la mise en service des systèmes de chauffage soit aux conditions météorologiques.

Hormis dans le cas des PM_{2.5} en été, le Calcium est toujours l'élément dont la fraction massique est la plus importante. Si, pour les PM₁₀ en été, la plus forte fraction massique de l'Aluminium se trouve sur le site S2, ce n'est pas le cas pour les autres campagnes et fractions, notamment pour les PM_{2.5} en été ou la fraction massique d'Al augmente d'Ouest en Est. Les fractions massiques du Fer varient peu en fonction du site (sauf pour le site S2), ou de la saison. Pour le Sodium, c'est sur le site S2 en été, aussi bien sur les PM₁₀ et PM_{2.5}, que l'on mesure les fractions les plus importantes. La différence été – hiver peut s'expliquer par le lessivage des particules par la pluie en hiver, le Sodium étant essentiellement adsorbé à leur surface.

A partir de la connaissance du territoire, l'Aluminium n'a que deux sources :

- une source anthropique, avec l'usine d'alumine sur le site S2
- une source « naturelle », provenant des minéraux du sol, essentiellement des phases argileuses, présente sur l'ensemble du territoire à des degrés divers (en fonction de l'usage des sols).

Les conditions météorologiques (vent de NO assez fréquent en été) peuvent contribuer à la dispersion de particules fines provenant de l'usine d'alumine vers la partie Est du bassin. On retrouve d'ailleurs ces particules dans les prélèvements de particules sédimentables. Cependant, cette contribution devrait diminuer avec la distance entre l'usine et le site de prélèvement. Pour les mêmes raisons météorologiques (vent de NO fréquent et assez fort) et également une proportion assez importante de terres sans couverture végétale en cette saison, il peut se produire une remise en suspension des particules fines du sol, contribuant à l'augmentation de la fraction massique de l'Aluminium. Des informations complémentaires sur les conditions météorologiques, la minéralogie des PM_{2.5} ainsi que sur l'occupation des sols seraient nécessaires pour préciser la source de cet Aluminium.

Pour les éléments traces, c'est le Zinc qui est toujours le plus abondant, supérieur à 1mg/g. Pour les métaux considérés comme traceurs de la bauxite (Cr, Ti, V) les fractions massiques ne sont pas plus élevés sur le site S2 que sur les autres sites, que ce soit pour les PM₁₀ ou les PM_{2.5}. Il en est d'ailleurs de même pour la fraction massique du Fer.

II.2.2.3 Relations Fractions Massiques et Granulométrie

Il est possible de comparer les fractions massiques de l'Aluminium, du Fer et du Calcium dans les particules sédimentables, les PM₁₀ et les PM_{2.5}.

Pour l'Aluminium (Fig. 19), en été, la fraction massique croît légèrement ou est constante pour les S1 et S3 à S5 entre les PS et les PM₁₀ puis augmente fortement pour les PM_{2.5}. Pour le site S2, la fraction massique, très importante dans les PS (13%) décroît dans les PM₁₀ puis ré-augmente dans les PM_{2.5}. L'explication est probablement le rôle de la remise en suspension de particules argileuses de sol. En hiver, les cinq sites présentent le même comportement avec une diminution de la fraction massique des PS au PM_{2.5} en passant par les PM₁₀. Cela peut s'expliquer par une proportion plus importante en hiver de composés organiques ou d'autres éléments que nous n'avons pas analysés. Cette diminution de la proportion d'Aluminium en fonction de la granulométrie des poussières sur le site S2 avait été déjà vu lors d'une campagne préliminaire en Décembre 2009 sur le même site. Elle indique une contribution plus faible de l'usine d'alumine lorsque la granulométrie diminue.

En hiver, le Fer présente exactement le même comportement que l'Aluminium (Fig. 20). Pour le site S2, en été, le Fer évolue également de la même façon. Sur ce site, le Fer est étroitement lié aux émissions de particules issues du stockage de bauxite dans l'enceinte de l'usine d'alumine. On peut logiquement interpréter cette diminution de la fraction massique du Fer (et également celle de l'Aluminium) comme une moindre influence des émissions de l'usine lorsque la granulométrie diminue.

Pour le Calcium (Fig. 21), sur le site S1, près de la cimenterie, la fraction massique diminue avec la granulométrie (de 17% à 6% en été), quel que soit la saison. Pour les autres sites, les situations sont un peu plus complexes à comprendre. En été, la fraction massique augmente dans les PS et les PM_{2.5} de S2 à S5, alors qu'elle est stable dans les PM₁₀. En hiver, elle augmente dans les trois fractions de S2 à S4 puis diminue pour le site S5.

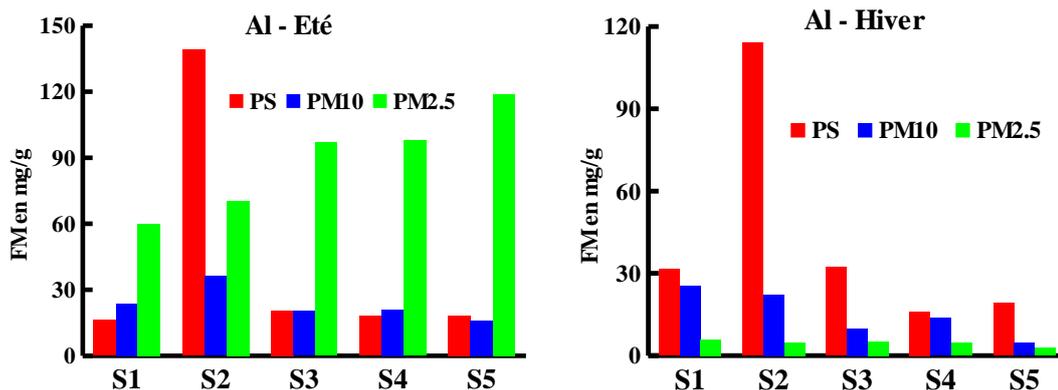


Figure 19 : Évolution de la fraction massique de l'Aluminium en fonction de la granulométrie

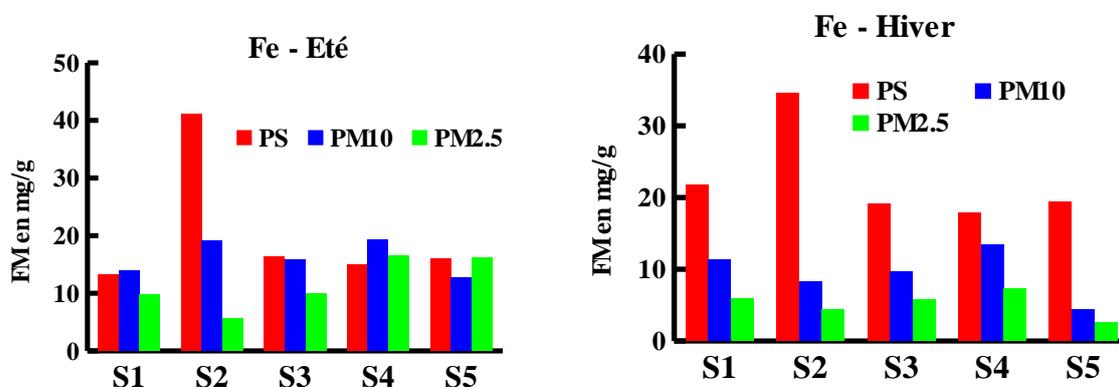


Figure 20 : Évolution de la fraction massique du Fer en fonction de la granulométrie

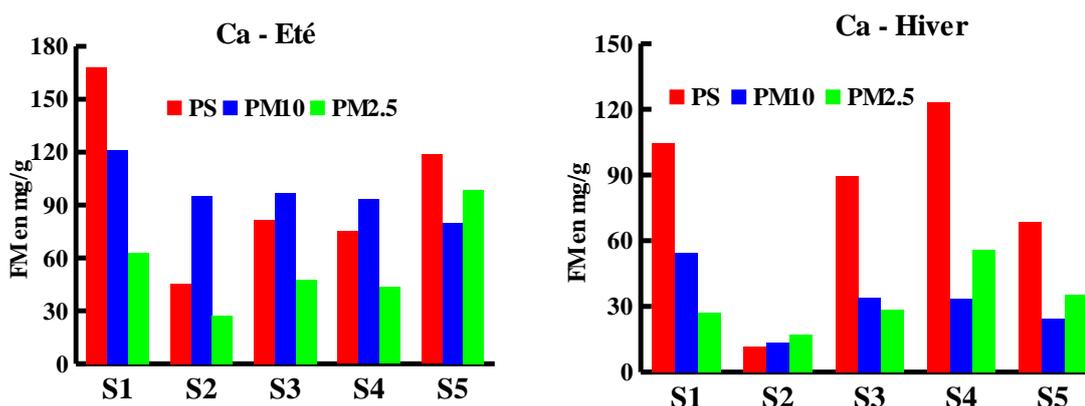


Figure 21 : Évolution de la fraction massique du Calcium en fonction de la granulométrie

Les éléments traces ont un comportement globalement semblable mais différent de celui des majeurs.

En été, les fractions massiques de Ba, Cr, Ni, V et Zn augmentent quand la granulométrie diminue sauf pour le chrome sur le site S5 (fraction massique plus faible dans les PM2.5 que dans les PM10) et le Vanadium sur le site S2 (la fraction massique diminue avec la granulométrie). Ce comportement du Vanadium à Gardanne est similaire à celui du Fer.

En hiver, les fractions massiques de Cr, Mn, Ni, V et Zn augmentent des particules sédimentables au PM10 puis diminue dans les PM2.5, sauf pour le Nickel sur le site S1 et le Vanadium sur le site S4. Dans ces deux cas, les fractions massiques augmentent quand la granulométrie diminue.

II.2.3 Les HAP

A partir des filtres PM2.5 prélevés pour l'étude de génotoxicité, des analyses de HAP ont été faites. Pour chaque site, l'analyse porte sur un filtre (une journée) de la campagne été et un de la campagne hiver. Les analyses ont été faites au Laboratoire Chimie de L'Environnement (LCE, FR2704, CNRS-AMU).

Les niveaux de concentration mesurés sur les cinq sites (entre 0,1 et 0,5 ng/m³) sont nettement inférieurs à ceux enregistrés par AirPACA tant à Marseille qu'à Aix en Provence où la somme des HAP dépasse les 2 ng/m³

Globalement, les concentrations totales des 15 HAP analysés sont plus importantes en hiver qu'en été, hormis pour le site S3-Meyreuil pour lequel elles sont équivalentes. Cela peut être dû à la conversion particulaire/gazeux plus importante en été qu'en hiver.

Deux types de distribution apparaissent (Fig. 22 et 23).

En été, pour les sites S3 et S4, la distribution présente trois pics équivalents pour le Phénanthrène, le Fluoranthène et le Benzo-Fluoranthène.

Pour l'ensemble des autres prélèvements, c'est le Benzo-Fluoranthène qui montre les concentrations les plus élevées (entre 26 et 35 % de la somme). En été, ce pic est bien marqué sur le site urbain S5 (somme des HAP la plus élevée) ; il l'est nettement moins pour le site S2. En hiver, c'est pour les sites S4 et S5 qu'il est le plus important et au site S3 le moins. Cette distribution est analogue à celle enregistrée par AirPACA sur les sites urbain ou trafic d'Aix et de Marseille.

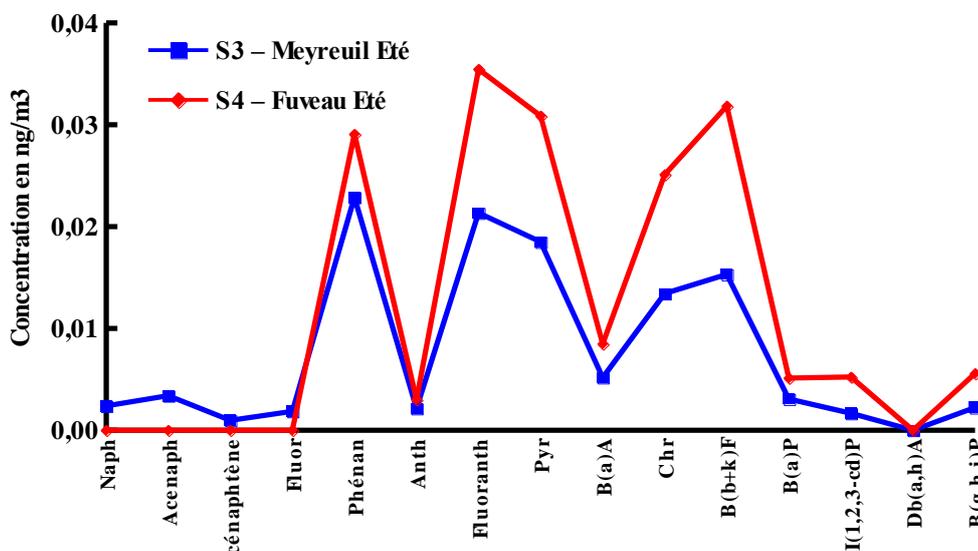


Figure 22 : Distribution des HAP aux sites S3 et S4 en été

Dans tous les prélèvements, les concentrations des 4 HAP les plus légers sont nulles ou proches de zéro.

Les profils de concentration des HAP « moyens » (du Phénanthrène au Chrysène) sont quasiment identiques pour tous les prélèvements. Il en est à peu près de même pour les HAP « lourds » (à partir du B(a)P).

Les prélèvements n'ayant pas été faits exactement aux mêmes dates sur chaque site, les résultats ne sont pas totalement comparables. Cependant, certains regroupements peuvent être faits :

- en été, les sites S1, S3 et S5 ont été prélevés le même jour (6 Juin 2010) ; il en est de même pour les sites S2 et S4 (le 18 Juin 2010).
- en hiver, les sites S1, S2 et S3 ont été prélevés en même temps (le 6 Janvier 2011) ; les sites S4 et S5 l'ont été le 12 Janvier 2011.

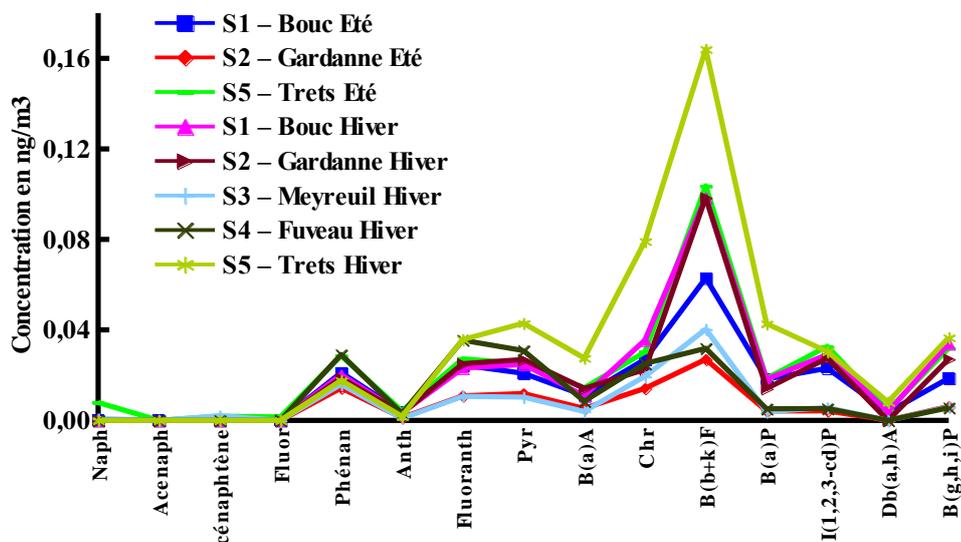


Figure 23: Distribution des HAP pour les cinq sites et les deux saisons

Ces regroupements montrent que les différences de distribution ne sont pas dues à des différences de date de prélèvement.

Le Benzo(a)pyrène (B(a)P), classé cancérigène, est le seul HAP réglementé avec une valeur cible de 1 ng/m³. Toutes les concentrations mesurées sont très largement inférieures à cette valeur. On constate cependant que c'est sur le deux sites urbains (Gardanne et Trets) que la variation de concentration entre l'été et l'hiver est la plus forte (+ 120% pour Trets). Ces augmentations sont à relier aux augmentations des PM2.5 et ont sans doute comme origines les systèmes de chauffage ainsi que des conditions météorologiques favorables à l'accumulation des polluants.

II.2.4 Synthèse des résultats sur la caractérisation

Les principaux résultats obtenus dans cette caractérisation physico-chimique des particules atmosphériques sont les suivants :

- en ce qui concerne les particules sédimentables, le site S2 est de très loin le plus empoussiéré avec des particules composées essentiellement de phases alumineuses provenant de l'usine d'alumine ; ce sont ces particules qui donnent cette couleur rouge au centre de Gardanne ; le site urbain S5, à Trets, est par contre nettement le plus « propre », tant en été qu'en hiver, pour ce type de particule.

- les concentrations en PM10 sont voisines d'une saison à l'autre pour les trois premiers sites; le site S4 présente une valeur élevée en hiver, avec un accroissement hiver/été de l'ordre de 25% ; sur le site S5, une concentration relativement basse est mesurée en été mais, par contre un accroissement sensible est enregistré de l'été à l'hiver ;

- par contre, pour les PM2.5, un effet saisonnier est clairement visible sur l'ensemble des sites, avec de plus fortes concentrations en hiver qu'en été, en particulier pour les sites S2 (+86%), S3 (+80%) et S5 (+108%) ; cette forte augmentation est un vrai résultat nouveau auquel nous ne nous attendions pas vraiment ;

- sur le site S2, si, comme attendu, il est indéniable que l'usine d'alumine a une contribution forte et majeure sur les particules sédimentables, l'étude tend à montrer que celle-ci diminue avec la classe granulométrique des particules, sans doute remplacé par d'autres sources comme la remise en suspension de particules de sol et surtout le secteur résidentiel ;

- pour les PM10, l'objectif de qualité (30 µg/m³) est quasiment atteint, sauf pour le site S4 en hiver ; pour les PM2.5, la valeur préconisée par l'OMS (10 µg/m³) est très loin d'être atteinte en hiver pour les sites urbains ou urbano-industriels ; pour les métaux réglementés (As, Cd, Ni et Pb), les valeurs limites sont nettement respectées;

- les concentrations en HAP sont beaucoup plus faibles que celles qu'on trouve en environnement urbain à Marseille ou Aix, d'un facteur 10 environ ; les concentrations sont plus élevées en hiver qu'en été, en particulier pour les deux sites urbains de Gardanne et Trets où le B(a)P augmente d'un facteur similaire à celui des PM2.5.

III. Étude de la cyto-géno-toxicité *in vitro*

A partir des prélèvements spécifiques pour la fraction PM2.5, différentes extractions ont été effectuées afin de séparer différents constituants des particules et de tester leurs cytotoxicité et génotoxicité potentielles.

III.1 Généralités

III.1.1 Cytotoxicité

La cytotoxicité est une atteinte de la viabilité cellulaire consécutive à l'action d'un agent chimique, physique ou biologique. Des cellules exposées à ce type d'agent présentent, en fonction de la concentration et de la durée de l'exposition, un ou plusieurs dysfonctionnements physiologiques pouvant entraîner la mort de la cellule. Ainsi, la cytotoxicité de tel ou tel agent est souvent évaluée par des méthodes biochimiques permettant de suivre un ou plusieurs dysfonctionnements cellulaires.

Dans notre étude, la cytotoxicité des différents constituants de PM2.5 a été étudiée au moyen d'un test multi-paramétrique qui permet de réaliser 4 tests de cytotoxicité sur une même culture cellulaire : les tests LDH, XTT, NR et SRB (test PAN I, Xenometrix). Ces tests nous permettent de visualiser l'effet de l'agent exogène testé sur différents organites cellulaires tels que la mitochondrie, les lysosomes, la membrane cellulaire, ou encore sur la prolifération cellulaire.

III.1.1.1 Test LDH

Ce test permet de mettre en évidence une modification de la perméabilité membranaire.

La LDH (lactate déshydrogénase) est une enzyme cytoplasmique stable présente dans toutes les cellules et qui est libérée dans le milieu de culture cellulaire (surnageant cellulaire) lorsque les propriétés de perméabilité sélective de la membrane plasmique des cellules sont altérées.

Ce test repose sur le dosage de l'activité enzymatique de la LDH dans le surnageant cellulaire. Une augmentation de l'activité de la LDH, mesurée par spectrophotométrie, dans le surnageant cellulaire permet de détecter une altération de la perméabilité membranaire.

III.1.1.2 Test XTT

Ce test permet de mettre en évidence une altération des fonctions mitochondriales. Les mitochondries sont le principal fournisseur d'énergie de la cellule et assurent la respiration cellulaire. Les cellules sont viables lorsque la chaîne respiratoire mitochondriale ainsi que les membranes mitochondriales sont intactes.

Le XTT (2,3-bis[2-methoxy-4-nitro-5-sulphophenyl]-2H-tetrazolium-5-carboxyanilide inner salt) est un sel de tetrazolium utilisé par une enzyme mitochondriale (la succinate déshydrogénase) ; une diminution de sa métabolisation par la succinate déshydrogénase témoigne donc d'un dysfonctionnement mitochondrial qui traduit une cytotoxicité.

Ce test repose sur le dosage du produit de métabolisation par spectrophotométrie : la succinate déshydrogénase réduit le XTT (jaune) en formazan (orange). Plus la couleur orange est intense, plus les cellules sont viables.

III.1.1.3 Test NR

Ce test permet de mettre en évidence une modification de l'activité des lysosomes. Les lysosomes ont pour fonction d'effectuer la digestion intracellulaire.

Le rouge neutre (neutral red ou NR) est un colorant cationique faible qui pénètre facilement dans les membranes cellulaires par diffusion, et s'accumule au niveau intracellulaire dans les lysosomes. Le colorant est exclu des cellules mortes. Ce test repose sur la mesure de la capacité de la cellule à incorporer le NR dans les lysosomes. Si les lysosomes sont altérés, le NR ne s'y accumule pas autant et l'intensité de la couleur rouge est proportionnelle à la viabilité cellulaire.

III.1.1.4 Test SRB

Ce test permet de mettre en évidence une modification de la synthèse des protéines intracellulaires grâce à l'emploi d'un colorant qui se lie aux protéines cellulaires : la SRB ou sulforhodamine. Après lavage des cellules incubées en présence de SRB, la coloration rouge, évaluée par spectrophotométrie, est proportionnelle à la quantité de protéines cellulaires et donc au nombre de cellules.

Ce test repose sur la mesure de la densité cellulaire. Plus la couleur rouge est intense, plus les cellules sont nombreuses, plus la prolifération est rapide et donc plus les cellules sont viables.

III.1.2 Génotoxicité

Un agent physique ou chimique est dit génotoxique lorsqu'il possède une toxicité directe ou indirecte vis-à-vis du génome. La génotoxicité d'un composé se manifeste par une atteinte de l'ADN : le composé peut être susceptible d'altérer l'intégrité du patrimoine génétique avant ou après métabolisation (Fig. 24). Dans ce dernier cas, la phase I du métabolisme produit le plus souvent des catabolites électrophiles. Les génotoxiques sont susceptibles de se lier aux bases nucléophiles de l'ADN ou au squelette phosphocarboné, formant des liaisons covalentes qui provoquent la formation de lésions primaires à l'ADN (adduits, produits d'oxydation, cassures...). La génotoxicité d'un composé peut également se manifester par une atteinte des protéines impliquées dans le maintien de l'intégrité de l'ADN (protéines de réparation de l'ADN, topoisomérases, protéines participant à la migration, la disjonction et/ou la ségrégation des chromosomes au cours de la mitose...).

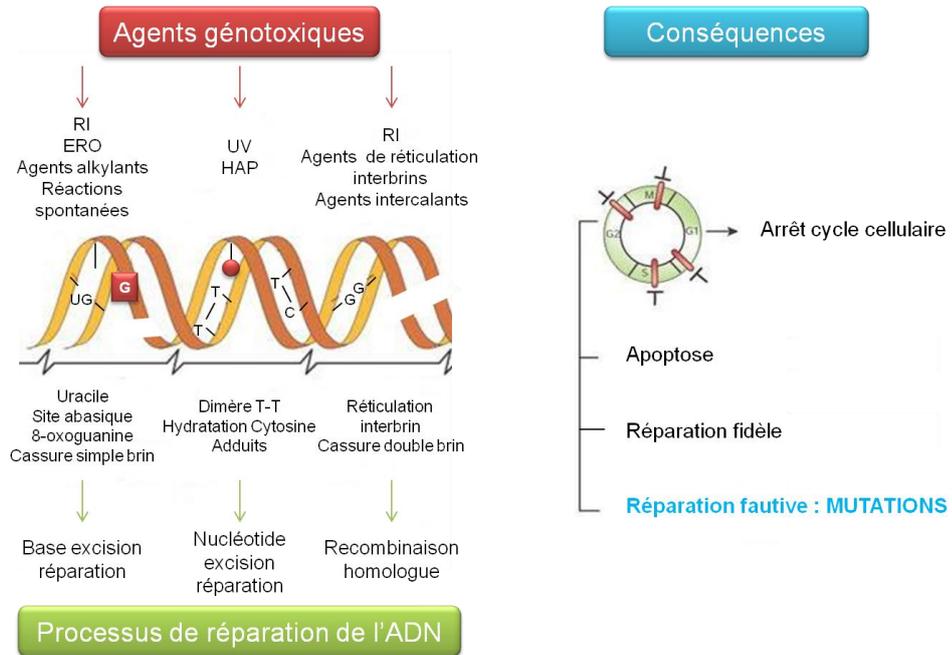
Les lésions primaires de l'ADN engendrées par les agents génotoxiques sont prises en charge par des systèmes de réparation de l'ADN. Ces systèmes sont d'une grande efficacité, notamment lorsque les lésions ne concernent qu'un seul des deux brins de l'ADN : ainsi, la cellule initialement lésée aboutit, après réparation parfaite, à une cellule normale. Dans le cas où les dommages à l'ADN sont trop importants, du fait de la nature complexe de la lésion (ex : pontage inter-brins) ou de l'extrême abondance des lésions à prendre en charge, la cellule s'engage dans un processus apoptotique. Cependant une défaillance héréditaire ou un débordement des systèmes de réparation et/ou de mise en œuvre du processus apoptotique peut conduire à une inefficacité ou une déféctuosité des mécanismes de réparation, aboutissant à l'apparition de mutation. Ainsi, une mutation est définie comme une modification permanente du nombre ou de la structure des gènes aboutissant à une modification des caractéristiques phénotypiques et donc une modification stable et héritable du patrimoine génétique. Un agent génotoxique peut être considéré comme un agent mutagène lorsque par son action, il fait augmenter significativement l'apparition de mutations.

Ces mutations ont des conséquences extrêmement sévères car elles affectent plusieurs gènes. Elles peuvent concerner une partie d'un chromosome (événement clastogène) ou bien des chromosomes entiers (événement aneugène) et sont alors dues à une variation dans la structure ou le nombre de chromosomes. Afin de distinguer ces deux types d'anomalies chromosomiques, nous avons réalisé un marquage immuno histochimique des centromères grâce à des anticorps anti-centromères (Ac CREST).

Le test de numération des micronoyaux permet de mettre en évidence des mutations chromosomiques et d'identifier et de quantifier ces micronoyaux (MN), qui sont des entités nucléaires distinctes du noyau principal retrouvées dans des cellules en interphase (Fig. 25). Ces entités sont constituées soit de chromosomes entiers perdus au cours de la mitose précédente, soit de fragments chromosomiques acentriques exclus du noyau de la cellule fille pendant la division cellulaire. Ce test peut donc révéler un mécanisme aneugène, le plus souvent lié à un dysfonctionnement du fuseau mitotique, perturbant la ségrégation et la migration des chromosomes ou un mécanisme clastogène, consécutif à des cassures double-brin de l'ADN. Les fragments chromosomiques générés par ces cassures ne possèdent pas de centromère. De ce fait, ils ne sont plus reliés au fuseau mitotique. Ce test se présente donc à la fois comme un test de mutations chromosomiques et de mutations génomiques.

Le test des micronoyaux nécessite l'emploi de cellules capables de se diviser : après mise en contact des cellules avec l'agent à étudier, celles-ci sont remises en culture, puis un blocage de la cytotérièse est réalisé grâce à la cytochalasine B, d'où le nom de « Cytokinesis-Blocked Micronucleus Assay » également usité pour ce test. On obtient ainsi des cellules binucléées, ayant donc conservé *in vitro* la capacité de réaliser une division cytoplasmique complète. Le dénombrement des micronoyaux se fait au sein de cette population binucléée.

Afin de distinguer un événement clastogène d'un événement aneugène, le test des micronoyaux est couplé à un marquage *in situ* des centromères grâce à des anticorps anti-centromériques synthétisés par des patients atteints du syndrome de CREST (forme particulière de sclérodermie) (Fig. 26). Ces anticorps se lient aux centromères des chromosomes et l'apparition d'une fluorescence signera la perte d'un chromosome entier, par conséquent un événement aneugène (Fig. 27).



Jan H. J. Hoeijmakers, Nature 2001, volume 411, pages 366-374

Figure 24 : Processus génotoxiques : principales lésions primaires à l'ADN

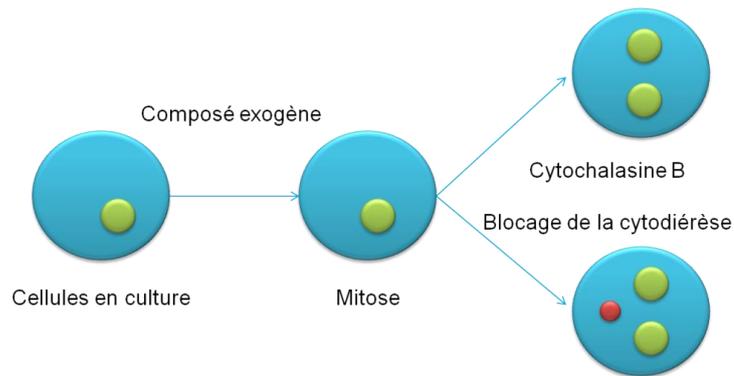


Figure 25: Formation de micronoyaux

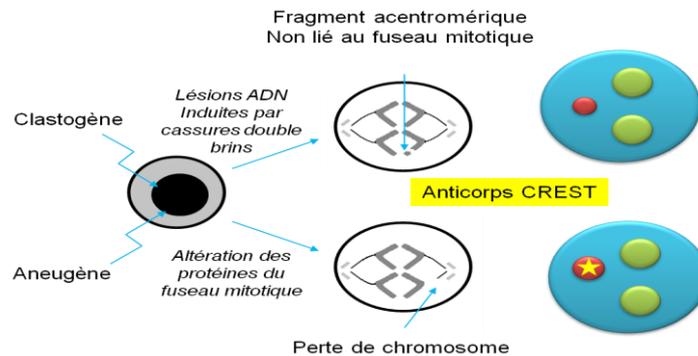


Figure 26 : Marquage des centromères par des Anticorps CREST

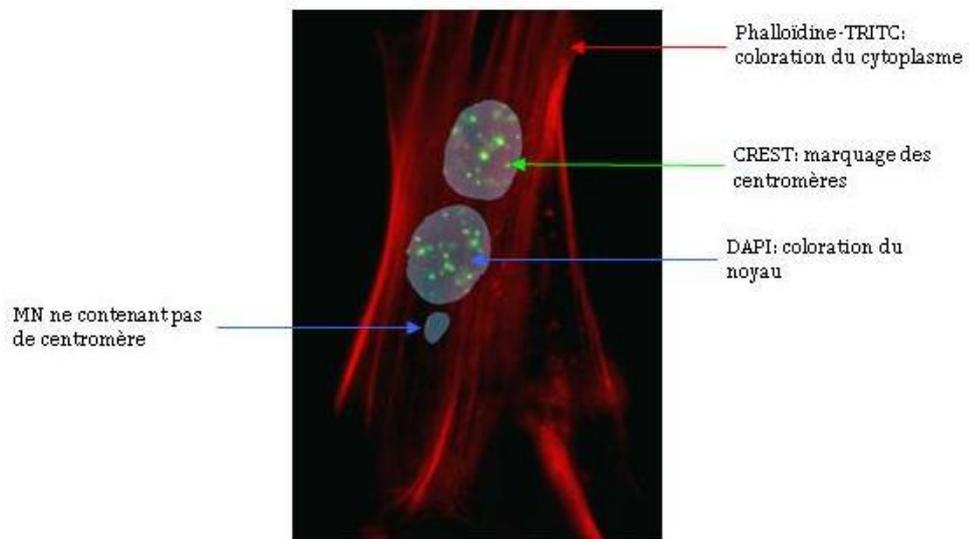


Figure 27 : Cellule binucléée de fibroblaste de poumon humain + MN (microscope à fluorescence, objectif 100 en immersion)

III.2 Stratégie de l'étude

L'ensemble des tests sont réalisés sur les fractions hydrophiles et lipophiles extraites (Fig. 28).

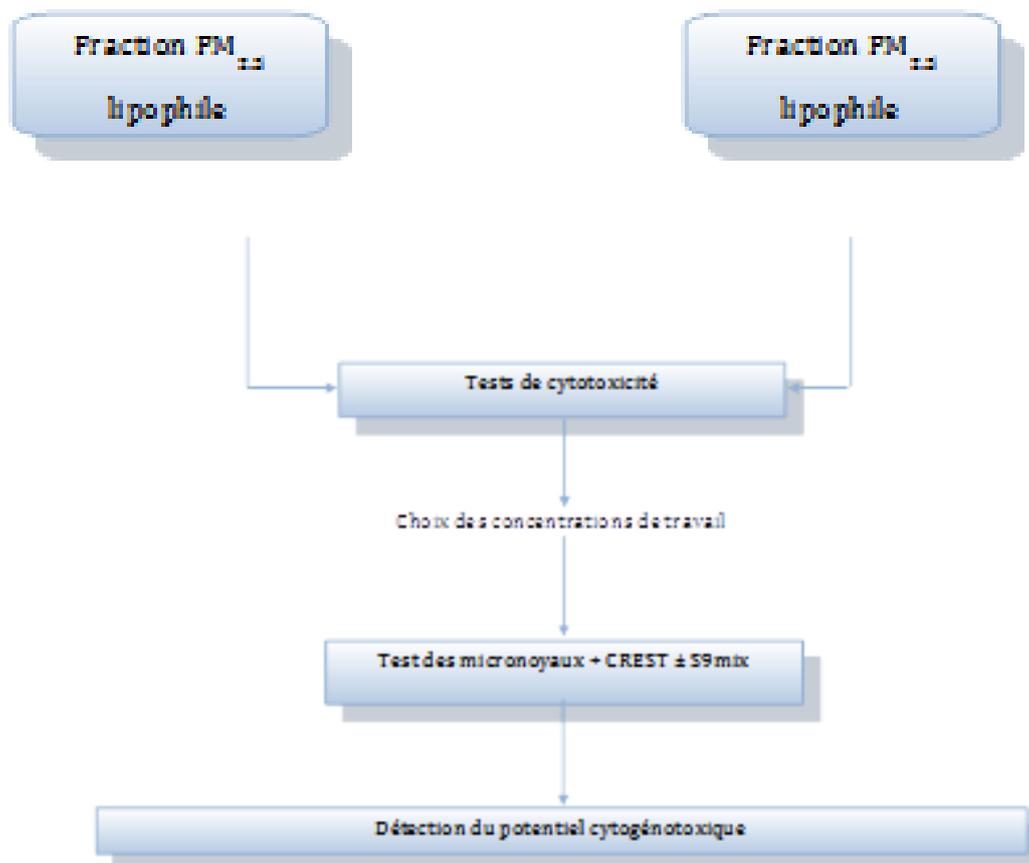


Figure 28 : Stratégie de l'étude

III.3 Matériel et méthodes

III.3.1 Travail préliminaire

III.3.1.1 Extraction des particules

Deux fractions différentes sont extraites des filtres : la fraction hydrophile et la fraction lipophile (extractible par solvant). La même méthodologie est appliquée à chacun des filtres [Gutierrez-Castillo *et al.*, 2005 ; Zheng *et al.*, 1997 ; Meng et Zhang, 2007]. Chaque filtre est divisé en 2 parties égales : une moitié est utilisée pour extraire la fraction hydrophile, et l'autre pour extraire la fraction lipophile (soluble dans le diméthylsulfoxyde ou DMSO).

L'ensemble des extractions s'effectuent à l'abri de la lumière.

Pour chaque site, 6 filtres et 1 filtre blanc sont utilisés pour les extractions.

- *Fraction hydrophile*

La moitié de filtre est coupée en morceaux. Les morceaux sont mis dans un tube contenant 20ml d'eau ultra-pure. Le tube est placé aux ultrasons pendant 30 minutes afin de séparer les particules du filtre puis centrifugé pendant 10 minutes à une vitesse de 2500 rpm. Cette étape de centrifugation permet de séparer les particules en suspension des plus grosses particules insolubles. Le surnageant contenant les particules en suspension est récupéré puis filtré sur un filtre 0.45µm en nylon, permettant ainsi de retenir encore les plus grosses particules : la suspension ainsi obtenue contient l'ensemble des espèces chimiques solubles dans l'eau et les particules fines formant une suspension homogène se prêtant aux tests de cytogénétoxicité. Les filtrats obtenus sont poolés site par site. Le filtrat total est évaporé sous flux d'azote. Le culot obtenu après évaporation totale du filtrat est pesé afin d'avoir la quantité exacte de matières particulaires hydrosolubles. Le culot est ensuite mis en suspension dans de l'eau à une concentration de 5mg/ml. La suspension obtenue est filtrée sur un filtre 0.22µm en PTFE, permettant ainsi l'élimination des micro-organismes éventuellement présents et donc sa stérilisation ; elle est ensuite stockée à -20°C et à l'abri de la lumière.

- *Fraction lipophile*

La procédure d'extraction de la fraction lipophile est la même que pour la fraction hydrophile. Les seules différences résident dans les solvants utilisés : les morceaux de filtres sont placés dans 20ml de dichlorométhane, et le culot final est remis en solution dans du DMSO à la même concentration de 5mg/ml.

