

qualité

protection

informer

évaluation

particules

ozone

SO₂

www.airaq.asso.fr
AIRAQ - Surveillance de la qualité de l'air en Aquitaine
13, allée J. Watt - Parc d'activités Chemin Long - 33692 Mérignac Cedex
Tél. 05 56 24 35 30 - Fax 05 56 24 24 06



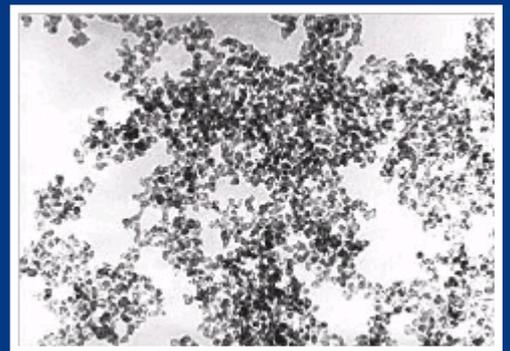
A I R A Q
Airmo Aquitaine

Rapport n° ET/PE/16/01

Campagne de mesures :

Mesures exploratoires de PUF (Particules Ultra-Fines) en
Aquitaine

Sites de Talence (33) et Mourenx (64)



Mesures exploratoires de PUF (Particules Ultrafines) en Aquitaine Sites de Talence (33) et Mourenx (64)

Rédaction	Pierre-Yves GUERNION, Responsable Études
Vérification	Olivier LE BIHAN, LCSQA-INERIS
Approbation	Patrick BOURQUIN, Directeur
Date	26/11/2015
Référence	Rapport n° ET/PE/16/01
Nombre de pages	54



SOMMAIRE

GLOSSAIRE	3
AVANT-PROPOS	4
REMERCIEMENTS	5
INTRODUCTION	6
I. LES PARTICULES	7
I.1. LES PARTICULES PRIMAIRES.....	7
I.2. LES AEROSOLS SECONDAIRES.....	8
I.3. COMPOSITION CHIMIQUE DES PARTICULES : GENERALITES.....	9
I.4. EFFETS SUR LA SANTE	9
I.5. REGLEMENTATION.....	10
I.6. METROLOGIE DES PARTICULES	11
I.6.1. Métrologie des PM10/PM2.5.....	11
I.6.2. Comptage des particules.....	12
I.6.3. Granulomètres	13
II. CALENDRIER DES MESURES REALISEES	15
III. RESULTATS DES MESURES DE PUF	17
III.1. STATISTIQUES ELEMENTAIRES.....	17
III.2. PROFILS MOYENS JOURNALIERS	24
III.3. LIEN AVEC LES AUTRES POLLUANTS MESURES.....	34
III.3.1. Site de Talence	34
III.3.2. Site de Mourenx	36
III.4. PERIODE HIVERNALE : ZOOM SUR TALENCE.....	38
III.5. PERIODE PRINTANIERE : CAS D'UN PIC DE POLLUTION AUX PARTICULES SECONDAIRES	40
III.6. PERIODE ESTIVALE : ZOOM SUR LES PROCESSUS CHIMIQUES ET PHOTOCHIMIQUES	42
III.6.1. Site de Talence	42
III.6.2. Site de Mourenx	43
III.7. LIEN AVEC LE SO ₂ : SITE DE MOURENX	44
CONCLUSION	45
ANNEXES	46

GLOSSAIRE

$\mu\text{g}/\text{m}^3$: l'unité de mesure est le microgramme par mètre cube d'air ($1\mu\text{g} = 0,000\ 001\text{g}$).

AASQA : Association Agréée pour la Surveillance de la Qualité de l'Air. Pour en savoir plus : <http://www.airaq.asso.fr/airaq/dispositif-national-et-regional/55-national.html> (A noter: Air PACA et Air Rhône-Alpes : AASQAs des régions éponymes, Airparif : AASQA de la région Île-de-France)

AIS/AOS : Aérosols Inorganiques/Organiques Secondaires : particules créées à partir de polluants gazeux présents dans l'atmosphère, par des réactions chimiques de nucléation, condensation..., à l'inverse des particules primaires, directement émises sous forme de particules en sortie de cheminée, pot d'échappement...

NO : formule chimique du monoxyde d'azote.

NO₂ : formule chimique du dioxyde d'azote.

NOx : terme désignant les oxydes d'azote (NO + NO₂)

Objectif de qualité : niveau de concentration fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement dans son ensemble, à atteindre, si possible.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

nm : nanomètre, soit 10^{-9}m , ou 0,000 000 001 m.

p/cm³ : nombre de particules par centimètre cube d'air. Unité usuellement utilisée dans le domaine du comptage des particules.

Percentile (ou centile) : En statistique descriptive, un percentile est chacune des 99 valeurs qui divisent les données triées en 100 parts égales, de sorte que chaque partie représente 1/100 de l'échantillon de population. Par exemple, si on regarde la répartition des revenus de la population, le 90^{ème} percentile représente la valeur pour laquelle 90 % de la population gagne moins que ce revenu, et 10 % de la population gagne plus que ce revenu.

PM10/PM2.5/PM1/PM0.1 : particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à $10\ \mu\text{m}/2.5\ \mu\text{m}/1\ \mu\text{m}/0.1\ \mu\text{m}$.

PM_{ff} : PM fossil fuel. Particules issues de la combustion de combustibles fossiles.

PM_{wb} : PM wood burning. Particules issues de la combustion de biomasse.

PUF : particules ultrafines (par convention, équivalent aux PM0.1).

SO₂ : terme désignant le dioxyde de soufre

Station de proximité automobile : L'objectif de ces stations est de fournir des informations sur les concentrations mesurées dans les zones représentatives du **niveau maximum d'exposition** auquel la population est susceptible d'être exposée à **proximité des infrastructures routières importantes**.

Station de proximité industrielle : L'objectif de ces stations est de fournir des informations sur les concentrations mesurées dans les zones représentatives du **niveau maximum d'exposition** auquel la population **riveraine d'une source fixe** est susceptible d'être exposée par des phénomènes de panache ou d'accumulation.

Station urbaine de fond : Situées dans des quartiers densément peuplés (entre 3 000 et 4 000 habitants/km²) et à distance de sources de pollution directes, l'objectif de ces stations est le suivi du niveau d'exposition moyen de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dits de « fond » dans les centres urbains.

Valeur cible : valeur fixée dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement dans son ensemble, à atteindre, dans la mesure du possible dans un délai donné.

Valeur limite : valeur à ne pas dépasser dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances pour la santé humaine ou pour l'environnement dans son ensemble.

AVANT-PROPOS

AIRAQ fait partie du dispositif français de surveillance et d'information sur la qualité de l'air. Sa mission s'exerce dans le cadre de la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996 et de ses décrets d'application. À ce titre et compte tenu de ses statuts, AIRAQ est garant de la transparence de l'information sur les résultats de ces travaux selon les règles suivantes :

- AIRAQ est libre de leur diffusion selon les modalités de son choix : document papier, communiqué, résumé dans ses publications, mise en ligne sur son site Internet.
- Les données contenues dans ce rapport restent la propriété d'AIRAQ.
- AIRAQ s'engage à proposer en téléchargement sur son site Internet la dernière version de ses rapports d'étude. Il est de la responsabilité du lecteur de s'assurer qu'il a bien en sa possession la version à jour du document.
- Toute utilisation partielle ou totale de ce document doit faire référence à AIRAQ et au titre complet du rapport. AIRAQ ne saurait être tenue responsable des interprétations, travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux pour lesquels l'association n'aura pas donné d'accord préalable.

REMERCIEMENTS

Ce projet a été réalisé dans le cadre du Plan Régional Santé Environnement 2009-2013 de la région Aquitaine. Il a été cofinancé par :

- La DREAL Aquitaine
- 4 industriels de la plate-forme industrielle de Lacq, à savoir ARKEMA Lacq, ARKEMA Mont, SOBEGI et TEPF
- Et AIRAQ

L'exploitation des données a été réalisée conformément aux recommandations du GT PUF (groupe de travail national particules ultrafines) dépendant du LCSQA (Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air) et a été enrichie grâce aux échanges avec les différents membres de ce groupe de travail, à savoir :

- Air PACA (AASQA de la région PACA)
- Air Rhône-Alpes (AASQA de la région Rhône-Alpes)
- Airparif (AASQA de la région Ile-de-France)
- Le LCSQA-INERIS
- Le LSTE (Laboratoire Santé Travail Environnement) de l'ISPED-Université de Bordeaux

AIRAQ remercie l'ensemble de ces acteurs de leur implication dans ce projet exploratoire et précurseur.

INTRODUCTION

En charge de la surveillance de la qualité de l'air en Aquitaine, AIRAQ dispose d'un réseau de stations fixes implantées sur l'ensemble de la région afin de suivre en continu l'évolution des polluants réglementés.

Parmi ces polluants réglementés, les particules portent un intérêt particulier du fait :

- De leur impact avéré sur la santé
- Des dépassements récurrents de valeur limite sur le territoire français (dont l'agglomération bordelaise sur la période 2007-2010),
- De leurs origines multiples (trafic, chauffage, agriculture, particules d'origine secondaire...)

Concernant ces particules, la réglementation en air ambiant a historiquement été basée sur la masse de particules présente dans l'air, et ce, du fait des technologies métrologiques disponibles. La directive 1996/62/CE a ainsi focalisé les efforts sur les PM₁₀, soit les particules d'un diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm. La directive 2008/50/CE a ensuite complété la réglementation sur les particules plus fines, à savoir les PM_{2.5} (particules d'un diamètre aérodynamique inférieur à 2.5 µm).

Depuis quelques années, l'impact sanitaire des particules ultrafines (PUF particules nanométriques de diamètre inférieur à 100 nm) est de plus en plus étudié, tant à travers les études de panel que dans les études cliniques expérimentales. Ainsi, selon le rapport final du projet REVIHAAP¹ de l'OMS, un nombre croissant de publications, même si encore limité, apporte l'évidence épidémiologique sur l'association entre des expositions à court terme aux particules ultrafines et la santé cardiorespiratoire ou celle du système nerveux. Des études cliniques et toxicologiques ont également montré que les PUF agissent par des mécanismes qui se différencient par rapport aux plus grosses particules, comme les PM_{2.5} ou les PM₁₀, qui dominent la mesure en masse. Aussi, en prenant en considération les améliorations récentes en terme de métrologie de ces particules, il est nécessaire de disposer d'observatoires des PUF dans l'air ambiant afin de pouvoir produire des données de mesures qui pourront à la fois mieux caractériser l'exposition des populations, et aussi être utilisées dans des études épidémiologiques.

Dans ce contexte, AIRAQ a mené, dans le cadre du Plan Régional Santé Environnement 2009-2013 d'Aquitaine des mesures exploratoires de particules ultrafines sur deux de ses stations de mesures, à savoir :

- La station urbaine de fond de Talence, située dans l'agglomération bordelaise, et qui est la station de référence d'AIRAQ pour tous les projets ayant attrait aux particules,
- La station de proximité industrielle de Mourenx, située sur la plate-forme de Lacq.

Les objectifs principaux de ce projet sont donc les suivants :

- Mettre en œuvre et évaluer une solution métrologique des particules ultrafines, choisie de concert dans le cadre du GT PUF
- Disposer de premières mesures de particules ultrafines en Aquitaine
- Contribuer à la création d'une base de données nationale sur cette thématique

Les objectifs secondaires envisagés dans ce projet sont les suivants :

- Identifier des caractéristiques spécifiques à chacun des sites, de typologies différentes (urbain de fond et industriel)
- Comprendre les interactions qui existent entre les PUF et les autres polluants réglementés
- Essayer de caractériser des phénomènes de formation de particules ultrafines

Les travaux préparatoires du GT, ayant mené au choix du matériel à mettre en œuvre s'étant terminé début 2012, les mesures ont donc pu par la suite être initiées cette même année. L'objectif de ce rapport est donc de faire une synthèse des résultats obtenus depuis cette date, selon les recommandations du GT PUF.

¹ http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report-final-version.pdf

I. LES PARTICULES

Parmi les particules en suspension (ou aérosols) que l'on retrouve dans l'air ambiant, on distingue habituellement les particules primaires et les particules d'origine secondaire². Ces particules sont également classées en différentes catégories en fonction de leur taille :

- Les particules en suspension, de diamètre inférieur à 10 μm (soit PM10)
- Les particules fines, de diamètre inférieur à 2.5 μm (soit PM2.5)
- Les particules submicroniques, de diamètre inférieur à 1 μm (soit PM1)
- Les particules ultrafines (ou PUF), de diamètre aérodynamique inférieur à 0.1 μm (soit PM0.1)³

Comme des poupées gigognes, ces différentes catégories s'imbriquent les unes dans les autres, à savoir que les PM0.1 font partie des PM1, qui font elles-mêmes partie des PM2.5, qui font elles-mêmes partie des PM10.



Figure 1 : Représentation schématique des différentes classes de particules

I.1. Les particules primaires

On qualifie d'aérosols primaires les particules qui sont émises directement sous forme solide. Leur taille est variable, généralement de 0.1 à quelques dizaines de microns de diamètre. Leur composition chimique reflète celle de la source dont ils sont originaires. Les principales sources d'aérosols primaires sont :

- les sources terrigènes (poussières éoliennes)
- la source marine (particules liquides soulevées par le vent et desséchées dans l'air)
- les volcans
- les sources anthropiques (d'origine humaine) telles que les combustions diverses (chauffage, trafic routier, autres transports...), les processus industriels, l'exploitation de carrières et gravières, l'agriculture...

² Source : http://omer7.pole-ether.fr/fiches/POLLUANTS/P15_chimie_aerosols_final.pdf

³ Rapport AnSES « Évaluation des risques liés aux nanomatériaux pour la population générale et pour l'environnement » - Mars 2010

En 2012, les émissions de PM10 primaires ont été estimées en Aquitaine à 20 626 tonnes et les émissions de PM2.5 à 12 654 tonnes, avec les répartitions suivantes :

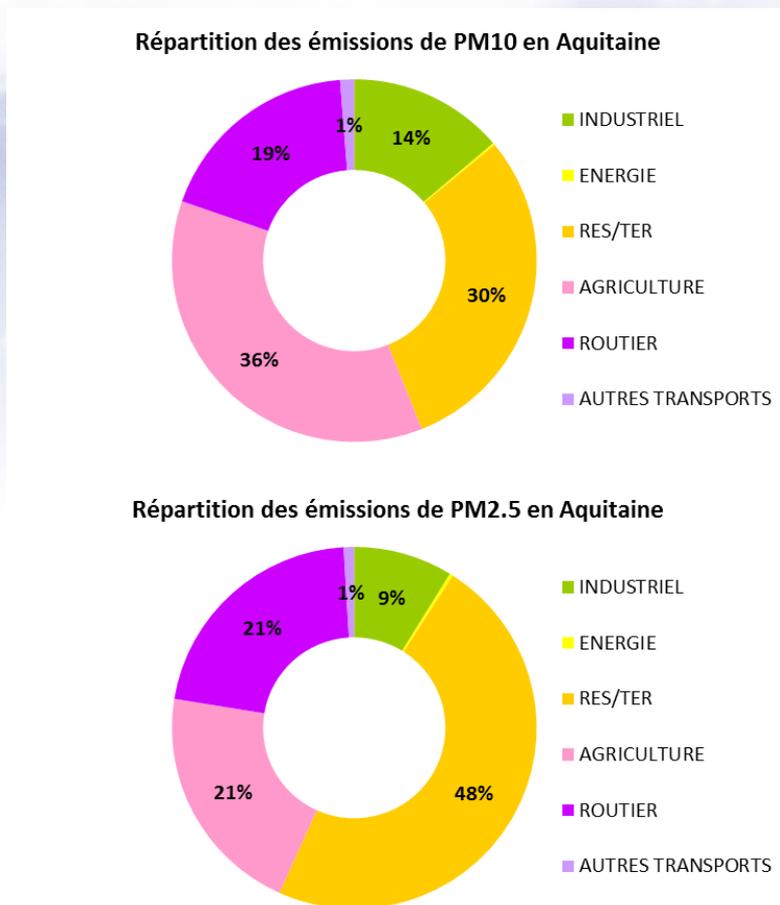


Figure 2 : Répartition des émissions de particules en suspension PM10 et de particules fines PM2.5 en Aquitaine en 2012 (AIRAQ – Inventaire 2012 v1.1)

Le secteur résidentiel/tertiaire, l'agriculture et le transport routier sont considérés comme les trois principaux émetteurs de PM10 primaires avec une contribution respective de 36 %, 30 % et 19 %. Le secteur industriel, dans une moindre mesure avec 14 % en 2012 est également à l'origine d'émissions de PM10 en Aquitaine.

1.2. Les aérosols secondaires

Les aérosols secondaires sont formés, comme leur nom l'indique, a posteriori dans l'atmosphère, à partir de composés gazeux. Ces processus de nucléation conduisent à la formation d'embryons de très petite taille qui grossissent par divers processus de condensation et coalescence pour donner naissance à de très petites particules : les noyaux d'Aitken (quelques nanomètres de diamètre) appartenant au mode de nucléation. La nucléation de particules solides ou liquides à partir de précurseurs gazeux ou ioniques est le mécanisme de base de la formation de nouvelles particules dans l'atmosphère. Les particules formées sont ultra-fines et par conséquent difficiles à détecter, mais très nombreuses et donc susceptibles d'avoir un impact radiatif et/ou sanitaire considérable. Leur masse reste suffisamment faible pour qu'elles puissent diffuser dans l'atmosphère. En masse, les aérosols primaires sont prépondérants, cependant le temps de résidence dans l'atmosphère des aérosols secondaires et leur grand nombre permet leur transport sur de longues distances et suppose donc des interactions durables à la fois radiatives ou chimiques.

Il est également à noter qu'une fraction secondaire peut également se trouver dans la phase plus grossière des particules, en particulier lorsque cette fraction se forme par condensation sur des particules primaires pré-existantes. Un exemple courant est le cas de la fraction nitrate d'ammonium des particules, qui peut se former de cette manière au sein de la fraction fine (PM_{2.5}). A noter que le nitrate peut également se retrouver en partie sur la fraction dite des PM « coarse », soit la fraction comprise entre 2.5 et 10 µm, par mécanismes acido-basiques en présence de particules naturelles (poussières terrigènes ou sels marins).

1.3. Composition chimique des particules : généralités

La composition chimique des aérosols est extrêmement variable selon la proximité des principales sources (marine, terrigène, végétation, pollution urbaine ou industrielle) et les transformations physico-chimiques subies au cours de leur transport.

De façon générale, ces particules peuvent être constituées :

- d'une fraction organique : composée de Matière Organique Particulaire (notée POM pour Particulate Organic Matter), incluant des chaînes carbonées à divers degrés d'oxydation (plus ou moins d'atome d'oxygène présents dans la structure moléculaire) issue de processus de combustion incomplets et de Carbone Suie (noté BC pour Black Carbon ou EC pour Elemental Carbon). Le carbone suie est constituée quasi-exclusivement d'atomes de carbone, à l'image du graphite du carbone. Il constitue la forme résiduelle la plus réduite après combustion.
- d'une fraction inorganique : des nitrates, des sulfates, de l'ammonium, du calcium, du magnésium, du potassium, du sodium, du chlore, etc. dans des proportions plus ou moins importantes en fonction de la source influente
- des éléments métalliques majeurs (tels que l'aluminium, le fer ou la silice retraduisant l'influence d'aérosols terrigènes) ou à l'état de traces du fait de leur présence en faible quantité dans l'aérosol comme par exemple les métaux lourds (plomb, chrome, nickel, etc ...).

1.4. Effets sur la santé⁴

Aux concentrations auxquelles sont exposées la plupart des populations urbaines et rurales des pays développés et en développement, les particules ont déjà des effets nuisibles sur la santé. L'exposition chronique contribue à augmenter le risque de contracter des maladies cardiovasculaires et respiratoires, ainsi que des cancers pulmonaires. Dans les pays en développement, l'exposition aux polluants émis en brûlant des combustibles solides à l'intérieur des habitations sur des foyers ouverts ou dans des fourneaux traditionnels augmente le risque d'infections aiguës des voies respiratoires inférieures et la mortalité qui s'y associe chez le jeune enfant.

Cette pollution représente également un risque majeur de maladies respiratoires obstructives chroniques et de cancer du poumon chez l'adulte. Dans les villes où l'on observe des niveaux de pollution élevés, la mortalité dépasse de 15 à 20% celle enregistrée dans d'autres villes où l'air est relativement plus sain. Même dans l'Union européenne, l'exposition aux PM_{2.5} produites par les activités humaines réduit en moyenne l'espérance de vie de 8,6 mois.

A noter que plus les particules sont fines, plus elles pénètrent loin dans les voies respiratoires et dans l'organisme, et donc plus elles sont dangereuses pour la santé, d'autant plus que les particules les plus fines peuvent véhiculer des molécules toxiques.

⁴ Source : OMS (Organisation Mondiale de la Santé)

I.5. Réglementation

Comme indiqué précédemment, à l'heure actuelle, aucun seuil n'a été établi en dessous duquel les particules n'auraient pas d'effet sur la santé. Aussi, en terme de santé publique, l'objectif est de parvenir à la plus faible concentration possible. Dans ce cadre, l'OMS a fixé des recommandations, qui représentent un objectif acceptable et réalisable pour réduire le plus possible les effets sanitaires en fonction des limitations locales, des moyens disponibles et des priorités de la santé publique.

Les particules en suspension - PM10	
Moyenne sur 24 h	50 µg/m ³
Moyenne annuelle	20 µg/m ³
Les particules fines – PM2.5	
Moyenne sur 24 h	25 µg/m ³
Moyenne annuelle	10 µg/m ³

Tableau 1 : Synthèse des valeurs-guides de l'OMS pour les PM10 et les PM2.5

La réglementation européenne, dont est inspirée la réglementation française, fixe des valeurs limites moins contraignantes que les valeurs guides de l'OMS. Ce constat a été réitéré lors de la présentation du nouveau paquet « Air » par la Commission Européenne le 18/12/2013. Cependant, la Commission a estimé qu'un durcissement des valeurs limites actuelles ne serait pas efficace tant qu'il n'y aura pas de fortes baisses des émissions. Plusieurs Etats Membres de l'Union (dont la France) faisant face à des procédures d'infraction par rapport aux normes actuelles, la Commission a estimé contre-productif de fixer des normes plus sévères, et a décidé de mettre l'accent à court terme sur la réduction des émissions, tout en traçant la route d'un durcissement de la réglementation air ambiant dans un deuxième temps.

Les particules en suspension - PM10	
Seuil d'information et de recommandations	50 µg/m ³ en moyenne 24 h
Seuil d'alerte	80 µg/m ³ en moyenne 24 h
Valeurs limites	90,4 % des moyennes journalières doivent être inférieures à 50 µg/m ³ . (35 jours de dépassements autorisés)
	40 µg/m ³ pour la moyenne annuelle
Objectif de qualité	30 µg/m ³ pour la moyenne annuelle
Les particules fines – PM2.5	
Valeurs limites	26 µg/m ³ (année 2013) pour la moyenne annuelle
	25 µg/m ³ au 1 ^{er} janvier 2015 pour la moyenne annuelle
Valeur cible	20 µg/m ³ pour la moyenne annuelle
Objectif de qualité	10 µg/m ³ pour la moyenne annuelle

Tableau 2 : Valeurs réglementaires en vigueur pour les PM10 et les PM2.5 issues du décret 2010-1250

Il faut toutefois noter que la réglementation française présente certaines spécificités, s'inspirant des valeurs-guides de l'OMS. Ainsi, un seuil d'information pour les PM₁₀, fixé à 50 µg/m³ a été établi, en lien avec la valeur guide sur 24 h établie pour ce polluant de l'OMS. De même, un objectif de qualité de 10 µg/m³ a été fixé pour les PM_{2.5}. Ces deux valeurs réglementaires, ainsi que le seuil d'alerte, sont issues d'une réglementation spécifiquement française.

Les PUF, quant à elles, ne font l'objet d'aucune réglementation dans l'air ambiant. Cette absence de réglementation vient principalement du fait qu'elles sont encore actuellement mal documentées dans l'environnement, d'où la multiplication des projets au niveau européen et français visant à mieux les caractériser, et à mieux caractériser leur impact sur la santé.