III.3.1.2 Choix du type cellulaire

Notre choix s'est porté sur des cellules de poumons humains. En effet, ces particules sont fortement susceptibles d'être inhalées et les poumons sont les premiers organes exposés lors des pics de pollution atmosphérique aux particules. Nous avons de ce fait choisi comme modèle biologique de notre étude les cellules primaires : *Normal Human Lung Fibroblasts* (NHLF) commercialisés par LONZA, issues de tissus de poumon adulte. Ces cellules jouent un rôle dans l'inflammation et le remodelage des voies aériennes.

Le milieu utilisé *in vitro* pour leur croissance cellulaire est le FBM®-2 Bullet Kit, Clonetics®, Lonza.

III.3.2 Tests de cytotoxicité

III.3.2.1 Choix des concentrations testées

Pour chaque site de prélèvement et chaque fraction (hydrophile et lipophile), 4 concentrations ont été testées. Ces concentrations ont été choisies en se basant sur des articles de la littérature (Meng et Zhang, 2007 ; Billet *et al.*, 2007 ; Fuentes-Mattei *et al.*, 2010).

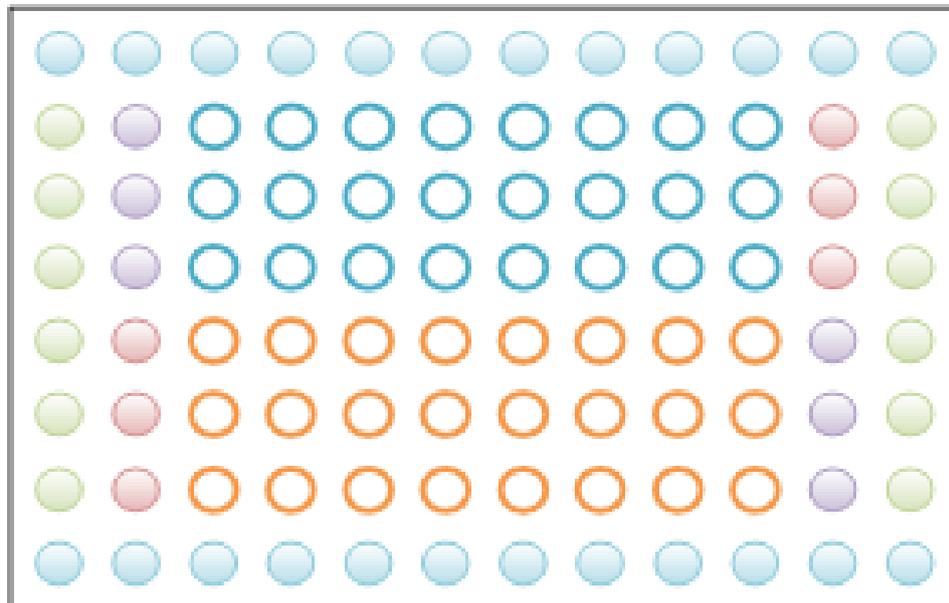
Nous avons testé les concentrations suivantes : 3,125, 6,25, 12,5 et 25µg/ml.

III.3.2.2 Matériel et méthodes

La culture et les conditions d'exposition des cellules aux différentes concentrations de particules fines sont identiques pour les 4 tests :

- Les cellules sont mises en culture dans des plaques 96 puits placées à l'étuve à 37°C sous 5% de CO₂ pendant 24 heures ;

- Elles sont ensuite exposées aux quatre concentrations de travail : 3,125, 6,25, 12,5 et 25µg/ml de PM2.5 pendant 24h dans l'incubateur selon la configuration suivante (Fig. 29) :



-  Eau ultra-pure
-  Témoin blanc : milieu de culture + solvant, absence de cellule
-  Témoin de croissance cellulaire : milieu de culture + cellules
-  Témoin négatif : milieu de culture + cellules + solvant
-  Echantillon 1 testé à 4 concentrations différentes (2x3 puits)
-  Echantillon 2 testé à 4 concentrations différentes (2x3 puits)

Figure 29 : Configuration de la plaque 96 puits

Les quatre tests sont réalisés sur la même plaque :

- *Test LDH*

Le surnageant est prélevé dans chacun des puits, et la lactate déshydrogénase y est quantifiée.

On commence immédiatement à lire la réaction cinétique à 37°C pendant 25min à une longueur d'onde de 340 nm.

- *Test XTT*

Les cellules sont mises en contact avec une solution de sels de 2,3-bis [2-methoxy-4-nitro-5-sulfopheny]-2H-tetrazolium-5-carboxyanilide.

La viabilité cellulaire est quantifiée en mesurant l'absorbance à 480 nm, avec une longueur d'onde de référence de 690 nm.

- *Test NR*

Les cellules sont rincées puis on ajoute la solution de rouge neutre. La lecture des puits se fait à 540 nm avec une longueur d'onde de référence à 690 nm.

- *Test SRB*

Les cellules sont rincées puis on ajoute la sulforhodamine B. La lecture se fait à une longueur d'onde de 540 nm, avec une longueur d'onde de référence à 690nm.

III.2.2.3 Analyses des données

La longueur d'onde de référence est utilisée pour lire l'absorbance du bruit de fond afin de calculer ΔDO :

Différence de densité optique (ΔDO) = DO cellules ou surnageant – DO référence bruit de fond

- *Test LDH* :

Calcul de la moyenne des ΔDO /minute pour chaque composé aux différentes concentrations.

La LDH extracellulaire est exprimée en Unité de « nanomoles de NADH consommées/min/ml » :

$$\text{NADH} = \frac{\Delta DO/\text{ml} \times 0,260 \times 1000}{6,2 \times 20}$$

Avec 0,260 : volume de réaction (ml) ; 6,2 : coefficient d'extinction millimolaire du NADH à 340 nm ;
20 : volume utilisé pour le test (μl) ;

Une représentation graphique permet de déterminer la concentration entraînant une inhibition de l'activité de la LDH de 50%.

- *Test XTT, NR et SRB* :

Calcul du ΔDO corrigé pour chaque composé aux différentes concentrations :

$$\Delta DO \text{ corrigé} = \Delta DO \text{ échantillon ou contrôles} - \Delta DO \text{ blancs}$$

Le pourcentage d'inhibition d'activité relatif est exprimé en pourcentage de solvant de contrôle :
% inhibition = $100 - (\Delta DO \text{ corrigé échantillon} \times 100 / \Delta DO \text{ corrigé contrôle})$

La représentation graphique permet de déterminer la concentration entraînant une inhibition du paramètre suivi de 50%.

III.3.3 Test de génotoxicité

Le test utilisé pour mesurer le potentiel génotoxique des particules échantillonnées est le test des micronoyaux.

- Durée du test : 4 jours
- Support de culture cellulaire : Labteck 4 puits
- Concentration cellulaire : 15 000 cellules/puits
- Volume de culture cellulaire : 800 μl /puits
- Milieu : FBM®-2 Bullet Kit, Clonetics®, Lonza

Compte tenu des résultats obtenus après évaluation de la cytotoxicité sur 4 paramètres différents, les différentes suspensions particulaires ont été testées en duplicate aux quatre concentrations suivantes: 0,125, 0,25, 0,5 et 1 $\mu\text{g/ml}$ pour les phases lipophiles, et 0,375, 0,75, 1,5 et 3 $\mu\text{g/ml}$ pour les phases hydrophiles.

III.3.3.1 En absence d'activation métabolique

Les composés des phases lipophiles et hydrophiles des deux campagnes été / hiver ont été testés sans activation métabolique (Fig. 30).

Avec :

- Blanc : Milieu de culture = FBM
- Contrôle négatif solvant : Fraction hydrophile = H₂O / Fraction lipophile = DMSO
- Contrôle positif clastogène : Mitomycine C (10ng/ml)
- Contrôle positif aneugène : Colchicine (25nmol/l)

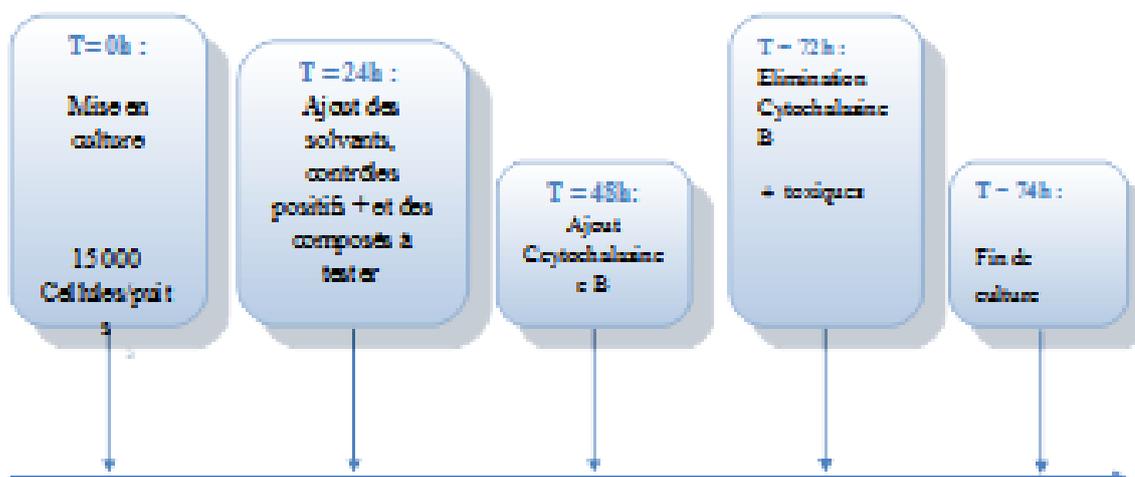


Figure 30 : Test de génotoxicité en l'absence d'activation métabolique

III.3.3.2 En présence d'activation métabolique

Les composés des phases lipophiles uniquement deux campagnes été / hiver ont été testés avec activation métabolique (Fig. 31).

Avec :

- Blanc : Milieu de culture = FBM
- Contrôle négatif solvant : Fraction lipophile = DMSO
- Contrôle positif clastogène : Benzo[a]pyrène (10µg/ml)

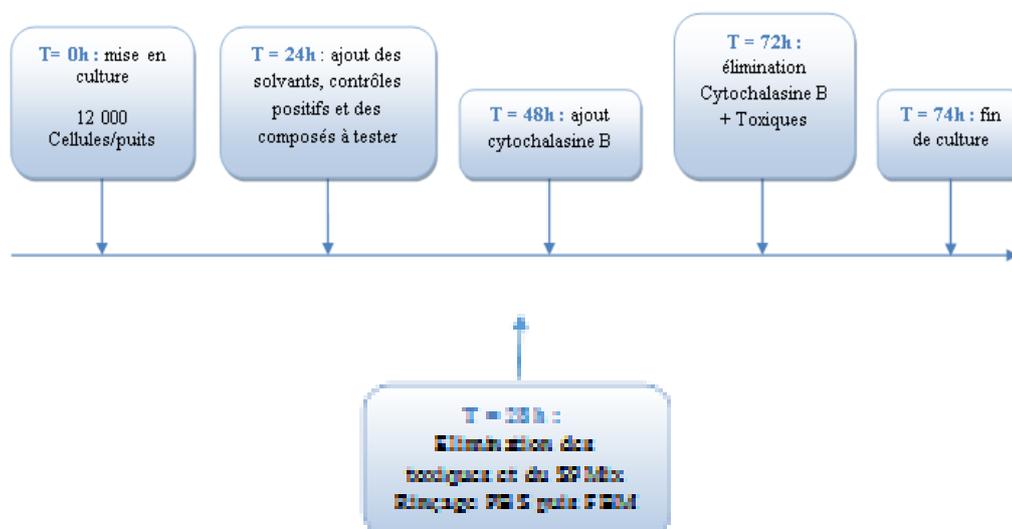


Figure 31 : Test de génotoxicité en présence d'activation métabolique sur la fraction lipophile

La fraction de S9 extraite de foie de rat contient des isoformes du cytochrome P450 (phase I du métabolisme) et autres enzymes issues des microsomes ; ainsi que des transférases (phase II du

métabolisme) contenues dans la portion cytosolique. Pour le S9mix, les cofacteurs (G6P et NADP) ont été additionnés.

Le S9mix est ajouté afin de simuler l'effet du métabolisme hépatique. En effet, certains composés, comme le benzo[a]pyrène par exemple, induisent la formation de produits cancérigènes une fois métabolisés.

III.3.3.3 Protocole de fin de culture

A 78 heures, les cellules sont fixées grâce à du paraformaldéhyde 4%. Elles sont ensuite traitées avec Triton X-100 0,5% - BSA 2% - PBS ce qui permet de perméabiliser les cellules.

Pour discriminer les pertes des cassures de chromosomes, on les incube avec des anticorps anti-centromères (CREST : 1/1000^{ème} dans du BSA 2% - PBS). Elles sont ensuite mises en contact avec des anticorps secondaires Alexa Fluor®488 anti-IgG humaines (1/200^{ème} dans du BSA 1% - PBS). La phalloïdine-tétraméthylrhodamine B isothiocyanate (0,06µg/ml) est utilisée pour marquer les filaments d'actine et ainsi définir le compartiment cytoplasmique. Le marquage des noyaux est effectué grâce au DAPI (4',6'-diamidino-2-phenylindole), molécule qui s'intercale entre les paires de bases en se liant aux bases Adénine et Thymine et qui, de ce fait, émet une forte coloration bleu intense. Les lames sont finalement montées avec du Vectashield et conservées à 4°C dans l'obscurité jusqu'à l'analyse au microscope.

III.3.3.4 Lecture des lames

Le comptage des cellules se fait au microscope à fluorescence (Olympus BX60) à l'objectif à immersion × 100, grâce à 3 filtres, l'un spécifique du DAPI, le second permettant l'observation simultanée DAPI et TRITC, le troisième permettant la visualisation simultanée du DAPI et de l'Alexa 488, nous permettant d'observer le cytosquelette d'actine, les noyaux et les centromères.

Les micronoyaux (MN) sont comptés dans les cellules binucléées (CBN) ayant réalisées une division cellulaire complète à la suite de l'exposition aux particules. Pour chaque condition, deux puits d'une lame sont analysés et 2 000 CBN (1 000 par puits), avec le cytoplasme conservé, sont examinées. On compte toutes les cellules binucléées avec et sans MN. Les critères de comptage ont été prédéfinis par (Fenech, 2007). Quand on observe un micronoyau, on change de filtre pour déterminer la présence ou non de centromère. En fonction de la présence ou de l'absence de fluorescence verte (Alexa 488-marqueur secondaire de centromères) dans les MN, les MN sont classés en micronoyaux centromères négatifs (C-MN) ou centromères positifs (C+MN).

III.3.3.5 Evaluation de l'index Cytokinesis-Block Proliferation Index (CBPI)

Le CBPI indique le nombre moyen de cycles cellulaires réalisés durant la période d'exposition à la cytochalasine B. Il est utilisé pour calculer le % de cytotase (arrêt de croissance cellulaire). 500 cellules par condition sont analysées selon (Kirsch-Volders, 2003; OECD 487, 2010).

$$CBPI = \frac{[\text{Cellules mononucléées} + (2 \times \text{Cellules binucléées}) + (3 \times \text{Cellules plurinucléées})]}{\text{Nombre total de cellules}}$$

$$\% \text{ Cytostase} = 100 - 100 \times [(\text{CBPI}_T - 1) / (\text{CBPI}_C - 1)]$$

Avec :

- CBPI_T : échantillons testés
- CBPI_C : solvant de culture contrôle

Le test du χ^2 a été utilisé pour déterminer les différences significatives entre les valeurs MN, C+MN et C-MN des échantillons et des contrôles, avec $p < 0,05$.

III.4 Résultats

III.4.1 Composition des solutions d'extractions

Après extractions, les solutions obtenues ont été analysées par ICP-MS pour les éléments majeurs (Al, Fe, Ca, Na) et les métaux.

III.4.1.1 Fraction hydrophile

Calcium et Sodium sont les deux éléments principaux, tant en été qu'en hiver, avec des concentrations entre 45 et 900 ppm. En été, il y a toujours plus de Fer que d'Aluminium alors que c'est plutôt l'inverse en Hiver (Tab. IX).

Été	Al (ppm)	Ca (ppm)	Fe (ppm)	Na (ppm)	As	Cd	Cr	Cu	Mo	Mn	Ni	Pb	Ti	V	Zn
S1-Bouc	7	132	9	198	86	74	189	625	470	415	914	887	220	2853	5564
S2-Gardanne	8	129	6	272	112	117	248	1234	612	585	965	684	219	3195	4998
S3-Meyreuil	3	106	7	220	89	67	193	634	449	372	802	546	207	2358	3336
S4-Fuveau	4	292	14	324	116	41	260	1551	380	810	827	403	306	2606	8443
S5-Trets	2	46	6	168	73	30	139	932	216	275	970	708	142	1428	3838
Hiver															
S1-Bouc	9	367	10	552	132	26	303	528	54	750	1995	1552	437	2323	5965
S2-Gardanne	13	236	6	570	156	114	365	887	79	769	685	2225	366	2203	12010
S3-Meyreuil	13	266	6	818	171	66	466	658	60	802	751	1089	596	2417	13055
S4-Fuveau	4	348	4	261	162	48	178	983	222	765	348	413	171	653	7601
S5-Trets	2	80	2	157	113	112	154	174	44	220	215	943	131	568	4092

Tableau IX: Concentration (en ppb) de la solution issue de l'extraction des phases hydrosolubles

En ce qui concerne les métaux traces, le Zinc est nettement le plus abondant quelque soit le site ou la saison de prélèvement. Pour les autres métaux, la variabilité est assez importante.

Si on considère globalement les deux campagnes, Aluminium, Arsenic, Chrome, Plomb, Titane et Zinc semblent bien corrélés alors que le Fer et le Vanadium sont associés.

III.4.1.2 Fraction lipophile

La solution résultant de l'extraction des phases lipophiles présente une composition très différente, puisqu'on y détecte que du Cuivre (le plus concentré), du Zinc et de l'Arsenic en été (Tab. X), En hiver, s'y rajoute un peu d'Aluminium et de Fer, ainsi que Calcium, Chrome, Nickel et Vanadium.

Été	Al	Ca	Fe	Na	As	Cd	Cr	Cu	Mo	Mn	Ni	Pb	V	Ti	Zn
S1-Bouc					150		26	1812							1455
S2-Gardanne					139			3302							757
S3-Meyreuil					123			3716							949
S4-Fuveau					129			4354							820
S5-Trets					93			4398							501
Hiver															
S1-Bouc	76	855	67	204	176		63	2633			105		11		2144
S2-Gardanne	56	2525	29		217		367	9731			122		424	268	5466
S3-Meyreuil	45	2069			174		257	10623			57		318	240	5229
S4-Fuveau	22	1797			193		231	11613			84		292	218	5750
S5-Trets	15	1312			208		192	11998			50		259	191	5549

Tableau X : Concentration (en ppb) de la solution issue de l'extraction des phases lipophiles

Le Zinc est environ dix fois plus concentré en hiver qu'en été et le Cuivre entre une et trois fois.

III.4.2 Cytotoxicité

III.4.2.1 LDH

On considère qu'une concentration est cytotoxique lorsque l'activité de la LDH est supérieure ou égale à 50%.

- *Fraction hydrophile (Fig. 32)*

On constate que pour l'ensemble des sites et sur les deux campagnes, aucune concentration n'est cytotoxique.

Les particules hydrophiles ne semblent pas altérer la perméabilité membranaire des cellules.

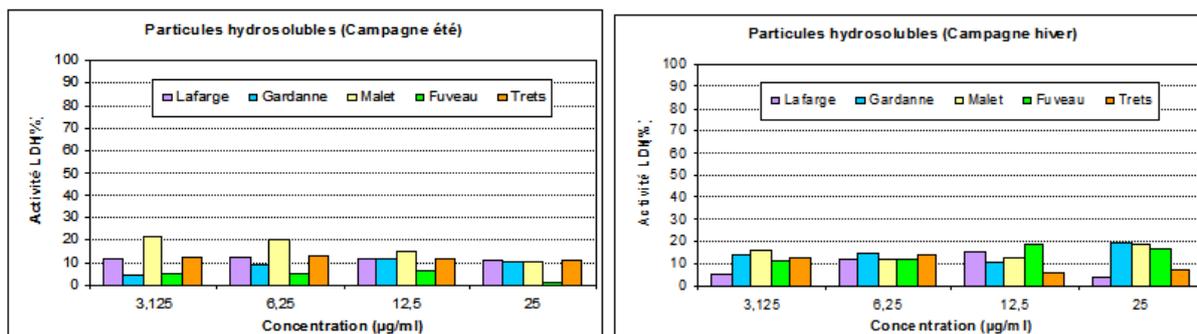


Figure 32 : Réponse cytotoxique de la fraction hydrosoluble au test LDH

- *Fraction lipophile (Fig.33)*

On constate que pour l'ensemble des sites et sur les deux campagnes, aucune concentration n'est cytotoxique. Les particules lipophiles ne semblent pas altérer la perméabilité membranaire des cellules.

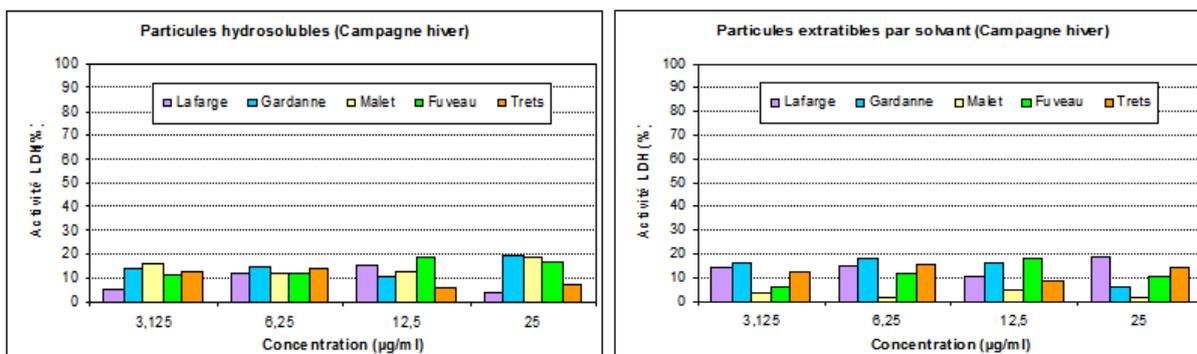


Figure 33: Réponse cytotoxique de la fraction lipophile au test LDH

III.4.2.2. XTT

On considère qu'une concentration est cytotoxique lorsque le pourcentage d'inhibition est supérieur ou égal à 50%.

- *Fraction hydrophile (Fig. 34)*

On constate, sur la campagne été, que les particules prélevées sur le site S5 sont cytotoxiques à partir de 12,5µg/ml tandis que celles prélevées aux sites S2 (usine d'alumine) et S4 (trafic routier dense) sont cytotoxiques à 25µg/ml.

Pour la campagne hiver, les particules prélevées aux sites S2 (usine d'alumine) et S4 (trafic routier dense) sont cytotoxiques à 25µg/ml.

Les particules hydrophiles semblent donc avoir, à une certaine concentration, un effet sur les mitochondries.

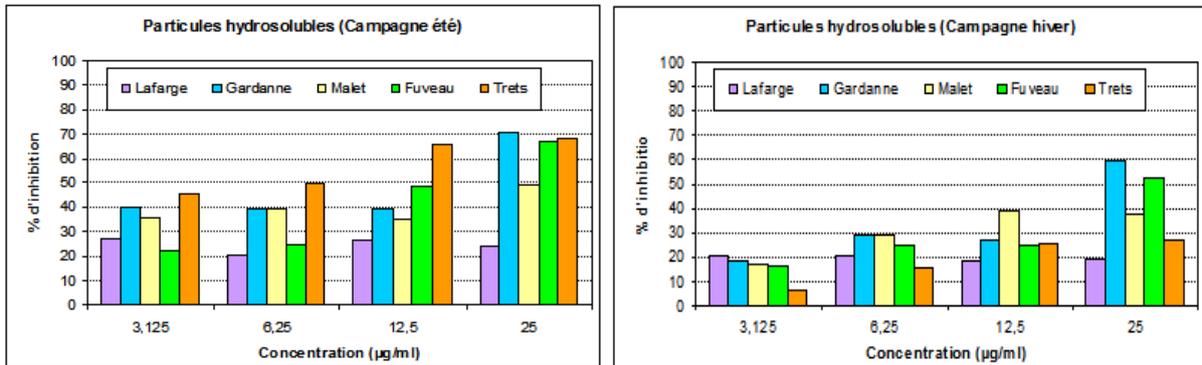


Figure 34: Réponse cytotoxique de la fraction hydrosoluble au test XTT

- *Fraction lipophile (Fig.35)*

On constate, sur la campagne été, que les particules prélevées sur tous les sites, hormis S4, sont cytotoxiques dès la première concentration testée, soit 3,125µg/ml. Celles prélevées à S4 (trafic routier dense) sont cytotoxiques à partir de 6,25µg/ml.

Sur la campagne hiver, les particules prélevées aux sites S1, S2 et S5 sont cytotoxiques à partir de 6,25µg/ml. Celles prélevées à S4 sont cytotoxiques à partir de 12,5µg/ml et celles prélevées à S3 sont cytotoxiques à 25µg/ml.

Les particules lipophiles semblent donc avoir, à une certaine concentration, un effet sur les mitochondries.

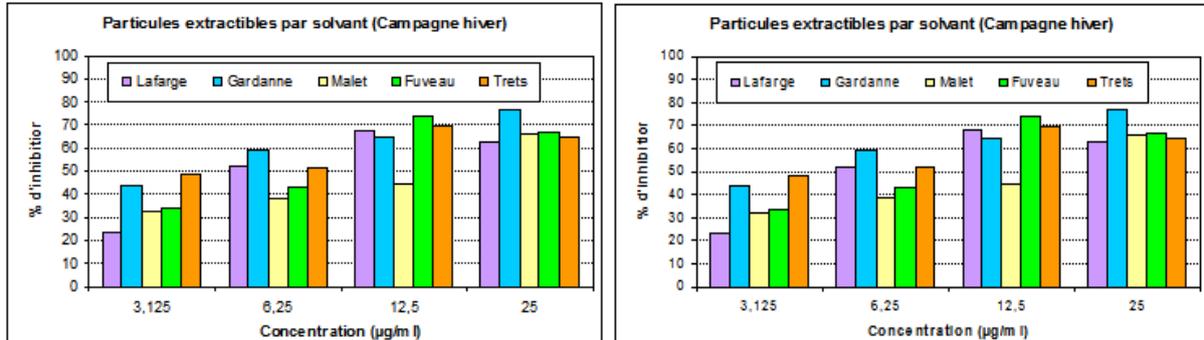


Figure 35: Réponse cytotoxique de la fraction liposoluble au test XTT

III.4.2.3. NR

On considère qu'une concentration est cytotoxique lorsque le pourcentage d'inhibition est supérieur ou égal à 50%.

- *Fraction hydrophile (Fig. 36)*

On constate que les particules prélevées sont fortement cytotoxiques pour l'ensemble des sites et sur les deux campagnes dès la première concentration testée, soit 3.125µg/ml.

Les particules hydrophiles semblent fortement altérer les lysosomes des cellules.

- *Fraction lipophile (Fig. 37)*

On constate, sur la campagne été, que les particules prélevées sont fortement cytotoxiques pour l'ensemble des sites dès la première concentration testée, soit 3.125µg/ml.

Pour la campagne hiver, les particules prélevées aux sites S1, S2, S4 et S5 sont cytotoxiques dès la première concentration testée, soit 3.125µg/ml. Celles prélevées au site S3 sont cytotoxiques à 25µg/ml.

Les particules lipophiles semblent fortement altérer les lysosomes des cellules ; excepté les particules prélevées à Malet (centrale thermique) pendant la campagne hiver qui présentent une cytotoxicité moindre.

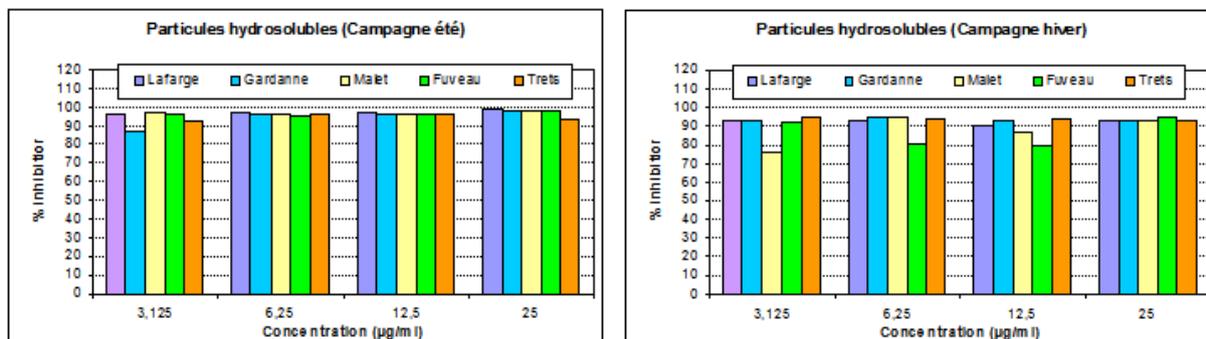


Figure 36: Réponse cytotoxique de la fraction hydrosoluble au test NR

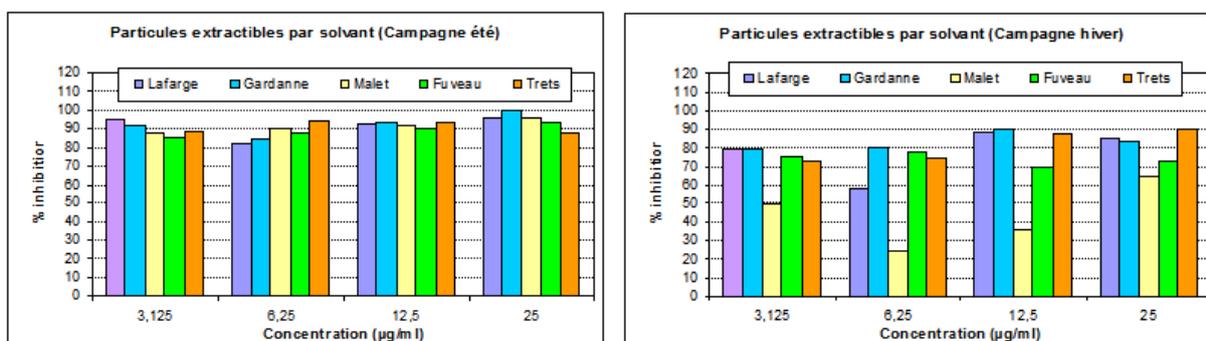


Figure 37: Réponse cytotoxique de la fraction lipophile au test NR

III.4.2.4. SRB

On considère qu'une concentration est cytotoxique lorsque le pourcentage d'inhibition est supérieur ou égal à 50%.

- *Fraction hydrophile (Fig. 38)*

On constate que les particules prélevées sont fortement cytotoxiques pour l'ensemble des sites et sur les deux campagnes dès la première concentration testée, soit 3.125µg/ml. Les particules hydrophiles semblent fortement altérer la synthèse protéique des cellules.

- *Fraction lipophile (Fig. 39)*

On constate, sur la campagne été, que les particules prélevées aux sites S2, S3, S4 et S5 sont cytotoxiques dès la première concentration testée, soit 3.125µg/ml. Celles prélevées au site S1 sont cytotoxiques à partir de 12.5µg/ml.

Sur la campagne hiver, les particules prélevées aux sites S1 et S2 sont cytotoxiques dès la première concentration testée, soit 3.125µg/ml. Celles prélevées à S3, S4 et S5 sont cytotoxiques à partir de 6.25µg/ml.

Les particules lipophiles semblent donc avoir, à une certaine concentration, un effet sur la synthèse protéique des cellules.



Figure 38: Réponse cytotoxique de la fraction hydrosoluble au test SRB

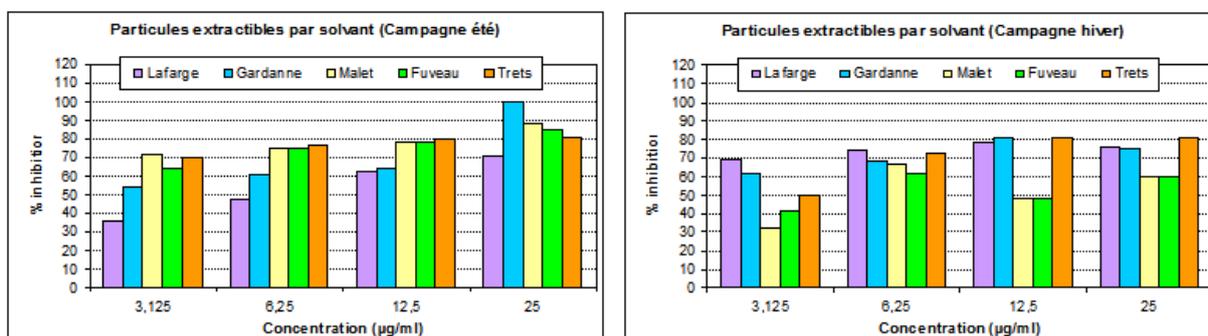


Figure 39 : Réponse cytotoxique de la fraction lipophile au test SRB

III.4.2.5 Choix des concentrations de travail

L'ensemble des résultats de cytotoxicité obtenu nous permet de choisir les concentrations de travail pour les tests de génotoxicité à réaliser.

Pour les particules hydrophiles, la concentration maximale de travail choisie est de 3µg/ml. Nous testerons les quatre concentrations suivantes : 3, 1,5, 0,7 et, 0,375µg/ml pour les tests de génotoxicité sur les échantillons de la phase hydrophile.

Pour les particules lipophiles, la concentration maximale de travail choisie est de 1µg/ml. Nous testerons les quatre concentrations suivantes : 1, 0,5, 0,25 et 0,125µg/ml pour les tests de génotoxicité sur les échantillons de la phase lipophile.

III.4.3 Génotoxicité

III.4.3.1 Quantification des dommages chromosomiques au moyen du test des micronoyaux *in vitro*

La génotoxicité des fractions hydrophiles et lipophiles des PM_{2,5} a été évaluée au moyen du test des micronoyaux. Les agents lipophiles étant les agents les plus susceptibles d'être métabolisés par des mono-oxygénases à cytochrome P450 (les CYP), par diverses cellules pulmonaires présentant des capacités métaboliques ou lors de leur passage hépatique, nous avons réalisé le test des micronoyaux sur la fraction lipophile en absence et en présence d'un facteur d'activation métabolique *in vitro* : le S9Mix.

Les résultats de cytokinèse ont été obtenus au moyen de la détermination de *Cytokinesis-Blocked Prolifération Index* (CBPI). Les réductions du CBPI ont toutes été inférieures à 50% de cyto-stase (*data not shown*) et nous avons donc pu déterminer les fréquences de cellules binucléées micronucléées pour toutes les concentrations testées.

Les résultats sont présentés sous la forme de diagramme en bâtons. Ils représentent le taux de cellules binucléées micronucléées MNC exprimé pour 1000 cellules (‰) en fonction des concentrations.

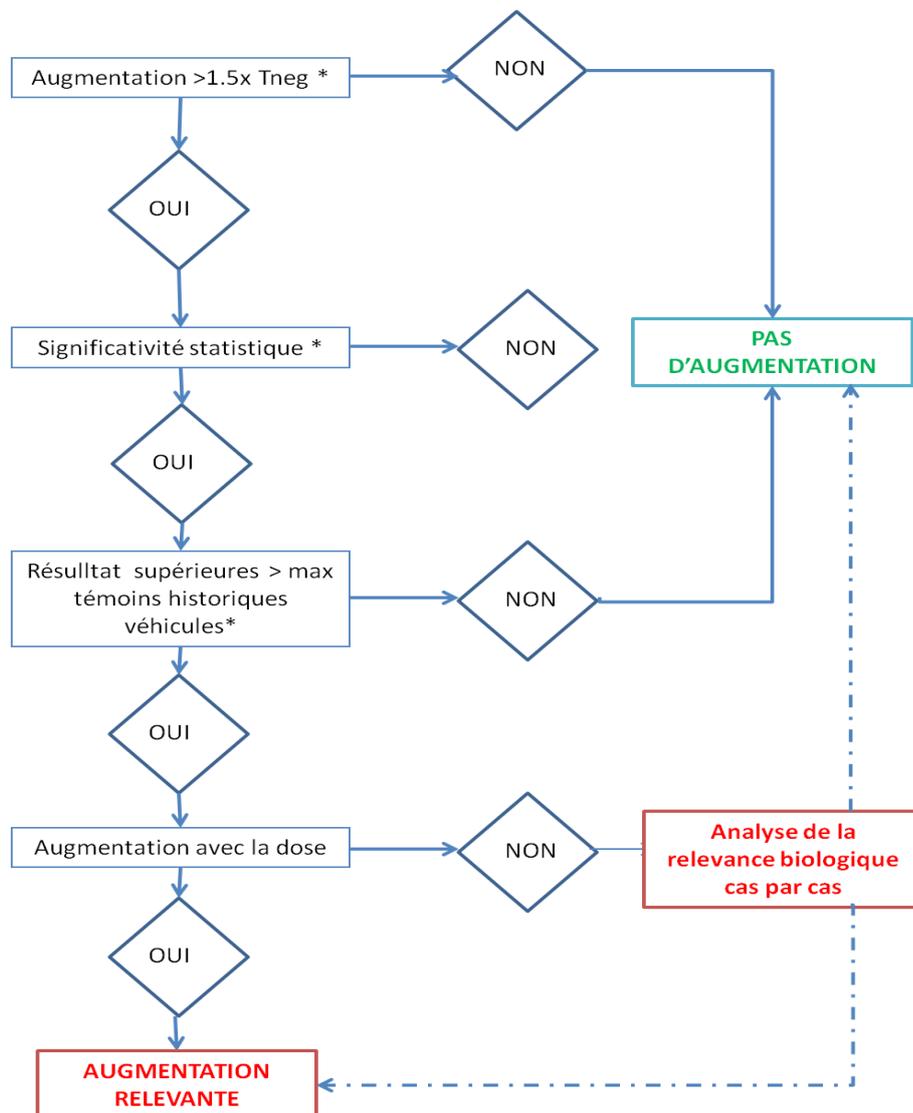
Chaque graphe présente les taux de cellules binucléées micronucléées obtenues avec le contrôle véhicule, le(s) contrôle(s) positif(s) et en présence des 4 concentrations de fractions particulaires testées.

Une augmentation de la fréquence des cellules binucléées a été considérée comme significative lorsque :

- une augmentation d'un facteur 1,5 par rapport au témoin véhicule concurrent a été noté ;
- cette augmentation est statistiquement significative (Test Chi-2, $p < 0.05$);
- la valeur enregistrée pour la condition testée est en dehors des valeurs historiques des témoins véhicules, c'est-à-dire en dehors de valeurs témoins enregistrées lors de l'ensemble des expériences relatives à l'étude PACTES.

Une augmentation dose-dépendante souligne encore l'impact de la condition testée mais n'est pas un critère systématiquement requis.

Ces critères sont présentés dans l'arbre décisionnel ci-dessous (Fig. 40). La présence d'un astérisque au-dessus des diagrammes signale une différence statistiquement significative ($p < 0.05$).



* : à au moins une dose

Figure 40: Arbre décisionnel

III.4.3.1.1 Site S1

- *Fraction hydrophile (Fig. 41)*

En été, une augmentation significative de la fréquence de cellules micronucléées (MNC) a été observée aux concentrations de 0.375 et 0.75 µg/ml. Parmi les agents chimiques hydrophiles présents sur les particules atmosphériques prélevés sur ce site figurent une ou plusieurs espèces génotoxiques. En hiver, la fraction hydrophile des particules de ce site n'a pas présenté de potentiel génotoxique.

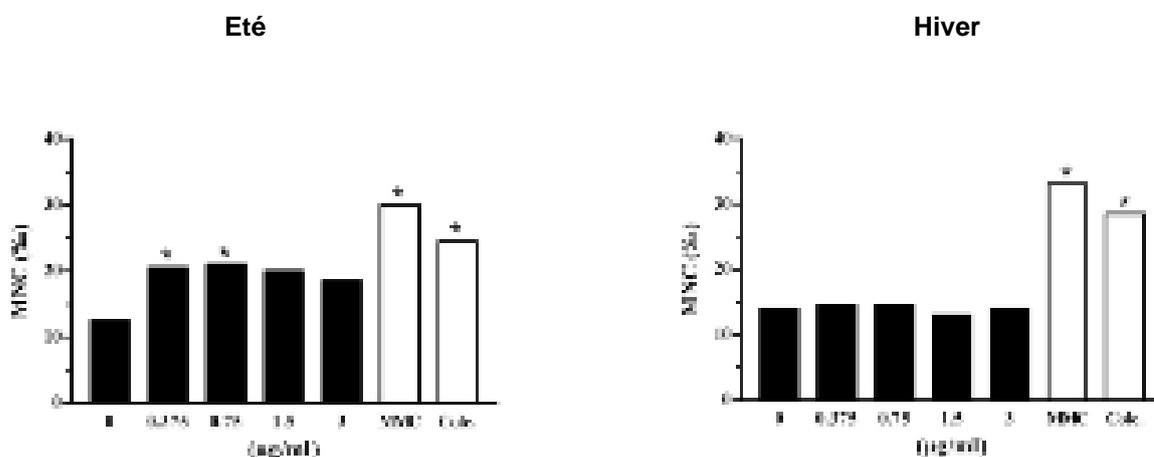


Figure 41: Réponse génotoxique sur la fraction hydrophile pour le site S1

- *Fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) (Fig. 42)*

En l'absence d'activation métabolique, une augmentation significative de la fréquence de MNC a été observée en été aux concentrations de 0.5 et 1 µg/ml et en hiver à 1 µg/ml uniquement. Parmi les agents chimiques lipophiles présents sur les particules atmosphériques prélevés sur ce site figurent une ou plusieurs espèces génotoxiques ne nécessitant pas d'activation métabolique.

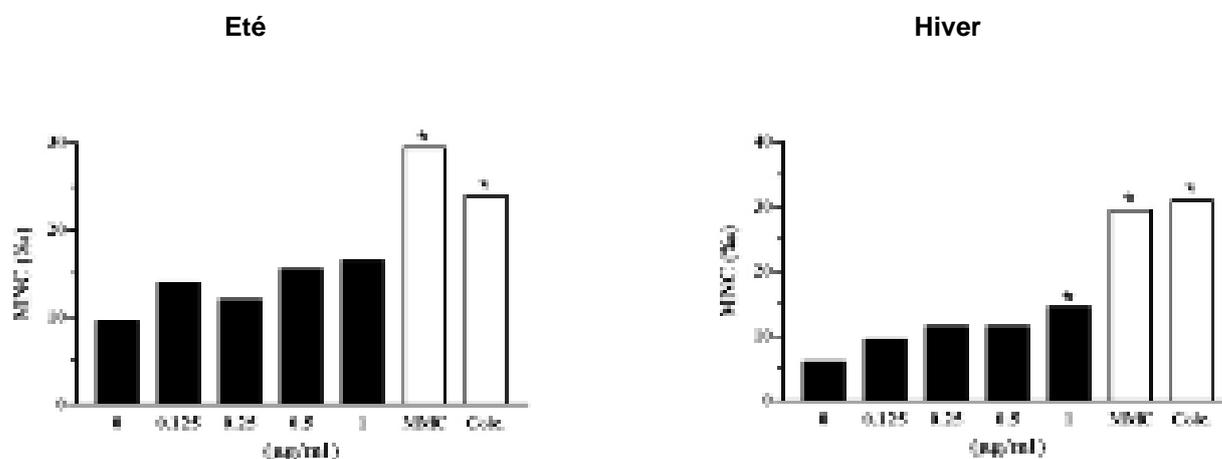


Figure 42 : Réponse génotoxique sur la fraction lipophile sans activateur métabolique(-S9mix) pour le site S1

- *Fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) (Fig. 43)*

En présence d'activation métabolique, aucune augmentation de la fréquence de MNC n'a été observée. Les composés lipophiles génotoxiques semblent donc perdre leurs capacités à induire des dommages à l'ADN sous l'effet du métabolisme, et aucune bioactivation n'a été notée aux concentrations testées.

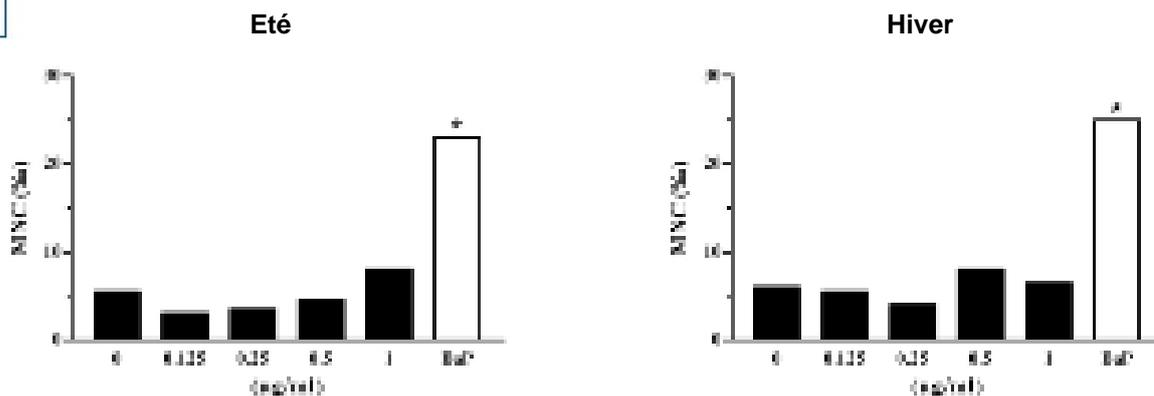


Figure 43 : Réponse génotoxique sur la fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) pour le site S1

III.4.3.1.2 Site S2

- Fraction hydrophile (Fig. 44)

En été, une augmentation significative de la fréquence de MNC a été observée aux concentrations de 0,375 et 3 µg/ml. En revanche, aucune augmentation n'a été observée en hiver aux concentrations de 0,375 et 0,75 µg/ml. Un incident technique ne nous a pas permis d'obtenir des données pour les concentrations de 1.5 et 3 µg/ml. Parmi les agents chimiques hydrophiles présents sur les particules atmosphériques prélevés sur ce site en été figurent des espèces génotoxiques.

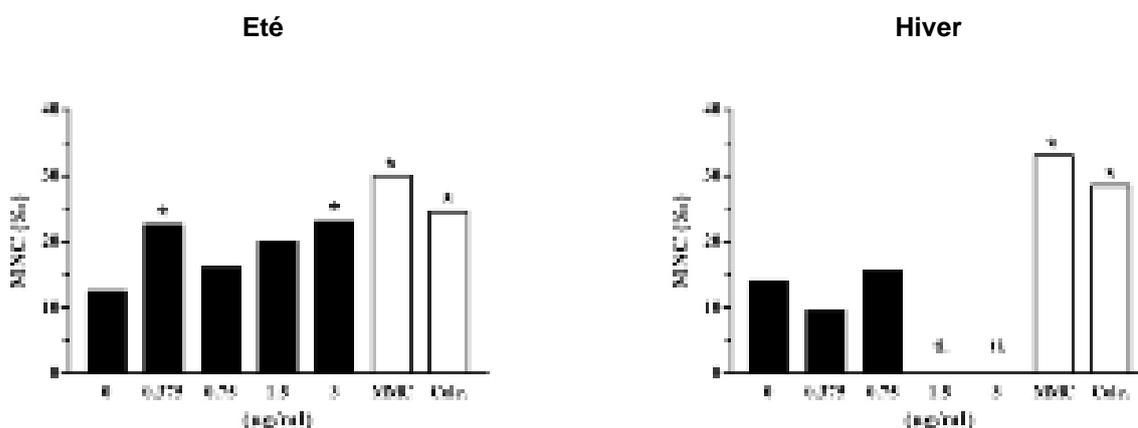


Figure 44: Réponse génotoxique sur la fraction hydrophile pour le site S2
 ti : Incident technique n'ayant pas permis la détermination du paramètre

- Fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) (Fig. 45)

En l'absence d'activation métabolique, la fraction lipophile a entraîné une induction de dommages chromosomiques en été comme en hiver. Cette augmentation, bien que modérée, devient significative à la concentration de 0.5 µg/ml en été et de 1 µg/ml en hiver. Parmi les agents chimiques lipophiles présents sur les particules atmosphériques prélevés sur ce site figurent une ou plusieurs espèces génotoxiques ne nécessitant pas d'activation métabolique.

- Fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) (Fig. 46)

En présence d'activation métabolique, la fraction lipophile issue des prélèvements sur le site 2 ne présente pas de capacité à induire des dommages chromosomiques aux concentrations testées. Un incident technique ne nous a pas permis de générer des résultats pour les concentrations 0.5 et 1 µg/ml en été. Les composés lipophiles génotoxiques semblent donc perdre leurs capacités à induire des dommages à l'ADN sous l'effet du métabolisme, et aucune bioactivation n'a été notée aux concentrations testées.

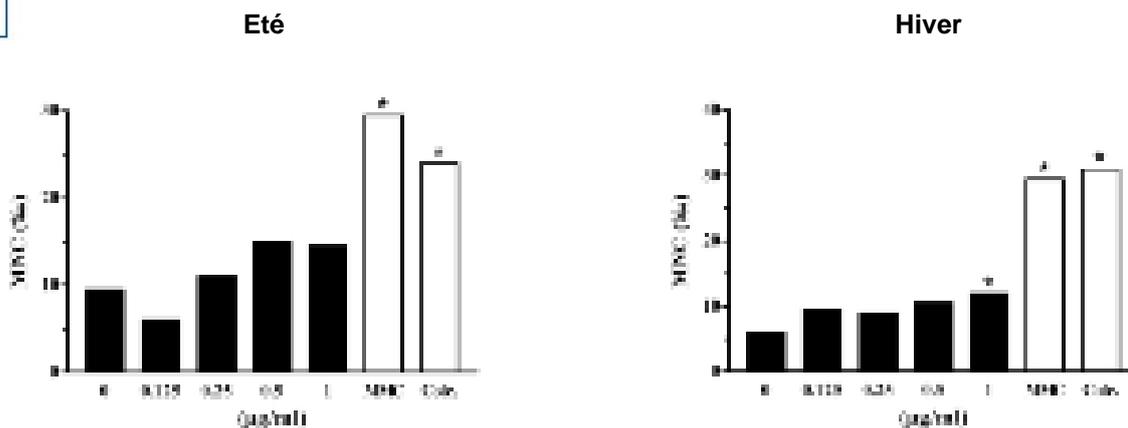


Figure 45 : Réponse génotoxique sur la fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) pour le site S2

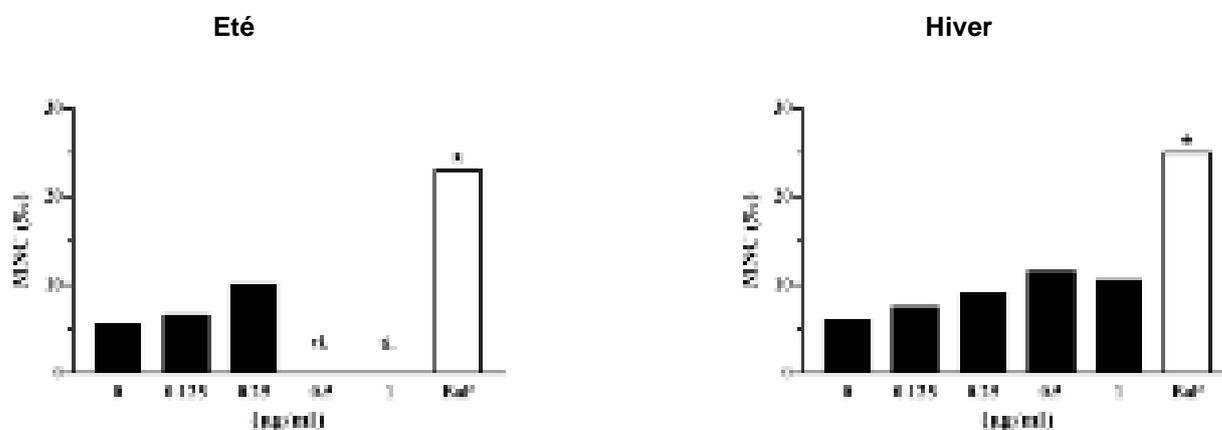


Figure 46 : Réponse génotoxique sur la fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) pour le site S2 Ti : Incident technique n'ayant pas permis la détermination du paramètre

III.4.3.1.3 Site S3

- *Fraction hydrophile (Fig. 47)*

En été comme en hiver, une augmentation significative de la fréquence de MNC a été enregistrée au niveau du site 3 sur la fraction hydrophile. En été, ces inductions de dommages chromosomiques sont observées dès la concentration de 1.5µg/ml. En hiver, seule la concentration la plus forte (3µg/ml) induit une augmentation significative. Des espèces chimiques hydrophiles présentes sur la fraction PM_{2.5} ont donc la propriété d'induire des dommages chromosomiques.

- *Fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) (Fig. 48)*

En été comme en hiver, une augmentation significative de la fréquence de MNC a été enregistrée au niveau du site 3 sur la fraction lipophile en absence d'activation métabolique. En été, ces inductions de dommages chromosomiques sont observées dès la plus faible concentration testée (0.125µg/ml). En hiver, des augmentations significatives sont observées à partir de 0.5µg/ml. Des espèces lipophiles présentent donc des capacités à induire des dommages chromosomiques sans nécessiter une activation métabolique

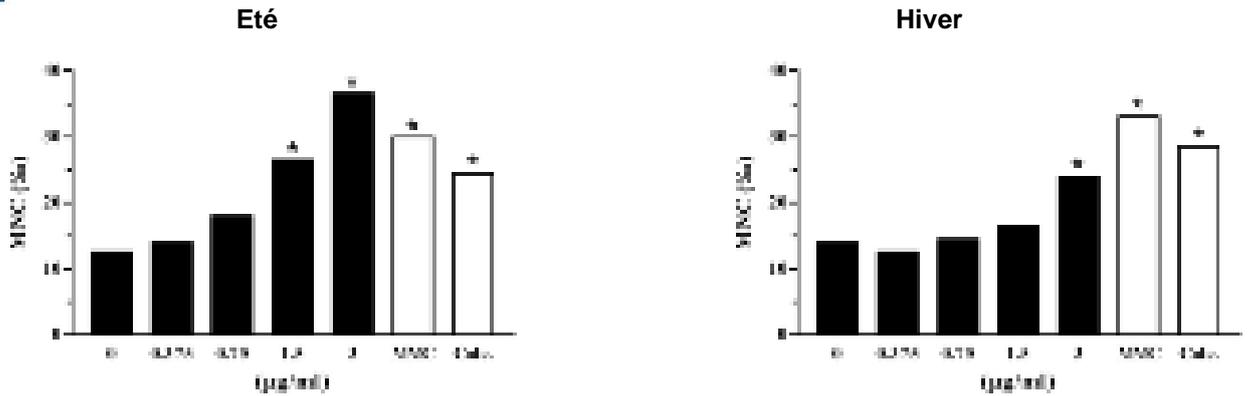


Figure 47: Réponse génotoxique sur la fraction hydrophile pour le site S3

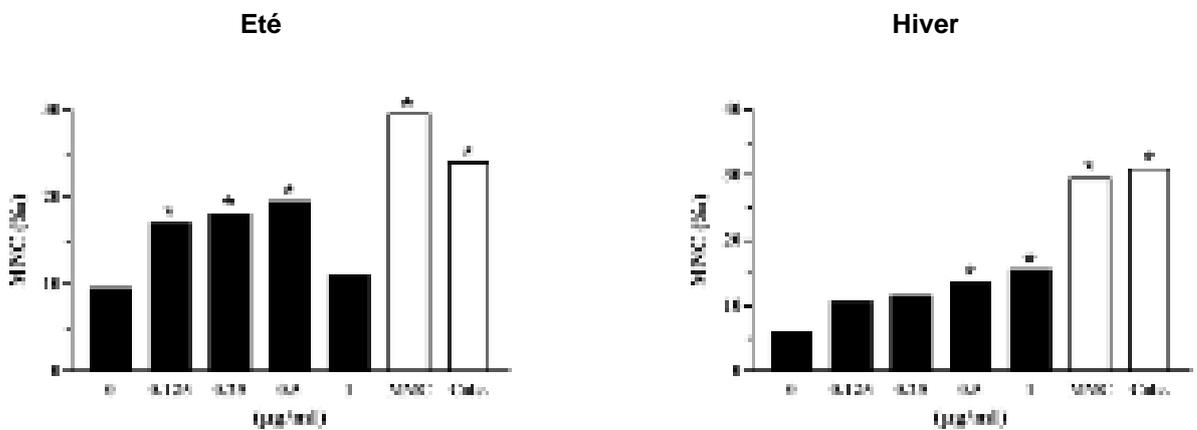


Figure 48 : Réponse génotoxique sur la fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) pour le site S3

- Fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) (Fig. 49)

En été comme en hiver, en présence d'activation métabolique, la fraction lipophile issue des prélèvements sur le site 3 ne présente pas de capacité à induire des dommages chromosomiques aux concentrations testées. Les composés lipophiles génotoxiques semblent donc perdre leurs capacités à induire des dommages à l'ADN sous l'effet du métabolisme, et aucune bioactivation n'a été notée aux concentrations testées.

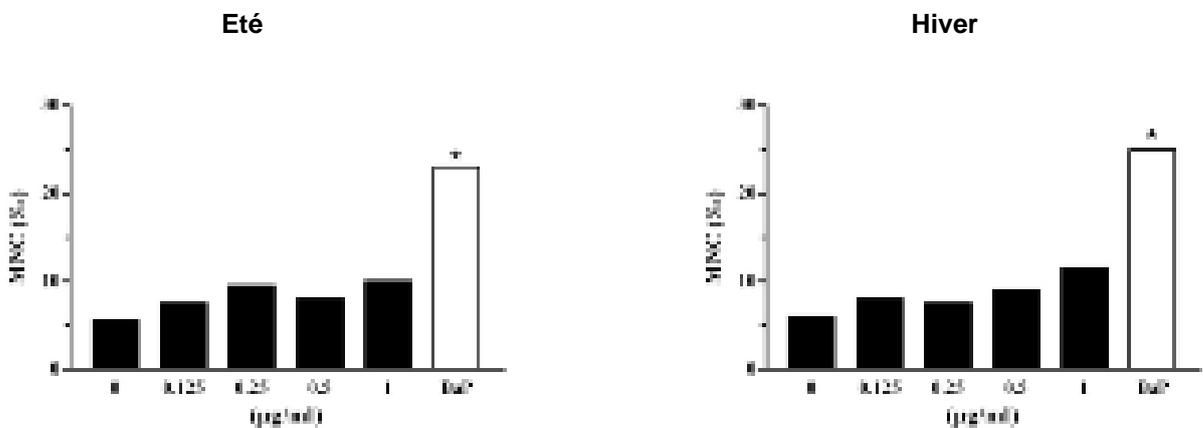


Figure 49: Réponse génotoxique sur la fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) pour le site S3

III.4.3.1.4 Site S4

- *Fraction hydrophile (Fig. 50)*

En été, les espèces hydrophiles présentes sur le site 4 induisent une augmentation de la fréquence de dommages chromosomiques dose-dépendante, et cette augmentation devient significative à la plus forte concentration testée (3µg/ml). En hiver, aucune capacité à induire des dommages chromosomiques n'a été observé aux concentrations testées sur la fraction hydrophile. Parmi les agents chimiques hydrophiles présents sur les particules atmosphériques prélevés sur ce site en été figurent des espèces génotoxiques.

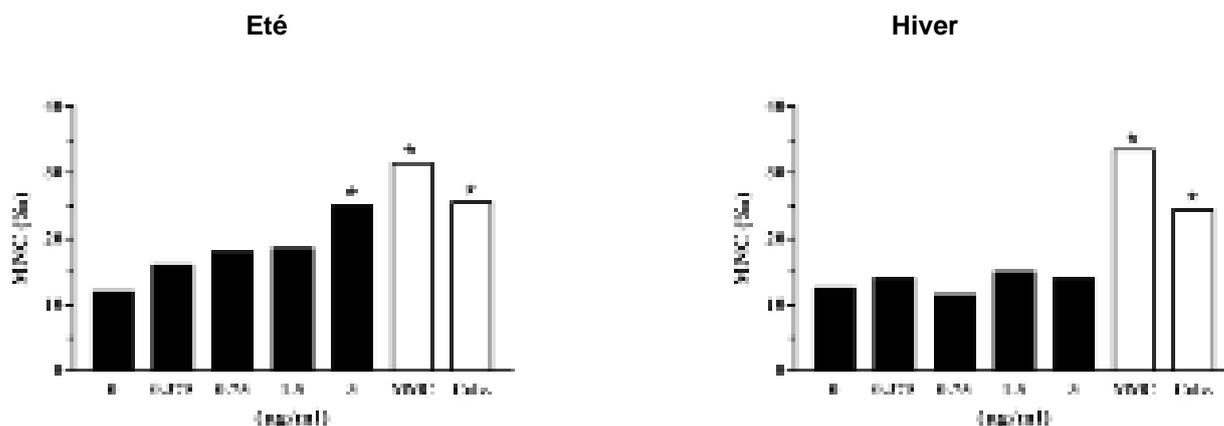


Figure 50: Réponse génotoxique sur la fraction hydrophile pour le site S4

- *Fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) (Fig. 51)*

En été comme en hiver, en absence d'activation métabolique, la fraction lipophile issue du site 4 n'induit pas de dommages à l'ADN aux concentrations testées. Les composés lipophiles ne semblent donc pas génotoxiques en l'absence d'activation métabolique.

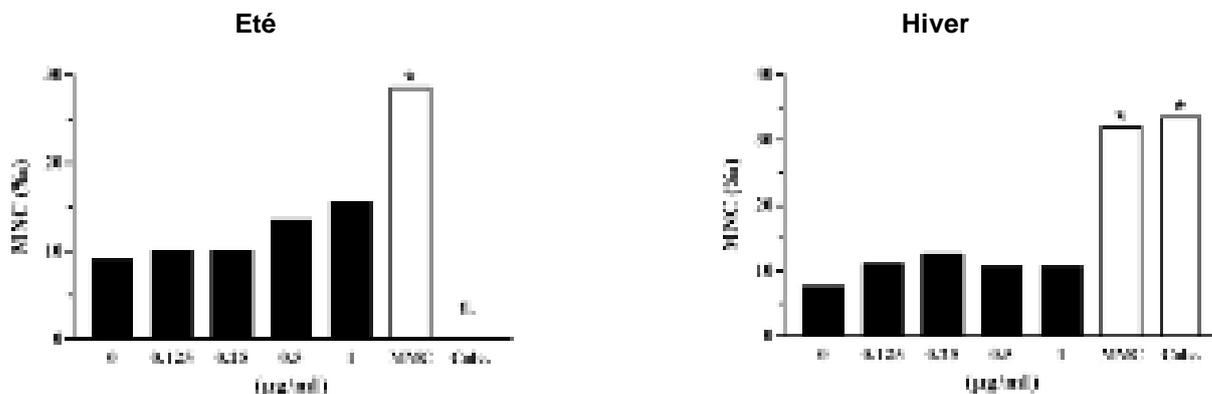


Figure 51: Réponse génotoxique sur la fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) pour le site S4

- *Fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) (Fig. 52)*

En présence d'activation métabolique, une augmentation de la fréquence de dommages chromosomiques est observée en été comme en hiver à partir de la concentration 0.5µg/ml. Parmi les espèces chimiques présentes dans les fractions lipophiles du site 4 figurent des pro-génotoxiques, c'est-à-dire de produits dont les métabolites présentent une capacité à induire des dommages aux chromosomes.

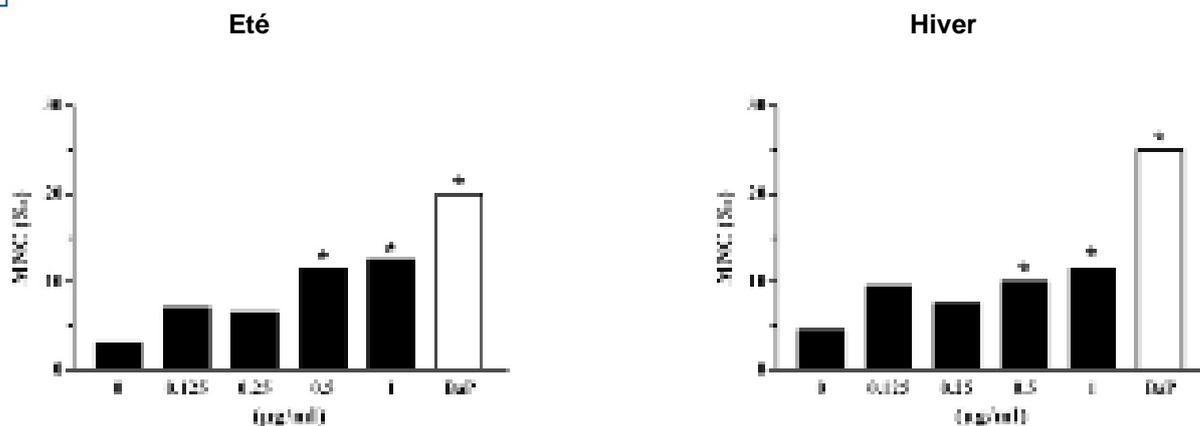


Figure 52: Réponse génotoxique sur la fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) pour le site S4

III.4.3.1.5 Site S5

- Fraction hydrophile (Fig. 53)

En été et en hiver, les espèces hydrophiles présentes sur le site 5 induisent une augmentation de la fréquence de dommages chromosomiques dose dépendante, et cette augmentation devient significative à la concentration de 0.75µg/ml en été et à la plus forte concentration testée (3µg/ml) en hiver. Parmi les agents chimiques hydrophiles présents sur les particules atmosphériques prélevés sur ce site figurent en été comme en hiver des espèces génotoxiques.

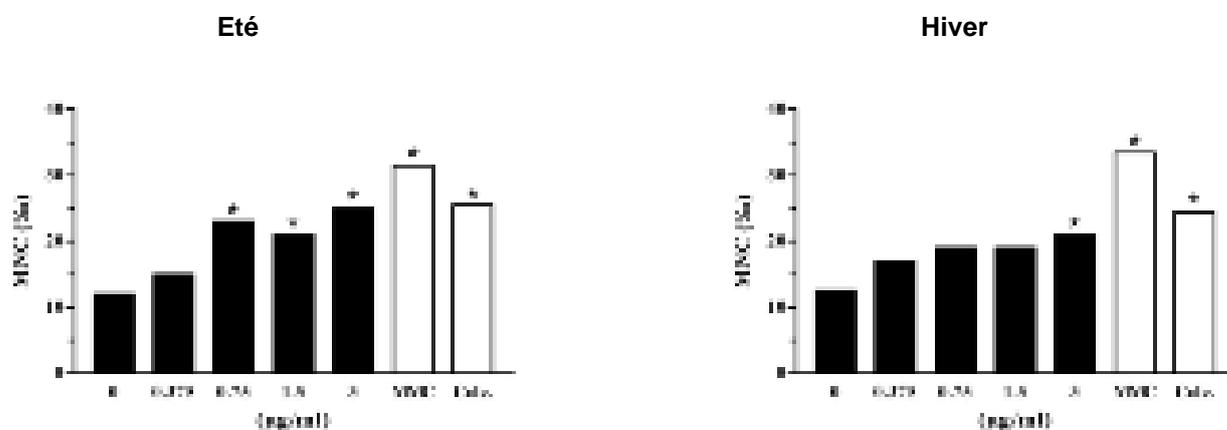


Figure 53: Réponse génotoxique sur la fraction hydrophile pour le site S5

- Fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) (Fig. 54)

En été comme en hiver, une augmentation significative de la fréquence de MNC a été enregistrée au niveau du site 5 sur la fraction lipophile en absence d'activation métabolique. En été, ces inductions de dommages chromosomiques sont observées dès la concentration 0.5µg/ml. En hiver, une augmentation significative est observée à la plus forte concentration testée (1µg/ml). Des espèces lipophiles présentent donc des capacités à induire des dommages chromosomiques sans nécessiter une activation métabolique.

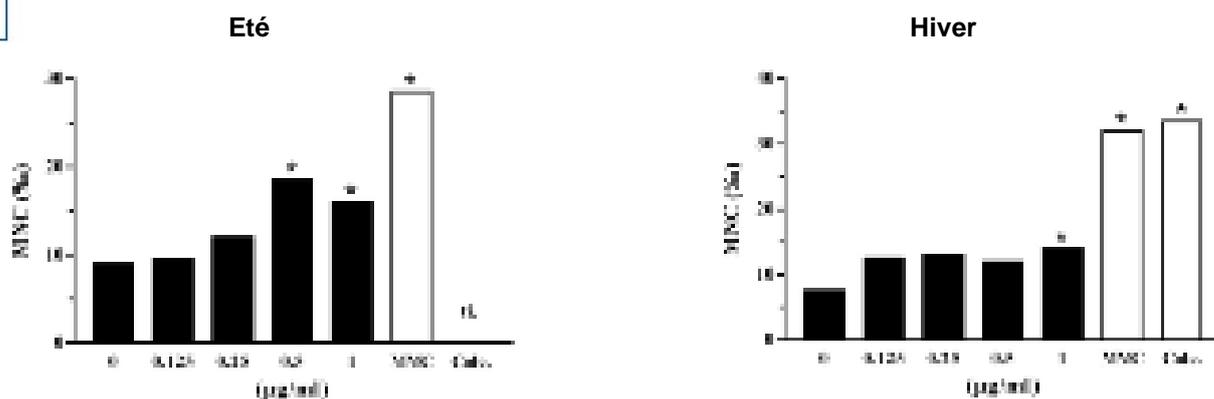


Figure 54: Réponse génotoxique sur la fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) pour le site S5

- Fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) (Fig. 55)

En présence d'activation métabolique, une augmentation de la fréquence de dommages chromosomiques est observée en été comme en hiver à partir de la concentration 0.5µg/ml. Parmi les espèces chimiques présentes dans les fractions lipophiles du site 5 figurent des pro-génotoxiques, c'est-à-dire de produits dont les métabolites présentent une capacité à induire des dommages aux chromosomes.

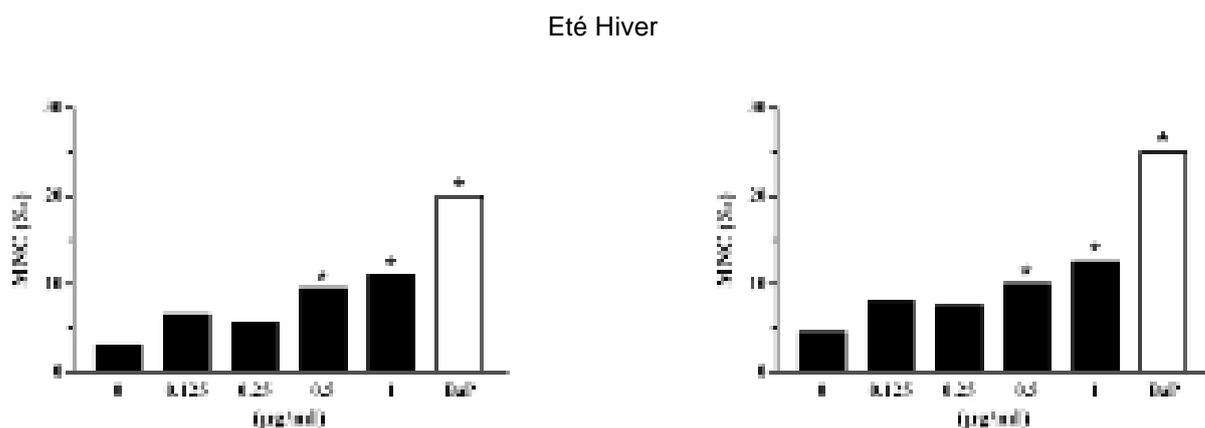


Figure 55 : Réponse génotoxique sur la fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) pour le site S5

III.4.3.2 Distinction entre cassures et pertes de chromosomes par l'analyse de la présence de centromères au sein des micronoyaux

Nous avons réalisé une détection des centromères dans les micronoyaux afin de distinguer les fragments chromosomiques acentriques des chromosomes entiers. Ainsi, nous sommes en mesure de documenter les effets aneugènes et les effets clastogènes des agents hydrophiles et lipophiles (bioactivables ou non) présents lors du captage des particules PM_{2.5}.

Les résultats sont présentés sous la forme de diagrammes en bâtons. Ils représentent le taux de micronoyaux centromériques (MNC+) et acentromériques (MNC-) obtenu après analyse de 2 000 cellules micronucléées.

Chaque graphe présente les résultats obtenus avec le contrôle véhicule, le(s) contrôle(s) positif(s) et en présence des 4 concentrations de fractions particulaires testées.

Une augmentation de la fréquence de MNC+ ou de MNC- a été considérée comme significative lorsque cette augmentation est statistiquement significative (Test Chi-2, p<0.05), ou une augmentation dose-dépendante est observée.

La présence d'un « a » ou d'un « b » au-dessus des diagrammes signale une différence statistiquement significative ($p < 0.05$) dans la fréquence de MNC+ ou de MNC-.

III.4.3.2.1 Site S1

- *Fraction hydrophile (Fig. 56)*

En été, on constate que l'induction de MN est essentiellement consécutive à des événements aneugènes, c'est-à-dire à des anomalies de répartition de chromosomes. Dans ce cas, l'ADN n'est pas la cible biologique des agents induisant ces MN. En hiver, logiquement, nous n'observons pas d'induction ni de pertes, ni de cassures de chromosomes.

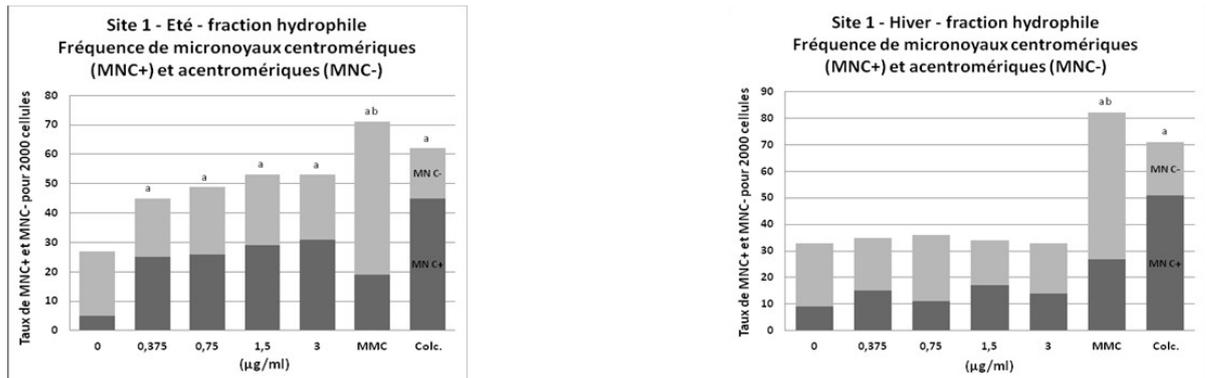


Figure 56: Fréquence de micronoyaux pour la fraction hydrophile du site S1

- *Fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) (Fig. 57)*

En l'absence d'activation métabolique, en été comme en hiver, l'augmentation de la fréquence de cellules micronucléées est essentiellement consécutive à des pertes chromosomiques, et l'ADN ne semble donc pas être directement la cible des composants lipophiles.