I.6. Métrologie des particules

I.6.1. Métrologie des PM₁₀/PM_{2.5}

Plusieurs méthodes de mesure existent pour estimer les niveaux de particules dans l'air ambiant. Les normes existantes étant basées sur une masse de particules dans l'air ambiant, la méthode de référence pour mesurer les particules dans l'air ambiant est la méthode de gravimétrie. La mise en œuvre de cette méthode consiste à un prélèvement d'une quantité d'air connue sur un filtre, puis à une pesée en laboratoire. Cette méthode, très précise, possède comme inconvénient majeur le fait qu'elle ne produise pas de résultats instantanés, et n'est donc pas adaptée dans une logique de réseau de surveillance permanent.

Pour combler ce manque, plusieurs types d'analyseurs ont été développés. On retiendra principalement deux méthodes de mesures :

- La microbalance oscillante
- La jauge beta

Dans la microbalance, les particules sont collectées sur un filtre installé sur un système oscillant. La variation de fréquence du système oscillant est dépendante de la masse de particules prélevées. Aussi, le suivi en continu de la diminution de la fréquence de vibration de la microbalance permet l'estimation de la quantité de particules dans l'air ambiant.

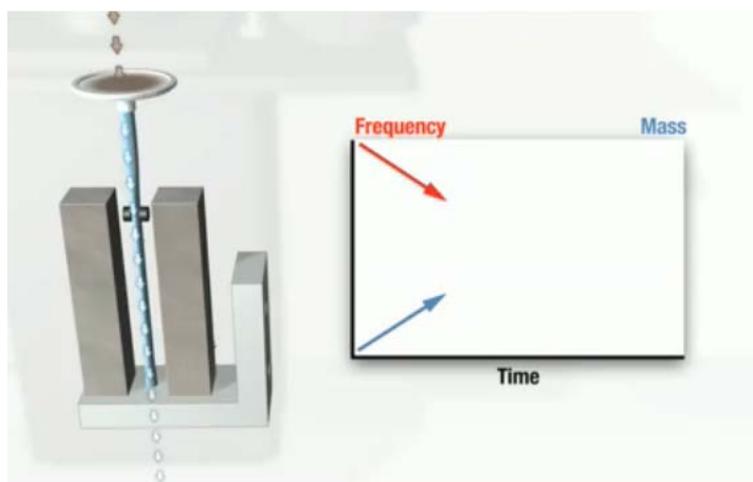


Figure 3 : principe de fonctionnement de la microbalance (source Thermo)

Dans la jauge beta, les particules sont prélevées sur une bande filtrante, sous la forme de « tâches ». La jauge beta est équipée d'une source radioactive, généralement de carbone 14, qui va émettre une quantité connue de rayonnement beta en direction de la tâche. Un récepteur, de l'autre côté de la tâche, va mesurer la quantité de rayonnement qui est passée au travers de la tâche. L'atténuation, i.e. la perte, de rayonnement observée, directement dépendante de la quantité de particules prélevée sur la tâche, permettra d'estimer la quantité de particules présente dans l'air ambiant.

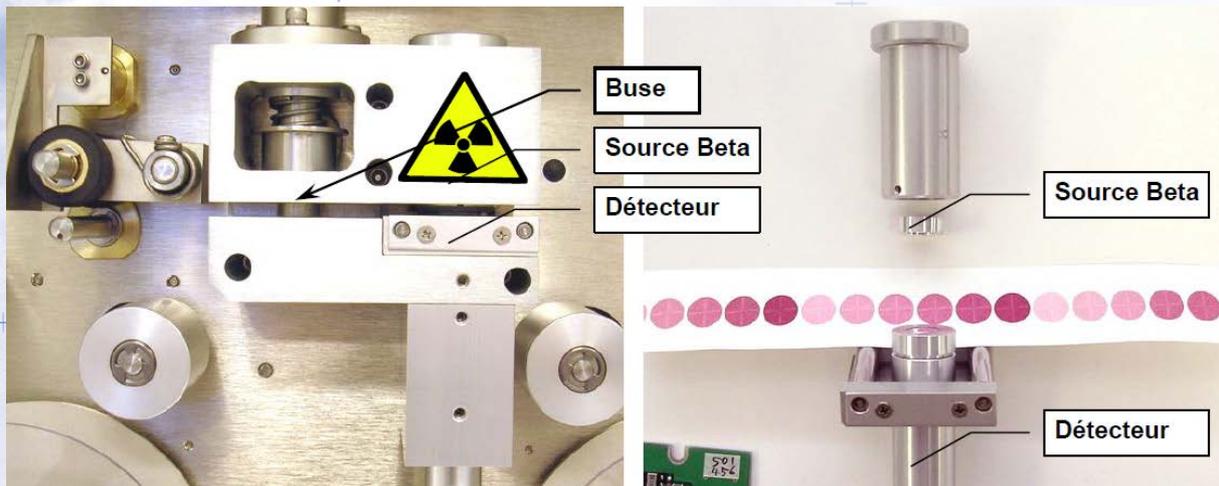


Figure 4 : principe de mesures de la jauge beta – cas du BAM1020 (source MetOne Instrument)

Ces méthodes de mesures, utilisées par différents constructeurs, ont pu démontrer leur équivalence à la méthode de référence, soit la gravimétrie, et peuvent donc dans ce cadre être utilisée pour réaliser les évaluations réglementaires de PM10 et PM2.5 dans l'air ambiant.

1.6.2. Comptage des particules

Depuis quelques années, d'autres méthodes de mesures des particules se développent de plus en plus, à savoir les compteurs de particules. Ces mesures sont des mesures optiques, et permettent donc de déterminer, comme leur nom l'indique, un nombre de particules dans l'air ambiant, mais ne permettent pas de déterminer la masse de particules. Certains appareils proposent toutefois des algorithmes permettant de l'estimer, sans toutefois que l'équivalence ne soit complètement démontrée. Ces analyseurs utilisent généralement un fluide qui est vaporisé, puis qui se condense sur les particules, pour en faciliter la détection.

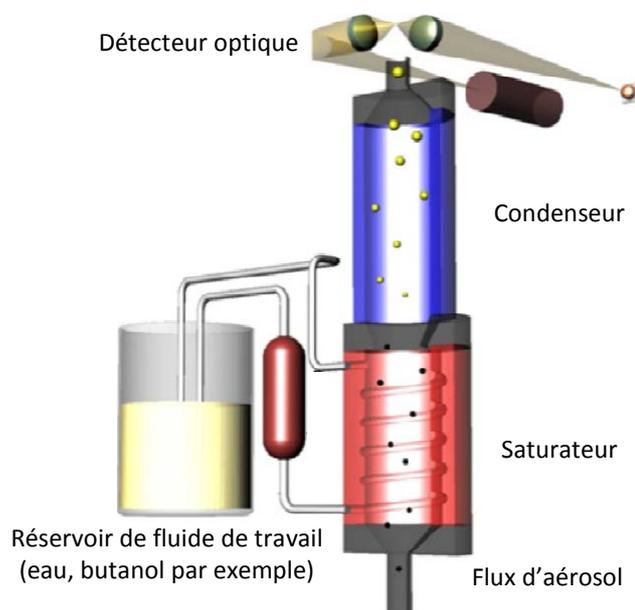


Figure 5 : principe de fonctionnement d'un compteur de particules (source ADDAIR)

I.6.3. Granulomètres

Les granulomètres représentent une évolution majeure par rapport aux compteurs de particules, dans le sens où ces appareils, non seulement mesurent un nombre de particules présentes dans l'air ambiant, mais permettent également de séparer ces particules en différentes fractions de taille, appelées classes. Initialement, les mesures ont principalement été réalisées à l'aide de technologies dites SMPS (pour Scanning Mobility Particle Sizer Spectrometer). Cette méthode possède l'avantage de pouvoir mesurer un nombre important de classes (64 classes différentes), et ce, dès 10 nm. Toutefois, cette technologie reste encore peu adaptée à un fonctionnement en réseau de surveillance, comme celui des AASQA, et a plutôt été développée pour une application en laboratoire.

Aussi, dans le cadre du GT PUF, le choix de l'instrument à mettre en œuvre s'est porté sur l'UFP3031, développé par TSI. Ce granulomètre, développé vers la fin des années 2000, possède pour avantage d'avoir été conçu dans un objectif de surveillance permanente, contrairement au SMPS. A titre d'exemple, il ne nécessite pas de produit de type butanol, a des fréquences de maintenance plus faibles, n'utilise pas de source radioactives...

A l'inverse, ses deux inconvénients majeurs par rapport au SMPS sont qu'il ne distingue que 6 classes de granulométrie différentes, et qu'il ne détecte que les particules supérieures à 20 nm, ce qui exclut de fait les particules les plus fines. Ainsi, les classes de granulométrie mesurées sont les suivantes :

- 20-30 nm
- 30-50 nm
- 50-70 nm
- 70-100 nm
- 100-200 nm
- 200-800 nm

Ainsi, l'UFP3031 permet de mesurer les PUF (jusqu'à 100 nm) mais aussi une les particules submicroniques (jusqu'à 800 nm).

Les Figure 6 et Figure 7 ci-après expliquent le schéma général de l'UFP 3031, et le schéma de la cellule de mesure.

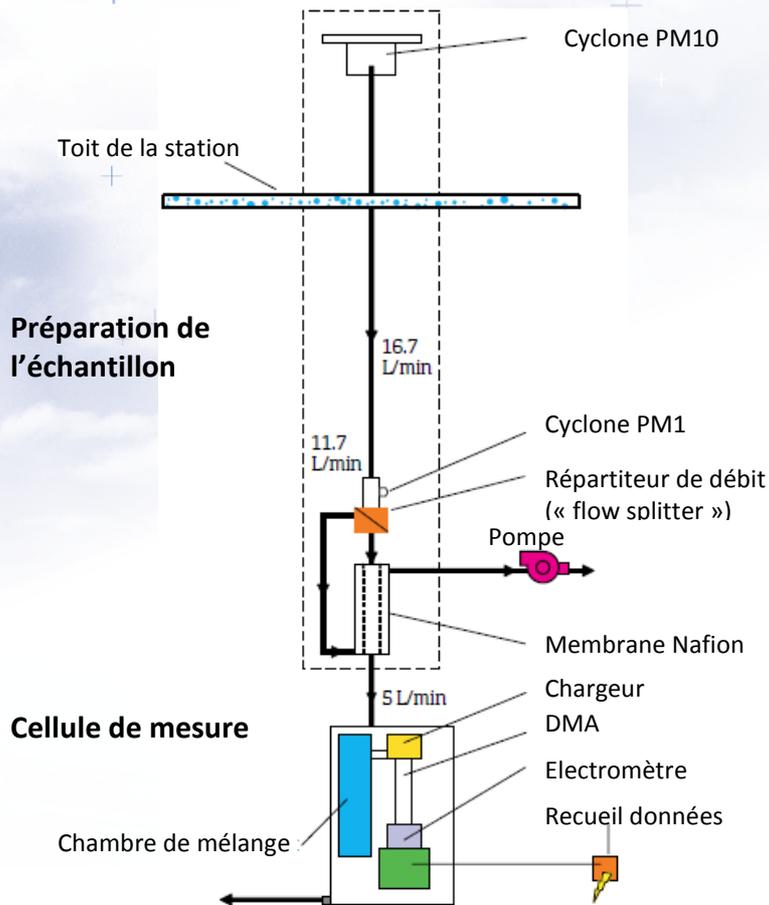


Figure 6 : principe de fonctionnement de l'UFP 3031 (source TSI)

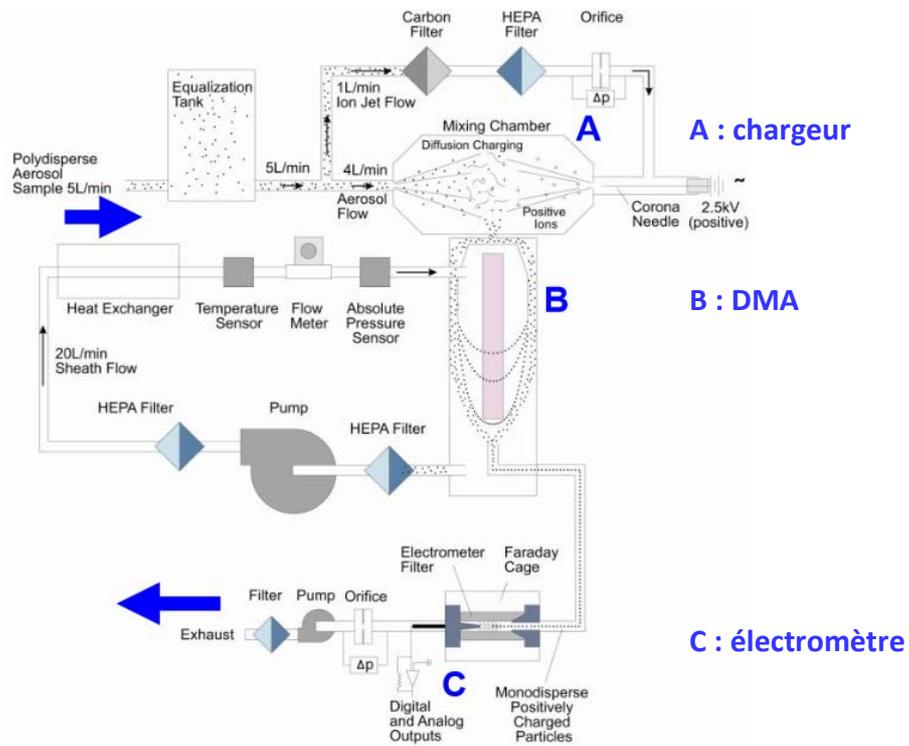


Figure 7 : schéma fluide de la cellule de mesure de l'UFP 3031 (source TSI)

Les éléments clés de l'appareil sont les suivants :

- Le chargeur (A) :

L'objectif du chargeur est de charger les particules électriquement afin de pouvoir plus facilement les séparer par classe par la suite. Pour ce faire, environ 20 % du flux d'air prélevé est filtré, épuré de ses particules, et est envoyé vers un ioniseur. Ce flux va ensuite être mélangé à contre-courant au flux principal, non filtré, afin de charger les particules. Le flux chargé d'aérosols polydispersés (i.e. contenant l'ensemble des classes mélangées) est ensuite orienté vers le DMA

- Le DMA (pour Differential Mobility Analyser) (B)

Le DMA est un système de deux cylindres métalliques, le cylindre intérieur étant sous haute tension. Le fait que le cylindre soit mis en tension négative, alors que le cylindre extérieur est relié à la terre entraîne la création d'un champ électrique entre les deux cylindres. Ce champ attire alors les particules, chargées positivement vers le cylindre intérieur, selon un parcours parabolique.

Pour une tension donnée, seule une classe de particules pourra atteindre la canne qui relie le DMA à l'électromètre. C'est donc ce système qui permet de passer d'un aérosol polydispersé (toutes classes mélangées) à un aérosol monodispersé (i.e. une seule classe granulométrique). Etant donné que la tension varie, chaque classe est caractérisée de manière séquentielle dans l'appareil.

- L'électromètre (C)

Après avoir quitté le DMA, l'aérosol est dirigé vers une cage de Faraday où les particules chargées électriquement sont collectées sur un filtre, lui-même conducteur. Ce filtre est lui-même connecté à un électromètre.

Ainsi, des séquences de mesures sont réalisées en :

- Faisant varier la tension appliquée au DMA
- Mesurant le courant associé à chaque tension

Il est ainsi possible de déterminer le nombre de particules pour chacune des 6 classes. Chaque cycle complet de mesures dure environ 10 minutes, plus 1 minute de blanc entre deux cycles.

II. CALENDRIER DES MESURES REALISEES

Dans le cadre de ce projet, AIRAQ a fait l'acquisition de deux UFP3031 en 2012, qui ont été implantés sur les sites de Talence et Mourenx. Les périodes de mesures sont précisées dans le Tableau 3. Etant donné qu'un des objectifs du programme consistait également en une validation de la métrologie, des périodes d'indisponibilité des appareils ont été observés, principalement pour la réalisation de campagne d'intercomparaison entre les différents analyseurs acquis dans ce cadre par les AASQAs partenaires du GT. Ces intercomparaisons ont également coïncidé avec les périodes de maintenance annuelle des appareils.

Site	Talence	Mourenx
Typologie	Fond urbain	Proximité industrielle
Zone	Bordeaux (33)	ZI de Lacq (64)
Période 1	02/08/12-30/10/12	01/08/12-04/09/12
Période 1bis	30/10/12-07/12/12	04/09/12-07/12/12
SAV/Intercomparaison 2013	07/12/12-01/04/13	07/12/12-01/04/13
Période 2	18/04/13-28/04/14	05/04/13-25/04/14
SAV/Intercomparaison 2014	01/05/2014-01/09/2014	01/05/2014-01/09/2014
Période 3	05/09/14-26/04/15	14/10/14-26/04/15
Autres polluants d'intérêts pris en référence	O ₃ , NOx PM10, PM2.5, PM10nv PMwb et PMff (depuis nov. 2014)	SO ₂ , NOx PM10 pris en référence sur station Labastide-Cézéracq

Tableau 3 : résumé des mesures

Comme indiqué dans le Tableau 3, l'instrumentation étant encore en début d'exploitation, plusieurs campagnes d'intercomparaison des différents appareils UFP3031 français ont été programmées et pilotées par le LCSQA-INERIS pendant la période 2012-2015. L'objectif principal de ces campagnes était de s'assurer du bon fonctionnement des appareils et de leur intercomparabilité, afin d'augmenter le crédit et la confiance accordés à ces mesures.

Après une exploitation primaire des données, il a été décidé de conserver exclusivement, pour le site de Talence les périodes 1 et 3, et pour le site de Mourenx les périodes 2 et 3. Les autres données sont effectivement considérées avec un niveau de qualité plus faible, au vu de leurs principales caractéristiques, et des éventuelles dérives observées sur les analyseurs. Ainsi, environ 12 mois de données ont pu être exploités pour le site de Talence, et 18 mois pour le site de Mourenx, ce qui constitue une très bonne première base de travail. Les Figure 8 et Figure 9 ci-après présentent les localisations des stations de mesure dans leur environnement proche et lointain.



Figure 8 : localisation de la station urbaine de fond de Talence (agglomération bordelaise)



Figure 9 : localisation de la station de proximité industrielle de Mourenx (ZI de Lacq)

III. RESULTATS DES MESURES DE PUF

III.1. Statistiques élémentaires

Le Tableau 4 reprend les principales statistiques relevées sur les sites de Talence et Mourenx. Elles sont ensuite détaillées par trimestre, pour donner des indications sur la saisonnalité des PUF. En moyenne sur l'année, les niveaux de particules d'élèvent à environ 7 000 p/cm³ sur Talence, contre environ 4 200 sur Mourenx. La différence entre les deux sites est donc significative. Les niveaux sont plus élevés sur Talence quelle que soit la classe de particules concernée, mais cette différence est de plus en plus importante au fur et à mesure que l'on regarde les classes les plus grosses. Ainsi, sur la classe 20-30 nm, l'écart est d'environ 20 %, alors que l'on passe du simple au double pour les classes 100-200 nm et > 200 nm.

Année (p/cm ³)	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	> 200 nm	Somme PUF
Moyenne	1 167	1 352	1 108	1 150	1 578	589	6 943
Médiane	865	1 048	830	817	1 096	218	5 310
Max horaire	15 129	14 067	10 597	11 301	17 291	15 071	52 146
Centile 75	1 511	1 703	1 388	1 398	1 878	656	8 522
Centile 25	485	631	475	449	591	64	3 342
Max jour	3 048	3 849	3 080	3 983	8 524	5 801	23 483

Année (p/cm ³)	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	> 200 nm	Somme PUF
Moyenne	966	940	643	620	831	234	4 227
Médiane	416	572	466	464	613	121	3 052
Max horaire	42 828	31 152	15 183	11 674	8 742	6 792	84 910
Centile 75	882	1 046	793	796	1 096	294	5 043
Centile 25	206	302	235	220	280	49	1 690
Max jour	7 701	4 859	2 578	2 891	3 986	1 744	15 598

Tableau 4 : Statistiques élémentaires sur Talence (à gauche) et Mourenx (à droite) – Données annuelles

Dans le cadre du GT PUF, un échange sur ces statistiques élémentaires produites à partir des mêmes appareils a été réalisé entre AIRAQ, Air PACA et Air Rhône-Alpes. Ces éléments sont présentés dans les Figure 10 et Figure 11 ci-après.

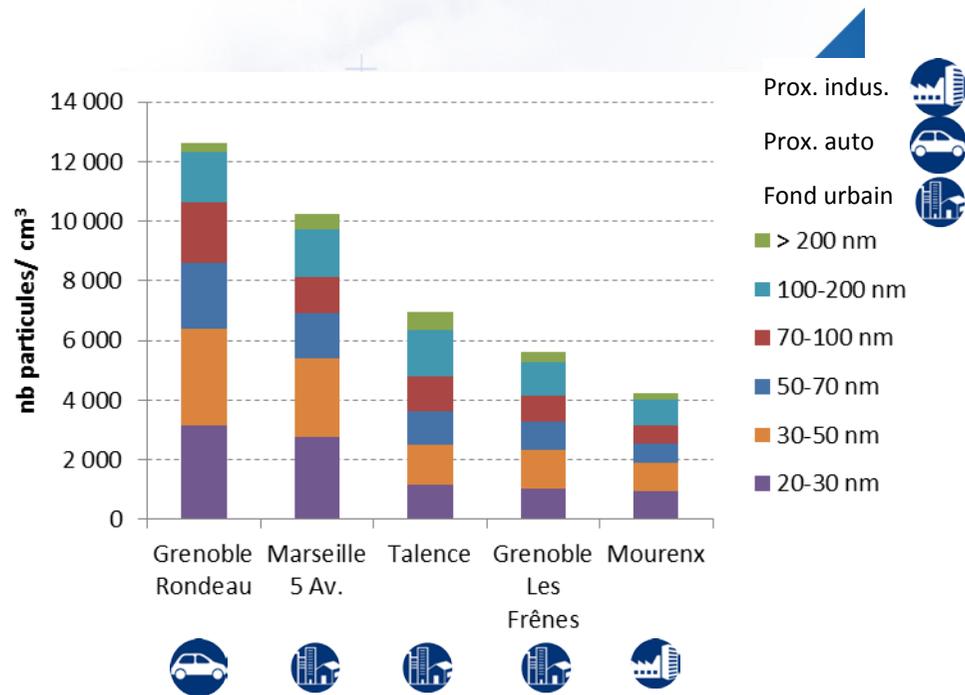


Figure 10 : Concentrations en particules - comparaison aux autres sites français investigués dans le cadre du GT PUF (sources : AIRAQ, Air PACA et Air Rhône-Alpes)

Il ressort de cette comparaison :

- Sur les deux sites, des niveaux inférieurs à ceux observés sur le site trafic de Grenoble-Rondeau, et à ceux observés en site trafic en général, la revue bibliographique réalisée par Morawska⁵ indiquant des niveaux en proximité automobile supérieurs à 30 000 p/cm³
- Sur Talence, des niveaux médians par rapport aux autres sites urbains de fond, à savoir inférieurs à ceux de Marseille-5 avenues, mais supérieurs à ceux de Grenoble-Les Frênes. Les niveaux de Talence sont également inférieurs à ceux observés à Gennevilliers (Ile-de-France)⁶ où des niveaux moyens de particules de l'ordre de 10 000 à 15 000 p/cm³ sont observés en période hivernale et de l'ordre de 5 000 p/cm³ en période estivale. Les niveaux sur Talence sont également cohérents avec la revue de Morawska⁵ indiquant des niveaux urbains de l'ordre de 7 000 p/cm³ à 11 000 p/cm³
- Sur Mourenx, des niveaux inférieurs à tous ces sites, et de l'ordre de ceux relevés sur les sites ruraux selon la bibliographie de Morawska⁵ (soit 5 000 p/cm³).