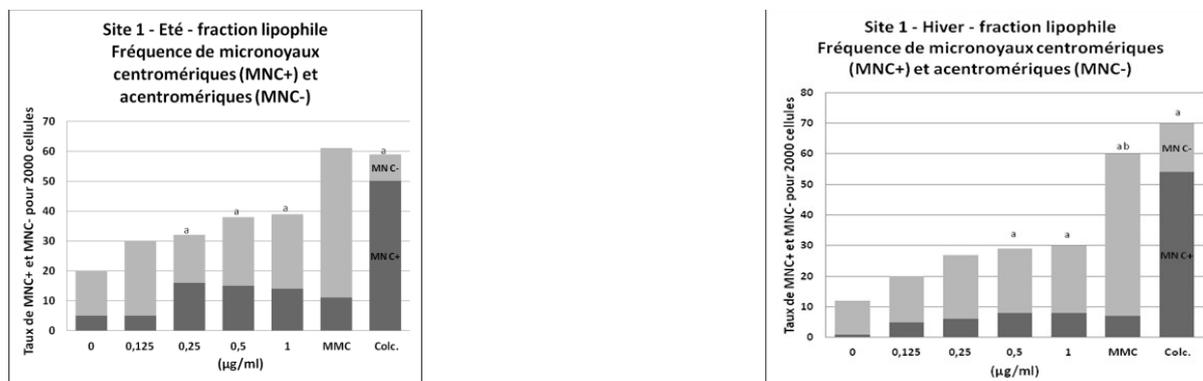


Figure 57: Fréquence de micronoyaux pour la fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) du site S1

- *Fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) (Fig. 58)*

En présence d'activation métabolique, aucune augmentation de la fréquence de MNC+ et de MNC- n'a été observée, ce qui signifie qu'aux concentrations testées, il n'y a pas d'induction notable de perte ou de cassures chromosomiques.

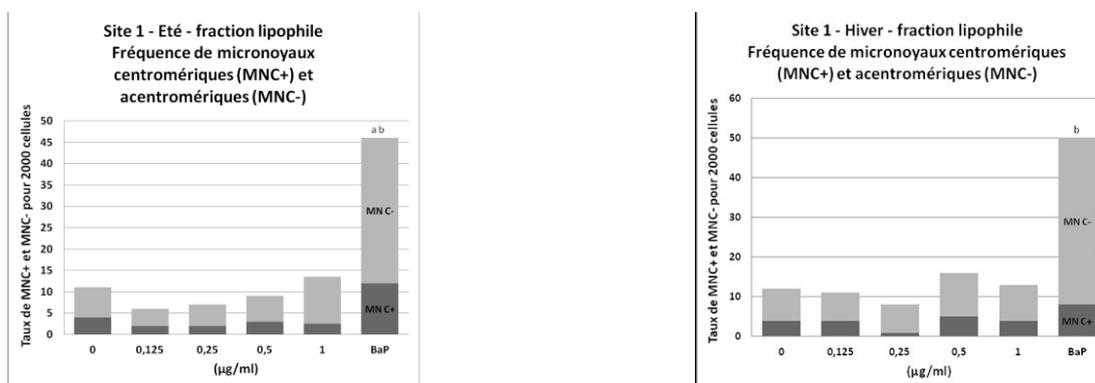


Figure 58 : Fréquence de micronoyaux pour la fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) du site S1

III.4.3.2.2 Site S2

- **Fraction hydrophile (Fig. 59)**

En été, on constate que l'induction de MN est essentiellement consécutive à des événements aneugènes, c'est-à-dire à des anomalies de répartition de chromosomes. Dans ce cas, l'ADN n'est pas la cible biologique des agents induisant ces MN. En hiver, logiquement, nous n'observons pas d'induction ni de pertes, ni de cassures de chromosomes. En hiver, un incident technique ne nous a pas permis d'obtenir des données pour les concentrations de 1.5 et 3µg/ml.

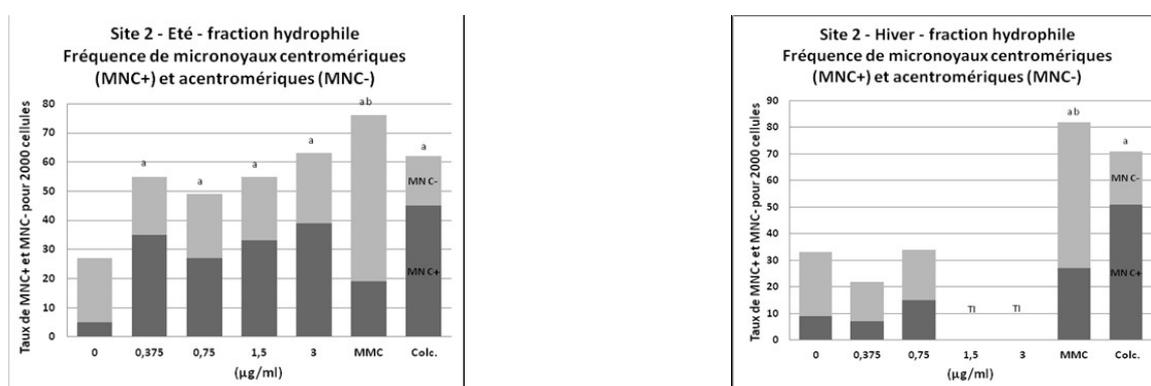


Figure 59: Fréquence de micronoyaux pour la fraction hydrophile du site S2
Ti : Incident technique n'ayant pas permis la détermination du paramètre

- **Fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) (Fig. 60)**

En l'absence d'activation métabolique, aucune incidence significative sur les taux de MNC+ et de MNC- n'a été enregistrée, ce qui souligne la très faible génotoxicité de la fraction lipophile du site S2 en l'absence d'activation métabolique.

- **Fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) (Fig. 61)**

En présence d'activation métabolique, en été, la fraction lipophile issue des prélèvements sur le site 2 ne présente pas de capacité à induire des pertes ou des cassures de chromosomes aux concentrations testées. Un incident technique ne nous a pas permis de générer des résultats pour les concentrations 0.5 et 1µg/ml en été.

En présence d'activation métabolique en hiver, une augmentation modérée mais significative des micronoyaux acentriques a été observé à 0.5µg/ml, ce qui témoigne de cassures double-brin de l'ADN.

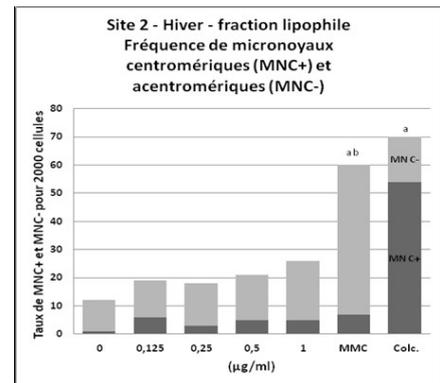
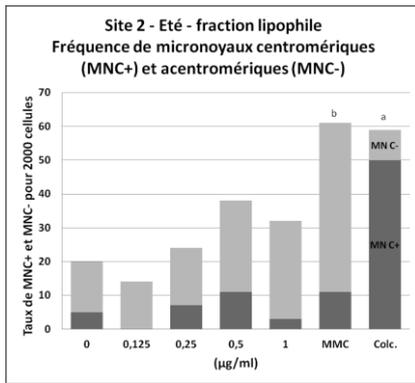


Figure 60 : Fréquence de micronoyaux pour la fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) du site S2

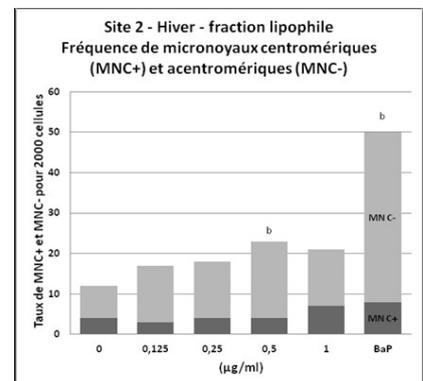
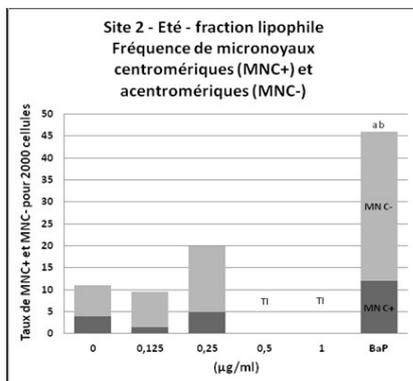


Figure 61: Fréquence de micronoyaux pour la fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) du site S2 Ti : Incident technique n'ayant pas permis la détermination du paramètre

II.4.2.2.3 Site S3

- Fraction hydrophile (Fig. 62)

En été, nous observons une induction significative de MNC+ et de MNC-, traduisant la présence d'agents chimiques vraisemblablement susceptibles d'induire des cassures d'ADN double-brin et des pertes de chromosomes entiers.

En hiver, l'augmentation plus modérée de la fréquence de cellules micronucléées n'a pas permis de révéler le mécanisme d'action des agents à l'origine de ce phénomène.

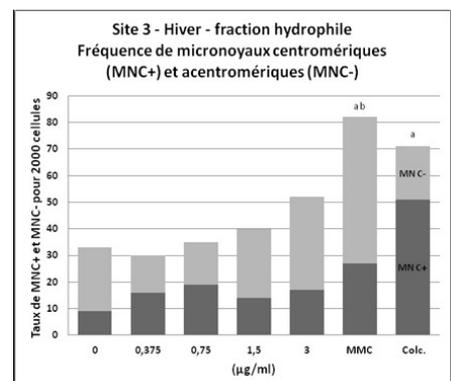
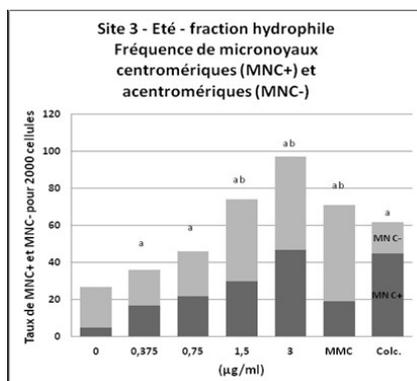


Figure 62 : Fréquence de micronoyaux pour la fraction hydrophile du site S3

- **Fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) (Fig. 63)**

En été, l'augmentation de micronoyaux est consécutive à des cassures double-brin de l'ADN. En hiver, cette augmentation implique des cassures, semble-t-il en moins grand nombre, et des pertes de chromosomes entiers.



Figure 63 : Fréquence de micronoyaux pour la fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) du site S3

- **Fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) (Fig. 64)**

L'analyse du contenu en centromères des micronoyaux permet de révéler une augmentation modérée mais significative des MNC- en été à 0.25µg/ml et une augmentation modérée mais significative à 1µg/ml et dose-dépendante des MNC- en hiver, ce qui suggère une induction de cassures de chromosomes.



Figure 64: Fréquence de micronoyaux pour la fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) du site S3

III.4.3.2.4 Site S4

- **Fraction hydrophile (Fig. 65)**

En été, les espèces hydrophiles ayant induit une augmentation de la fréquence de dommages chromosomiques induisent des pertes et des cassures de chromosomes. En hiver, aucune capacité à induire des pertes ou des cassures chromosomiques n'a été observé aux concentrations testés sur la fraction hydrophile.

- **Fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) (Fig. 66)**

En absence d'activation métabolique, la fraction lipophile issue du site 4 n'induit ni perte ni cassures de chromosome, ni en été, ni en hiver.

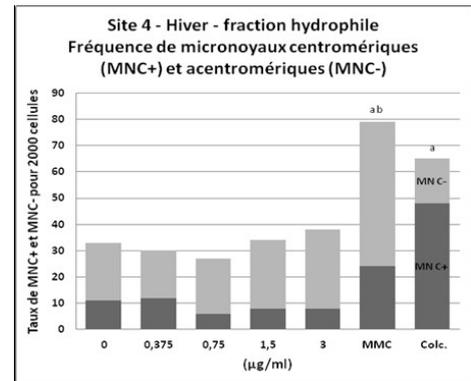
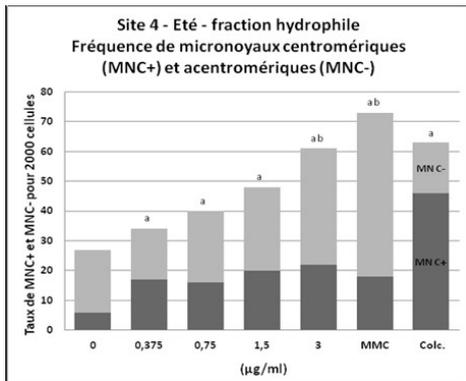


Figure 65: Fréquence de micronoyaux pour la fraction hydrophile du site S4

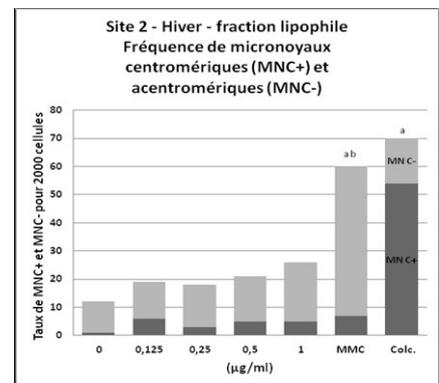
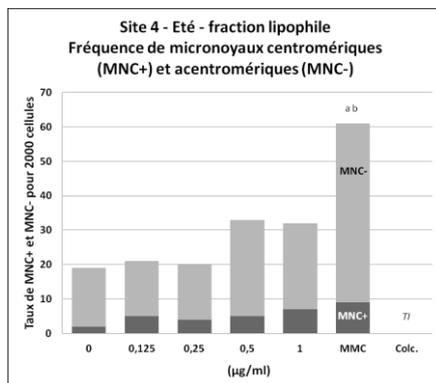


Figure 66: Fréquence de micronoyaux pour la fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) du site S4

- **Fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) (Fig. 67)**

Les espèces lipophiles présentes sur les particules du site 4 entraînent en présence d'une activation métabolique une augmentation significative des cassures chromosomiques observée aux concentrations de 0.5 et 1µg/ml en été et 1µg/ml en hiver.

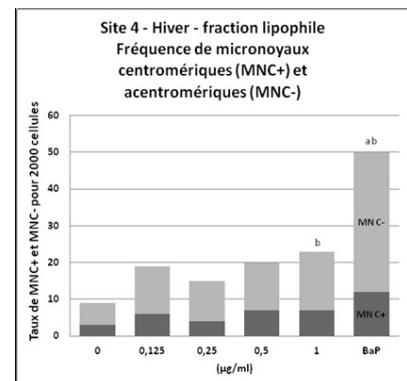
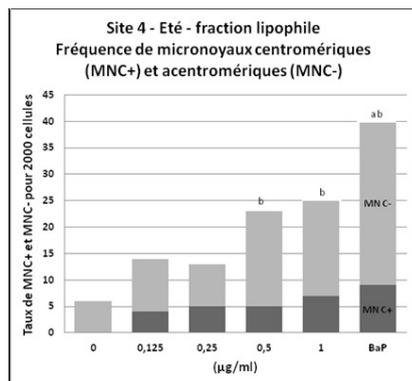


Figure 67 : Fréquence de micronoyaux pour la fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) du site S4

III.4.3.2.5 Site S5

- *Fraction hydrophile (Fig. 68)*

En été, les espèces hydrophiles ayant induit une augmentation de la fréquence de dommages chromosomiques induisent des pertes et des cassures de chromosomes dès les plus faibles concentrations testées. En hiver, seule une capacité modérée des espèces hydrophiles à induire des pertes de chromosomes a été observée à 1.5µg/ml.



Figure 68: Fréquence de micronoyaux pour la fraction hydrophile du site S5

- *Fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) (Fig. 69)*

Les anomalies chromosomiques induites par la fraction lipophile en l'absence d'activation métabolique sont essentiellement consécutives, en été, à des pertes de chromosomes à 0.5µg/ml et, en hiver, à des cassures double-brin uniquement observées à 0.125µg/ml.

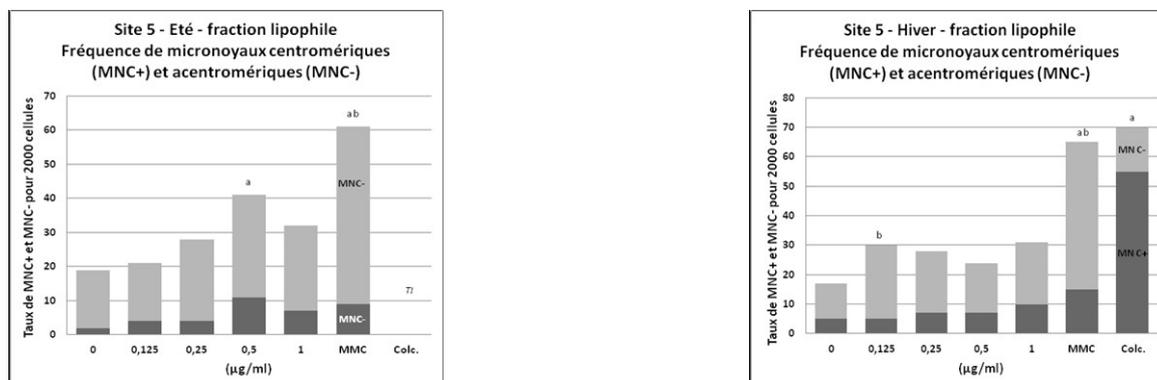


Figure 69 : Fréquence de micronoyaux pour la fraction lipophile sans activateur métabolique (-S9mix) du site S5

- *Fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) (Fig. 70)*

La phase lipophile avec activateur métabolique présente aux plus fortes concentrations testées (0,5 et 1µg/ml en été, et 1µg/ml en hiver) des propriétés génotoxiques responsables de l'induction de cassures de chromosomes, et cet effet apparaît relié à la concentration.



Figure 70 : Fréquence de micronoyaux pour la fraction lipophile avec activateur métabolique (+S9mix) du site S5

III. 5 Synthèse des résultats de génotoxicité

Le test des micronoyaux a été réalisé consécutivement à l'incubation *in vitro* de fibroblastes de poumons humains en présence des fractions hydrophile et lipophile des PM2.5 obtenues suite à deux campagnes de prélèvement, réalisées, l'une en été 2010 et l'autre en hiver 2011. Ce test a été couplé à la détermination du contenu en centromère des micronoyaux, ce qui nous permet de déterminer si les augmentations induites de micronoyaux sont consécutives à des cassures double-brin, ou à des anomalies de répartition des chromosomes lors de la mitose. Les cassures double-brin sont connues pour être induites par des agents clastogènes et l'exposition aux agents clastogènes est associée au risque de cancer. Les pertes de chromosomes entiers sont connues pour être induites par des agents aneugènes qui exercent leur action délétère non pas par interaction directe avec l'ADN, mais de manière très indirecte : ils induisent des mutations chromosomiques de nombre en interagissant, non pas avec l'ADN, mais avec les structures protéiques cellulaires impliquées dans la disjonction, la ségrégation et la migration des chromatides au cours de la division cellulaire, telles que, notamment, le fuseau mitotique des cellules en division. Les agents aneugènes induisent des défauts dans la répartition des chromosomes au cours de la mitose, et de ce fait une aneuploïdie (type de mutation qui implique un changement dans le nombre de chromosomes par rapport au complément diploïde naturel, c'est-à-dire un ou plusieurs chromosomes en plus ou en moins) dans chaque cellule fille. La place exacte de la survenue des anomalies chromosomiques de nombre dans le développement tumoral reste sujette à discussion. À l'heure actuelle, des hypothèses contradictoires sur les liens de causalité entre instabilité génétique et aneuploïdie sont émises. Pour certains auteurs, l'aneuploïdie constitue un événement initial primordial dans la transformation d'une cellule normale en cellule cancéreuse tandis que, pour d'autres, elle représente un événement tardif en relation avec une instabilité chromosomique.

En terme de gestion du risque, la notion de dose seuil pour les génotoxiques directs tels que les clastogènes fait débat à l'heure actuelle. En effet, sur le plan conceptuel, une seule cassure double-brins d'ADN peut conduire à une mutation initiatrice. Cependant, de nombreuses études expérimentales chez l'animal tendent à démontrer que l'exposition prolongée à des niveaux de doses très faibles ne se traduit pas une des augmentations de tumeur.

Pour les génotoxiques indirects que sont les aneugènes, la notion de dose sans effet est communément admise. Les cibles moléculaires de ces aneugènes étant des protéines, il est admis que des seuils d'innocuité peuvent être définis. En effet, ces protéines sont en très grand nombre dans les cellules, elles ont un turn-over élevé et une lésion sur une protéine ne se transmet pas. Dès lors, il est admis qu'en dessous d'un certain seuil de protéines altérées, aucune mutation chromosomique ne devrait apparaître. En revanche, les clastogènes sont reconnus comme étant des agents susceptibles d'engendrer des lésions de l'ADN plus difficilement réparables en termes de fidélité de réparation. Dès lors, ces agents sont plus susceptibles d'induire, à terme, des initiations.

Le tableau XI ci-dessous présente la synthèse des résultats obtenus pour chacun des sites, à chacune des saisons, et pour chaque phase et condition testée. Les colonnes intitulées « Génotoxicité » représentent les interprétations issues de la détermination des fréquences de cellules micronucléées. Les colonnes intitulées « Clastogénèse » représentent les interprétations issues de la détermination des fréquences de micronoyaux acentromériques (MNC-). Les colonnes intitulées « Aneugénèse » représentent les interprétations issues de la détermination des fréquences de micronoyaux centromériques (MNC+). Une négativité dans une quelconque de ces colonnes est représentée en vert. Une positivité en génotoxicité est représentée en gris, en clastogénèse en rouge, en aneugénèse en orange.

Sites	Phases	Eté			Hiver		
		Génotoxicité	Clastogénèse	Aneugénèse	Génotoxicité	Clastogénèse	Aneugénèse
S1	hydrophile	oui	non	oui	non	non	non
	lipophile +S9	non	non	non	non	non	non
	lipophile -S9	oui	non	oui	oui	non	oui
S2	hydrophile	oui	non	oui	non	non	non
	lipophile +S9	non	non	non	non	oui	non
	lipophile -S9	oui	non	non	oui	non	non
S3	hydrophile	oui	oui	oui	oui	non	non
	lipophile +S9	non	oui	non	non	oui	non
	lipophile -S9	oui	oui	non	oui	oui	oui
S4	hydrophile	oui	oui	oui	non	non	non
	lipophile +S9	oui	oui	non	oui	oui	non
	lipophile -S9	non	non	non	non	non	non
S5	hydrophile	oui	oui	oui	oui	non	oui
	lipophile +S9	oui	oui	non	oui	oui	non
	lipophile -S9	oui	non	oui	oui	oui	non

Tableau XI : Récapitulatif des effets génotoxiques pour chaque extraction

Il apparaît qu'une induction de micronoyaux est observée pour au moins l'une des phase/condition métabolique testée quel que soit le site et la saison. En revanche, dans certains couples site/saison, aucune activité clastogène ou aneugène n'est observée.

Cette information est représentée dans le tableau de synthèse XII. Les colonnes intitulées « Génotoxicité » représente les interprétations issues de la détermination des fréquences de cellules micronucléées. Les colonnes intitulées « Clastogénèse » représentent les interprétations issues de la détermination des fréquences de micronoyaux acentromériques (MNC-). Les colonnes intitulées « Aneugénèse » représentent les interprétations issues de la détermination des fréquences de micronoyaux centromériques (MNC+). Une négativité dans une quelconque de ces colonnes est représentée en vert. Une positivité en génotoxicité est représentée en gris, en clastogénèse en rouge, en aneugénèse en orange.

Sites	Eté			Hiver		
	Génotoxicité	Clastogénèse	Aneugénèse	Génotoxicité	Clastogénèse	Aneugénèse
S1	oui	non	oui	non	non	oui
S2	oui	non	oui	oui	+	non
S3	oui	++	oui	oui	++	oui
S4	oui	+++	oui	oui	+	non
S5	oui	+++	oui	oui	++	oui

Tableau XII : Synthèse des résultats génotoxicologiques par site

Une génotoxicité des PM2.5 susceptible d'induire la formation de micronoyaux a été observée sur chaque site et à chaque saison. Néanmoins, celle-ci peut être consécutive à des anomalies de répartition de chromosomes, à l'origine des micronoyaux centromériques (MNC+) ou à des lésions primaires de l'ADN qui engendrent des cassures double-brin à l'origine des micronoyaux acentromériques (MNC-). Les agents porteurs de ces propriétés sont considérés comme des clastogènes et ces derniers engendrent les lésions primaires à l'ADN les plus complexes. Leur réparation fait appel à des processus de recombinaison complexes, et la fidélité des réparations n'est pas toujours possible. Du seul point de vue de la génotoxicité, une priorisation des actions de prévention pourrait être apportée aux sites/saison concernés par une positivité en clastogénèse.

Aux concentrations testées, aucune propriété clastogène des fractions particulières testées n'a été observé sur le site S1 ni en été, ni en hiver. Le site S2 ne présente qu'une faible activité clastogène en hiver et aucune en été.

L'impact saisonnier global semble relativement modéré lorsque l'on analyse l'ensemble des résultats. Nous notons toutefois que des propriétés aneugènes sont observées sur l'ensemble des sites l'été et sur trois sites sur cinq en hiver. En revanche, des propriétés clastogènes sont observées sur trois sites l'été et sur quatre sites l'hiver, mais la réponse sur deux de ces quatre sites est relativement modérée en hiver.

L'analyse de l'impact saisonnier site par site nous permet de formuler les remarques suivantes :

- aucune incidence de la saison n'est notée sur les sites 1, 3 et 5 ;
- sur le site 2, un faible effet clastogène est observé l'hiver tandis que seul un effet aneugène est observé l'été ;
- sur le site 4, le caractère clastogène des particules semble plus net en été, et le caractère aneugène n'étant observé qu'en été.

Notons également que les résultats de génotoxicité positifs sur plusieurs sites ne permettent pas de conclure que les agents chimiques présents sur les particules sont exactement les mêmes quel que soit le site de prélèvement.

Il est également extrêmement important de souligner que l'analyse ci-dessus ne tient aucunement compte des niveaux d'exposition. En effet, quelle que soit la concentration en particules obtenue le jour du prélèvement sur l'un des cinq sites, nous avons testé le potentiel des fractions hydrophile et lipophile à générer des dommages chromosomiques *in vitro* pour des concentrations identiques en quantité de matière récupérée après extraction en milieu hydrophile ou lipophile. Cette stratégie nous permet de pouvoir comparer la génotoxicité des particules à quantité de matière équivalente d'un site à l'autre ou d'une saison à l'autre. Il est donc tout à fait possible qu'une source de particules fines spécifiquement émises sur un site bien défini et exempt de propriétés génotoxiques masque, par effet de dilution, la génotoxicité des particules dont les sources sont communes à tous les sites.

Il est important de noter qu'il est difficile d'établir un lien entre notre étude menée *in vitro* sur des fibroblastes de poumons humains et ce qui se produit dans les poumons après inhalation de particules PM2.5. Certes, il est connu que :

- Les PM2.5 sont capables de pénétrer profondément dans l'appareil respiratoire, atteignant la région alvéolaire des poumons. Des études épidémiologiques ont démontré le lien entre l'exposition chronique aux PM2.5 et la mortalité due à des cancers pulmonaires dans les pays industrialisés [Pope *et al.*, 2002 ; Krewski *et al.*, 2005a, 2005b ; Laden *et al.*, 2006] ;
- Les PM2.5 contiennent une large variété de molécules toxiques et/ou génotoxiques (métaux, hydrocarbures aromatiques polycycliques, composés organiques volatiles, dioxines...) ou des microorganismes (bactéries, champignons). C'est pourquoi de nombreuses études portent sur l'implication des PM2.5 dans les cancers pulmonaires, en utilisant des techniques *in vitro* et *in vivo* [Claxton and Woodall, 2007].

Cependant, les extrapolations des effets potentiels sur la santé humaine, suite à une étude *in vitro* ou *in vivo*, sont limitées :

- Il est très difficile de quantifier la fraction bio-disponible des PM2.5 ;
- Une partie des molécules contenue dans les PM_{2.5} ne sont pas extractibles par des solvants organiques (métaux...) ;
- Il est impossible de déterminer la quantité de PM2.5 inhalée demeurant dans les poumons par rapport à la quantité éliminée. De plus, le transport des particules peut être ralenti en cas de phénomènes inflammatoires dans les poumons et d'affections obstructives des voies aériennes (asthme, bronchite). Le temps d'élimination peut s'étaler sur des mois, voire des années.

Au total, nous observons des variations dans les propriétés de génotoxicité au niveau des particules recueillies sur chacun des sites, et ces données, associées à l'ensemble des autres approches physico-chimiques et sociétales sont utiles pour informer le public de la nature des particules et de leurs potentiels effets sur la santé. Par ailleurs, la nature génotoxique des particules fines confirment l'intérêt pour la santé des populations des stratégies de réduction des émissions particulières mises en place ces dernières années en région PACA. Ces résultats, acquis sur les fractions hydrophiles et lipophiles issues des prélèvements de particules sur divers sites du Bassin Minier de Provence, devraient être utilement complétés par une analyse de la génotoxicité des particules elles-mêmes (sans séparer les fractions hydrophile et lipophile). En effet, des phénomènes d'additivité, d'antagonisme ou de synergie peuvent avoir lieu lorsque les cibles biologiques sont soumises à l'ensemble des espèces chimiques et au caractère particulaire de ces polluants environnementaux. Enfin, une analyse conjointe de leur potentiel inflammatoire, de leur effet sur les mécanismes de réparation de l'ADN et sur les effets épigénétiques associés seraient autant d'éléments de réponses récents et précieux pour affiner les conclusions de cette étude.

IV Étude de la perception de la qualité de l'air par les populations

IV.1 Rappel des objectifs annoncés

L'axe 3 du projet PACTES-BMP s'inscrit dans les thèmes définis par l'APR, notamment ceux traitant de la perception et de la représentation des risques pour la santé liés à l'environnement général ou professionnel et des rapports société civile, science et expertise.

Si pour beaucoup de scientifiques, la pollution atmosphérique est directement en rapport avec des phénomènes récents comme l'urbanisation massive et une industrialisation responsable d'émissions non contrôlées de particules dans l'atmosphère, pour les populations et en particulier pour les populations exposées ou susceptibles de l'être, l'image est plus brouillée, parce qu'elle ne repose pas sur des analyses scientifiques des composantes de l'atmosphère, mais sur un ensemble de connaissances et de perceptions sur leur environnement immédiat et quotidien.

Dans cet axe du projet l'objectif est *d'identifier les perceptions des populations résidant dans les 5 sites d'études en matière de pollution en général et plus spécifiquement de pollution de l'air et de les confronter aux mesures effectuées sur les mêmes sites*. Nous tentons de comprendre d'où proviennent les perceptions, si elles évoluent, comment elles se traduisent dans les comportements individuels et collectifs. Notre analyse veut répondre à différents questionnements :

- Les populations ont-elles conscience que leur lieu de vie est pollué et quels sont les discours produits sur la qualité de l'air ?
- Comment les populations identifient, nomment et expliquent les différentes formes de pollution atmosphérique ?
- Les populations ont-elles conscience de risques pour leur santé ?
- En terme de prévention, quelles pratiques et attitudes les populations adoptent-elles ou seraient-elles prêtes à adopter dans leur vie quotidienne pour se prémunir des conséquences de la pollution atmosphérique ?

IV.2 Travaux effectués et aspects méthodologiques

IV.2.1 - Les travaux préparatoires aux enquêtes

Dans le projet, nous avons envisagé d'effectuer une étude de la presse quotidienne régionale afin d'apprécier les discours produits sur la pollution de l'air dans la région, en préalable à nos enquêtes de terrain. En fait, et pour des raisons d'efficacité et de gestion de la recherche, nous n'avons étudié que l'accident des boues rouges de Hongrie qui a été relaté dans la presse, considérant qu'il s'agissait d'un événement qui mettait en lumière de façon emblématique l'éventuelle dangerosité de l'activité industrielle de l'usine d'alumine de Gardanne.

En revanche, il nous est rapidement apparu plus important de consacrer du temps au suivi des réunions préparatoires et de la mise en place des mesures effectuées par nos collègues du CEREGE et d'ATMOPACA, de réunir une documentation spécifique sur les sites industriels et surtout de rencontrer les responsables des sites, les élus locaux, les techniciens ainsi que les associatifs afin de tracer un premier panorama des questions posées par la pollution de l'air sur le secteur d'étude.

IV.2.1.1 L'accompagnement de la première campagne de prélèvements

Nous avons pris le parti, pour être davantage en interaction avec la partie technique du projet, de participer à la mise en place des capteurs atmosphériques par Atmopaca et le Cerege, afin de comprendre le fonctionnement du dispositif et de nous familiariser avec les sites choisis. Cette familiarisation est importante, car les populations que nous avons prévu d'interroger résidaient souvent à proximité de ces sites. De plus, il nous semblait utile de connaître les modalités du choix des sites, et qu'elles en avaient été les éventuelles contraintes.

C'est la raison pour laquelle Sylviane Capezza (Master 2, SENS, Université de Provence) a participé aux réunions préalables du choix des sites de « mesures », à la mise en place des capteurs avec Atmopaca afin d'observer notamment les réactions des riverains.

IV.2.1.2 - La revue de presse sur les boues rouges de Hongrie

Cet événement survenu en octobre 2010 a fait l'objet d'une couverture dans la presse nationale et régionale (télévision, journaux) et a suscité des interrogations au sein de la population de Gardanne. Il nous a donc semblé intéressant de conduire une analyse succincte de la presse sur cette question. Un dossier de recherche a été réalisé par Yuriy Kryzhanovskyy (Master 1 MASS, Université de Provence).

IV.2.1.3 - Recherche documentaire

Nous avons aussi procédé à la collecte de documentations complémentaires à celle préalablement réunie pour la rédaction du projet :

- d'une part pour apprécier tout ce qui pouvait avoir trait aux questions d'information et de communication dans les différents documents officiels disponibles (Plan particules, PNSE2,...)
- d'autre part pour mieux connaître le fonctionnement et l'image des entreprises étudiées (plaquettes de présentation, sites web, ...)

Nous avons par ailleurs procédé à une revue de la littérature concernant les approches comportementales sur ces questions (cf. bibliographie).

IV.2.1.4 - Entretiens avec les industriels, élus locaux, techniciens

Une grande partie des travaux préparatoires aux enquêtes a été consacrée à des entretiens auprès des acteurs (industriels, élus, techniciens) des sites concernés par les prélèvements :

- Rencontrer les élus nous a permis de présenter le projet et la partie sociologique dont notre équipe avait la charge, mais également d'obtenir des contacts supplémentaires, tels que ceux des présidents d'associations, de riverains ayant un intérêt particulier pour la pollution ou leur environnement, etc... Ces entretiens nous ont aussi éclairés sur de nombreux points, comme le nombre de plaintes enregistrées contre une éventuelle pollution atmosphérique, sur la présence de comités locaux d'information ou de concertation (CLI) et les discours des riverains lors de ces réunions, sur les éventuelles actions menées par les communes contre la pollution, etc...

- Il paraissait aussi essentiel de s'entretenir avec les industriels rencontrés lors de la première réunion du comité de pilotage, afin de pouvoir mettre en parallèle leurs actions de lutte contre l'empoussièrement et la perception qu'en ont les riverains.

- La DREAL a également accepté de nous recevoir, ce qui nous a permis de comprendre la mise en place d'actions réglementaires contre les émissions de pollution atmosphériques en France.

Ces différents entretiens ont suscité des échanges constructifs. Ils ont apporté de nombreuses réponses sur les activités des trois industries prises en compte, leurs rejets, les normes appliquées, les efforts fournis afin de limiter la pollution atmosphérique, les seuils d'émission à respecter, l'existence d'éventuels incidents, la présence de CLI, etc...

IV.2.2 - Enquêtes qualitatives

Nous avons réalisé des enquêtes qualitatives par entretiens (voir Annexe 2 pour la grille d'entretien) auprès de personnes vivant près des sites d'études en essayant de prendre en considération des situations contrastées (quartiers résidentiels vs populaires, proximité vs éloignement de sites industriels et artisanaux, résidant en centre-ville vs périphérie, qui sont des critères discriminants dans la littérature) pour apprécier des différences de discours en matière de perception des risques (notamment selon le niveau de vie, la proximité d'un site à risque ou perçu comme tel, etc...). Il ne s'agit donc pas d'un échantillon représentatif, l'objectif était plutôt de favoriser, dans une diversité de situations, une connaissance approfondie du vécu de chaque individu autour du questionnement proposé.

Les entretiens d'une durée moyenne d'une heure ont été réalisés selon la méthode dite « boule de neige », généralement au domicile ou sur le lieu d'activité des personnes, enregistrés, retranscrits puis analysés pour en faire ressortir les éléments essentiels, et aussi servir à la préparation d'un questionnaire. Ils ont été complétés par des observations sur les sites et des discussions et entretiens informels.

L'approche choisie consistant à analyser la perception des riverains des sites industriels, nous a conduits à écarter en un premier temps deux des cinq sites d'étude (Fuveau et Trets) où il n'y avait pas d'industrie à proximité des habitations. Néanmoins lors de la première campagne de prélèvements qui a eu lieu en janvier 2010, des contacts ont été établis avec un élu et avec la directrice de l'école primaire de Trets où un capteur avait été installé au sein même de l'école.

Nous avons débuté par des entretiens auprès des élus et des industriels (n=7), qui nous ont permis en particulier d'élaborer une grille d'entretien destinée à la population des sites. Cette grille a été préalablement testée.

Puis c'est au cours des mois de juillet et août 2010 qu'une première série d'entretiens (n=10) a été réalisé par Sylviane Capezza (dans le cadre d'un mémoire de Master 2 MASS) auprès des riverains des trois sites industriels.

Une première analyse de cette série d'entretiens, a mis en évidence que les plaintes des riverains se concentraient pour une grande part autour du complexe centrale thermique/ usine d'alumine de Gardanne.

Nous avons donc décidé d'effectuer une deuxième série d'entretiens (n=5) auprès de la population gardannaise concernée par ces deux entreprises industrielles. Ils ont été réalisés de mars à avril 2011 par Christine Labeur, (doctorante en sociologie, recrutée sur un CDD de 6 mois).

Enfin, et même si nous avons concentré notre effort en un premier temps sur les perceptions des riverains des sites industriels, il est apparu également utile d'apprécier les perceptions de la pollution chez les populations résidant dans des zones moins exposées. C'est la raison pour laquelle nous avons procédé à des entretiens d'habitants de la commune de Trets (n = 10) où avaient été placés les capteurs « témoins ». Cette décision ressort d'une discussion engagée lors du dernier comité de pilotage juin 2011, et correspond aussi à une demande des responsables (école, mairie) qui semblaient inquiets de nous voir procéder à des mesures dans leur commune et s'interrogeaient sur la qualité de l'air dans leur lieu de vie. Ces entretiens ont été réalisés et analysés par Nicole Vernazza (anthropologue de la santé, recrutée sur un CDD de 1 mois)

Par ailleurs, nous avons constaté que les riverains d'une façon générale établissaient un lien fort entre santé et environnement, notamment par l'association allergies/particules. Il nous semblait intéressant de savoir si ce rapprochement était basé sur des faits réels constatés et nous avons conduit quelques entretiens auprès de médecins généralistes de la zone d'étude (dans le cadre d'un complément de budget obtenu auprès de l'OHM BMP du CNRS). Ce point ne figurait pas dans nos objectifs, mais il nous a aidés dans notre compréhension des perceptions et des pratiques de prévention des riverains. Les entretiens ont aussi été réalisés par Nicole Vernazza.

Au plan méthodologique, nous avons, en plus de l'analyse classique des textes, effectué un traitement statistique de données textuelles avec le logiciel Alceste (aspect pris en charge par Christine Labeur). C'est un outil intéressant dans notre cas, car il permet d'associer étude du sens (*ce dont on parle*) et étude de l'intentionnalité du locuteur (*comment on en parle*) dans l'analyse de textes. Pour ce faire, les textes sont analysés à partir des mots pris dans leur contexte d'apparition et des caractéristiques particulières de l'énonciation.

IV.2.3 - Enquête par questionnaires auprès de la population de Gardanne

Cette enquête a été réalisée avec la participation de deux étudiants (Abdelkouhous Bennani et Yuriy Kryzhanovskyy) dans le cadre d'un stage de fin d'année de Master 1 MASS de l'Université de Provence.

En nous appuyant sur l'ensemble des données recueillies lors des entretiens nous avons construit un questionnaire (Annexe 3) qui a été préalablement testé. Le questionnaire comporte 3 parties, une sur "l'image de la ville", l'autre sur "la pollution de l'air" et la troisième partie concerne "les variables sociodémographiques des individus". Nous avons utilisé pour l'essentiel des questions fermées à plusieurs modalités de réponse.

Nous avons choisi d'enquêter auprès de la population résidant en proximité des sites (centrale thermique, usine d'alumine) sur les communes de Gardanne et de Meyreuil.

Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur l'aide des institutions de ces deux communes et de comités de quartier. Une enquête par sondage n'avait pas été envisagée car elle impliquait pour sa réalisation un budget trop important. Nous avons fait le choix d'enquêter en différents lieux de passage (Mairie, médiathèque, salle des expositions..) et aussi auprès de membres d'associations, jusqu'à réunir un corpus suffisant pour constituer un fichier exploitable au plan statistique. Ces conditions d'enquête n'avaient pas pour objectif d'obtenir un échantillon représentatif de la population (selon les critères de l'INSEE), mais ont permis une quantification des données.

Nous avons recueilli 193 questionnaires. Les questionnaires ont été saisis dans un environnement XLSTAT qui est un module supplémentaire du logiciel Microsoft Excel.

Nous avons établi un fichier de travail (saisie des données, recodage de certaines variables, codification des questions ouvertes,...) pour effectuer les analyses statistiques appropriées.

Ces analyses nous ont permis de compléter les résultats issus des entretiens et surtout de conduire des analyses différentielles des perceptions de la pollution notamment selon le sexe, l'âge, la profession, le lieu de résidence des répondants, leur origine géographique, etc...

Le fichier a aussi permis de tester une approche d'analyse sur la cartographie des perceptions de la pollution qui a été réalisée par Ana Catalina Marquez, dans le cadre d'un stage du Master SENS effectué à l'OHM BMP.

IV.3 Revue de la littérature

Un travail de recension bibliographique concernant les recherches sur les perceptions des populations en matière de pollution de l'air (Saksena, 2007) constate que les plus anciennes recherches datent de la décennie 1960 pour les USA et que c'est seulement dans les années 1990 qu'elles se sont développées avec les approches qualitatives. Les études les plus récentes peuvent être regroupées en deux catégories principales, celles qui s'intéressent à la communication sur le risque de pollution et celles qui cherchent à établir les facteurs qui influencent la perception de ce risque.

De façon générale, la plupart des résultats montrent que les populations, qui s'appuient sur des observations visuelles, identifient l'automobile et l'industrie comme les deux facteurs principaux de la pollution de l'air. Mais S. Saksena constate qu'il n'existe quasiment pas de travaux qui permettent de corréler les perceptions avec les mesures des pollutions.

En matière d'information, les études pointent la faiblesse du recours des populations à l'information officielle et leur relatif scepticisme sur la qualité de cette information. La plupart des études s'accordent aussi à reconnaître l'impact des niveaux socio-professionnels sur l'appréciation de la qualité de l'air, mais font aussi apparaître des résultats intéressants s'agissant de fortes différences entre l'appréciation locale et régionale de la pollution atmosphérique. Le lien avec la santé reste encore insuffisamment perçu et en matière de risques presque toutes les études montrent qu'il existe un écart très important entre les perceptions des pollutions par les populations et les politiques publiques de lutte mises en place.

En France, les études portant sur les questions des perceptions de la pollution atmosphérique ne semblent pas mobiliser la communauté des chercheurs, notamment en sciences sociales. L'essentiel des travaux proviennent d'incitations des structures officielles (MEDDEM, ADEME, ORS,...), et sont par exemple issus pour une majorité du programme PRIMEQUAL dont l'un des thèmes était intitulé « L'évaluation et la perception de l'exposition à la pollution atmosphérique : une interrogation sociétale ». Cet ensemble de travaux remarquables et pourtant restés assez confidentiels dans la communauté scientifique fait apparaître entre autres résultats que le concept de pollution est « *un concept jeune, plutôt de sens commun et encore mal défini* » (Dubois, 2009), qu'il existe un « *hiatus important entre le ressenti et les attentes de la population et les institutions* » (Charles, 2009), que si les « *enquêtés ont une assez mauvaise opinion de la qualité de l'air, beaucoup considèrent que leur lieu d'habitation ne fait pas partie des villes ou des quartiers les plus touchés* » (Segala, 2009) alors que pourtant « *les villes, en offrant un cadre de vie agréable, deviennent des acteurs incontournables de la santé environnementale* » (Roussel, 2009), ou encore que « *la pollution atmosphérique est perçue de façon globale, en lien avec les autres formes de pollution...et qu'elle n'est pas prioritaire dans l'évaluation de la qualité de vie* » (Rouquette, 2009). D'autres travaux confirment par ailleurs à côté des inégalités socioculturelles, l'existence des disparités territoriales (Gailhard-Rocher, 2008) ce que montrent aussi les premiers résultats de l'étude Aphekom, pour les personnes qui habitent à proximité du trafic routier (INVS, 2011)

Il faut aussi signaler que les travaux sur les professionnels de santé restent inexistant malgré les recommandations formulées il y a déjà plus d'une décennie dans le rapport du Haut Comité de la santé publique (2000) qui incitait à développer la formation initiale et l'information des professionnels de santé sur les questions relatives à la pollution atmosphérique. Les quelques études qui ont été réalisées mettent en évidence le déficit de connaissance des médecins généralistes en matière de santé environnementale en général (Attané et coll, 2010) et de pollution en particulier (Medina et Fontaine, 2006 ; Rotily et al, 1999) et le fait que leurs perceptions ne diffèrent guère de celles de la population générale. Ce constat met en évidence la nécessité de mettre en place une information auprès en particulier des médecins généralistes

qui peuvent être des acteurs clés en matière de communication sur le risque de pollution dans leur rapport à la population (Rambaud, 2003 ; Pauluis, 2000).

Au total, on s'aperçoit qu'il est difficile pour les individus, selon l'analyse de Castano et Moser (2007), de connaître leur niveau d'exposition à la pollution de l'air, que leur perception du risque est modulée par la perception de la capacité à lui faire face et qu'elle dépend de leur satisfaction à évoluer dans leur environnement familial. Nous adhérons à ce constat et ce qui explique en effet que l'un des enjeux de la communication sera la confiance entre la population et les acteurs de la prévention et en premier les pouvoirs publics.

Cette relation causale montre toute la difficulté à communiquer sur ces questions. Aujourd'hui, dans le domaine de la santé, la question du tryptique information / éducation / communication (IEC) tend à laisser la place au concept de *Communiquer pour Changer de Comportement* (CCC). D'autant que la communication est rendue plus difficile du fait même de l'incertitude scientifique, et aussi parce que l'évaluation d'un risque inconnu est souvent construite chez les populations à partir de l'association avec d'autres risques. Enfin, il faut aussi être conscient que la communication, qui cherche à susciter des sentiments, éveiller des intérêts, ne peut être que partiellement informative et éducative. De surcroît, elle ne peut pas s'envisager sans prendre en compte, dans une diversité de contextes, les perceptions des populations ou des groupes auxquels elle s'adresse (Bley, Setbon, 2009).

IV.4 Résultats

IV.4.1 Le point de vue des acteurs

IV.4.1.1 Le discours des industriels

Il apparaît que la qualité des systèmes qui équipent les industries autorise une émission particulière canalisée très basse, et la prescription réglementaire des seuils d'émissions est respectée. Cependant, pour les industriels de la zone, le problème reste les émissions diffuses qui sont responsables de la grande majorité des envols de poussières de proximité qui se dispersent jusqu'aux habitations les plus proches, contrairement aux poussières canalisées (lors d'incidents techniques principalement) qui se disperseraient un peu plus loin, compte tenu de la hauteur des cheminées. Pour lutter contre cette nuisance, selon les industries, des actions sont mises en place, comme l'arrosage automatique des stocks, l'encroûtage sur un long terme, des silos pourvus de dépoussiéreurs, le lavage des camions de transport (bâchés ou citerne) et des voies empruntées, ou encore l'acheminement des produits de combustion ou de carrière en tapis roulant couverts. Ces poussières font également l'objet d'une surveillance à l'aide de plaquettes d'empoussièrément posées et gérées par les industriels eux-mêmes au sein de leurs sites.

Les combustibles fossiles comme le charbon et le coke de pétrole sont analysés à la demande de la DREAL, suite aux revendications de l'association de lutte contre les nuisances et la pollution (Alnp). La DREAL a également reconnu la nécessité d'une étude de risque sanitaire concernant l'odeur caractéristique et inconfortable de Gardanne.

Depuis l'installation des systèmes réglementaires, le nombre de plaintes enregistrées par les entreprises a nettement diminué. Les quelques doléances qui subsistent concernent l'empoussièrément, l'odeur et le bruit. L'organisation de réunions tripartites telles que les CLI ou les CLC permettent un échange apprécié par les différents acteurs.

IV.4.1.2 Le discours des élus

Pour les élus des municipalités de Meyreuil, Gardanne, Bouc Bel Air et Trets que nous avons interrogé, il leur semble essentiel d'informer les habitants de toute étude scientifique sur la question des pollutions, car ce serait pour eux un facteur important dans la perception des populations et cela permettrait d'éviter une éventuelle inquiétude. Ils considèrent également que les réunions publiques permettraient un dialogue efficace entre les trois parties, à condition qu'elles soient fréquentes et régulières. Le bulletin municipal de ces communes pourrait également servir de support d'information complémentaire.

Les communes concernées n'ont pas d'actions particulières contre la pollution atmosphérique, si ce n'est la réduction du flux de véhicules abordée par les plans locaux d'urbanisme. Selon les élus, le trafic routier ainsi que le bruit sembleraient être une préoccupation grandissante des riverains.

Les élus s'accordent à dire que les industriels ont réalisé de gros progrès, grâce aux actions mises en place dans le cadre de la réglementation. Le nombre de plaintes enregistrées par les mairies demeure faible. L'information dispensée par les industriels autour des incidents techniques est également citée comme une amélioration et les élus disent recevoir de leur part régulièrement les mesures des contrôles sur les émissions industrielles.

IV.4.2 La perception des populations des communes industrielles

L'analyse de l'ensemble des entretiens, au-delà des diversités, nous a permis de faire ressortir des éléments qui semblent structurants dans le discours des personnes interrogées :

IV.4.2.1 Une région très polluée dont « les autres sont responsables »

Les populations enquêtées tiennent un discours très appuyé sur le fait que l'air de leur région est très pollué, considérant notamment qu'elles résident dans le département le plus pollué de France. La forte industrialisation et les conditions météorologiques en seraient les causes principales, le rôle du trafic routier étant différemment apprécié selon les lieux de vie. De nombreuses personnes estiment que la qualité de l'air est meilleure dans les lieux non industrialisés (montagne ou mer). Une comparaison de l'air entre leur commune et les autres est fréquente. On peut observer que les personnes interrogées pensent que les sources de pollution atmosphérique les plus importantes ne proviendraient pas de leur commune et des usines qu'elles abritent, mais d'autres lieux : des sites pétrochimiques, des grandes villes avoisinantes comme Marseille, des voies à grande circulation, des usines des villes de proximité... On constate un sentiment général de provenance extérieure de la pollution, chaque commune subissant majoritairement la pollution des autres villes ou d'autres sites.

Néanmoins, l'activité industrielle de Gardanne est citée comme étant une source importante de pollution de l'air pour les riverains de cette commune, comme pour ceux des villes environnantes. Ses habitants la considèrent comme un site trop industrialisé. Les présences de l'usine d'alumine, de la centrale, de la décharge de la Malespine (commune de Gardanne), du site de stockage des boues rouges de Mangegarri (sur la commune de Bouc Bel Air) causeraient de nombreuses nuisances comme les poussières, les odeurs et le bruit.

IV.4.2.2 Une pollution atmosphérique décrite comme une « association poussières/odeurs »

Une multiplicité de représentation de la pollution apparaît nettement chez les individus interrogés. Certains développeraient davantage une perception olfactive, alors que d'autres seraient plus sensibilisés au sens visuel. Toutefois, les riverains de Gardanne associent les poussières à l'odeur et les deux semblent représenter une nuisance globale, indissociable. Par contre, les habitants des autres communes dénoncent davantage l'odeur. Les poussières de Gardanne ne seraient pas gênantes pour les communes voisines, contrairement à l'odeur, qui est probablement le signe le plus perceptible de la pollution atmosphérique et qui semblerait également représenter un risque sanitaire perçu plus prononcé.

L'odeur serait un bon marqueur de pollution de l'air, et permettrait une caractérisation des sources. La plupart des personnes essaient de décrire leur perception olfactive et de la mettre en lien avec une activité industrielle. Ainsi, l'odeur de la centrale thermique serait « soufrée » et celle de la cimenterie « irritante ». A noter que certains riverains emploient le terme « mauvaise odeur » pour décrire une irritation des voies aériennes supérieures. Celle de l'usine d'alumine est perçue de multiples façons : « chlore, soufre, acide, soude, brique rouge, poussière, terre rouge... », pour certains elle serait « indescriptible » bien que « caractéristique ».

On constate ainsi une susceptibilité différentielle sur le ressenti des odeurs selon les personnes interrogées. Mais l'absence de perception olfactive ne signifierait pas toujours une absence de nocivité. Par exemple, une personne qualifie de « sournoise » la pollution de sa commune car peu perceptible en comparaison de celle des sites pétrochimiques.

D'autres interlocuteurs utilisent des couleurs pour décrire la pollution de l'air : la pollution chimique serait plutôt marron, les particules noires de charbon, rouges de bauxite et blanches de ciment. On peut constater que les particules blanches d'alumine ne sont pratiquement pas évoquées lors des entretiens, contrairement aux particules rouges. Pourtant, les riverains de Gardanne une fois questionnés plus précisément sur cet aspect visuel disent avoir plus de poussières blanches actuellement. En revanche, les

poussières rouges sont dénoncées comme polluantes de par leur aspect salissant et corrosif et sont dites responsables de l'odeur caractéristique.

On notera aussi que la pollution visuelle ne concerne pas seulement les particules, mais également le paysage. Les usines sont parfois décrites comme des « verrues dans la ville », et leur vue procurerait un inconfort pour les résidents.

IV.4.2.3 Des inégalités d'exposition perçue liées au facteur de proximité des sources de pollution

Les efforts de réduction des émissions de particules ne sont pas perçus de la même manière selon les lieux de vie. Les riverains de Bouc Bel Air se disent satisfaits des très faibles conditions actuelles d'empoussièrément, et conscients que cette amélioration a été possible par les actions réglementaires imposées. A Meyreuil, les avis divergent notamment chez les riverains de la centrale. Bien que des améliorations aient été réalisées, les personnes interrogées estiment que les actions mises en œuvre pourraient être optimisées afin de diminuer davantage l'empoussièrément qui représenterait toujours une nuisance.

Cependant, les riverains natifs de ces communes prétendent être assurés de l'innocuité d'une telle exposition ou, en tout cas, d'une absence d'association avec de graves pathologies.

On peut envisager comme explication de ces perceptions d'absence de risque sanitaire, que les années de vie passées à proximité des industries auraient probablement induit un biais cognitif de familiarisation responsable d'une perception minimisée du risque. En effet, comme l'ont montré d'autres travaux sur la perception du risque, plus une personne est exposée à un danger, plus elle le minimise afin d'en supporter le stress relatif. Nous pouvons donner comme exemple pour illustrer cet aspect qu'une personne résidant à Gardanne décrit les poussières de l'usine d'alumine comme « salissantes » et celles de la centrale thermique comme « toxiques ». Cette perception est aussi à rapprocher du sentiment de provenance extérieure de la pollution pour les populations (*cf. supra*).

En revanche, l'absence de familiarisation peut susciter parfois une crainte démesurée lors de l'ouverture d'une petite entreprise à proximité des habitations (comme cela nous a été rapporté dans un entretien sur Gardanne). Cette entreprise devient alors responsable de nombreuses nuisances pour ses voisins immédiats, même si la population plus éloignée estime qu'elle ne l'est pas. La notion de proximité reste donc presque toujours un facteur essentiel.

De même, le stockage et l'utilisation du nouveau charbon importé par la cimenterie et la centrale engendrent une inquiétude par sa composition et sa provenance internationale. Le minerai est jugé de moins bonne qualité et serait la cause d'une augmentation de l'empoussièrément et d'émissions polluantes. Une personne enquêtée estime que ce charbon « est la nouvelle pollution », car l'absence de silicose sur le territoire du temps de l'exploitation de la mine constituerait une preuve de l'innocuité du minerai gardannais. Les pays exportateurs auraient des conditions de fabrication et de transport peu favorables à l'environnement et seraient responsables d'une pollution mondiale.

IV.4.2.4 La pollution industrielle versus celle du trafic routier

Les nuisances du trafic routier ne sont pas majoritairement perçues comme très gênantes. La nocivité et principalement le bruit engendré par les véhicules en constante augmentation sont toutefois évoqués.

Les habitants ne parlent pas de particules concernant le trafic routier, mais de pollution. Seules quelques personnes nomment les particules « diesel » comme dangereuses. Il semblerait aussi que ces nuisances soient perçues différemment selon le degré d'empoussièrément des riverains. Ainsi, à Bouc Bel Air, le trafic routier serait la source principale de pollution (après la pétrochimie), contrairement au centre de Gardanne où le tandem poussière-odeur dû aux usines prendrait le dessus sur toutes autres formes de nuisances.

Le bruit semble être perçu de façon semblable par la plupart des habitants, et représenter une nuisance non négligeable. Les causes sont multiples (industrie, trafic, urbanisation...).

IV.4.2.5 Le rôle du climat

Pour les populations, le vent serait le vecteur principal de la pollution atmosphérique. Il semble qu'il puisse éloigner les molécules chimiques et les disperser. De ce fait la population ne se sent pas particulièrement exposée si elle n'est pas domiciliée dans le sens du vent dominant. A l'inverse, les courants aériens amèneraient les particules. Notons que pour la plupart des personnes la pollution chimique n'étant pas visible, contrairement aux poussières, cette perception pourrait être principalement

visuelle. La chaleur serait fortement associée à une perception plus conséquente de la pollution, et quelques personnes disent éviter de sortir lors de températures élevées pour se protéger. Ce sont les campagnes de sensibilisation aux pics d'ozone dans ces périodes qui nous paraissent être la raison majeure de cette représentation. On constate ainsi le poids évident de la communication sur la perception d'un processus par la population. Dans les discours recueillis la sécheresse serait responsable de l'augmentation de particules, mais le rôle de la pluie n'est pas évoqué. Une personne parle « du midi » comme « d'un pays à poussières » qu'elle attribue à la sécheresse, la déforestation, l'agriculture, la terre, le vent...

Mais bien que véhiculée, la pollution se disperserait dans l'atmosphère et ne disparaîtrait pas. Elle se déplacerait de sites en sites au gré des vents, de la chaleur, de la topographie... Quelques personnes affirment que la pollution est ubiquitaire et touche également les sites non industrialisés, en opposition à la majorité qui prétend mieux respirer ailleurs. Selon nos interlocuteurs, le nombre de sites de prélèvements de l'étude serait d'ailleurs insuffisant pour déterminer le rayon de dispersion des sources. Les prélèvements devraient être disséminés, les villes avoisinantes étant touchées par les sources étudiées. A noter que la cheminée de 300 m de la centrale est évoquée dans ce contexte, puisque ses émissions voyageraient beaucoup plus loin « que ce que l'on veut bien admettre ». Hormis ceux participant aux comités d'information, la plupart des riverains n'ont pas conscience d'une différence de responsabilité entre les émissions diffuses et canalisées. Plusieurs personnes estiment également que l'étude pourrait être plus représentative de ce qu'inhale réellement la population en étalant les prélèvements sur une plus grande durée.

IV.4.2.6 Une faible implication personnelle

Quelques riverains prétendent que la qualité environnementale générale se dégrade à cause du développement industriel et de l'augmentation du trafic routier. Ces conditions défavorables impacteraient les enfants actuels. L'espérance de vie que nous connaissons s'explique par une absence d'exposition dans l'enfance des personnes âgées d'aujourd'hui. Quelques enquêtés prétendent avoir des actions individuelles de protection, comme éviter de sortir, fermer les fenêtres, ou balayer régulièrement. Une personne dit avoir mis en place une stratégie de filtres et d'aération qui toutefois ne lui semble pas assez efficace. Mais dans la plupart des cas, un sentiment d'impuissance face à la pollution est prégnant, les riverains dénonçant une certaine fatalité, la protection individuelle étant jugée comme peu efficace et trop contraignante.

De nombreuses personnes se déclarent prêtes à s'investir en acceptant un appareil de mesure à leur domicile ou en participant à des réunions, en précisant tout de même que leur participation doit rester dans des limites qui n'affecteraient pas la gestion de leur temps et de leurs activités domestiques. Le manque de temps pour les personnes ayant une activité professionnelle serait l'entrave majoritaire. Ce qui suggère un écart important entre le discours de participation et les actes réels de la population interrogée, qui pourrait être l'effet du sentiment de fatalité exposé précédemment.

La conscience environnementale émergente de la population explique aujourd'hui l'exigence chez les populations d'une bonne qualité de l'air, qualité de l'eau et de façon plus générale de qualité de vie. La qualité de l'air serait un confort de vie. A noter que les rares personnes déclarant avoir une mauvaise qualité de vie résident dans le centre de Gardanne et déclarent être très impactées par les poussières et l'odeur, la pollution, le bruit, et le paysage de l'usine.

Depuis la fermeture de la mine on peut observer un renouvellement de la population dans les communes de Meyreuil et Gardanne (cf. étude OHM, Barthélémy et al.). La plupart de ces riverains ne vivent plus de ce passé industriel et supportent difficilement les contraintes liées à une telle activité, surtout si celle-ci est installée en plein centre-ville. Dans ce contexte, certains déclarent souhaiter la disparition des industries sans se soucier du poids économique qu'elles jouent encore aujourd'hui. Par contre, les personnes y travaillant, ou y ayant travaillé affirment préférer la « poussière au chômage ».

IV.4.2.7 L'existence d'un lien entre environnement et santé

Toutes les personnes interrogées font un lien entre l'environnement et la santé, toutefois, les conséquences d'une exposition sur le long terme seraient davantage inquiétantes. Le cancer est fréquemment mentionné et les personnes ayant une activité professionnelle incriminent en premier lieu l'amiante et ses effets délétères. Ceux-ci ne distingueraient pas l'environnement professionnel du milieu naturel. Les allergies sont les principales pathologies assignées à la pollution atmosphérique et de nombreux riverains présenteraient une sensibilisation aux pollens. La potentialisation de ces allergies par les particules les préoccupe, les poussières étant perçues comme des matières également allergisantes.

Cette perception pourrait être le fruit d'une constatation réelle, ou bien d'un effet de mode, les fréquentes allergies aux acariens étant désignées comme des sensibilisations aux poussières. Une personne explique que l'exposition chronique aux divers polluants serait responsable d'une fragilisation favorisant une sensibilisation immunitaire.

Mais malgré le lien perçu entre l'environnement et la santé, le corps médical reste absent du discours de la population. On pourrait s'attendre à ce que les médecins soient déclarés comme des médiateurs légitimes, mais personne ne fait état d'un questionnement auprès de son médecin, ni ne fait allusion à une quelconque étude. Pourtant les personnes interrogées prétendent être préoccupées par la santé environnementale.

IV.4.2.8 Une plainte du déficit d'information et de communication

L'association de lutte contre les nuisances et la pollution (A.L.N.P.) réunit 130 membres riverains de Meyreuil et de Gardanne et mène des actions dans ce sens. On peut constater que cette association représente un nombre de foyer conséquent, ce qui laisse entrevoir une insatisfaction non négligeable des conditions environnementales à Meyreuil. Ses revendications portent principalement sur l'application de la convention d'Aarhus, qui permettrait la diffusion publique des résultats de l'analyse chimique des particules de charbon réalisée dans le cadre de la nouvelle réglementation émanant de la DREAL. La constitution d'un CLI, qui représenterait un moyen d'information plus réglementé que ne l'est actuellement le système, est également souhaité. Enfin, à Gardanne, les riverains du centre ne semblent pas percevoir une quelconque amélioration et se questionnent quant à l'efficacité des actions entreprises par l'usine d'alumine.

A Bouc Bel Air, l'activité annoncée d'éco-incinération de la cimenterie semble susciter un léger scepticisme. Les riverains affirment ne pas avoir remarqué de différences depuis son fonctionnement, mais ne sauraient dire avec certitude que cela n'a aucun effet sanitaire.

Les travaux des scientifiques sur les aspects environnementaux et sanitaires, méritent la confiance des riverains. L'âge semble conforter cette assurance, les générations les plus avancées paraissent les plus confiantes et les plus impliquées. Les jeunes semblent moins sensibilisés, et se sentiraient d'ailleurs non concernés de part un sentiment d'invulnérabilité suscité par leur jeunesse. A l'inverse, la communication publique des résultats et les actions mises en œuvre en conséquence ne seraient pas fiables. La population ne sent pas informée des risques réels car les enjeux politiques et économiques contraindraient les élus à cacher la vérité. Une notion de complot est avancée chez certains. On observe donc une ambivalence entre la confiance accordée aux travaux scientifiques et les discours politiques s'y rapportant.

Par ailleurs, les riverains se disent partisans de l'étude pour laquelle ils ont été sollicités, les bénéfices escomptés étant de connaître leur exposition réelle ainsi qu'une éventuelle prévention des jeunes générations. Cependant, l'existence d'une analyse de la qualité atmosphérique près de chez eux leur laisse entrevoir la possibilité que l'air qu'ils respirent puisse être vicié. On observe une inquiétude associant enquête et lieu pollué. Une personne ne conçoit d'ailleurs pas que l'on puisse mener un tel projet sans avoir la certitude d'une grande pollution de l'air de sa commune. Cette perception est sans doute à rapprocher du sentiment de complot suscité par le discours des politiques. La plupart s'accordent à dire que le savoir profane est à prendre en compte lors de l'élaboration d'un tel projet et de la mise en place d'actions correctives. Là aussi, on peut observer une ambivalence : les riverains ont confiance dans les études scientifiques, mais considèrent tout de même leur savoir indispensable. Pratiquement tous donnent une explication sur la provenance de la pollution à leur domicile (source, conditions météorologiques, activité...).

Au total, une communication concernant des recherches environnementales et/ou sanitaires est jugée indispensable par les riverains. Ceux-ci souhaitent être informés de l'objet des investigations, des résultats et des éventuels effets sanitaires. Une communication orale est principalement envisagée, la presse locale pouvant également servir de support. De par le manque de confiance dans les discours des politiques, les scientifiques sont préférés pour cette tâche. Les discours font ressortir qu'une présentation simple, non technocratique, accessible à tous est nécessaire pour atteindre le maximum de personnes.

IV.4.3 Les perceptions de la population du site témoin de Trets

La ville de Trets ayant été considérée dans le projet comme un « site témoin » du fait de l'absence d'industries polluantes sur son territoire, l'objectif était d'apprécier les perceptions en matière de pollution atmosphérique des habitants de Trets afin de les comparer aux autres sites d'étude. Les entretiens ont été réalisés auprès des habitants soit à leur domicile, sur le lieu d'exercice professionnel pour les enseignants, soit dans des lieux publics (club de retraités, aire de jeux, commerce).

Dernière commune des Bouches du Rhône avant le département du Var, Trets fait partie de la zone d'activité de l'ancien Bassin Minier de Provence. Elle est située à 21 km de Gardanne et comptait 10 288 habitants en 2010 pour une superficie de 7031 hectares (146 h/km²).

IV.4.3.1 Une qualité de vie au quotidien

Trets est décrit par ses habitants comme un « village », « calme », « serein », et associé à une certaine qualité de vie (*faire du vélo, se promener, voir la montagne de Sainte Victoire*). Mention est faite toutefois que le village n'est pas isolé et qu'il est proche de l'hôpital d'Aix et de l'aéroport, situé à 50 kms. En matière de circulation hors de Trets, les zones d'attraction commerciale sont Aix-en-Provence, Fuveau, le marché de Gardanne, la zone commerciale de Plan de Campagne et très souvent citée, la ville de Saint Maximin dans le département voisin limitrophe.

Dans les propos recueillis l'organisation géographique de Trets est découpée en 3 zones de vie ou quartiers : le centre-ville/ dit vieux village, la zone commerciale ou industrielle, les lotissements et la zone rurale. Ces zones n'offrent pas toutes la même qualité de vie puisque le centre-ville concentre les désagréments sociaux : *klaxons des voitures, bruits des voisins*, un lieu « *où il vaut mieux ne pas se promener le soir...* » alors que la périphérie est décrite comme une zone de vie à la campagne : on y cultive son jardin (*les légumes, les œufs des poules...*).

IV.4.3.2 Un village non pollué dans une région polluée

Trets n'est pas perçu comme un village pollué, à la différence d'Aix (cuvette), Marseille, Gardanne (l'hiver), Pertuis et Cabriès à cause de l'autoroute et des voies rapides, les bassins de Berre et de Fos (avec ses immenses cuves de pétrole ou de gaz). Les villes et villages limitrophes en zone varoise ne sont pas cités comme facteurs ou zones de pollution.

La perception par les habitants, d'une pollution de l'air à Trets et sur la Région dépend globalement de trois facteurs principaux :

1 - du discours des autres : c'est en premier lieu le discours des autorités de prévention routière qui est énoncé. Le message de réduction de vitesse affiché les jours de pics de pollution sur les voies routières et en particulier sur l'autoroute Marseille-Aix a été le plus fréquemment cité comme étant la référence évidente qu'il existe de la pollution dans la Région et qu'elle évolue au fil des jours et du climat.

D'autres interlocuteurs ont fait référence aux discours de professionnels de santé comme les médecins ou les pharmaciens, même si d'autres entretiens menés dans des communes du BMP montrent qu'il y a peu d'échange entre professionnels de santé et patients sur la pollution en général

2 - des odeurs ressenties, comme celles « *venant de Rousset poussées par le vent* » ou des « *mobylettes* » dans le centre-ville

3 - et à la présence visible de pollution poussée par les vents : les nuages liés aux rejets des cheminées industrielles « *entre Rousset et Trets, il est visible en hauteur, et on sent que ce n'est pas de la brume car c'est en été, il y a une sorte de brouillard qui se trouve entre les deux villes lié à la pollution, des usines de Gardanne, de Rousset, de la pollution d'Aix en Provence* », et les « *orages venant du Sahara* » qui apportent du sable recouvrant ensuite les voitures.

La pollution atmosphérique est surtout associée à la ville de Gardanne, pollution visible comme « *le matin un brouillard de fumée dû à l'activité d'Arcelor* » ou « *La poussière rouge sur les maisons de Gardanne* ». Cette poussière est décrite comme une « *poussière grasse qui « colle »* alors qu'à Trets, *c'est une poussière fine de terre, de pollen, qui ne colle pas* »

Des propos recueillis auprès de la population de Trets on peut déduire que la pollution provient essentiellement de l'extérieur, des « autres », et on peut considérer au regard des discours produits qu'il y a comme une géo-spatialisation de la pollution dans la mesure où la pollution qui émanerait de Gardanne resterait posée au-dessus de la ville comme un nuage et ne gagnerait pas les zones environnantes.

IV.4.3.3 Comportements en matière de santé/environnement

Les personnes interrogées ont conscience des risques de la pollution de l'air pour leur santé et marquent surtout leur inquiétude vis à vis des générations futures. Elles énoncent différents problèmes de santé en lien avec la pollution dont elles ou leur entourage souffrent (allergies, asthme, bronchite chronique).

C'est surtout dans leur vécu quotidien qu'elles s'attachent à préserver leur état de santé en disant adopter des comportements de prévention, comme le fait de consommer des produits « *bio* » ou des « *produits français sans pesticide à la différences des fraises d'Espagne ou du saumon de Norvège* », des

légumes produits dans leur jardin sans pesticide « *cultiver des légumes très sains, produits sans rien ...* » ou en se réservant des moments dans des lieux moins pollués comme la montagne.

IV.4.4 L'analyse textuelle des discours sur la pollution

Il nous a paru intéressant, après cette analyse des entretiens effectués sur la zone d'étude, de conduire une analyse textuelle pour confirmer/infirmier les premières analyses et affiner la teneur des discours produits sur la question de la pollution.

Le corpus est composé de 22 entretiens, ce qui représente 186962 occurrences analysées soit 7919 formes canoniques distinctes. L'échantillon se compose de 12 riverains, 5 élus locaux, 3 industriels, 1 médecin généraliste et 1 association de défense de l'environnement

IV.4.4.1 Les grands thèmes abordés dans les entretiens

Tout d'abord, nous avons découpé le corpus en unités de contexte (uci). Ici, chaque uci est un entretien balisé par une « ligne étoilée » qui détermine les grandes variables discriminantes entre les entretiens comme la catégorie de l'individu interrogé, son sexe, le lieu concerné, son origine géographique, son âge et sa catégorie socioprofessionnelle. Les variables étoilées sont :

**cat* avec les modalités *_assoc ; _elu ; _industriel ; _medecin, _riverain*

**sexe* avec les modalités *_homme et _femme*

**lieu* avec les modalités *_bouc ; _fuveau ; _gardanne ; _meyreuil ; _septemes ; _trets*

**natifBMP* avec les modalités *_oui ; _non et _nsp*

**âge* avec les modalités *_30ans ; _40ans ; _50ans ; _60ans ; _70ans ; _80ans*

**CSP* avec les modalités *_actif et _inactif*

Nous avons ensuite effectué une analyse du vocabulaire. Nous avons obtenus 186962 formes au total, 5753 formes réduites, 523 formes supplémentaires (par exemple les articles, les pronoms qui sont comptabilisés mais qui ne sont pas classés) et 24 variables étoilées ou modalités de variables.

Ensuite, le texte a été découpé arbitrairement par le logiciel en unités élémentaires (uce) qui sont des morceaux de phrases. Puis ces uce ont été regroupées en un nombre réduit et arbitraire de classes selon la ressemblance ou la dissemblance de leur vocabulaire et ce par une double classification descendante hiérarchique. Ici, le texte a été découpé en 2800 uce dont 82,64% ont été classées et 17,36% ont été rejetées après l'analyse car elles n'étaient pas considérées comme significatives au sens du Khi^2 d'appartenance des mots contenus aux classes établies. Ce fort taux d'analyse du texte permet de consolider les futurs résultats établis par le logiciel.

Quatre classes émergent de l'analyse du corpus d'entretiens (Fig. 71).

Les uce sont réparties dans les classes à raison de 32.97% des uce classées dans la classe 1 ; 25.8% dans la classe 2 ; 22.9% dans la classe 3 ; 18.32% dans la classe 4. Au vu de ces résultats, les discours contenus dans les classes 1 et 2 sont statistiquement prédominants.

Les profils de ces classes, c'est-à-dire le vocabulaire significatif de chacune, sont les suivant (Tab. XIII) (seuls les 20 premiers termes les plus significatifs au sens de la métrique du Khi^2 sont présentés ici).

La classe 1 porte sur l'information et la communication (*résultats, mesure, information, réunion, public, étude*). Elle contient essentiellement des termes centrés sur la campagne de mesure et l'enquête PACTES.

La classe 2 porte sur la pollution perçue (*impression, estimer*). Elle contient des mots centrés sur la manière dont les personnes perçoivent leur air, pollué et poussiéreux, visuellement (*rouge*), olfactivement (*odeur, sentir*) et auditivement (*entendre*).

La classe 3 porte sur l'histoire du bassin minier de Provence. Elle contient des références à la mine (*mine, ouvriers, descendre*), au temps qui passe (*âge, vie, jeunes, époque, ancien, enfant*).

La classe 4 porte sur l'activité industrielle du bassin minier de Provence (*charbon, produire, cheminée*). Elle contient des termes relatifs aux matériaux (*charbon, cendre, bauxite, combustible, fumée, déchets*), principales sources de la pollution par les particules.