A noter que les comparaisons sites à sites sont les plus représentatives, car les mesures de la littérature sont souvent réalisées à l'aide d'analyseurs SMPS, qui comptabilisent les particules plus fines que 20 nm, ce qui peut représenter un grand nombre de particules, en particulier en site trafic.

⁵ « Review – ambient nano and ultrafine particles from motor vehicle emissions : characteristics, ambient processing and implications on human exposure » - L. Morawska, Z. Ristovski, E.R. Jayaratne, D.U. Keogh, X. Ling, Atmospheric Environment 42, 8113-8138 (2008)

⁶ Rapport INERIS DRC-11-118212-13897A « Connaissance du nombre et de la distribution granulométrique des particules submicroniques. Suivi dans le temps, métrologie : bilan des travaux 2003-2011 » - O. Le Bihan, L. Malherbe, A. Ustache

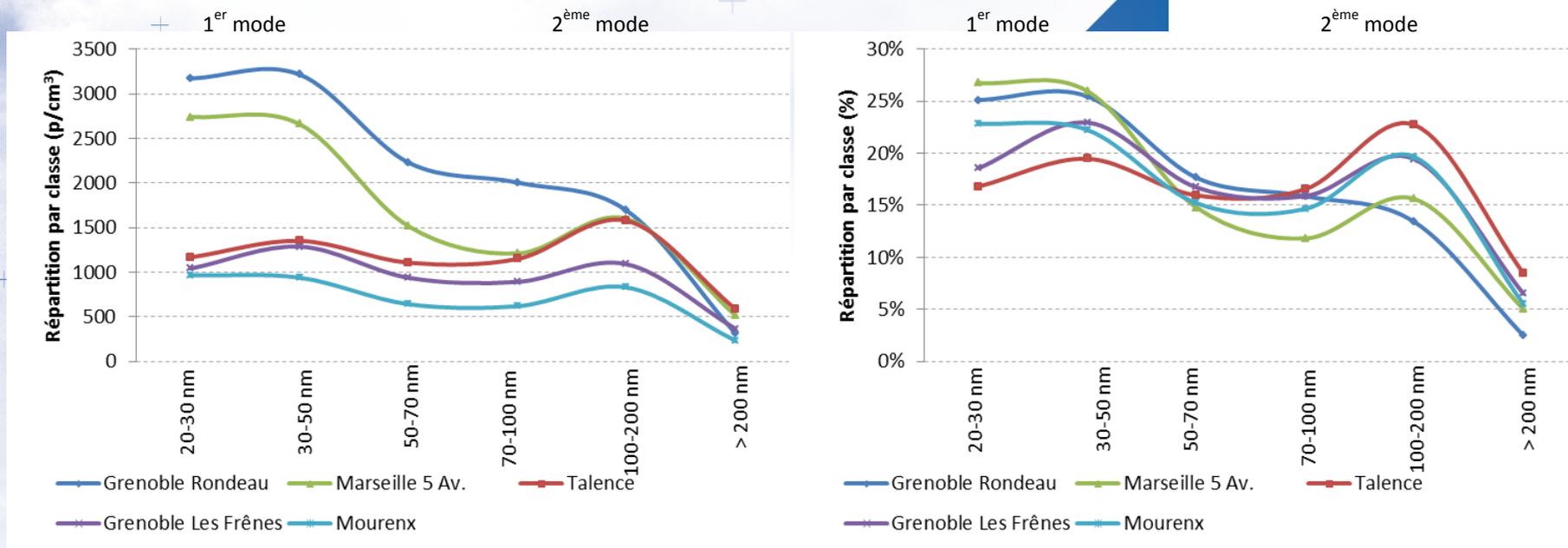


Figure 11 : Répartitions par classe - comparaison aux autres sites français investigués dans le cadre du GT PUF (sources : AIRAQ, Air PACA et Air Rhône-Alpes)

De cette comparaison par classe Figure 11, il est établi que :

- Deux modes principaux de particules se dégagent
 - l'un centré entre 20 et 50 nm, regroupant les classes 20-30 et 30-50 nm,
 - l'autre centré sur la classe 100-200 nm
- Sur Talence, une prédominance de la classe 100-200 nm, en nombre, et en proportion, par rapport aux autres sites
- Sur Mourenx, même si le total est inférieur aux autres sites, des niveaux, en particulier sur la classe 20-30 nm, de l'ordre de ceux observés sur les sites urbains de fond, et une importance relative de cette classe plus importante que sur Talence.

T1 (p/cm ³)	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	> 200 nm	Somme PUF
Moyenne	1 359	1 310	1 035	1 127	1 890	977	7 699
Médiane	1 044	1 028	719	683	1 202	508	5 823
Max horaire	10 746	11 163	10 597	11 301	17 291	13 686	52 146
Centile 75	1 755	1 683	1 358	1 426	2 434	1 344	10 086
Centile 25	636	561	350	316	468	139	3 318
Max jour	2 884	3 475	3 046	3 983	7 586	5 504	22 500

T2 (p/cm ³)	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	> 200 nm	Somme PUF
Moyenne	1 388	1 294	871	813	1 117	385	5 867
Médiane	1 010	993	699	637	943	230	4 769
Max horaire	7 749	6 805	4 827	4 731	5 068	3 004	26 614
Centile 75	1 870	1 725	1 210	1 100	1 395	452	7 615
Centile 25	592	567	356	339	610	134	3 101
Max jour	2 160	2 298	1 735	1 733	2 400	1 420	10 849

T3 (p/cm ³)	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	> 200 nm	Somme PUF
Moyenne	778	1 108	899	878	1 026	247	4 936
Médiane	561	893	768	762	909	62	4 269
Max horaire	15 129	14 067	6 458	5 425	6 633	3 696	37 337
Centile 75	941	1 421	1 118	1 100	1 304	273	6 068
Centile 25	304	564	499	495	564	24	2 928
Max jour	3 035	3 126	1 728	1 778	2 210	1 927	10 698

T4 (p/cm ³)	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	> 200 nm	Somme PUF
Moyenne	1 253	1 577	1 371	1 443	1 845	585	8 075
Médiane	976	1 217	1 013	1 036	1 328	241	6 119
Max horaire	10 786	11 356	8 476	9 454	16 179	15 071	42 804
Centile 75	1 615	1 962	1 695	1 800	2 248	580	9 922
Centile 25	550	761	606	570	702	80	3 937
Max jour	3 048	3 849	3 080	3 833	8 524	5 801	23 483

T1 (p/cm ³)	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	> 200 nm	Somme PUF
Moyenne	745	790	603	645	957	298	4 024
Médiane	388	509	435	451	715	137	3 272
Max horaire	28 366	15 899	8 778	7 237	6 330	5 188	46 996
Centile 75	826	989	811	920	1 449	381	5 490
Centile 25	207	258	165	150	202	43	1 292
Max jour	2 797	3 593	2 299	2 519	3 411	1 744	13 803

T2 (p/cm ³)	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	> 200 nm	Somme PUF
Moyenne	1 102	927	546	467	580	151	3 771
Médiane	417	552	412	390	502	93	2 618
Max horaire	39 144	24 013	15 183	4 799	5 108	2 058	67 817
Centile 75	897	944	653	606	770	182	4 040
Centile 25	206	319	244	216	266	49	1 620
Max jour	5 361	3 712	1 963	1 322	2 153	760	11 694

T3 (p/cm ³)	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	> 200 nm	Somme PUF
Moyenne	1 315	1 161	659	550	676	187	4 547
Médiane	330	484	429	460	618	105	2 704
Max horaire	42 828	31 152	14 336	11 674	8 742	2 452	84 910
Centile 75	782	966	680	641	943	283	3 973
Centile 25	154	276	269	291	338	46	1 945
Max jour	7 701	4 859	1 976	1 750	2 036	758	15 598

T4 (p/cm ³)	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	> 200 nm	Somme PUF
Moyenne	893	989	755	756	988	259	4 640
Médiane	482	710	600	581	708	156	3 703
Max horaire	20 241	14 413	13 451	10 629	8 397	6 792	50 174
Centile 75	965	1 198	958	990	1 318	333	5 829
Centile 25	245	383	303	276	346	59	2 090
Max jour	3 025	2 534	2 578	2 891	3 986	1 333	14 137

Tableau 5 : Statistiques élémentaires sur Talence (à gauche) et Mourenx (à droite) par trimestre

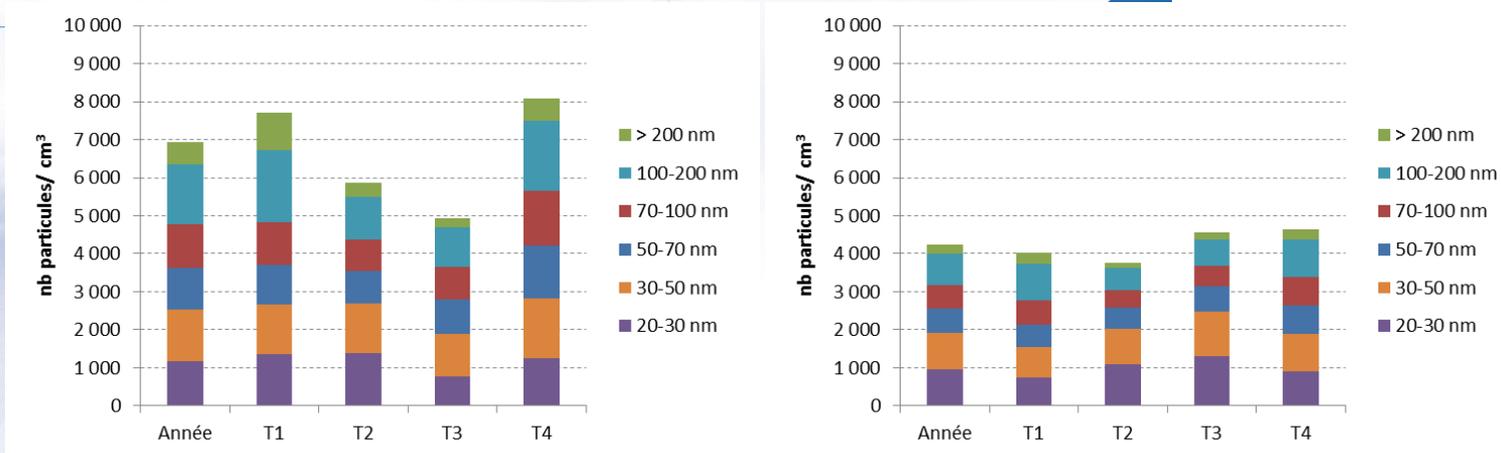


Figure 12 : Concentrations moyennes totales par trimestre sur Talence (à gauche) et Mourenx (à droite)

Les concentrations totales donnent une indication intéressante sur la saisonnalité. Ainsi, sur Talence, les niveaux sont maximums principalement sur les trimestres 1 et 4, qui correspondent aux périodes les plus froides. Le profil annuel des PUF sur Talence est donc assez proche de celui observé pour d'autres polluants primaires, comme les NOx. Aussi, les sources de PUF sont donc les mêmes que celle de ces autres polluants primaires (trafic, chauffage...). Ce profil est d'ailleurs assez cohérent avec celui observé sur Gennevilliers. Sur Mourenx, la saisonnalité est différente. Elle est tout d'abord moins marquée, avec des niveaux plus constants au cours de l'année. Ensuite, les niveaux sont maximums au 3^{ème} trimestre, soit en été, et au 4^{ème} trimestre. De plus, même si les niveaux totaux sont équivalents entre les deux trimestres, le profil est totalement différent, avec une prédominance des classes 20-30 nm et 30-50 nm sur le 3^{ème} trimestre (cf. Figure 12). Ces niveaux plus élevés pour ces classes sur le 3^{ème} trimestre est une indication de la probable présence de phénomènes chimiques et/ou photochimiques, avec la formation d'aérosols secondaires de petite taille. Sur le 4^{ème} trimestre, les classes au-dessus de 70 nm sont plus fortement représentées. Les graphiques en radar présentés en Figure 13 confortent cette analyse.