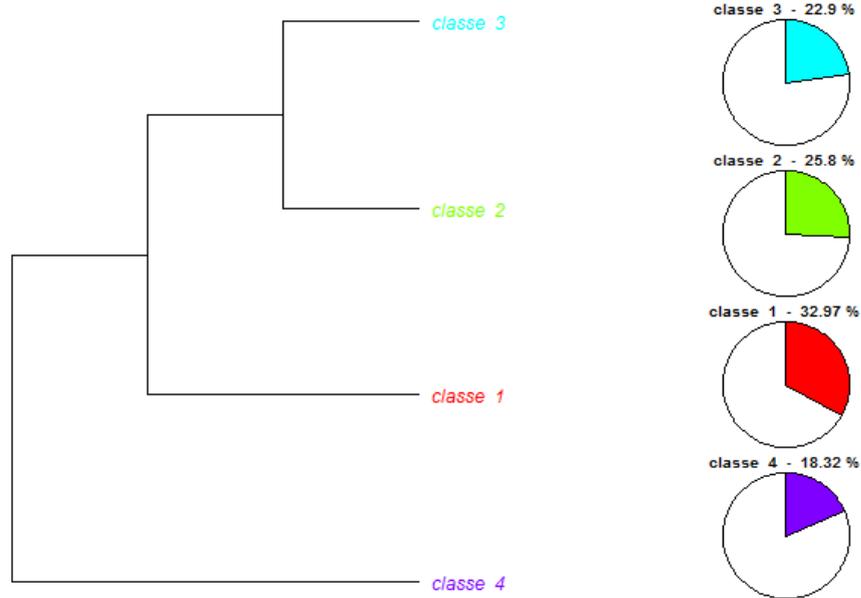


Figure 71 : Dendrogramme des classes d'uce

CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4
résultat	air	mine	charbon
mesure	nolluer	travailler	brûler
information	odeur	âne	température
réunion	vent	vie	eau
enlèvement	noussière	descendre	produire
campagne	houe	enfant	cheminée
question	rouine	filles	produit
public	côté	an	prendre
scientifique	hal	nère	combustion
étude	nollution	ouvrier	haute
mairie	autoroute	maison	tranche
action	miétral	époque	chaudière
donner	sentir	mari	combustible
informer	ville	ancien	fumée
essayer	nenser	mineur	produit
annulation	impression	changer	tonne
participer	quartier	nuite	réunir
aimer	estimer	jeune	utiliser
projet	entendre	départ	nav
contacter	nachiner	terrain	déchet

Tableau XIII : profils des classes d'uce

La figure 72 représentant l'AFC des classes du corpus entier montre les oppositions suivantes :

- Sur l'axe 1 horizontal qui porte 41,33% de l'information contenue dans le corpus, la classe 4 s'oppose à la classe 1
- Sur l'axe 2 vertical qui porte 33,33% de l'information contenue dans le corpus, la classe 1 s'oppose à la classe 2.

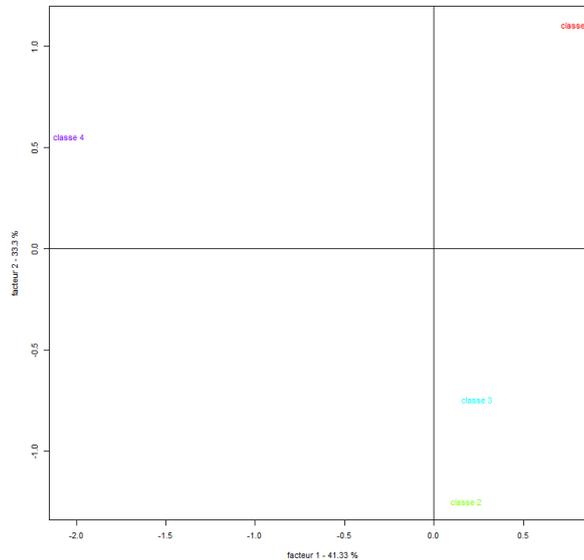


Figure 72 : Diagramme F1-F2 de l'AFC des classes d'uce

La classe 1, celle de l'information, apparaît donc comme indépendante et se distingue fortement des classes 2 et 4, portant respectivement sur la pollution perçue et l'activité industrielle. Voyons quelles sont les variables caractéristiques à ces classes avec le graphique suivant représentant l'AFC des variables sur les mêmes axes factoriels (Fig. 73).

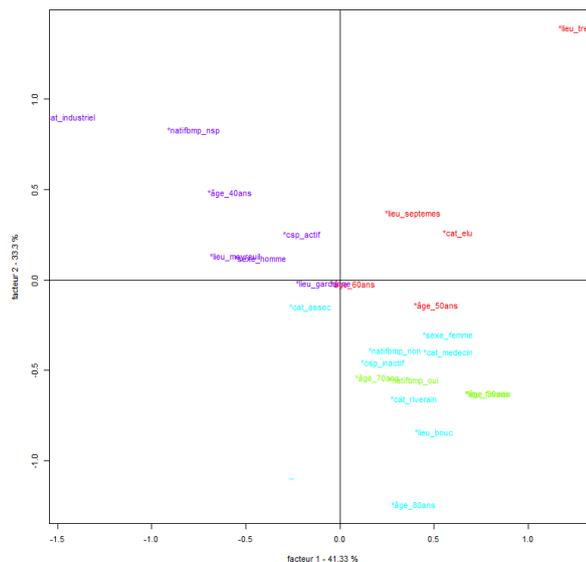


Figure 73 : Diagramme F1-F2 de l'AFC des variables

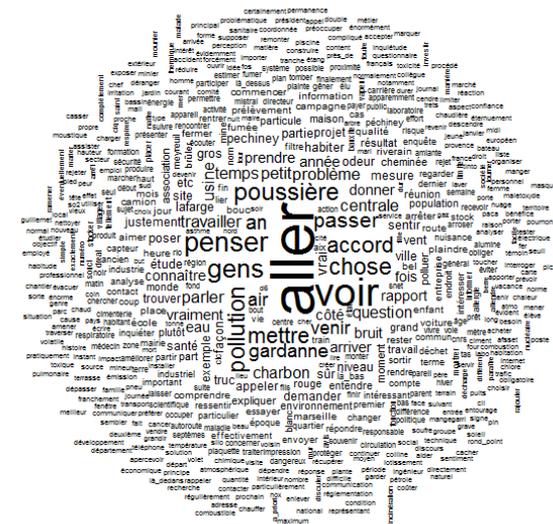


Figure 75: Diagramme du wordcloud

IV.4.5 Résultats de l'enquête quantifiée

Il s'agissait de recueillir un nombre suffisant de questionnaires de personnes résidant en proximité des sites industriels pour apprécier leurs perceptions de la pollution.

IV.4.5.1 Les caractéristiques de la population interrogée

Notre effectif est de 193 individus interrogés aléatoirement.

Le tableau XIV présente la répartition des individus interrogés par sexe, âge, lieu de naissance, catégorie socio professionnelle, diplômes et origine des parents.

Par rapport aux données INSEE du Recensement de la population de 2007 de la commune de Gardanne, on notera que la population que nous avons enquêtée présente des différences, s'agissant notamment de la répartition par sexe, classes d'âges et catégorie d'activité.

On note une sous-représentation du sexe masculin, qui tient certainement au fait que les enquêtes ayant été réalisées en journées, il a été plus facile d'interroger des femmes qui sont plus nombreuses à ne pas avoir d'activité.

Concernant la répartition par âges, la classe des 40-59 ans (largement majoritaire avec un pourcentage de 53%) et des plus de 60 ans (retraités) est sur-représentée.

Les différentes catégories professionnelles sont présentes dans notre population. Les retraités sont les plus nombreux avec un pourcentage de 28 %, puis les employés/ouvriers avec 26% et d'une façon décroissante par ordre de fréquence, on trouve les cadres, les artisans/commerçants, les étudiants, les sans-emploi et enfin les professions intermédiaires.

Ces deux dernière catégories sont sous représentées par rapport aux données INSEE.

Enfin, on remarquera que les 2/3 des personnes interrogées sont nées dans le département des Bouches du Rhône et plus de la moitié ont des parents originaires de la région.

IV.4.5.2 L'image de la ville

La première question "Comment qualifieriez-vous votre qualité de vie à l'endroit où vous habitez?" montre qu'une majorité de la population interrogée (62%) trouve qu'elle a une bonne qualité de vie (qualité de vie agréable pour 51% des questionnés, et très agréable pour 11% d'entre-eux) (Tab. XV).

Le sentiment d'appartenance au lieu de résidence est nettement prononcé (79% de réponses positives) alors que seulement 68% des personnes interrogées sont nées dans le département des Bouches du Rhône (et 26% à Gardanne/Meyreuil).

Sexe	masculin	38%
	féminin	62%
Age	moins de 40 ans	23%
	40-59ans	53%
	Plus de 60 ans	24%
Département de naissance	Bouches du Rhône	68%
	autres	32%
Origine des parents	Originaire de la région	59%
	autres	41%
Profession exercée	cadres	14%
	Artisans/commerçants	11%
	Employés/ouvriers	26%
	Etudiants	9%
	Professions intermédiaires	4%
	Retraités	28%
	Sans emploi	8%
Diplôme	Primaire/collège	31%
	Secondaire/bac	32%
	supérieur	37%

Tableau XIV : Caractéristiques socio démographiques de la population enquêtée

Mais la perception de l'image de la ville est en revanche assez contrastée, car on note un clivage entre ceux qui considèrent que l'identité de la ville s'inscrit dans une dimension positive comme ouvrière et travailleuse (une majorité de 44%) alors que d'autres (pour 33%) ont une image négative de pollution. 8% des personnes n'ont pas avis sur cette question et seulement 14% pensent que la ville associe à la fois emploi et respect de l'environnement.

Il s'agit là d'un résultat intéressant que nous affinerons dans la suite de l'analyse

En effet, cette opposition s'explique par le fait que le territoire de l'ancien Bassin Minier de Provence connaît depuis plusieurs années des processus démographiques qui tendent à modifier la structure de sa population. Si certaines communes ont une population encore basée sur des milieux populaires issus de l'histoire industrielle du site, d'autres, au contraire, recrutent de nouveaux habitants plutôt issus des couches moyennes et supérieures souvent venus d'ailleurs.

Parmi les problèmes qui touchent la ville, 70% des personnes questionnées trouvent que le chômage touche leur ville fortement ou assez fortement (ce qui correspond d'ailleurs à une réalité exprimée dans les données INSEE), mais on constate que la pollution de l'air est le second problème cité en importance avec 64%, devant l'insécurité, les odeurs, les risques industriels et le bruit qui ne recueille que 43% des réponses.

Ce résultat sur l'importance accordée à la pollution de l'air s'accorde d'ailleurs assez bien avec ceux de quelques enquêtes d'opinion qui permettent de se faire une idée de l'évolution des perceptions de la pollution atmosphérique (ou de l'air extérieur, selon les termes employés) par la population française.

Le baromètre IRSN, qui est la source principale (enquête sur 1000 personnes selon la méthode des quotas et des strates) montre que la pollution de l'air est un sujet de préoccupation important pour la population (qui occupe la première ou la seconde place parmi les problèmes d'environnement) et qu'il s'agit du « seul sujet qui connaît aussi peu de variations depuis une décennie » (entre 31% et 38%). Ces résultats sont corroborés, sur des périodes plus récentes, par des enquêtes sur les perceptions des populations en matière d'environnement. Celle du CREDOC montre qu'entre 2007 et 2011 la pollution de l'air est la deuxième préoccupation et reste stable autour de 35%, celle de l'ADEME qu'entre 2005 et 2011 la pollution de l'air reste une préoccupation importante (après la question du réchauffement climatique et la pollution de l'eau).

Qualité de vie	Agréable/très agréable	62%
	Passable/médiocre	38%
Sentiment d'appartenance	Oui/plutôt oui	79%
	Non/plutôt non	29%
Image de la ville	ouvrière	44%
	polluée	34%
	Associant emploi/écologie	
Problèmes liés chômage	Fortement/assez fortement	70%
	Un peu / pas du tout	19%
	Ne sait pas	11%
Problèmes liés au bruit	Fortement/assez fortement	43%
	Un peu / pas du tout	54%
	Ne sait pas	3%
Problèmes liés à la pollution de l'air	Fortement/assez fortement	64%
	Un peu / pas du tout	34%
	Ne sait pas	2%
Problèmes liés aux odeurs	Fortement/assez fortement	52%
	Un peu / pas du tout	46%
	Ne sait pas	2%
Problèmes liés à l'insécurité	Fortement/assez fortement	55%
	Un peu / pas du tout	43%
	Ne sait pas	2%
Problèmes liés aux industries	Fortement/assez fortement	45%
	Un peu / pas du tout	43%
	Ne sait pas	12%

Tableau XV: L'image de la ville

IV.4.5.3 La perception de la pollution

Si 64% des individus considéraient que la pollution atmosphérique est un problème qui affecte leur ville, ils sont 66% à déclarer être inquiets de cette pollution (beaucoup ou moyennement), ce qui confirme toute l'attention portée à cette question par la population (Tab. XVI).

Inquiétude pollution de l'air	beaucoup	32%
	moyennement	34%
	Un peu / pas du tout	34%
	Non/plutôt non	66%
Trafic routier	Fortement/assez fortement	57%
	Un peu / pas du tout	39%
	Ne sait pas	4%
Industries de Gardanne	Fortement/assez fortement	64%
	Un peu / pas du tout	35%
	Ne sait pas	1%
Villes environnantes	Fortement/assez fortement	61%
	Un peu / pas du tout	31%
	Ne sait pas	8%
Maladies respiratoires	oui	21%
Allergies	oui	38%

Tableau XVI: Perceptions de la pollution

Concernant les sources de pollution, les personnes interrogées l'attribuent aux industries de Gardanne, puis aux villes environnantes et en dernier au trafic routier.

Les entretiens avaient bien fait ressortir cette hiérarchie, pour les habitants de Gardanne/Meyreuil, c'est bien « Pechiney » et la « Centrale » qui sont considérés comme la principale source de pollution de l'air, mais les villes environnantes sont aussi très citées (étang de Berre, le danger vient d'ailleurs, etc...) et le trafic routier vient en dernier (malgré la présence de la RD 6 avec un très important trafic et les autoroutes voisines).

On voit bien dans ce résultat la confirmation de l'impact de résider en proximité des sites industriels dans la perception de la pollution.

Les entretiens conduits dans d'autres communes (comme par exemple Bouc Bel Air), faisaient apparaître une plainte davantage centrée sur le trafic routier perçu comme une réelle nuisance avec le bruit qui y est associé, (en plus de la RD 6, proximité de l'autoroute et difficultés de la nationale qui traversent toutes deux la partie ouest de cette commune).

Les résultats concernant les maladies respiratoires et les allergies confirment très nettement ce que les entretiens avaient fait ressortir montrant le lien que les personnes interrogées faisaient entre progression des allergies et aggravation de la pollution atmosphérique.

En effet, on peut être surpris par le pourcentage très élevé des enquêtés qui disent avoir des allergies (38%). Il ne s'agit bien entendu que de santé perçue (affections déclarées par les personnes sans confirmation médicale), mais ce pourcentage paraît très révélateur du lien qu'établissent les populations entre environnement et santé (et plus précisément entre allergies et pollution de l'air) et corroborent ainsi l'inquiétude et l'importance qu'elles accordent à cette question de la pollution.

Cela va d'ailleurs dans le sens des résultats du baromètre INPES de 2007 qui confirment notamment les risques élevés pour la santé attribués à la pollution atmosphérique. Il en est de même pour le baromètre IRSN qui met aussi en évidence un niveau de perception élevé des risques encourus pour la santé (entre 63% et 72%).

IV.4.5.4 La lutte contre la pollution

Après avoir examiné les perceptions de la pollution, nous avons tenté d'apprécier ce que pensaient les populations des actions qu'il était possible de réaliser pour en limiter les effets (Tab. XVII).

Une première question proposait de classer les acteurs (parmi "les élus locaux", "l'Etat", "les associations", "les individus eux-mêmes", "les industriels", "les scientifiques") qui agissent pour limiter l'impact de la pollution. Parmi les modalités proposées, celle "réagit un peu" est la réponse la plus fréquente pour tous les acteurs proposés, ce qui nous permet de dire que les individus interrogés trouvent d'une façon générale que les différents acteurs cités dans le questionnaire n'agissent pas suffisamment contre la pollution.

Action des élus	Fortement/assez fortement	32%
	Un peu / pas du tout	57%
	Ne sait pas	11%
Action de l'Etat	Fortement/assez fortement	11%
	Un peu / pas du tout	75%
	Ne sait pas	14%
Action des associations	Fortement/assez fortement	42%
	Un peu / pas du tout	43%
	Ne sait pas	15%
Action des industriels	Fortement/assez fortement	15%
	Un peu / pas du tout	76%
	Ne sait pas	9%
Action des scientifiques	Fortement/assez fortement	24%
	Un peu / pas du tout	45%
	Ne sait pas	31%
Action des individus	Fortement/assez fortement	14%
	Un peu / pas du tout	73%
	Ne sait pas	13%
Information pollution de l'air	Oui/plutôt oui	28%

Tableau XVII: Agir contre la pollution

C'est aussi ce que le baromètre IRSN met en évidence dans ses enquêtes où les personnes font état d'un niveau de confiance très faible envers les autorités (entre 16% et 26% sur la dernière décennie).

D'après les données présentées dans le tableau XXI, nous pouvons constater que les personnes interrogées pensent que les industriels, l'état et les individus eux-mêmes agissent moins que les autres pour lutter contre la pollution (avec plus de 70% de réponses). Viennent ensuite les élus (57%) et enfin les associations et les scientifiques (respectivement 45% et 43%).

On notera s'agissant de ces derniers que 31% des enquêtés ne se prononcent pas sur leur possibilité d'agir, alors que pour les autres acteurs, le pourcentage de personnes n'ayant pas d'avis avoisine les 10%.

Nous avons aussi demandé aux personnes de citer 3 acteurs (parmi "les élus locaux", "l'Etat", "les associations", "les individus eux-mêmes", "les industriels", "les scientifiques", "autre") qui selon eux devraient agir pour limiter l'impact de la pollution (Fig. 76).

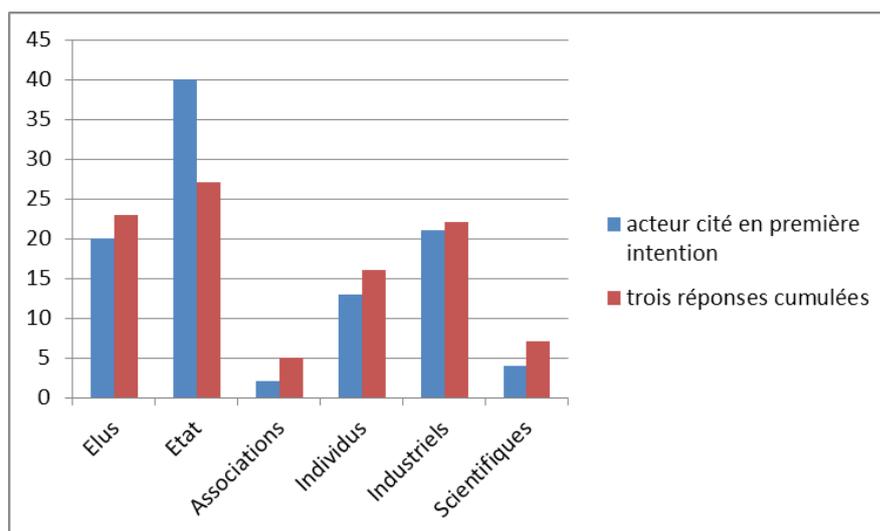


Figure 76: Acteurs potentiels contre la pollution de l'air

Les résultats présentés mettent en évidence, en première réponse, que l'état est considéré comme le principal acteur qui doit agir avec un pourcentage de 40% des questionnés, suivis par les industriels (21%) et les élus (20%), puis d'une façon moins fréquente on trouve cités les individus avec un pourcentage égal à 13% et enfin les scientifiques et les associations (respectivement 4% et 2%).

Lorsque l'on cumule les trois réponses ramenées à un pourcentage de 100%, on remarque que les écarts sont bien entendus plus atténués, mais que l'on retrouve le même trio d'acteurs avec l'État en premier, puis ensuite les élus et les industriels (cette fois ci dans un ordre inversé). Les individus restent en quatrième position et là encore les scientifiques et les associations sont peu cités.

Il ressort de ces réponses que les personnes considèrent qu'elles ne peuvent pas beaucoup agir à titre individuel, et que c'est aux acteurs qu'ils considèrent comme les plus impliqués de le faire (industriels qui sont des pollueurs, Etat et élus).

Ces résultats viennent renforcer ceux issus du tableau XIX et montrent que les personnes se sentent démunies pour lutter à titre individuel contre la pollution, (avec un sentiment de fatalité qui est bien mis en évidence dans les entretiens) et qu'elles attendent que les pouvoirs publics locaux ou nationaux interviennent ainsi que ceux qui sont à l'origine des pollutions (industriels).

IV.4.5.5 Analyse différentielle des données selon les caractéristiques socio-démographiques

Le sexe ne semble pas un paramètre discriminant dans les perceptions de la pollution atmosphérique, on n'observe pas de différences dans l'appréciation de la qualité de vie, du sentiment d'appartenance, de la perception des risques, des sources de pollution, du rôle des acteurs, ...

On note seulement que les hommes sont plus nombreux que les femmes à considérer que leur ville est polluée et qu'à l'inverse les femmes disent avoir davantage d'allergies, sans que le résultat ne soit pour autant significatif.

Il en est de même pour l'âge où les différences sont peu notables, à l'exception des plus de 60ans qui s'écartent des plus jeunes et des actifs sur quelques aspects en minimisant les aspects négatifs de leur ville (ils disent avoir une meilleure qualité de vie et que leur ville est moins polluée et qu'ils ne ressentent pas beaucoup les odeurs).

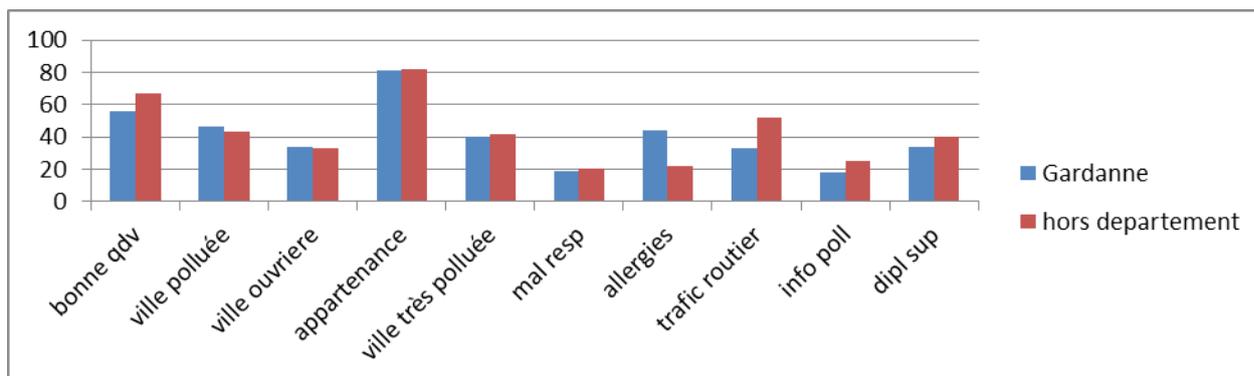


Figure 77 : Analyse des perceptions selon le lieu de naissance

S'agissant du lieu de naissance, la figure 77 oppose les perceptions des personnes nées à Gardanne et celles nées hors du département. On remarque que deux variables se distinguent : les personnes nées à Gardanne sont plus nombreuses que celles extérieures à déclarer être allergiques, et les personnes nées hors du département sont plus nombreuses à considérer que la source de la pollution est attribuable au trafic routier.

En revanche, comme d'ailleurs dans beaucoup d'autres travaux touchant à l'environnement ou à la santé, le niveau d'instruction fait apparaître des différences de perceptions. La figure 78 montre que les personnes les plus instruites (niveau études supérieures) disent avoir une meilleure qualité de vie, considèrent la ville de Gardanne comme ouvrière plutôt que polluée, attachent plus d'importance au trafic routier comme source de pollution, et disent être moins bien informées de la pollution.

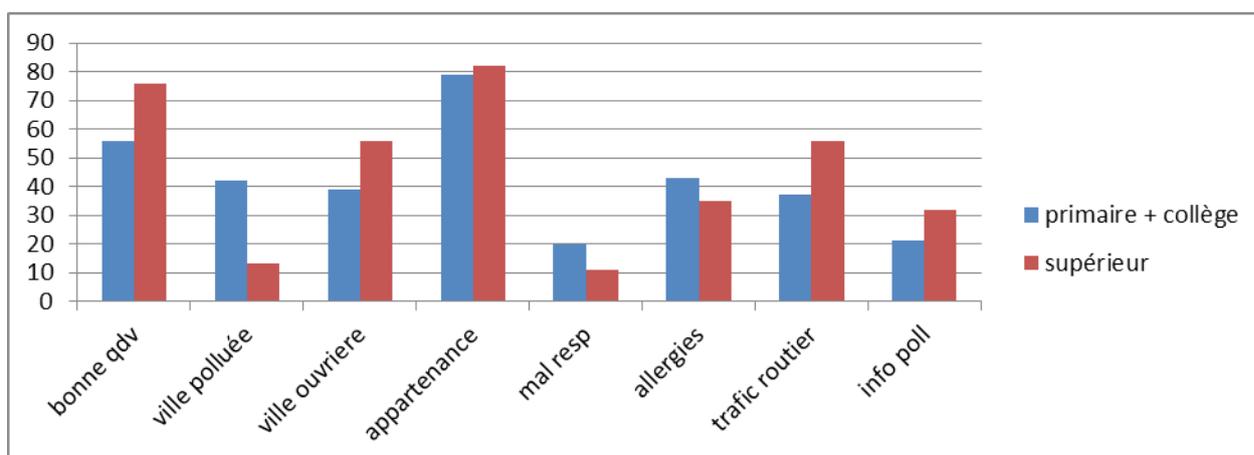


Figure 78: Analyse des perceptions selon le niveau d'instruction

IV.4.5.6 Analyse différentielle des données selon les perceptions de la pollution atmosphérique

A partir des données déjà présentées, plusieurs variables semblent intéressantes à analyser pour tenter de répondre à certaines questions : celle sur l'image de la ville (ville ouvrière vs ville polluée), les sources de pollution (trafic vs industries), l'inquiétude sur la pollution (très inquiets vs peu inquiets) et les allergies (présence vs absence).

La figure 79 confirme l'importance des différences de perception de la pollution selon que les personnes interrogées considèrent la ville de Gardanne comme une cité industrielle (ouvrière et travailleuse) ou comme un lieu plutôt pollué.

Ceux qui définissent leur ville comme « polluée », par rapport à ceux qui la définissent comme ouvrière, déclarent avoir une moins bonne qualité de vie, être davantage gêné par le bruit, se plaindre plus des odeurs, et présenter plus de maladies respiratoires. Il y a donc une association de la perception de pollution de la ville avec les nuisances et cela semble alors influencer la perception de qualité de vie. On notera

égale, et sans pouvoir apporter d'explications pertinentes, que ces mêmes personnes privilégient le trafic routier comme source de pollution et participent bien plus à la vie associative.

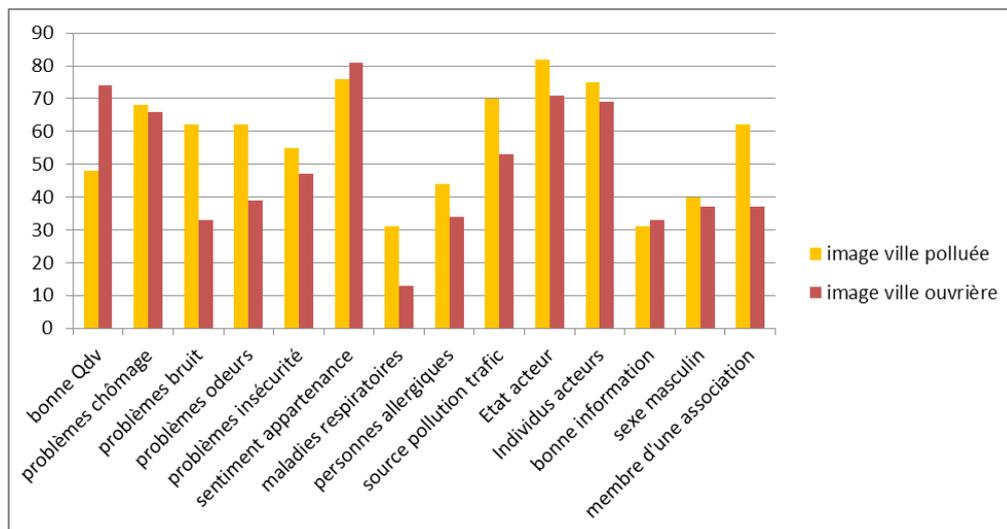


Figure 79: Analyse des perceptions selon l'image de la ville

La figure 80 examine les différences de perceptions selon les sources de pollution (trafic routier ou industries locales). Les différences sont dans ce cas inexistantes (à l'exception de l'information) et la répartition des sources de pollution n'implique pas de perceptions différentielles.

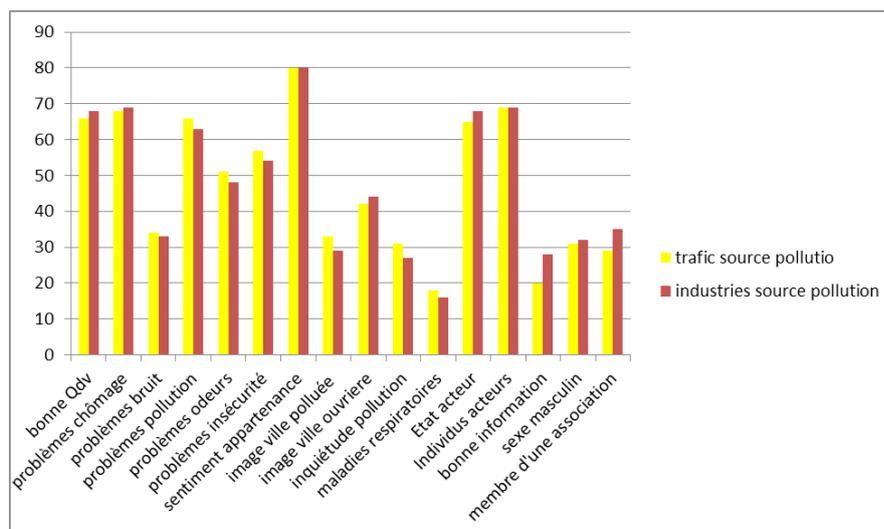


Figure 80 : Analyse des perceptions selon les sources de pollution de l'air

S'agissant ensuite des perceptions liées à l'inquiétude que génère la pollution de l'air (Fig. 81), on note des différences un peu contradictoires. Ceux qui sont les plus inquiets déclarent une meilleure qualité de vie, mais accordent pourtant plus d'importance aux problèmes d'insécurité et ont un sentiment d'appartenance communale plus fort. Ils pensent, par rapport à ceux qui sont peu inquiets, que le trafic routier n'est pas la source principale de pollution, minorent le rôle de l'État, adhèrent moins aux associations et sont plutôt des personnes de sexe masculin.

Enfin, pour la question des allergies (Fig. 82), les résultats sont difficilement interprétables. On comprend bien que ceux qui disent être allergiques aient une moins bonne qualité de vie et à la rigueur un pourcentage plus élevé de maladies respiratoires, mais on ne voit pas pour quelles raisons ils accorderaient plus d'importance au trafic routier, mettraient davantage en cause l'inaction de l'État, ou encore seraient plus membres d'associations.

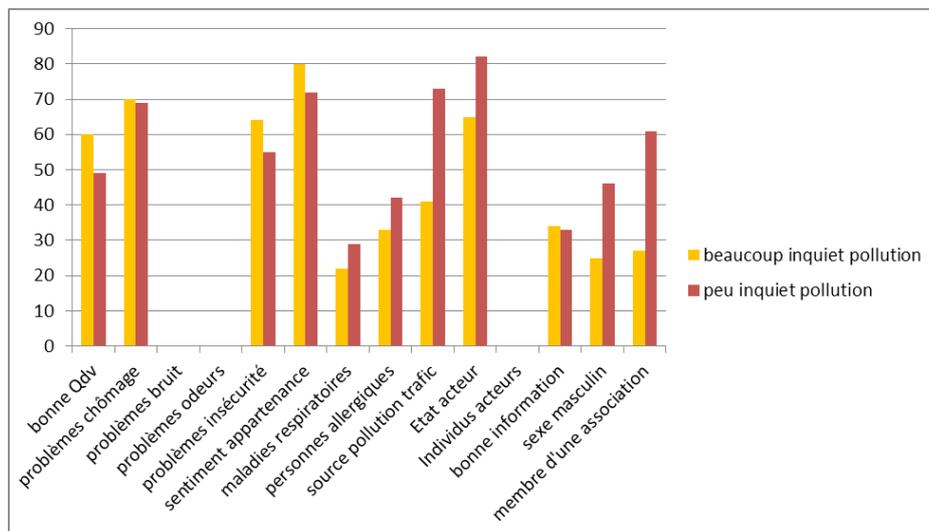


Figure 81: Analyse des perceptions selon l'inquiétude générée par la pollution

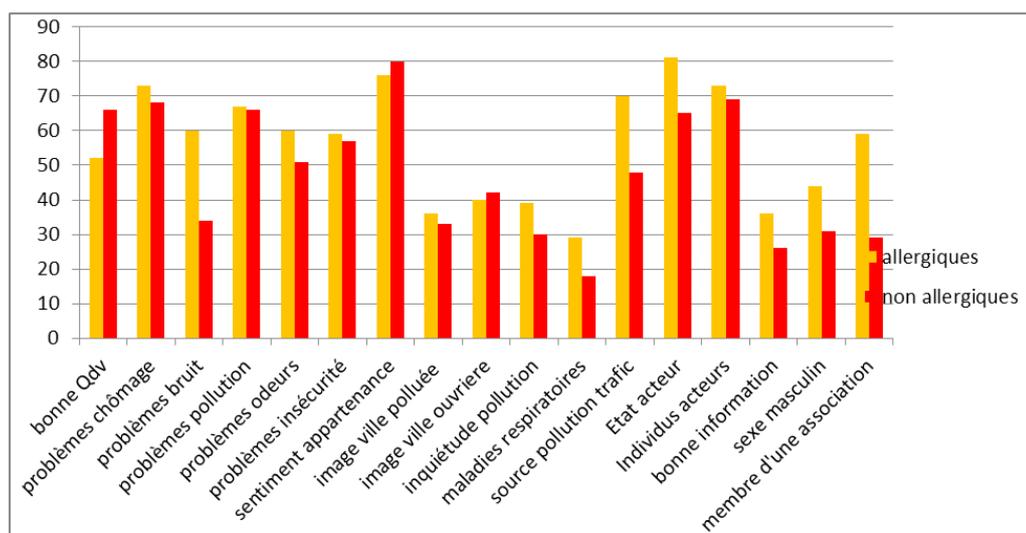


Figure 82: Analyse des perceptions selon la déclaration d'allergies

IV.4.6 La cartographie des perceptions

Nous nous sommes aussi interrogés afin de savoir si la perception de la pollution atmosphérique par les habitants de Gardanne est différente suivant la proximité de leur lieu de résidence avec les sources de pollution atmosphérique.

Pour répondre à cette problématique une étude cartographique de certaines questions de l'enquête par questionnaire a été menée. Pour chaque question, nous avons dans un premier temps calculé les pourcentages de réponses en fonction des modalités proposées. Les réponses aux différentes questions ont été cartographiées grâce à ArcGIS en entrant les coordonnées des individus fichier par fichier.

Pour compléter cette étude cartographique, nous avons fait une étude statistique des réponses données par les individus suivant trois zones (annexe 4) : la zone de Biver, celle du centre et celle de l'Ouest. Ces zones ont été choisies car nous avons observé des regroupements d'individus questionnés pour l'enquête. De plus elles sont assez différentes. A Biver peu d'individus voient les usines contrairement à ceux des 2 autres zones. Il semblerait aussi que dans ces trois lieux, les individus ont un statut socio-

économique différent, par exemple dans le centre il y a plus de logements collectifs contrairement à l'Ouest et à Biver.

La géolocalisation des participants à l'enquête nous montre que ceux-ci sont répartis sur l'ensemble de la commune hormis le Nord. Nous pouvons voir une forte concentration d'individus vers le centre-ville à proximité de l'usine d'alumine.

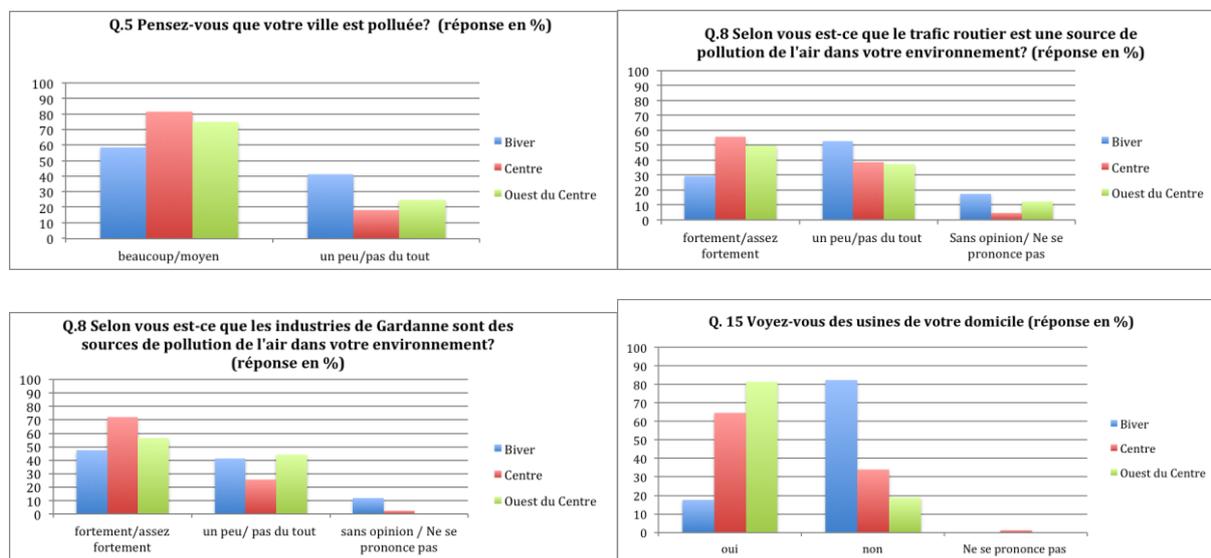


Figure 83 : La perception de la pollution selon le secteur de résidence

Les cartes que nous avons réalisées nous permettent de dire qu'il n'y a pas de relation entre la proximité des sources de pollutions et le sentiment par les habitants de résider dans une ville polluée, l'inquiétude liée à la pollution, le fait d'avoir une maladie respiratoire, le fait de penser que le trafic routier, les industries de Gardanne et les villes environnantes sont des sources de pollutions de l'air

L'observation des histogrammes groupés (Fig. 83) permet de dire que la zone de Biver comparée à celle du centre et de l'Ouest, est une zone où les personnes pensent que leur ville est moins polluée, que la pollution est moins une source d'inquiétude, que le trafic routier ainsi que les industries sont une source moins importante de pollution de l'air, et que les villes environnantes sont en revanche une source plus importante.

Nous ne notons pas de différences importantes entre le Centre et l'Ouest.

Concernant les maladies respiratoires et les allergies, il n'y a pas de différences très nettes entre les trois zones.

IV.5 Conclusion

Que ce soit les entretiens réalisés dans l'ensemble des sites d'étude ou les résultats de l'enquête quantifiée sur les riverains des usines de Gardanne/Meyreuil, les perceptions sur la pollution de l'air font apparaître quelques tendances générales :

- Les personnes ont un sentiment de vivre dans une région très polluée, dont l'origine est essentiellement attribuée aux industries de Fos/Etang de Berre, et à l'usine d'alumine de Gardanne pour ce qui concerne les sources locales situées dans l'ancien bassin minier de Provence.
- Comme d'ailleurs en bien des domaines, le danger vient d'ailleurs, même s'il est modulé par la proximité des sources de pollution...
- Le rôle du climat est souvent avancé comme un déterminant assez fort de cette pollution, le vent l'amène et parfois l'éloigne, la saison en module l'intensité.
- Il ressort aussi, comme dans bien d'autres travaux, d'une part que les populations expriment un sentiment de fatalité face à la pollution ce qui explique leur faible niveau d'implication, d'autre part leur mise en accusation des acteurs, notamment de la faiblesse du rôle de l'État.

- Enfin, on retrouve aussi, parfois de façon même plus prononcée, le lien que font les populations entre la pollution de l'air et l'impact sur leur santé.

Au-delà de ces tendances générales, on s'aperçoit cependant de perceptions différentielles selon le lieu de résidence :

- On note un premier clivage entre Trets où les personnes mettent en avant la qualité de vie d'un village sans pollution et les autres communes de l'ancien bassin minier où existe une plainte à propos de la pollution.

- Mais on trouve aussi des différences entre les résidents de Meyreuil/Gardanne qui expriment une plainte forte à l'encontre des sites industriels de leurs communes (centrale thermique et usine d'alumine) et ceux de Bouc Bel Air qui ne formulent pas de plainte contre la cimenterie qui est implantée sur leur territoire.

- On trouve aussi des différences selon le poids respectif accordé aux sources de pollution. Les résidents de Meyreuil/Gardanne mettent en avant les sites industriels, alors que ceux de Bouc Bel Air considèrent que c'est le trafic routier qui est la première cause de pollution de l'air.

Les résultats sur la perception des riverains de la centrale thermique et l'usine d'alumine, où nous avons concentré la majorité de nos recherches, font apparaître d'autres aspects intéressants à souligner :

- Les personnes interrogées ont une perception de la pollution qui associe « odeurs et poussières », et les discours montrent la diversité et la richesse des perceptions profanes.

- Un autre point est, au niveau local, l'impact de la proximité des sites sur le niveau de plainte.

- L'enquête quantifiée met en particulier en évidence qu'il y a aussi des perceptions différentielles selon le niveau d'instruction et selon que les personnes sont ou non originaires de Gardanne.

Si l'on retrouve des perceptions semblables aux données du baromètre INPES de 2007 et celui de l'IRSN, telles que l'importance accordée à la pollution de l'air parmi l'ensemble des risques environnementaux sur la santé, le lien environnement et santé, l'action insuffisante des acteurs, le niveau d'instruction, notre recherche fait en revanche apparaître quelques points originaux. Outre celui déjà cité qui met en évidence que les populations originaires de la commune ont une perception qui diffère de celle des nouveaux arrivants, le point qui ressort est l'importance accordée par les personnes interrogées aux allergies et à leur lien avec la pollution de l'air.

Enfin, parmi les pistes qui resteraient à explorer on pourrait signaler l'absence de référence au corps médical dans les discours des personnes interrogées et l'on pourrait s'interroger sur leur place dans la prévention et la lutte contre la pollution. Il serait aussi intéressant, dans la mesure où la question de l'information se révèle importante, notamment dans l'analyse textuelle des discours, d'apprécier la façon dont sont reçues les informations sur la pollution et les messages sanitaires qui y sont associés.

V. LES APPORTS DE LA PLURIDISCIPLINARITE

L'idée de départ du projet PACTES-BMP était de mener une étude pluridisciplinaire de la qualité de l'air sur un territoire d'étendue relativement restreinte, faisant étroitement cohabiter différentes sources de pollution atmosphérique avérées (industrie, trafic routier, résidentiel, agriculture, ...) avec une population confrontée à des mutations économiques et sociologiques. Le point central était la comparaison de la perception de la qualité de l'air par les populations voisines des sites étudiés et de l'idée qu'elles s'en faisait avec la « réalité » de la mesure.

Le territoire étudié présente certaines particularités :

- les sites industriels concernés appartiennent au secteur des industries minérales et sont donc essentiellement émetteur d'une pollution atmosphérique particulaire, avec relativement peu de composés organiques ;
- le tissu industriel, ancien, est étroitement imbriqué (au moins dans deux des cas) avec le tissu urbain, engendrant ainsi des relations complexes, dont les dimensions socio-anthropologiques sont intéressantes à étudier ;
- le déclin du secteur industriel, ainsi que l'extension de la zone métropolitaine des villes d'Aix en Provence et Marseille entraînent des modifications importantes dans la structure démographique et socio-économique des populations vivant sur ce territoire, point la-aussi intéressant pour l'étude de la perception des pollutions.

V.1 État de l'art sur le territoire au début du projet

Sur ce territoire, les mesures existantes de qualité de l'air sont très réduites :

- jusqu'au début des années 2000, les mesures portaient essentiellement sur le SO₂, principal polluant émis par la centrale thermique ; le remplacement du lignite de Provence par du charbon d'autres provenances, a entraîné petit à petit la fermeture de ce réseau (la dernière station a fermé en 2007) ;
- il existait également quelques stations pour les oxydes d'azote dont la dernière a également fermé en 2007 ;
- au milieu des années 80, étaient également en fonctionnement une demi-douzaine de stations de mesures de poussières (essentiellement de fumées noires), qui avaient totalement disparues en 1999 ; une station est remise en service à Gardanne vers 2005-2006 pour les PM₁₀ puis en 2012 pour les PM_{2.5}.

Les données sur ces polluants antérieures à 2007 ne sont pas actuellement accessibles pour le public.

Quelques campagnes ponctuelles, concernant la pollution atmosphérique particulaire sur ce territoire ont également eu lieu :

- en 2003, une étude menée conjointement par AtmoPACA et le CEREGE a porté sur trois sites à Gardanne et environ pour les PM₁₀ et les particules sédimentables (PS) (AirPACA, 2004a) ;
- en 2004, AtmoPACA a mené une étude sur les PM₁₀ et les NO_x au carrefour de La Barque, commune de Fuveau, siège d'une pollution très importante due au trafic routier (AirPACA, 2004b) ;
- enfin, en 2011, l'impact des émissions (PM, NO_x et HAP) d'une chaudière au charbon a été étudiée par AtmoPACA sur le village de Biver, commune de Gardanne (AirPACA, 2011)

L'importance de la pollution par le dioxyde de soufre dans les années 1980 a suscité quelques études dans le domaine de la santé.

La thèse de Cavana (1986) a porté sur une étude de l'impact d'un pic de pollution chez les enfants, avec une baisse très modeste des capacités respiratoires au moment des pics. Il n'y a par contre pas de relation entre symptômes respiratoires et concentrations en particules (Charpin *et al.*, 1988). La même équipe a mené, à la même période, une étude sur les femmes enceintes qui montrait un effet manifeste tant sur les symptômes bronchiques et ORL que sur les paramètres respiratoires lié à une exposition chronique à une pollution atmosphérique particulaire et soufrée (Kleisbauer *et al.*, 1987).

Par contre, il n'y a, à notre connaissance, aucune donnée sur la toxicité potentielle de ces pollutions.

Il n'existe pas de travaux sur la perception de la pollution atmosphérique par les populations sur ce territoire. Le seul travail qui s'en rapproche est celui de Guilleux (2009), qui a interrogé des médecins sur leurs perceptions des relations santé-environnement et celles de leurs patients. Et qui fait apparaître que la pollution atmosphérique n'est pas une préoccupation ni pour eux, ni pour leurs patients et que par ailleurs il

existe des positions assez tranchées dans le corps médical sur ces questions (du « c'est uniquement esthétique », à Gardanne « ville pourrie »).

Il apparaît donc que ce territoire est relativement « vierge » en ce qui concerne les problématiques qui nous intéressent.

V.2 Les apports du projet PACTES-BMP

Le projet se décomposait en trois axes :

- la caractérisation physico-chimique des principales sources d'émissions
- la caractérisation des cyto- et géno- toxicités (globales et par composants) des particules
- la perception de ces pollutions par les populations concernées et la confrontation avec la réalité de la mesure

Le tableau XVIII présente les caractéristiques moyennes des cinq sites de prélèvement. La première partie du tableau est la valeur moyenne, pour les paramètres quantifiables, entre la campagne d'été et la campagne d'hiver ; pour la génotoxicité et la perception, il s'agit d'une échelle qualitative. En vert, la valeur minimale, en rouge la valeur maximale. La deuxième partie du tableau représente le pourcentage de variation entre la campagne d'hiver et la campagne d'été.

	PS (g/m ² /j)	PM10 (µg/m ³)	PM2.5 (µg/m ³)	HAP (ng/m ³)	Génotox.	Perception
S1 (I)	0,04	31,00	16,00	0,27	Faible	Moyenne
S2 (U-I)	0,15	31,50	20,00	0,19	Moyenne	Forte
S3 (I)	0,05	29,50	21,00	0,12	Forte	Moyenne à Forte
S4 (T)	0,07	34,50	18,00	0,18	Moyenne à Forte	
S5 (U)	0,02	26,00	18,50	0,41	Forte	Faible
	PS (%)	PM10 (%)	PM2.5 (%)	HAP (%)		
S1 (I)	-67	-12	29	29		
S2 (U-I)	-33	-9	86	180		
S3 (I)	-57	-3	80	5		
S4 (T)	-44	23	57	0		
S5 (U)	-67	60	108	47		

Tableau XVIII: Résumé des principaux résultats du projet PACTES-BMP

Sur le premier axe (caractérisation physico-chimique), les principaux résultats sont les suivants :

- en ce qui concerne les particules sédimentables, le site S2, à Gardanne, est de très loin le plus concerné avec des particules composées essentiellement de phases alumineuses provenant de l'usine d'alumine ; ce sont ces particules qui donnent cette couleur rouge au centre de Gardanne ; le site urbain de Trets est par contre nettement le moins impacté, tant en été qu'en hiver.
- les concentrations en PM10 sont voisines d'une saison à l'autre pour les trois premiers sites; le site S4 présente une valeur élevée en hiver, avec un accroissement hiver/été de l'ordre de 25% ; sur le site S5, à Trets, une concentration relativement basse est mesurée en été mais, par contre un accroissement sensible est enregistré de l'été à l'hiver ;
- par contre, pour les PM2.5, un effet saisonnier est clairement visible sur l'ensemble des sites, avec de plus fortes concentrations en hiver qu'en été, en particulier pour les sites S2 (+86%), S3 (+80%) et S5 (+108%) ; cette augmentation forte est un vrai résultat nouveau auquel nous ne nous attendions pas vraiment ;
- sur le site S2, si, comme attendu, il est indéniable que l'usine d'alumine a une contribution forte et majeure dans les flux de particules sédimentables, l'étude tend à montrer que cette contribution diminue avec la classe granulométrique des particules, la source industrielle étant remplacée par d'autres sources comme la remise en suspension de particules de sol, le trafic automobile ou des sources provenant du secteur résidentiel ;
- les concentrations en HAP sont beaucoup plus faibles que celles qu'on trouve en environnement urbain à Marseille ou Aix, d'un facteur 10 environ ; les concentrations sont plus élevées en hiver qu'en été,
-

en particulier pour les deux sites urbains de Gardanne et Trets où le B(a)P augmente d'un facteur similaire à celui des PM2.5

En ce qui concerne l'étude de génotoxicité :

- il faut garder en mémoire que cette étude ne concerne qu'un aspect de la toxicité potentielle de ces particules ; elle ne s'intéresse qu'aux phases hydrophiles et lipophiles, laissant de côté d'autres phases et notamment les particules insolubles dans ces deux milieux et qui peuvent être facteur de stress oxydant et d'inflammation, pouvant mener également à un effet génotoxique ;
- d'autre part, les expériences ont été faites à quantité de solution extraites identiques, ne prenant pas en compte les différences éventuelles de bio-accessibilité, de concentrations des particules dans l'atmosphère, de temps de résidence dans les poumons,... ; l'ensemble de ces paramètres devant être pris en compte dans l'évaluation d'une exposition, les résultats ne peuvent pas être reliés à une exposition ou à l'évaluation d'un risque sanitaire ;
- compte tenu de ces réserves, il apparaît néanmoins une génotoxicité certaine, en particulier pour les sites S3 à S5 ; elle semble un peu plus importante en été qu'en hiver, alors que c'est l'inverse pour le site S2 ;
- nous n'avons pas pu mettre cette génotoxicité en relation avec les paramètres de caractérisation des particules évoqués plus haut.

Pour la perception :

- l'étude s'est faite soit par entretiens auprès de différents groupes sociaux des communes concernées de la zone d'étude (mais majoritairement en proximité des sites industriels à Gardanne/Meyreuil ainsi qu'à Trets
- les discours des industriels et des élus consultés (appartenant aux majorités municipales) sont très voisins et globalement rassurants ;
- de la globalité des entretiens auprès de la population, il ressort un classement très net des communes concernées : de Gardanne « ville rouge » avec un sentiment fort de ville polluée à Trets « ville verte », exempte de pollution, en passant par Meyreuil avec une perception plus mitigée liée à la centrale thermique et Bouc Bel Air où le sentiment de pollution est plus en relation avec l'importance du trafic routier et les apports de la zone Fos-Berre ;
- en règle générale, l'ensemble de la région est considérée comme polluée, l'attribution de l'origine de ces pollutions étant variable en fonction des lieux de vie ; la zone de Fos-Berre, l'usine d'alumine, la centrale thermique sont les origines les plus citées ; par contre, les sources résidentielles (chauffage, brûlage des déchets verts, ...) ne sont jamais évoquées ;
- le rôle du climat est souvent avancé comme un déterminant assez fort de cette pollution : le vent l'amène et parfois l'éloigne, la saison en module l'intensité ;
- on retrouve aussi, dans la plupart des situations, un lien entre pollution de l'air et impact sur la santé, et notamment une association entre développement des allergies et augmentation de la pollution de l'air
- il ressort aussi, comme dans bien d'autres domaines, d'une part que les populations expriment un sentiment de fatalité face à la pollution ce qui explique leur faible niveau d'implication (sur ce territoire, le mouvement associatif est assez peu présent), et d'autre part leur mise en accusation des acteurs, notamment la faiblesse du rôle de l'État ;
- l'enquête quantifiée met en particulier en évidence qu'il y a des perceptions différentielles selon le niveau d'instruction et selon que les personnes sont implantées depuis longtemps ou sont des nouveaux arrivants.
- ces résultats sont dans leurs grandes lignes similaires à ceux obtenus dans d'autres études dans d'autres régions françaises (Grange et al., 2010)

V.3 Quels ont été les apports de l'interdisciplinarité ?

Le tableau XIX présente, de façon schématique, sous la forme d'une échelle à 3 ou 4 couleurs, l'évolution des principaux paramètres mesurés (PS, PM10, PM2.5, HAP, Génotoxicité, Perception) pour chaque site. La comparaison des différentes échelles montre clairement des disparités dans le classement des sites. Si les « indices » PS et Perception sont cohérents (Trets – Bouc – Meyreuil – Gardanne), ce n'est absolument pas le cas pour les autres paramètres. Chaque paramètre, pris isolément, donne une « vision » différente de l'importance de la pollution sur chaque site.

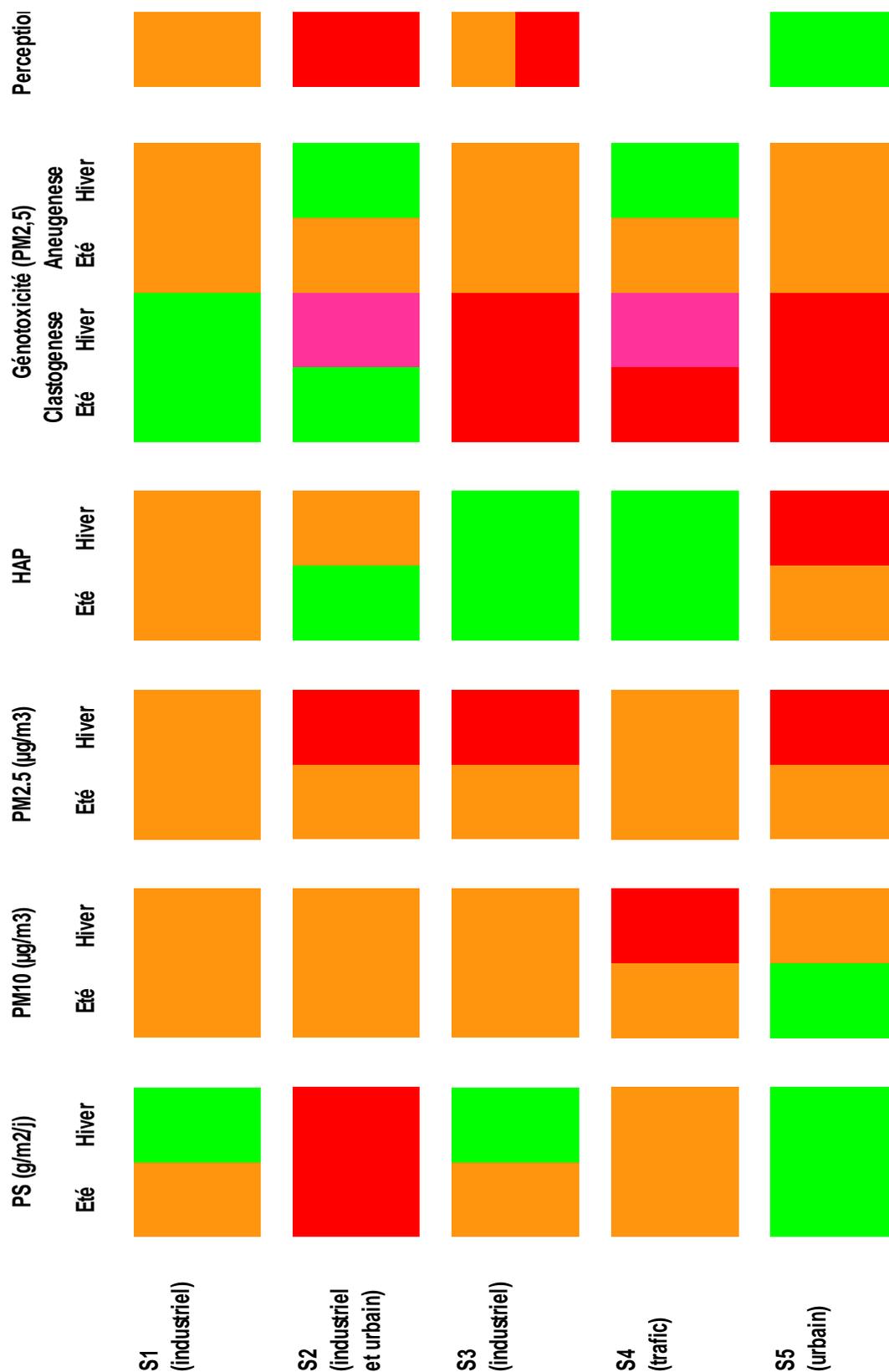


Tableau XIX: Synthèse des paramètres mesurés (intensité croissante du vert au rouge)

La figure 84 représente la relation entre le facteur perception en abscisse et les facteurs PS, PM2.5 en hiver et Génotoxicité d'autre part. Si le nom d'un site est au-dessus de la diagonale, c'est que la perception sous-estime l'importance objective de la pollution ; s'il est en dessous, c'est qu'elle le surestime.

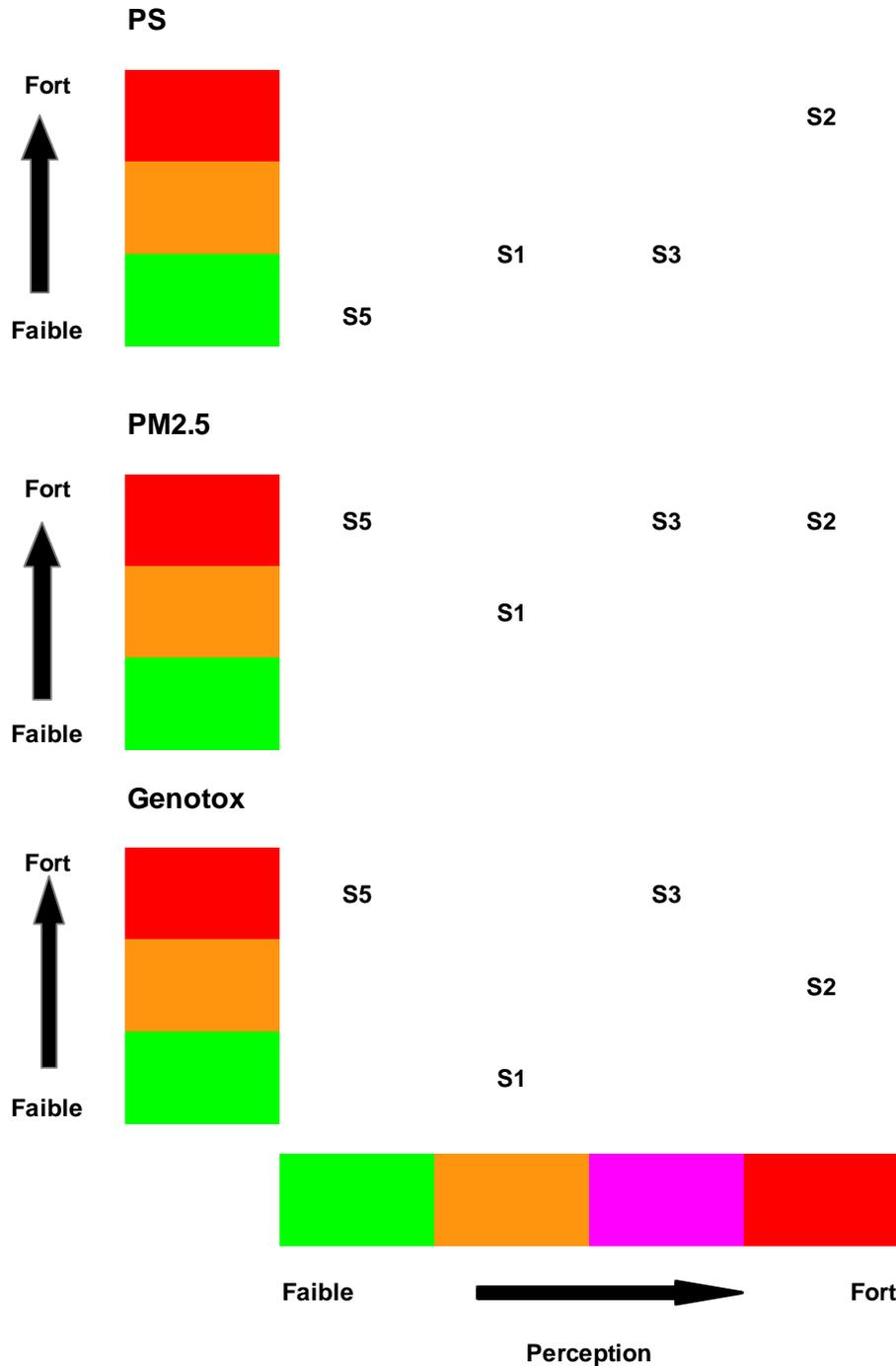


Figure 84 : Relation entre le paramètre « Perception » et les paramètres de mesure

Pour les particules sédimentables (PS), il existe une bonne relation entre les deux facteurs. Cette relation illustre le fait, bien montré dans l'étude de perception, que la population est très sensible à ce qui se voit et se sent. Beaucoup de personnes interrogées parlent des fumées et des odeurs et y associent une dangerosité, bien que cette relation soit souvent fautive et même dangereuse quand on la prend dans

l'autre sens : on ne voit rien et ne sent rien, donc ce n'est pas dangereux (le mono-oxyde de carbone est invisible et inodore et fait pourtant des dizaines de victimes chaque année ; le gaz naturel est artificiellement aromatisé pour déceler sa présence). Pour Meyreuil, le sentiment de perception est encore renforcé par le paramètre bruit, souvent exprimé sur ce site.

A cette association vision-odorat se rajoute l'idée que la pollution est émise par les autres. Dans beaucoup d'entretiens, figure l'idée que la pollution vient d'ailleurs (industrie, trafic, ...) et que individuellement on ne peut pas faire grand-chose. Or, Trets, ville sans industrie et avec un trafic routier peu important, considérée par ces habitants comme non polluée, montre, pour le site S5, le taux d'accroissement des PM2.5 et des HAP entre l'été et l'hiver le plus important. Ces niveaux dans l'air ambiant pourraient être dus à des sources d'origines résidentielles, types de sources dont l'existence n'est pas évoquée par les personnes interrogées et sur laquelle il est relativement facile d'intervenir à titre individuel. A Gardanne, autre site urbain où ces taux d'accroissement sont également importants, ce hiatus mesure – perception est occulté par la présence des particules sédimentables qui sont le facteur essentiel à l'origine de ce sentiment de ville polluée.

Si on utilise les résultats de génotoxicité des PM2.5 obtenus dans cette étude comme un indicateur de dangerosité des particules (avec toutes les réserves et précautions exprimées plus haut), on retrouve un schéma similaire à celui avec les concentrations de PM2.5, bien que ces deux paramètres soient indépendants.

La proposition de recherche qui a conduit au projet PACTES-BMP n'est pas née de rien, mais s'est appuyée d'une part sur le petit nombre d'informations disponibles sur ce territoire et aussi sur un certain nombre d'idées « pré-conçues » que nous souhaitions vérifiées et validées :

- Gardanne, avec son site industriel imbriqué dans le tissu urbain, très visible dans le paysage, devait être l'endroit le plus pollué, le plus impactant en terme de santé, avec un rôle majeur de l'industrie ;
- à l'opposé, Trets, petite ville tranquille, sans sources industrielles, devait servir de site témoin, permettant de sortir le signal « urbain », considéré comme un bruit de fond ou un signal parasite, et donc de mieux caractériser le signal « industriel » ;
- de la même façon, le site de Fuveau a été choisi pour essayer d'avoir un signal « trafic routier » ;
- les deux autres sites industriels ont été choisi en complémentarité de celui de Gardanne ; si nous n'avions aucune information sur le site de la cimenterie à Bouc Bel Air, autour de la centrale thermique existait la seule contestation environnementale organisée .

En ce qui concerne les deux premiers axes (caractérisation et génotoxicité), les résultats obtenus montrent que nos idées de départ étaient erronés sur plusieurs points et que la « dangerosité » de ces pollutions particulières n'étaient probablement pas là où on l'attendait. Par rapport, à ce qu'on en savait au début du projet, l'étude sur la perception de la pollution par les populations riveraines n'a pas apporté de vrais surprises ; par contre, elle révèle une grande différence, voir même une opposition entre cette perception et les résultats de la mesure pour certains sites.

L'intérêt de la démarche pluridisciplinaire est, bien entendu, évident pour le chercheur scientifique mais elle apparaît également de la plus grande importance pour le décideur. Dans le cadre de ce projet, la seule prise en compte du volet « Caractérisation » ou du volet « Perception » amènerait à des prises de décision peu efficaces et coûteuses économiquement (et probablement également politiquement). Cela ne ferait que renforcer le sentiment de fatalité et de mise en action des acteurs, très bien mis en évidence dans l'étude de perception.

BIBLIOGRAPHIE

AirPACA (2004a). Evaluation de la qualité de l'air ambiant dans le secteur de Gardanne/Simiane en relation avec l'activité d'Aluminium Pechiney. http://www.atmopaca.org/files/et/Gardanne_lp09.pdf

AirPACA (2004b). Fuveau – La Barque : Étude de la qualité de l'air dans la cour de l'école de la Barque située à proximité d'un carrefour à forte circulation. <http://www.atmopaca.org/files/et/LaBarque.pdf>

AirPACA (2011). Qualité de l'air. École des Terrils Bleus - Biver – Gardanne. http://www.atmopaca.org/files/et/110916_Rapport_Biver_Terrils_Bleus.pdf

Attané A., et al, (2010), Attitudes et connaissances des médecins généralistes face aux risques environnementaux, in « *Sociétés, environnements, santé* » Vernazza, Gruénais, Bley édts, IRD, 147-170.

Barthélémy C., Bley D. Bouchayer F., Gramaglia C., Vernazza-Licht N., (2011), Enquête exploratoire pour la mise en place d'un projet de recherche sur les connaissances et les attitudes des populations concernées relatives à l'impact des activités industrielles du bassin minier de Provence sur l'environnement et la santé , *Projet OHM Bassin minier de Gardanne, 2012/2013*.

Bennani A., (2012), Enquête sociologique sur la perception de la pollution atmosphérique par les particules dans le bassin industriel de Gardanne, *Mémoire master 1 MASS, Université Aix-Marseille 2*.

Billet S., Garcon G., Dagher Z., Verdin A., Ledoux F., Cazier F., Courcot D., Aboukais A., Shirali P., (2007). « Ambient particulate matter (PM_{2.5}): Physicochemical characterization and metabolic activation of the organic fraction in human lung epithelial cells (A549) », *Environmental Research*, Volume 105, pages 212–223.

Blanc N., (2008), Mesures esthétiques Environnementales, Chapitre IV, L'air comme ambiance, Paris, édition QUAE.

Bley D., Setbon M., (2009), Perceptions et IEC sur la lutte antivectorielle, CD-ROM : 319–349, in D. Fontenille et al. : *La lutte antivectorielle en France*, Marseille, IRD Éditions, coll. Expertise collégiale, 536 p. + CD-ROM.

Capezza S., (2010), Etude autour de la pollution atmosphérique par les particules (perceptions des riverains, action des industriels), *Mémoire master 2 SENS de l'Université de Provence*, septembre 2010, 69p.

Castano C., Moser G., (2007), Informations, perception de la pollution de l'air et actions préventives : les raisons de discordances multiples, *Air Pur*, n°73, 5-9.

Cavana P. (1986). Effets aigus de la pollution atmosphérique chez des enfants du bassin de Gardanne. *Thèse Faculté de Médecine, Marseille*, 154 p.

Charles L., (2009), Pollutions atmosphériques et santé environnementale. Quels enjeux ? Quels acteurs ? Quelles préventions ?, *Actes du colloque pollution atmosphérique. Exposition, perception et nouveaux enjeux*, ADEME.

Claxton L., Woodall G., (2007). « A review of the mutagenicity and rodent carcinogenicity of ambient air », *Mutation Research*, 636p, pages 36-94.

Charpin D., Kleisbauer J-P., Fondarai A., Lagier F., Francheterre A., Fondarai J., Viala A. (1988). Répercussions cliniques et spirométriques d'une exposition chronique aux polluants atmosphériques chez les enfants de la région du bassin de Gardanne. *Rev. Pneumol. Clin.*, 44, 64-67.

Dubois D., (2009), Étude linguistique et anthropologique des représentations cognitives de la pollution atmosphérique, *Actes du colloque pollution atmosphérique. Exposition, perception et nouveaux enjeux*, ADEME.

- Fenech M. (2007). Cytokinesis-block micronucleus cytome assay. *Nat Protoc*, 2:1084-1104.
- Fuentes-Mattei E., Rivera E., Gioda A., Sanchez-Rivera D., Roman-Velazquez F., Jimenez-Velez B., (2010). « Use of human bronchial epithelial cells (BEAS-2B) to study immunological markers resulting from exposure to PM2.5 organic extract from Puerto Rico », *Toxicology and Applied Pharmacology*, Volume 243, Issue 3, pages 381-389.
- Gailhard-Rocher et al, (2008), Perceptions de la pollution de l'air extérieur et de ses effets sanitaires : disparités territoriales et disparités sociales, *Revue d'épidémiologie et de santé publique*, 56, 66.
- Grange D., Sommen C., Gremy I. (2010). Les perceptions de la pollution de l'air extérieur en Ile-de-France. Rapport ORS Ile-de-France, Septembre 2010, 178 p.
- Guilleux (2009). Etude des transformations des pratiques de soin des professionnels de santé sur le bassin minier. <https://www.ohm-provence.org/IMG/pdf/guilleuxpdf-93e1.pdf>
- Gutierrez-Castillo M.E., Olivos-Ortiz M., De Vizcaya-Ruiz A., Cebrian M.E., (2005). « Chemical characterization of extractable water soluble matter associated with PM10 from Mexico City during 2000 », *Chemosphere*, 61, pages 701-7105.
- HCSP (2000), Politiques publiques, pollution atmosphérique et santé. Poursuivre la réduction des risques, Rapport, 263p.
- HCSP (2012) Pollution par les particules dans l'air ambiant : recommandations pour protéger la santé, 243p
- INVS, (2011), Aphekom apporte un nouvel éclairage sur les effets sanitaires et économiques de la pollution urbaine en Europe, Communiqué de presse.
- Kirsch-Volders, M., Sofuni, T., Aardema, M., Albertini, S., Eastmond, D., Fenech, M., Ishidate Jr., M., Kirchner, S., Lorge, E., Morita, T., Norppa, H., Surrallé's, J., Vanhauwaert, A., Wakata, A., (2003). « Report from the in vitro micronucleus assay working group », *Mutation Research*, 540p, pages 153–163.
- Kleisbauer J-P., Fondarai A., Francheterre A., Charpin D., Dominati F., Fondarai J., Viala, A. (1987). Répercussions cliniques et spirométriques d'une exposition chronique aux polluants atmosphériques. Etude épidémiologique d'un groupe de femmes au foyer de la région du Bassin de Gardanne. *Poll. Atmo.*, , 126-129/
- Krewski D., Burnett R., Jerre M., Pope C., Rainham D., Calle E., Thurston G., Thun G., (2005a). « Mortality and long-term exposure to ambient air pollution: Ongoing analyses based on the American Cancer Society Cohort », *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, Volume 68, pages 1093–1109, 2005a.
- Krewski D., Samet J, Craig L., (2005b). « Interpreting epidemiologic studies of acute and long-term exposure to particulate matter for policy development », *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, Volume 68, pages 1049–1307, 2005b.
- Kryzhanovskyy Y., (2012), Enquête sociologique sur la perception de la pollution atmosphérique par les particules dans le bassin industriel de Gardanne. *Mémoire master 1 MASS*, université Aix-Marseille 2
- Laden F., Schwartz J., Speizer F.E., Dockery D.W., (2006). « Reduction in fine particulate air pollution and mortality: Extended follow-up of the Harvard Six Cities study », *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, Volume 173, pages 667–672, 2006.
- Lebart L., Salem A. (1994). *Statistique textuelle*. Paris, Dunod.
- Marquez A, C., (2013), Étude préliminaire de l'association entre situation socio-économique, santé et pollution atmosphérique sur le territoire du Bassin Minier de Provence. *Mémoire Master 2 Santé Publique*, Aix-Marseille Université.

Medina P., Fontaine, D., (2006), Enquête sur les connaissances, perceptions et attentes des élus, médecins généralistes et établissements scolaires sur la pollution de l'air en Isère, ORS Rhône-Alpes, 53p.

Meng Z., Zhang Q., (2007). « Damage effects of dust storm PM2.5 on DNA in alveolar macrophages and lung cells of rats », *Food and chemical toxicology*, pages 1368-1374.

OECD GUIDELINE 487 FOR THE TESTING OF CHEMICALS, (2010). In Vitro Mammalian Cell Micronucleus Test, 23p.

Pauluis J., (2000), Gestion des effets d'une pollution atmosphérique : intérêts des sentinelles biologiques, *Médecine environnementale*, 172.

Pincemin B. (1999). Construire et utiliser un corpus : le point de vue d'une sémantique textuelle interprétative in A. Condamines, *Corpus et traitement automatique des langues : pour une réflexion méthodologique* (pp. 26-36). Cargèse: Actes de l'atelier thématique TALN.

Pope C., Burnett R., Thun M., Calle E., Krewski D., Ito K., Thurston G., (2002) « Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution », *The Journal of the American Medical Association (JAMA)*, Volume 287, pages 1132-11412.

Primequal-Predit (2009). Pollution atmosphérique: Exposition, perception et nouveaux enjeux. Colloque Juin 2009, Université de Nantes. ADEME / MEEDDAT / INERIS / APPA, 40p.

Primequal-Predit (2011). La qualité de l'air dans nos environnements de proximité. A - Quelles sont les sources de polluants ? Quel impact sur notre santé ? Quelles sont les voies d'amélioration pour demain ? Colloque de présentation des travaux à Lyon : 26 et 27 janvier 2011. Ineris, Verneuil en Halatte., 69 p.

Rambaud J-M., (2003), Les attentes des professionnels de santé pour une meilleure communication sur la pollution atmosphérique, *Rencontres du comité régional APPA*, Lille, ADEME, 9p.

Rotily M. et al, (1999), Connaissances, opinions et attitudes des médecins face à la pollution atmosphérique dans les Bouches du Rhône, *Revue des maladies Respiratoires*, 16,4, 575-84.