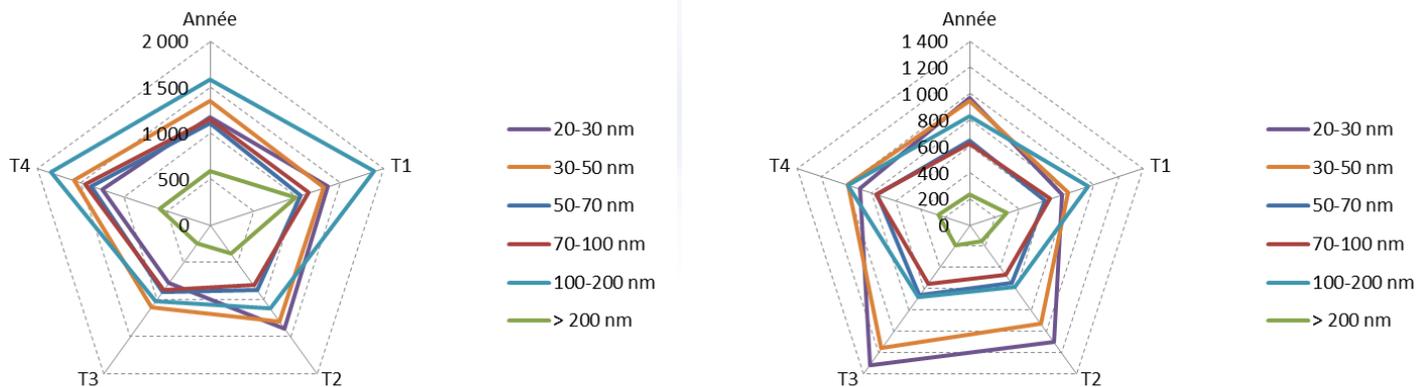


Figure 13 : Profils trimestriels par classe granulométrique sur Talence (à gauche) et Mourenx (à droite)

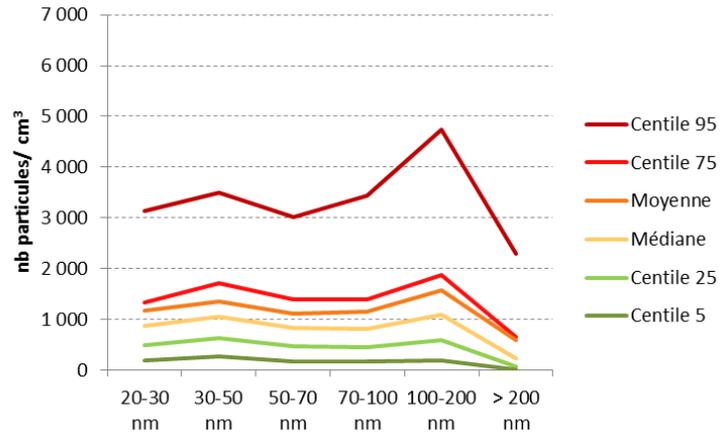
Sur Talence, les profils trimestriels indiquent :

- Pour la classe 20-30 nm, des niveaux les plus élevés sur T2 et T4, et les niveaux les plus faibles sur T3
- Pour les classes 30-50 nm, 50-70 nm et 70-100 nm, des variations assez faibles, avec toutefois le maximum sur T4 et le minimum sur T3
- Pour la classe 100-200 nm, des niveaux beaucoup plus élevés sur les T1 et T4 par rapport à T2 et T3
- Pour la classe > 200 nm, des niveaux maximums sur T1

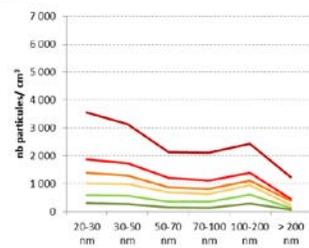
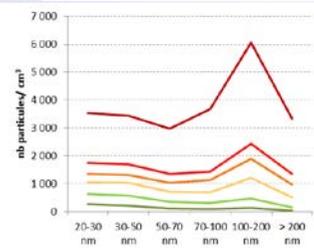
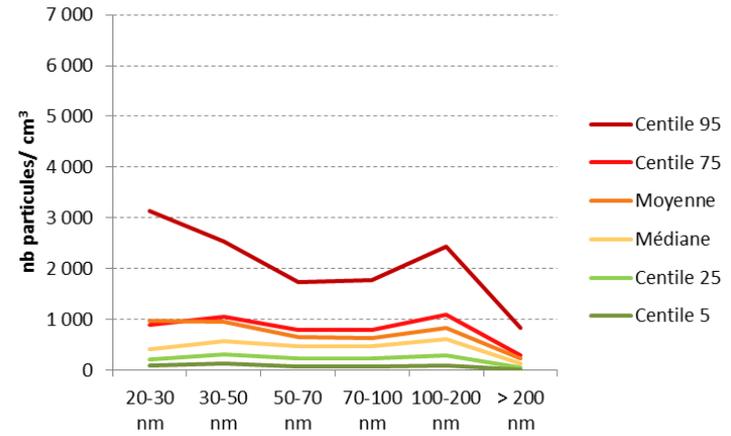
Sur Mourenx, les profils trimestriels indiquent :

- Pour les classes 20-30 nm et 30-50 nm, des niveaux les plus élevés sur T3 et dans une moindre mesure T2
- Pour les classes 50-70 nm et 70-100 nm, des variations assez faibles, avec toutefois le maximum sur T4
- Pour les classes 100-200 nm et > 200 nm, des niveaux plus élevés sur T1 et dans une moindre mesure T4

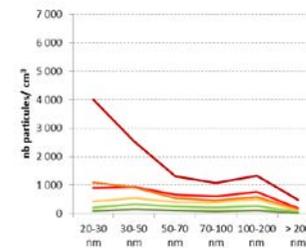
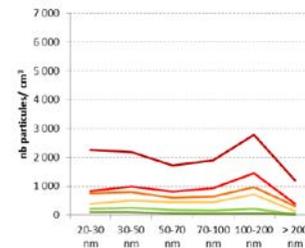
La comparaison des profils des deux sites montre clairement un comportement différent. D'une manière générale, il semble toutefois que les fractions > 100 nm sont plutôt à mettre en relation avec les émissions primaires. La fraction 20-30 nm est quant à elle plus en lien avec les particules secondaires, sans exclusivité. Les classes intermédiaires ont un comportement moins tranché, et qui peut être différent d'un site à l'autre.



Année complète



T1-T2



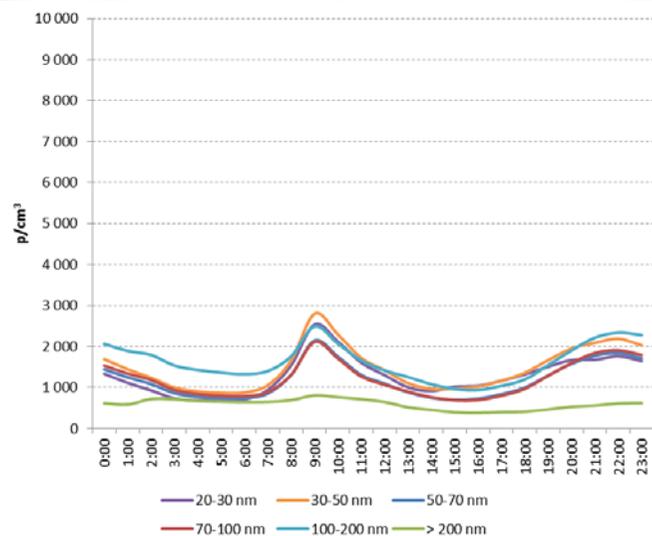
T3-T4

Figure 14 : Indicateurs statistiques par classe granulométrique sur Talence (à gauche) et Mourenx (à droite)

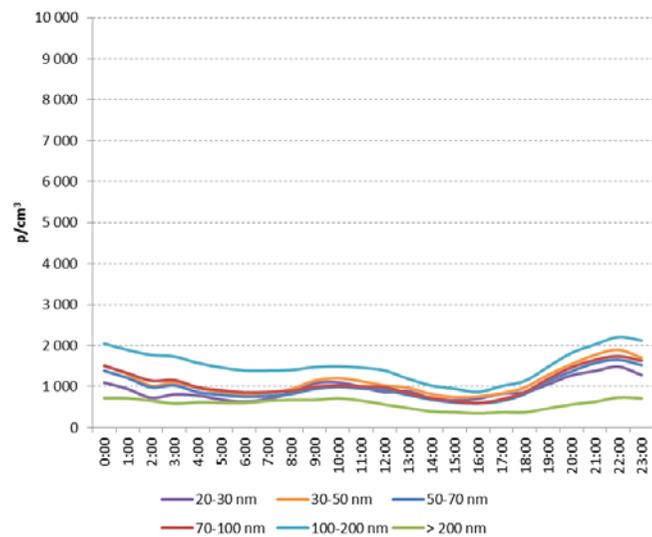
III.2. Profils moyens journaliers

Les profils moyens journaliers des deux sites ont été établis en distinguant les jours ouvrés, les samedis et veilles de fête, et les dimanches et jours fériés. En effet, les émissions de polluants peuvent être significativement différentes en fonction de ces différentes journées, en particulier pour le trafic routier (trajets domicile-travail), mais aussi pour le résidentiel (chauffage, feux de cheminée...). Les profils ont également été établis par trimestre pour avoir une idée plus précise de la saisonnalité.

Talence

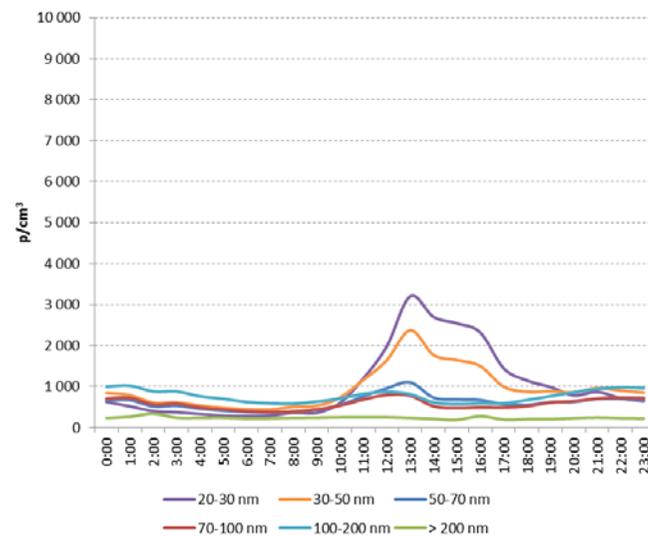
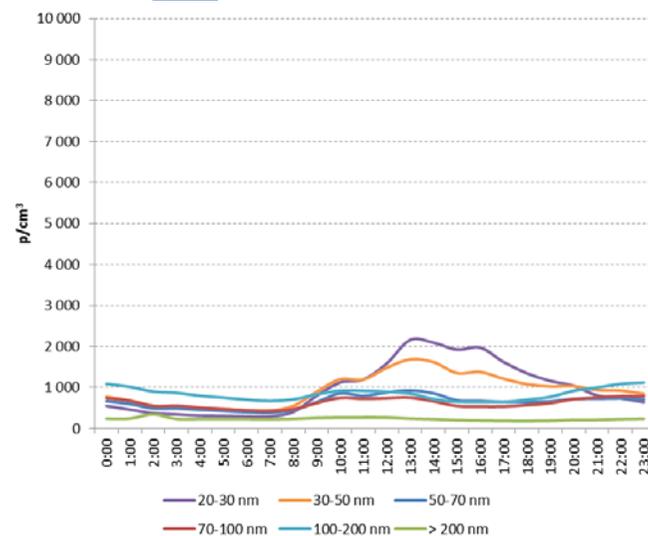