Rouquette M.L., (2009), La perception de la pollution atmosphérique au sein des représentations du cadre de vie et son impact sur l'évaluation de la qualité de vie, *Actes du colloque pollution atmosphérique. Exposition, perception et nouveaux enjeux*, ADEME.

Roussel I., (2009), Pour une cohérence territoriale de la gestion de la qualité de l'air dans la région Nord-Pas de Calais, *Actes du colloque pollution atmosphérique. Exposition, perception et nouveaux enjeux*, ADEME.

Roussel I., (2009), La santé environnementale, entre injonctions réglementaires et aspirations des populations à une qualité de vie partagée, *Environnement, Risques & Santé*. Volume 8, Numéro 4.

Saksena S., (2007), Public perceptions of urban air pollution with a focus on developing countries, *East west center working papers*, Environmental change, vulnerability and governance series, n°65, 29p.

Segala C., (2009), Perception et représentation de la qualité de l'air par la population française : approches épidémiologiques et sociologique, *Actes du colloque pollution atmosphérique. Exposition, perception et nouveaux enjeux*, ADEME.

Verges P., Bouriche B., (2001). L'analyse des données par les graphes de similitudes. *Sciences Humaines*, 90p.

Zheng M., Wan T.S.M., Fang M., Wang F., (1997). « Characterization of the non-volatile organic compounds in the aerosols of Hong Kong. Identification, abundance and origin », *Atmospheric Environment*, Volume 31, pages 227-237.

ANNEXES

Annexe 1 : Calendrier des campagnes de prélèvement

Annexe 2: Grille d'entretien

Annexe 3 : Questionnaire de l'enquête sur la perception de la pollution atmosphérique

Annexe 4 : Localisation des zones utilisées pour l'étude statistique de l'enquête

Annexe 5 : Publications et Communications sur le projet PACTES-BMP

Annexe 1 : Calendrier des campagnes de prélèvement

	S1-Bouc			S2-Gardanne			S3 – Meyreuil			S4 – Fuveau			S5 – Trets		
	PM10	PM2.5	Toxico	PM10	PM2.5	Toxico	PM10	PM2.5	Toxico	PM10	PM2.5	Toxico	PM10	PM2.5	Toxico
Blanc	S1-10-1	S1-2.5-1	S1-T-17	S2-10-1	S2-2.5-1	S1-T-33	S3-10-1	S3-2.5-1	S1-T-9	S4-10-1	S4-2.5-1	S1-T-25	S5-10-2	S5-2.5-1	S1-T-1
01/07/2010	S1-10-2	S1-2.5-2		S2-10-2				S3-2.5-2		S4-10-2	S4-2.5-2		S5-10-1	S5-2.5-2	S1-T-3
02/07/2010	S1-10-3	S1-2.5-3		S2-10-3			S3-10-2	S3-2.5-3		S4-10-3	S4-2.5-3		S5-10-3	S5-2.5-3	S1-T-4
03/07/2010	S1-10-4	S1-2.5-4	S1-T-19	S2-10-4	S2-2.5-2		S3-10-3	S3-2.5-4	S1-T-11	S4-10-4	S4-2.5-4		S5-10-4	S5-2.5-4	S1-T-5
04/07/2010	S1-10-5	S1-2.5-5	S1-T-20	S2-10-5	S2-2.5-3		S3-10-4	S3-2.5-5	S1-T-12	S4-10-5	S4-2.5-5		S5-10-5	S5-2.5-5	S1-T-6
05/07/2010	S1-10-6	S1-2.5-6	S1-T-21	S2-10-6	S2-2.5-4		S3-10-5	S3-2.5-6	S1-T-13	S4-10-6	S4-2.5-6		S5-10-6	S5-2.5-6	S1-T-7
06/07/2010	S1-10-7	S1-2.5-7	S1-T-22	S2-10-7	S2-2.5-5		S3-10-6	S3-2.5-7	S1-T-14	S4-10-7	S4-2.5-7		S5-10-7	S5-2.5-7	S1-T-8
07/07/2010	S1-10-8	S1-2.5-8	S1-T-23	S2-10-8	S2-2.5-6		S3-10-7	S3-2.5-8	S1-T-15	S4-10-8	S4-2.5-8		S5-10-8	S5-2.5-8	S1-T-9
08/07/2010	S1-10-9	S1-2.5-9	S1-T-24	S2-10-9	S2-2.5-7		S3-10-8	S3-2.5-9	S1-T-16	S4-10-9	S4-2.5-9		S5-10-9	S5-2.5-9	
09/07/2010	S1-10-10	S1-2.5-10	S1-T-18	S2-10-10	S2-2.5-8		S3-10-9	S3-2.5-10	S1-T-10	S4-10-10	S4-2.5-10		S5-10-10	S5-2.5-10	
10/07/2010	S1-10-11	S1-2.5-11		S2-10-11	S2-2.5-9		S3-10-10	S3-2.5-11		S4-10-11	S4-2.5-11		S5-10-11	S5-2.5-11	
11/07/2010	S1-10-12	S1-2.5-12		S2-10-12	S2-2.5-10		S3-10-11	S3-2.5-12		S4-10-12	S4-2.5-12		S5-10-12	S5-2.5-12	
12/07/2010	S1-10-13	S1-2.5-13		S2-10-13	S2-2.5-11		S3-10-12	S3-2.5-13		S4-10-13	S4-2.5-13		S5-10-13	S5-2.5-13	
13/07/2010	S1-10-14	S1-2.5-14		S2-10-14	S2-2.5-12	S1-T-34	S3-10-13	S3-2.5-14		S4-10-14	S4-2.5-14	S1-T-26	S5-10-14	S5-2.5-14	
14/07/2010	S1-10-15	S1-2.5-15		S2-10-15	S2-2.5-13	S1-T-35	S3-10-14	S3-2.5-15		S4-10-15	S4-2.5-15	S1-T-27	S5-10-15	S5-2.5-15	
15/07/2010	S1-10-16	S1-2.5-16		S2-10-16	S2-2.5-14	S1-T-36	S3-10-15	S3-2.5-16		S4-10-16	S4-2.5-16	S1-T-28	S5-10-16	S5-2.5-16	
16/07/2010	S1-10-17	S1-2.5-17		S2-10-17	S2-2.5-17	S1-T-37	S3-10-17	S3-2.5-17		S4-10-17	S4-2.5-17	S1-T-29	S5-10-17	S5-2.5-17	
17/07/2010	S1-10-18	S1-2.5-18		S2-10-18	S2-2.5-18	S1-T-38	S3-10-18	S3-2.5-18		S4-10-18	S4-2.5-18	S1-T-30	S5-10-18	S5-2.5-18	
18/07/2010	S1-10-19	S1-2.5-19		S2-10-19	S2-2.5-19	S1-T-39	S3-10-19	S3-2.5-19		S4-10-19	S4-2.5-19	S1-T-31	S5-10-19	S5-2.5-19	
19/07/2010	S1-10-20	S1-2.5-20		S2-10-21	S2-2.5-20	S1-T-40	S3-10-20	S3-2.5-20		S4-10-20	S4-2.5-20	S1-T-32	S5-10-20	S5-2.5-20	
20/07/2010	S1-10-21	S1-2.5-21		S2-10-24	S2-2.5-21		S3-10-21	S3-2.5-21		S4-10-21	S4-2.5-21		S5-10-21	S5-2.5-21	
21/07/2010	S1-10-22	S1-2.5-22		S2-10-25	S2-2.5-22		S3-10-22	S3-2.5-22		S4-10-22	S4-2.5-22		S5-10-22	S5-2.5-22	
22/07/2010	S1-10-23	S1-2.5-25		S2-10-28	S2-2.5-23		S3-10-23	S3-2.5-23		S4-10-23	S4-2.5-23		S5-10-23	S5-2.5-23	
23/07/2010	S1-10-24	S1-2.5-26		S2-10-29	S2-2.5-24		S3-10-24	S3-2.5-24		S4-10-24	S4-2.5-24		S5-10-24	S5-2.5-24	
24/07/2010	S1-10-25	S1-2.5-27		S2-10-30	S2-2.5-25		S3-10-25	S3-2.5-25		S4-10-25	S4-2.5-25		S5-10-25	S5-2.5-25	
25/07/2010	S1-10-26	S1-2.5-28			S2-2.5-26		S3-10-26	S3-2.5-26		S4-10-26	S4-2.5-26		S5-10-26	S5-2.5-26	
26/07/2010	S1-10-27	S1-2.5-29			S2-2.5-27		S3-10-27	S3-2.5-27		S4-10-27	S4-2.5-27		S5-10-27	S5-2.5-27	
27/07/2010	S1-10-28	S1-2.5-30					S3-10-28	S3-2.5-28		S4-10-28	S4-2.5-28		S5-10-28	S5-2.5-28	
28/07/2010	S1-10-29	S1-2.5-31					S3-10-29	S3-2.5-29		S4-10-29	S4-2.5-29		S5-10-29	S5-2.5-29	
29/07/2010	S1-10-30	S1-2.5-32					S3-10-30	S3-2.5-30		S4-10-30	S4-2.5-30		S5-10-30	S5-2.5-30	
30/07/2010	S1-10-31						S3-10-31	S3-2.5-31		S4-10-31	S4-2.5-31		S5-10-31	S5-2.5-31	
31/07/2010	S1-10-32							S3-2.5-32		S4-10-32	S4-2.5-32		S5-10-32		

Calendrier prélèvements PM10, PM2.5 et Toxico pour la campagne d'été

	Date debut	Date fin	Temps (h)
S1-1	30/06/2010 13:45:00	08/07/2010 08:00:00	186,3
S1-2	08/07/2010 08:00:00	15/07/2010 12:00:00	172,0
S1-3	15/07/2010 12:00:00	22/07/2010 07:45:00	163,8
S1-4	22/07/2010 07:45:00	29/07/2010 07:45:00	168,0
S2-1	29/06/2010 14:00:00	08/07/2010 10:30:00	212,5
S2-2	08/07/2010 10:30:00	15/07/2010 14:30:00	172,0
S2-3	15/07/2010 14:30:00	22/07/2010 09:45:00	163,3
S2-4	22/07/2010 09:45:00	29/07/2010 10:00:00	168,3
S3-1	30/06/2010 12:45:00	08/07/2010 10:00:00	189,3
S3-2	08/07/2010 10:00:00	15/07/2010 13:45:00	171,8
S3-3	15/07/2010 13:45:00	22/07/2010 09:15:00	163,5
S3-4	22/07/2010 09:15:00	29/07/2010 09:30:00	168,3
S4-1	30/06/2010 08:00:00	08/07/2010 09:45:00	193,8
S4-2	08/07/2010 09:45:00	15/07/2010 13:15:00	171,5
S4-3	15/07/2010 13:15:00	22/07/2010 09:00:00	163,8
S4-4	22/07/2010 09:00:00	29/07/2010 08:45:00	167,8
S5-1	30/06/2010 09:45:00	08/07/2010 09:00:00	191,3
S5-2	08/07/2010 09:00:00	15/07/2010 12:45:00	171,8
S5-3	15/07/2010 12:45:00	22/07/2010 08:15:00	163,5
S5-4	22/07/2010 08:15:00	29/07/2010 08:15:00	168,0

Calendrier prélèvements particules sédimentables pour la campagne d'été

Date	S1-Bouc			S2-Gardanne			S3 – Meyreuil			S4 – Fuveau			S5 – Trets		
	PM10	PM2.5	Toxico	PM10	PM2.5	Toxico	PM10	PM2.5	Toxico	PM10	PM2.5	Toxico	PM10	PM2.5	Toxico
Blanc	S1-10-101	S1-2.5-101	S1-T-101		S2-2.5-101	S2-T-109	S3-10-101	S3-2.5-101	S3-T-117		S4-2.5-102	S3-T-125			S3-T-133
04/01/2011	S1-10-102	S1-2.5-102	S1-T-102	S2-10-102	S2-2.5-102	S2_T_110	S3-10-102	S3-2.5-102	S3-T-118	S4-10-101			S5-10-101	S5-2.5-101	
05/01/2011	S1-10-103	S1-2.5-103	S1-T-103		S2-2.5-103	S2-T-111	S3-10-103	S3-2.5-103	S3-T-119	S4-10-102			S5-10-102	S5-2.5-102	
06/01/2011	S1-10-104	S1-2.5-104	S1-T-104	S2-10-101	S2-2.5-104	S2-T-112	S3-10-104	S3-2.5-104	S3-T-120	S4-10-103	S4-2.5-105		S5-10-103	S5-2.5-103	
07/01/2011	S1-10-105	S1-2.5-105	S1-T-105	S2-10-103	S2-2.5-105	S2-T-113	S3-10-105	S3-2.5-105	S3-T-121	S4-10-105	S4-2.5-106		S5-10-104	S5-2.5-104	
08/01/2011	S1-10-106	S1-2.5-106	S1-T-106	S2-10-104	S2-2.5-106	S2-T-114	S3-10-106	S3-2.5-106	S3-T-122	S4-10-106	S4-2.5-107		S5-10-105	S5-2.5-105	
09/01/2011	S1-10-107	S1-2.5-107	S1-T-107	S2-10-105	S2-2.5-107	S2-T-115	S3-10-107	S3-2.5-107	S3-T-123	S4-10-107	S4-2.5-108		S5-10-106	S5-2.5-106	
10/01/2011	S1-10-108	S1-2.5-108	S1-T-108	S2-10-106	S2-2.5-108	S2-T-116	S3-10-108	S3-2.5-108	S3-T-124	S4-10-108	S4-2.5-109		S5-10-107	S5-2.5-107	
11/01/2011	S1-10-109	S1-2.5-109			S2-2.5-109		S3-10-109	S3-2.5-109		S4-10-109	S4-2.5-110		S5-10-108	S5-2.5-108	
12/01/2011	S1-10-110	S1-2.5-110		S2-10-108	S2-2.5-110		S3-10-110	S3-2.5-110		S4-10-110	S4-2.5-111	S3-T-126	S5-10-109	S5-2.5-109	S3-T-134
13/01/2011	S1-10-111	S1-2.5-111		S2-10-109	S2-2.5-111		S3-10-111	S3-2.5-111		S4-10-111	S4-2.5-112	S3-T-127	S5-10-110	S5-2.5-110	S3-T-135
14/01/2011	S1-10-112	S1-2.5-112		S2-10-110	S2-2.5-112		S3-10-112	S3-2.5-112		S4-10-112	S4-2.5-113	S3-T-128	S5-10-111	S5-2.5-111	S3-T-136
15/01/2011	S1-10-113	S1-2.5-113		S2-10-111	S2-2.5-113		S3-10-113	S3-2.5-113		S4-10-113	S4-2.5-114	S3-T-129	S5-10-112	S5-2.5-112	S3-T-137
16/01/2011	S1-10-114	S1-2.5-114		S2-10-112	S2-2.5-114		S3-10-114	S3-2.5-114		S4-10-114	S4-2.5-115	S3-T-130	S5-10-113	S5-2.5-113	S3-T-138
17/01/2011	S1-10-115	S1-2.5-115		S2-10-113	S2-2.5-115		S3-10-115	S3-2.5-115			S4-2.5-116	S3-T-131	S5-10-114	S5-2.5-114	S3-T-139
18/01/2011	S1-10-117	S1-2.5-117		S2-10-117	S2-2.5-117		S3-10-117	S3-2.5-117		S4-10-117	S4-2.5-117	S3-T-132	S5-10-117	S5-2.5-117	S3-T-140
19/01/2011	S1-10-118	S1-2.5-118		S2-10-118	S2-2.5-118		S3-10-118	S3-2.5-118		S4-10-118	S4-2.5-118		S5-10-118	S5-2.5-118	
20/01/2011	S1-10-119	S1-2.5-119		S2-10-119	S2-2.5-119		S3-10-119	S3-2.5-119		S4-10-121	S4-2.5-119		S5-10-120	S5-2.5-119	
21/01/2011	S1-10-120	S1-2.5-120		S2-10-120	S2-2.5-120		S3-10-120	S3-2.5-120		S4-10-120	S4-2.5-120		S5-10-119	S5-2.5-120	
22/01/2011	S1-10-121	S1-2.5-121		S2-10-121	S2-2.5-121			S3-2.5-121		S4-10-119	S4-2.5-121		S5-10-121		
23/01/2011	S1-10-122	S1-2.5-122		S2-10-122	S2-2.5-122			S3-2.5-122		S4-10-122	S4-2.5-122		S5-10-122	S5-2.5-121	
24/01/2011	S1-10-123	S1-2.5-123		S2-10-123	S2-2.5-123			S3-2.5-123		S4-10-123	S4-2.5-123		S5-10-123	S5-2.5-122	
25/01/2011	S1-10-124	S1-2.5-124		S2-10-124	S2-2.5-124		S3-10-121	S3-2.5-124		S4-10-126	S4-2.5-124		S5-10-124	S5-2.5-123	
26/01/2011	S1-10-125	S1-2.5-125		S2-10-125	S2-2.5-125		S3-10-123	S3-2.5-125		S4-10-127	S4-2.5-125		S5-10-125		
27/01/2011	S1-10-126	S1-2.5-126		S2-10-126	S2-2.5-126		S3-10-124	S3-2.5-127		S4-10-128	S4-2.5-127		S5-10-126		
28/01/2011	S1-10-127	S1-2.5-127		S2-10-127	S2-2.5-127		S3-10-125	S3-2.5-126			S4-2.5-126		S5-10-127	S5-2.5-124	
29/01/2011	S1-10-128	S1-2.5-128		S2-10-128	S2-2.5-128		S3-10-126	S3-2.5-128			S4-2.5-128		S5-10-128	S5-2.5-125	
30/01/2011	S1-10-129	S1-2.5-129		S2-10-129	S2-2.5-129		S3-10-127	S3-2.5-129			S4-2.5-129		S5-10-129	S5-2.5-126	
31/01/2011	S1-10-130	S1-2.5-130		S2-10-130	S2-2.5-130		S3-10-128	S3-2.5-130			S4-2.5-130		S5-10-130	S5-2.5-127	
01/02/2011	S1-10-131	S1-2.5-131		S2-10-131	S2-2.5-131		S3-10-129	S3-2.5-131			S4-2.5-131		S5-10-131		

Calendrier prélèvements PM10, PM2.5 et Toxico pour la campagne d'hiver

	Date debut	Date fin	Temps (h)
S1-11	03/01/2011 09:30:00	10/01/2011 08:00:00	166,5
S1-12	10/01/2011 08:00:00	17/01/2011 07:45:00	167,8
S1-13	17/01/2011 07:45:00	25/01/2011 08:00:00	192,3
S1-14	25/01/2011 08:00:00	01/02/2011 08:25:00	168,3
S2-11	03/01/2011 08:30:00	10/01/2011 08:45:00	168,3
S2-12	10/01/2011 08:45:00	17/01/2011 11:00:00	170,3
S2-13	17/01/2011 11:00:00	25/01/2011 10:15:00	191,2
S2-14	25/01/2011 10:15:00	01/02/2011 12:45:00	166,6
S3-11	03/01/2011 10:45:00	10/01/2011 09:15:00	166,5
S3-12	10/01/2011 09:15:00	17/01/2011 08:15:00	166,9
S3-13	17/01/2011 08:15:00	25/01/2011 10:00:00	193,9
S3-14	25/01/2011 10:00:00	01/02/2011 09:15:00	167,3
S4-11	03/01/2011 09:45:00	10/01/2011 10:15:00	168,5
S4-12	10/01/2011 10:15:00	17/01/2011 10:00:00	167,8
S4-13	17/01/2011 10:00:00	25/01/2011 09:15:00	191,2
S4-14	25/01/2011 09:15:00	01/02/2011 10:45:00	169,6
S5-11	03/01/2011 09:15:00	10/01/2011 09:45:00	168,5
S5-12	10/01/2011 09:45:00	17/01/2011 09:15:00	167,5
S5-13	17/01/2011 09:15:00	25/01/2011 08:45:00	191,5
S5-14	25/01/2011 08:45:00	01/02/2011 09:45:00	169,0

Calendrier prélèvements particules sédimentables pour la campagne d'hiver

Annexe 2 : grille d'entretien

A. La pollution

1. Dans quelle ville avez-vous grandi ? (urbain, rural ?)
2. Est-ce que vous estimez que l'air de votre ville est pollué ?
3. Celui du quartier ?
4. Est-ce que vous pensez qu'il y a une différence de qualité de l'air suivant les quartiers ?
5. Avez-vous des poussières (rouges ou blanches ?), des odeurs, des fumées ou autre pollution près de votre habitat ? Quand ?
6. D'où pensez-vous que cela provienne ?
7. Est-ce que vous faites quelque chose pour vous protéger ?
 - si OUI, quoi ?
 - si NON, pourquoi ?
8. Selon vous, quel est l'endroit le plus pollué de la région, ou du département ?
9. Est-ce que vous avez l'impression que la qualité de l'air varie selon les périodes de l'année ? (saison, évènements particuliers ?...)
10. Est-ce que vous avez souvenir d'épisodes particuliers concernant la pollution de l'air dans votre ville ?
11. Est-ce que la pollution de l'air vous inquiète ou vous préoccupe particulièrement ? (pourquoi ?)
12. Est-ce que vous pensez qu'il y a des maladies qui sont liées à la pollution de l'air ?
13. Est-ce que vous vous posez des questions sur les effets de la pollution sur la santé ?
14. Est-ce que vous, ou quelqu'un de votre entourage présente des signes comme :

(éternuements, irritation oculaire, asthme, bronchite chronique, allergies respiratoire, emphysème, toux, sifflements respiratoires, maladie pulmonaire ? Une gêne respiratoire ? Des maladies cardiovasculaires ? D'autres problèmes quotidiens de santé que vous pensez attribuables à la pollution ?)

15. Est-ce que vous faites partie d'une association sur votre ville ? (laquelle et pourquoi ?)

B. L'étude

16. Pouvez-vous me dire ce que vous pensez du fait qu'une analyse de la qualité de l'air soit faite ici ?
17. Pourquoi pensez-vous que les mesures soient faites ici ?
18. Est-ce que la présence des appareils de captage est gênante pour vous ?
19. Est-ce que le fait que les mesures soient faites près de chez vous, vous importune, ou suscite des inquiétudes ? (lesquelles, pourquoi ?)
20. Est-ce que vous pensez que cette campagne de mesure peut vous apporter des bénéfices ? (lesquels, pourquoi ?)
21. Est-ce que vous estimez que les appareils de prélèvements sont placés au bon endroit pour cette étude ?

Si NON, où pensez vous qu'il devrait être ?

22. Est-ce que vous pensez que les mesures scientifiques sont fiables ?
23. Avez-vous confiance dans le travail scientifique ? Pourquoi ?
24. Préférez-vous être informé lors d'actions comme cette campagne de prélèvement ? (comment, par qui, pourquoi ?)

25. Souhaiteriez-vous avoir plus d'informations concernant la pollution, ou ses effets sur la santé ? (si OUI, par qui et comment ?)

26. Que seriez-vous prêt à faire pour limiter l'impact de la pollution ? (*adhésion à une campagne de prélèvement, accepter un appareil de mesure chez vous, assister à des réunions d'information, participer au choix des sites de prélèvements...*)

C.Situation générale de la personne enquêtée

27. Vous habitez dans le quartier depuis combien de temps ? (habitat collectif ou individuel, jardin, terrasse ?)

28. Vous travaillez aussi dans le quartier ? (quel métier ?)

29. Est-ce que quelqu'un de votre entourage travaille, ou a travaillé dans l'usine... ?

30. Quel âge avez-vous ?

31. Sexe ?

32. Quel est votre statut ? (en couple, célibataire... ?)

33. Avez-vous des enfants ? (combien, quel âge ?)

34. Est-ce que vous pensez avoir une bonne qualité de vie ? (pourquoi ?)

Annexe 3 : Questionnaire de l'enquête sur la perception de la pollution atmosphérique



UMR ESPACE / DESMID

Projet PACTES – BMP
 Particules Atmosphériques dans le Bassin Minier de Provence
 Caractérisation, Toxicité et Evaluation Sociétale

Enquête sur l'environnement et la santé dans l'ancien bassin minier de Provence

Dans le cadre du Grenelle de l'Environnement et du Plan Particules européen, les agences de l'énergie (ADEME) et de la santé (ANSES) recommandent de développer des recherches sur la pollution atmosphérique.

Le laboratoire DESMID du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) est chargé de mener dans l'ancien bassin minier de Provence une enquête dont l'objectif est d'évaluer la perception des risques engendrés par la pollution de l'air

Le questionnaire qui suit est anonyme. Il n'y a ni bonne ni mauvaise réponse.

L'image de votre ville

Question 1. Comment qualifieriez-vous votre qualité de vie à l'endroit où vous habitez ?

Cochez votre réponse dans le rond prévu à cet effet

<input type="radio"/> Très agréable	<input type="radio"/> Agréable	<input type="radio"/> Passable	<input type="radio"/> Médiocre	<input type="radio"/> Sans opinion
-------------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	------------------------------------

Question 2. Selon vous quelles sont les problèmes qui touchent votre ville ?

Cochez votre réponse dans la case prévue

Pas du tout	Un peu	Assez fortement	Fortement	Sans opinion	
					Chômage
					Bruit
					Pollution de l'air
					Odeurs
					Insécurité
					Risques Industriels
					Risques naturels

Question 3. Les usines implantées près de chez vous sont pour vous plutôt le symbole :

Cochez votre réponse dans le rond prévu à cet effet

<input type="radio"/> D'une ville qui associe emploi et respect de l'environnement	<input type="radio"/> D'une ville polluée	<input type="radio"/> D'une ville ouvrière et travailleuse	<input type="radio"/> Sans opinion
--	---	--	------------------------------------

Question 4. Eprenez-vous un sentiment d'appartenance à votre ville ?

<input type="radio"/> Oui	<input type="radio"/> Plutôt oui	<input type="radio"/> Plutôt non	<input type="radio"/> Non	<input type="radio"/> Sans opinion
---------------------------	----------------------------------	----------------------------------	---------------------------	------------------------------------

La pollution de l'air

Question 5. Pensez-vous que votre ville est polluée ?

<input type="radio"/> Beaucoup	<input type="radio"/> Moyennement	<input type="radio"/> Un peu	<input type="radio"/> Pas du tout	<input type="radio"/> Sans opinion
-----------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------

Question 6. Dans votre ville, la pollution de l'air vous inquiète-t-elle dans votre vie de tous les jours ?

<input type="radio"/> Beaucoup	<input type="radio"/> Moyennement	<input type="radio"/> Un peu	<input type="radio"/> Pas du tout	<input type="radio"/> Sans opinion
-----------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------	---------------------------------------

Question 7. Souffrez-vous de problèmes de santé :

✚ Maladies respiratoires

- Oui. Lesquelles ?
- Non
- Ne sait pas

✚ Allergies

- Oui. Lesquelles ?
- Non
- Ne sait pas

Question 8. Selon vous est-ce que 1- trafic routier, 2- industries Gardanne, 3- villes environnantes sont une source de pollution de l'air dans votre environnement ?

Cochez votre réponse dans la case prévue

Pas du tout	Un peu	Assez fortement	Fortement	Sans opinion	
					1- Trafic routier
					2- Les industries de Gardanne
					3- Les villes environnantes et leurs industries (Fos, Martigues, Marseille,...)

Question 9. Selon vous est-ce que agissent pour limiter l'impact de la pollution ?

Cochez votre réponse dans la case prévue

Pas du tout	Un peu	Assez fortement	Fortement	Sans opinion	
					Elus locaux
					L'Etat
					Les associations
					Les individus eux-mêmes
					Les industriels
					Les scientifiques
					Autre :

Question 10. De la même façon, selon vous, qui devrait agir principalement pour améliorer la situation : élus locaux, l'Etat, les associations, les individus eux-mêmes, les industriels, les scientifiques, autre ?

Parmi les réponses ci-dessus, citez les trois qui vous paraissent les plus importantes

1.
2.
3.

Question 11. Dans votre ville, vous sentez-vous bien informé sur cette thématique de la pollution de l'air ?

Cochez le rond correspondant à votre réponse

Oui
 Plutôt oui
 Plutôt non
 Non
 Sans opinion

Citez vos sources principales d'information :

Question 12. Quelles sont vos propositions pour lutter contre la pollution dans votre ville ?

Réponse libre.....

Pour mieux vous connaître...

Question 13. Quel âge avez-vous ? :

- Une femme âgée de
 Un homme âgé de

Question 14. Avez-vous des enfants ?

- Oui. Quel âge ? Non

Question 15. Votre lieu d'habitation :

Où habitez-vous (commune et nom de la rue).....

Depuis combien de temps ?

Voyez-vous des usines de votre domicile ?

Si oui lesquelles ?.....

Question 16. Votre origine géographique :

Où êtes-vous né (commune, département) ?

Vos parents sont ou étaient-ils originaires de la région ?

Si oui où travaillaient-ils ?

Question 17. Quelle est votre profession ? *Cochez la case correspondante*

<input type="checkbox"/>	Agriculteur
<input type="checkbox"/>	Commerçant, artisan
<input type="checkbox"/>	Cadre
<input type="checkbox"/>	Profession intermédiaire
<input type="checkbox"/>	Employé
<input type="checkbox"/>	Ouvrier
<input type="checkbox"/>	Etudiants

<input type="checkbox"/>	Sans emploi Quelle profession aviez-vous lorsque vous étiez actif (active) ?
<input type="checkbox"/>	Retraité Quelle profession aviez-vous lorsque vous étiez actif (active) ?

Question 18. Quel est votre niveau d'études/le dernier diplôme obtenu ?

Question 19. Faites-vous partie d'une association ?

- Oui Non

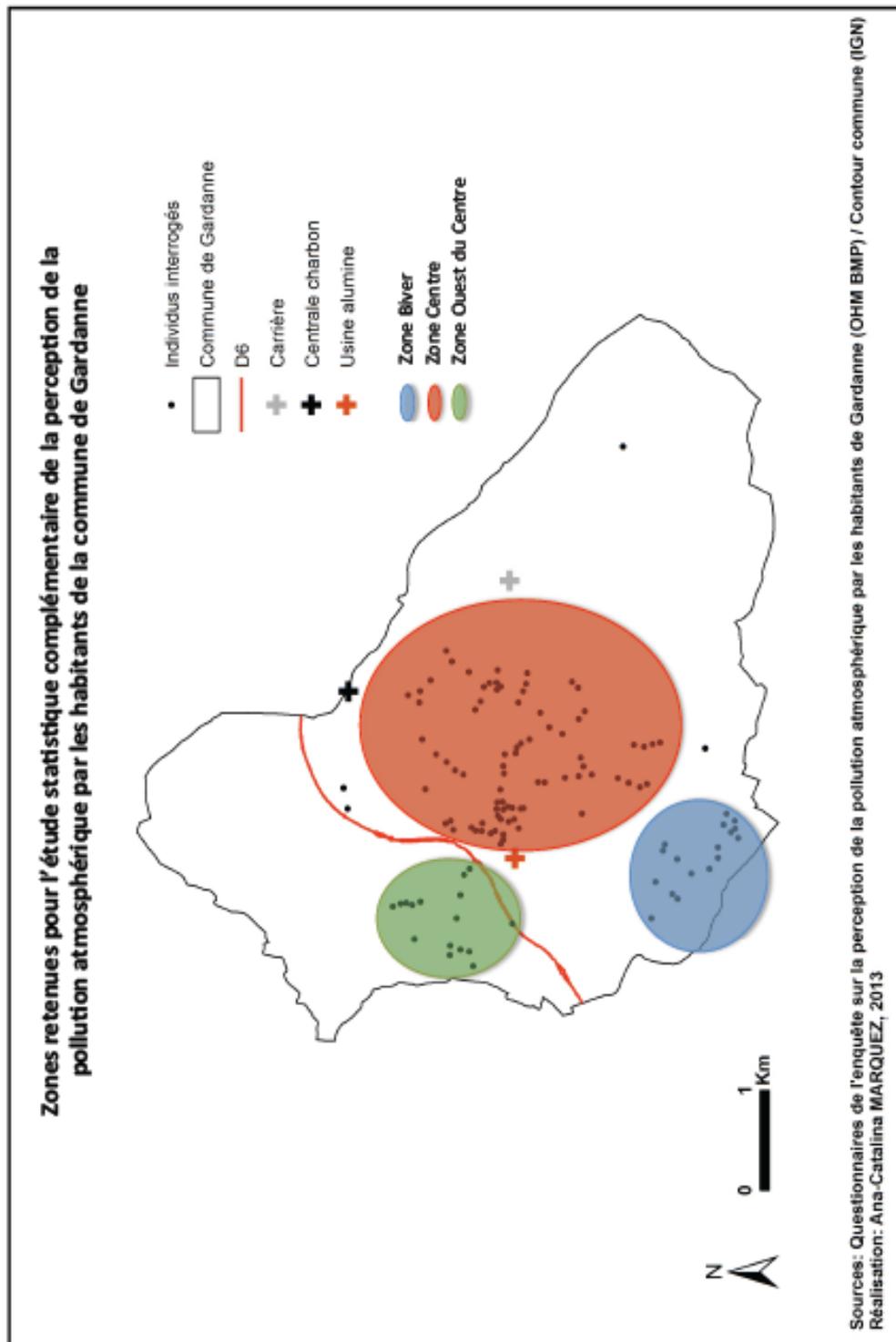
Laquelle (précisez sa nature) ? :.....

Contacts : Pour plus de renseignements sur l'enquête et sur le thème, vous pouvez nous contacter à l'adresse suivante : particules.bmp@gmail.com ou téléphoner au 06 20 44 83 95 tous les jours entre 19h et 20h

Merci de votre participation. Vous pouvez nous faire part de vos commentaires :

.....

Annexe 4 : Localisation des zones sélectionnées pour l'étude statistique des questionnaires



Annexe 5 : Publications et Communications sur le projet PACTES-BMP

Revues internationales :

Noack Y., Robert S., Bley D., Lozano P., Gille G., Capezza S. (2012). Étude et évaluation multidisciplinaire de la pollution atmosphérique particulaire en milieu périurbain : le projet PACTES-BMP. Méthodologie et premiers résultats. *Sud-Ouest Européen*, 33, 77-88

Congrès :

Bley D., Mbetoumou M., Noack Y., Robert S., Vernazza-Licht N. (2013). La pollution de l'air dans les centres urbains : entre environnement et santé, entre perceptions et mesures. *Colloque International « Dynamiques urbaines et enjeux sanitaires »*, 11-13 Septembre 2013, Nanterre, France.

Noack Y., Miche H., Gille G., Blouvac C., Lozano D., Soubise J. (2012). Particulate atmospheric pollution around an alumina factory, Gardanne, SE France. *9th Intern. Symp. Environ. Chem., Aveiro, Portugal, 15-21 July 2012*, Abstract, p. 112

Noack Y., Leoni C., Robert S., Reis A.P., Patinha C., Fleury J. (2012). Tree leaves as indicators of dispersion of a particulate atmospheric pollution. *9th Intern. Symp. Environ. Chem., Aveiro, Portugal, 15-21 July 2012*, Abstract, p. 250

Plumejeaud S., Bonnefoy A., Noack Y., Robin D., Doumenq P., Chaspoul S., Tassistro V., Botta A., Orsière T. (2013). Chemical characterization and chromosome damaging effects of lipophilic fraction of fine particles (PM_{2.5}) collected in the mining area of Provence. *German-French DNA Repair Meeting on Epigenetics and Genome Integrity*, 7-10 October 2013, Illkirch, France

Reis A.P., Patinha C., Noack Y., Robert S., Dias A.C. (2012). Assessing human health and exposure through dust ingestion in the Bassin Minier de Provence, France. *9th Intern. Symp. Environ. Chem., Aveiro, Portugal, 15-21 July 2012*, Abstract, p. 62

Les séminaires de l'OHM BMP :

2009 : Particules atmosphériques sur le bassin minier de Provence : exemple des particules sédimentables (<https://www.ohm-provence.org/IMG/pdf/noackpdf-f2bf2b8.pdf>)

2010 : Particules atmosphériques sur le bassin minier de Provence : 2ème épisode (<https://www.ohm-provence.org/IMG/pdf/noackpdf-7537534.pdf>)

2011 : Particules atmosphériques sur le bassin minier de Provence : mesures et caractérisation géochimiques (https://www.ohm-provence.org/IMG/pdf/noack_2011pdb7f6.pdf)

2011 : La pollution atmosphérique perçue par les populations : exemple du bassin minier de Provence (https://www.ohm-provence.org/IMG/pdf/labeur-bley_149e.pdf)

Travaux universitaires :

- 4 Masters
- 4 stages Licence ou Master 1
- 1 thèse démarrée en Janvier 2013

Communications grand public:

Le film du CNRS :

<http://videotheque.cnrs.fr/video.phphttp://?urlaction=visualisation&method=QT&action=visu&id=2962&type=grandPublic>

- Conférence Médiathèque Gardanne, 26/02/2010
- Fête de la Science, Gardanne, Octobre 2011
- Conférence Ville de Trets, 26/10/2011
- Commission Environnement CPA, 13/03/2012
- CLC Ciments Lafarge, 12 Juin 2013

La presse :

- CNRS-Info, 15/12/2010
- France Info, 25/12/2010
- LCM, 28/12/2010
- LCM, 03/01/2011
- AEDD, 31/01/2011
- Objectif Méditerranée, février 2011
- La Provence, 31/10/2011

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) est un établissement public sous la triple tutelle du ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et du ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie. Elle participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable.

Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr

ABOUT ADEME

The French Environment and Energy Management Agency (ADEME) is a public agency under the joint authority of the Ministry for Ecology, Sustainable Development, Transport and Housing, the Ministry for Higher Education and Research, and the Ministry for Economy, Finance and Industry. The agency is active in the implementation of public policy in the areas of the environment, energy and sustainable development.

ADEME provides expertise and advisory services to businesses, local authorities and communities, government bodies and the public at large, to enable them to establish and consolidate their environmental action. As part of this work the agency helps finance projects, from research to implementation, in the areas of waste management, soil conservation, energy efficiency and renewable energy, air quality and noise abatement.

www.ademe.fr.



ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

www.ademe.fr