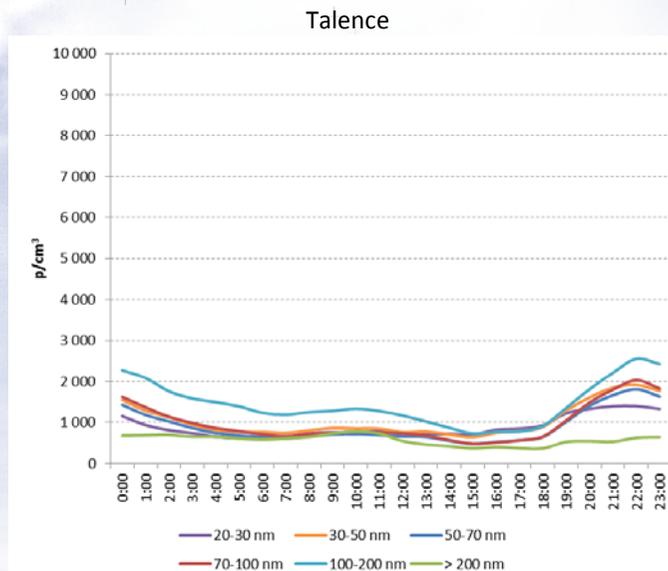
Jours ouvrés
Année complète



Samedis et veilles
de fête
Année complète

Mourenx





Dimanches et
jours fériés
Année complète

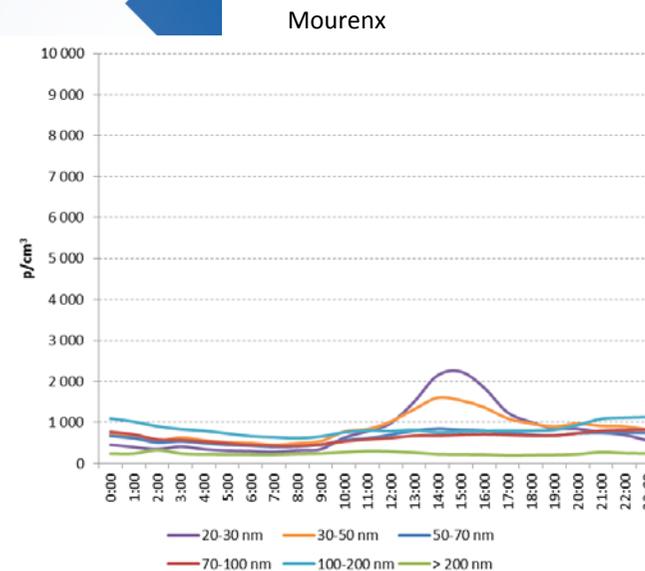


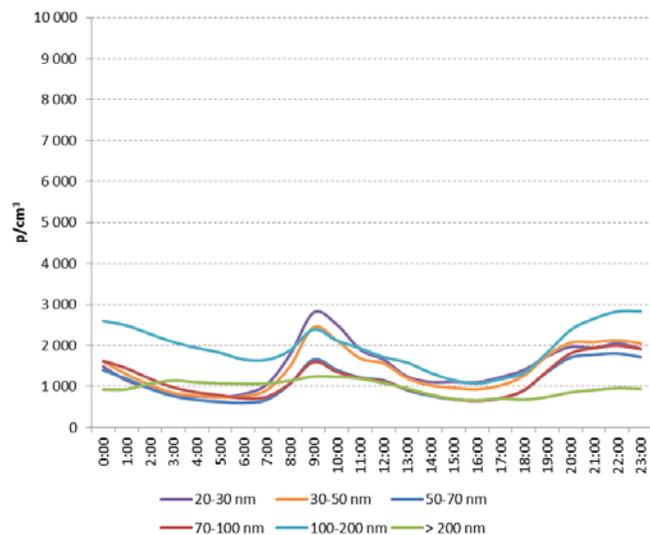
Figure 15 : Profils moyens journaliers en heure locale – Année complète

Sur Talence, le profil « jours ouvrés » montre des niveaux maximums le matin entre 8 h et 9 h, au moment du pic « domicile-travail ». Un autre pic apparaît dans la soirée. Les niveaux augmentent à partir de 17 h, pour être au maximum vers 22 h. Ce deuxième pic est atténué pour les fractions les plus fines, à savoir jusqu'à 50 nm. En continuant l'observation des profils sur Talence les autres jours, où le trafic est un plus faible contributeur, le pic du matin disparaît. Par contre, le pic du soir est maintenu, voire amplifié. Ainsi, pour la fraction 100-200 nm, le niveau maximum observé passe de 2 300 p/cm³ les jours ouvrés à 2 500 p/cm³ pour les dimanches et jours fériés. Ce pic tardif en soirée a déjà été mis en évidence sur Talence sur d'autres polluants, en lien avec la combustion de bois. Le profil annuel montre donc déjà deux enseignements sur Talence, à savoir la contribution du trafic le matin sur l'ensemble des classes granulométriques, et la contribution de la combustion de bois en soirée, contribution qui semble plus marquée sur les fractions plus grossières. Les profils trimestriels permettront probablement d'affiner cette première analyse.

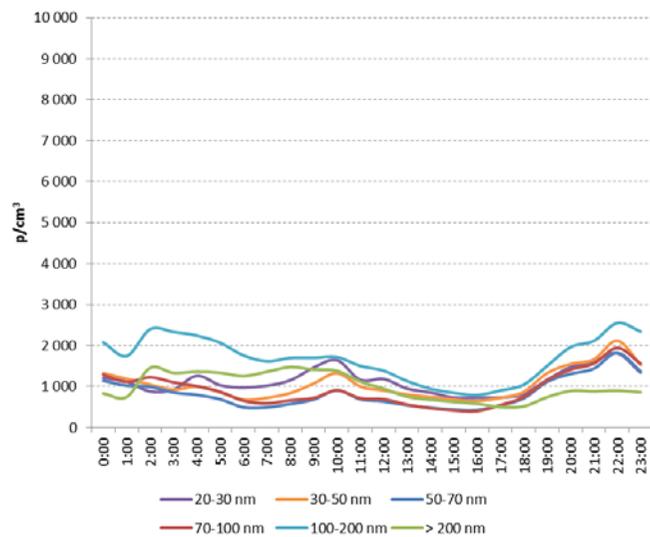
Sur Mourenx, le profil est complètement différent. Pour les fractions 20-30 nm et 30-50 nm, le profil est en cloche, avec des niveaux maximums dans l'après-midi. Pour les fractions supérieures à 70 nm, le profil est relativement plat, avec toutefois une tendance à l'augmentation la nuit, particulièrement visible pour la fraction 100-200 nm. Il n'y a pas de différence très marquée en fonction des types de jours. L'analyse par trimestre permettra probablement d'y voir plus clair. Toutefois, pour les fractions les plus fines, l'impact de la production d'aérosols secondaires semble important. De plus, tout comme pour Talence, l'impact des usages du chauffage est visible sur les fractions les plus grossières.



Talence

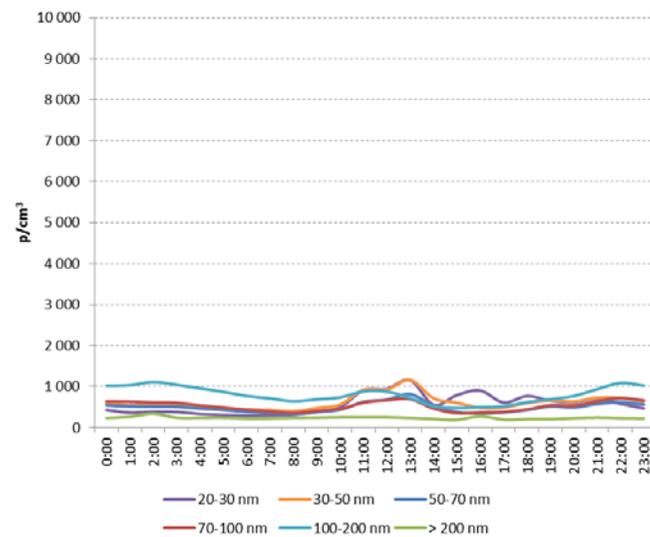
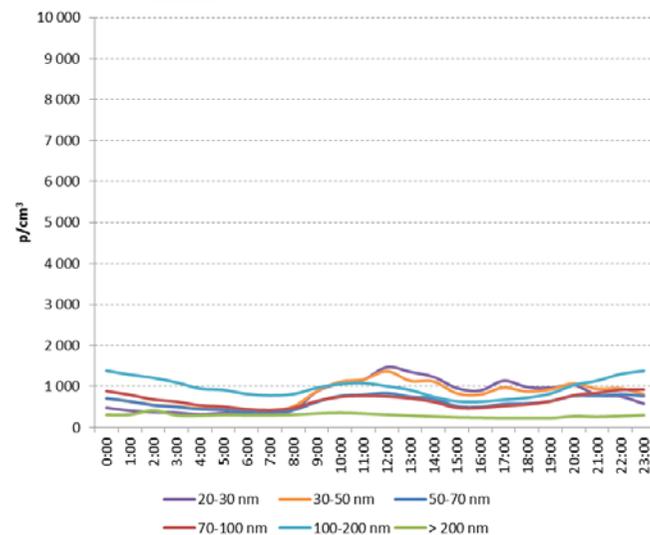


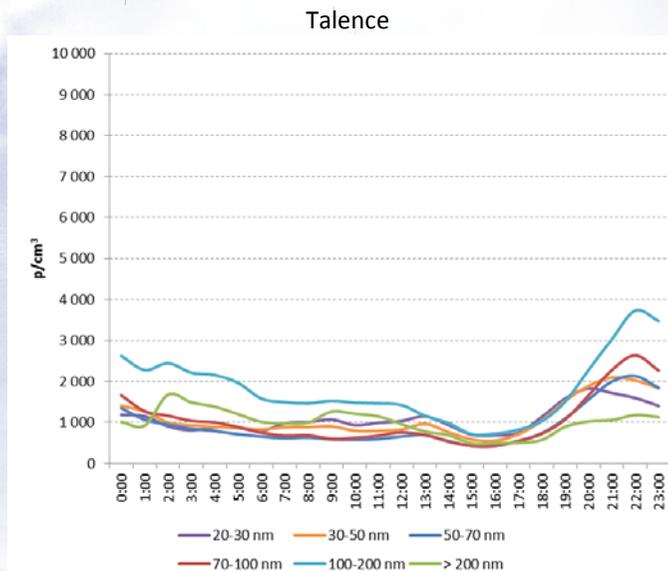
Jours ouvrés
T1



Samedis et veilles
de fête
T1

Mourenx





Dimanches et jours
fériés
T1

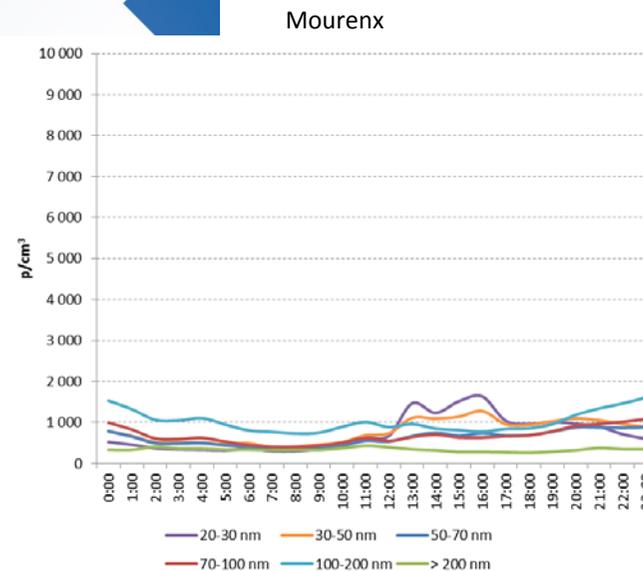


Figure 16 : Profils moyens journaliers en heure locale – Trimestre 1

Le 1^{er} trimestre est généralement propice aux émissions primaires liées au chauffage. Pour les particules, sur cette période, la contribution des feux de cheminée est souvent significative. Sur Talence, les profils sont assez peu différents des profils annuels. Les principales différences concernent les fractions supérieures à 100 nm, qui voient leurs niveaux significativement augmenter sur le 1^{er} trimestre par rapport à la moyenne, en particulier le soir. Ainsi, sur le 1^{er} trimestre, le pic du soir pour la fraction 100-200 nm est de l'ordre de 3 700 p/cm³ les dimanches et jours fériés, contre 2 500 p/cm³ sur l'année.

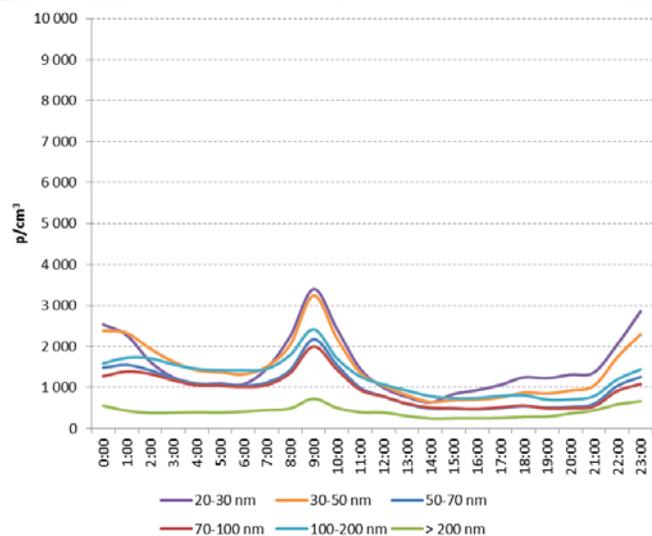
Sur Mourenx, le profil en cloche des fractions les plus fines a disparu, ce qui conforte le lien avec la formation d'aérosols secondaires. En effet, le 1^{er} trimestre fait partie des périodes où les durées d'ensoleillement sont les plus faibles, les températures plus basses, et avec des taux d'humidité les plus élevés, ce qui favorise la transformation du SO₂ directement en acide sulfurique, plutôt que sous forme de particules de sulfates⁷. Comme pour Talence, pour les fractions les plus grossières, les niveaux sont également plus élevés pour le 1^{er} trimestre, atteignant en pointe jusqu'à 1 500 p/cm³, contre 1 000 p/cm³ sur l'année entière.

Ces observations sont cohérentes avec celles du 4^{ème} trimestre, présentées en Figure 19.

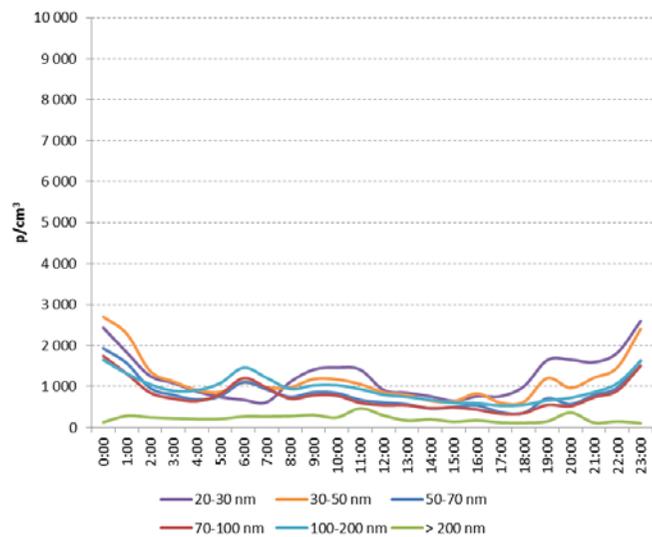
⁷ « Understanding Environmental Pollution », 3rd Edition, 2010, Marquita K. Hill, Cambridge University Press



Talence

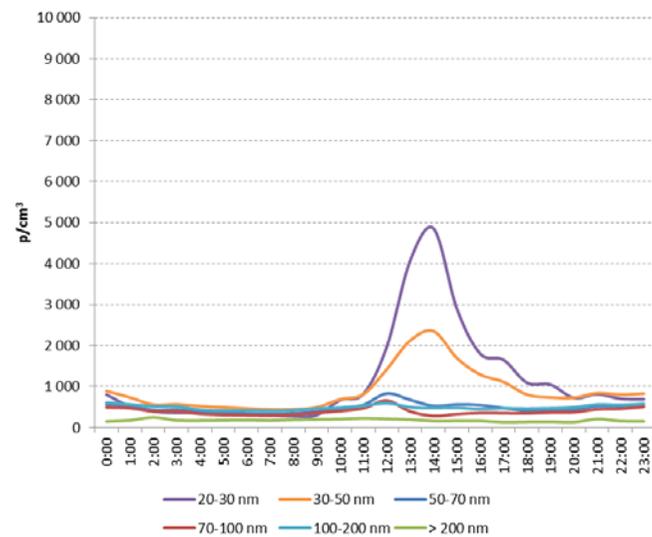
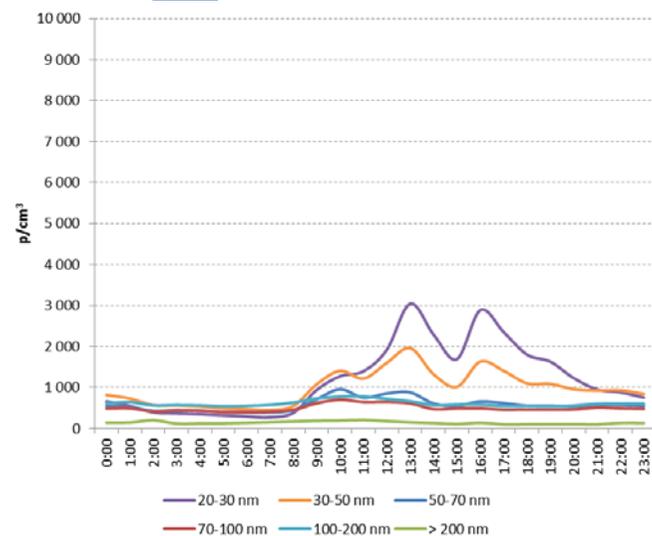


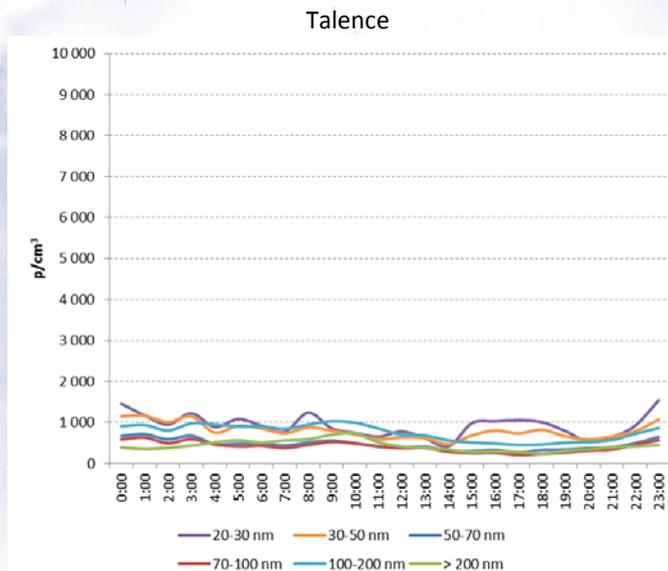
Jours ouvrés
T2



Samedis et veilles
de fête
T2

Mourenx





Dimanches et jours
fériés
T2

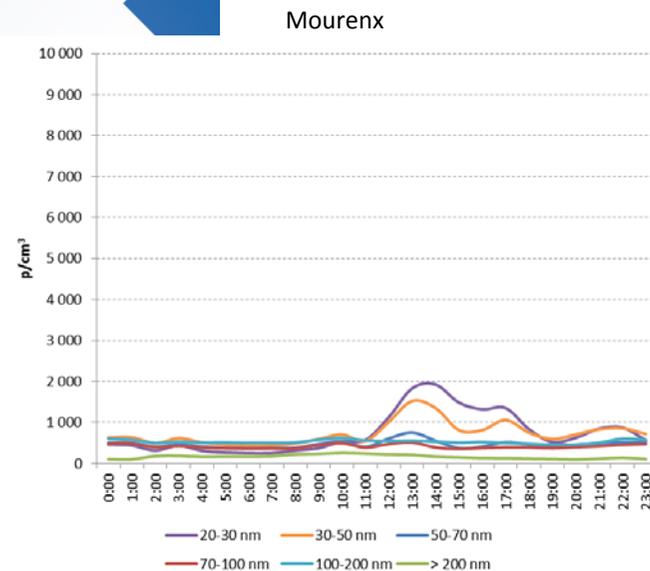


Figure 17 : Profils moyens journaliers en heure locale – Trimestre 2

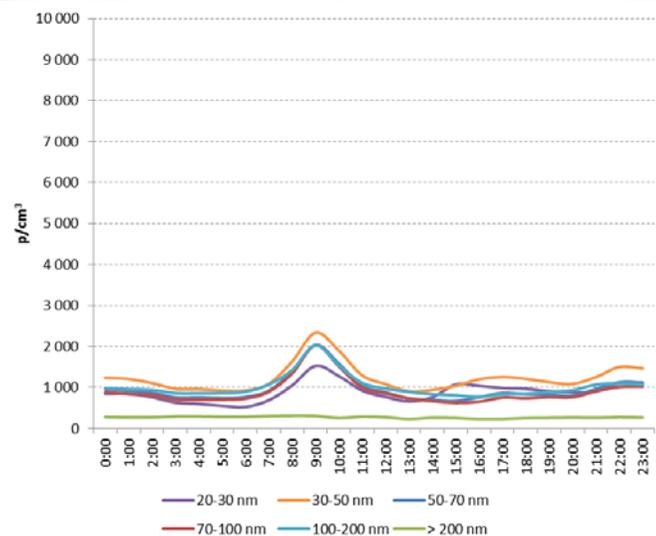
Les profils des 2^{ème} et 3^{ème} trimestres apportent globalement les mêmes informations. Ainsi, sur Talence, les profils hors jours ouvrés sont de plus en plus plats, et les niveaux sont de plus en plus faibles, en lien avec la diminution de la contribution du chauffage, et les niveaux de trafics plus faibles sur ces journées. Pour les jours ouvrés, le pic trafic du matin est bien caractérisé, mais légèrement plus faible pour le 3^{ème} trimestre, qui intègre les vacances d'été, propices à des niveaux de trafic plus faibles.

Sur Mourenx, les profils de ces deux trimestres font apparaître des niveaux maximums de particules entre 12 h et 16 h pour les fractions jusqu'à 70 nm, en lien avec la formation d'aérosols secondaires. Ces pics sont particulièrement marqués sur le 3^{ème} trimestre, et également sur les samedis et veilles de fête. Ainsi, sur le 3^{ème} trimestre, les niveaux de particules pour la fraction 20-30 nm peuvent atteindre 9 000 p/cm³ dans l'après-midi. Le fait que la chimie soit beaucoup plus visible sur Mourenx que sur Talence peut être mis en relation avec la typologie de la station. La station de Mourenx est effectivement située sur la zone industrielle de Lacq, 1^{ère} zone émettrice de SO₂ sur la région Aquitaine. Or, le SO₂ peut, en l'absence d'humidité, s'oxyder, puis former de très fines particules de sulfates, qui peuvent par la suite s'agréger entre elles⁸. Les différences de niveaux observées entre les types de jours n'ont à ce stade pas d'explications. Il peut s'agir, soit de niveaux plus élevés de précurseurs sur ces journées, soit de journées plus propices à cette chimie du SO₂. Un zoom spécifique sur ces phénomènes à Mourenx est présenté en III.6.

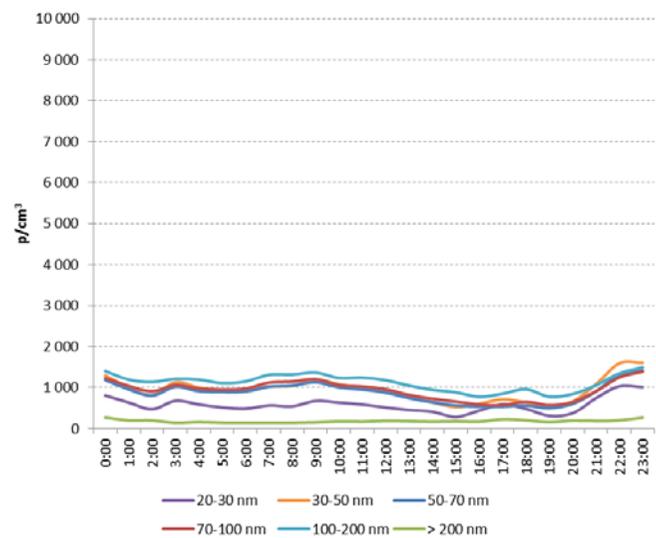
⁸ « Understanding Environmental Pollution », 3rd Edition, 2010, Marquita K. Hill, Cambridge University Press



Talence

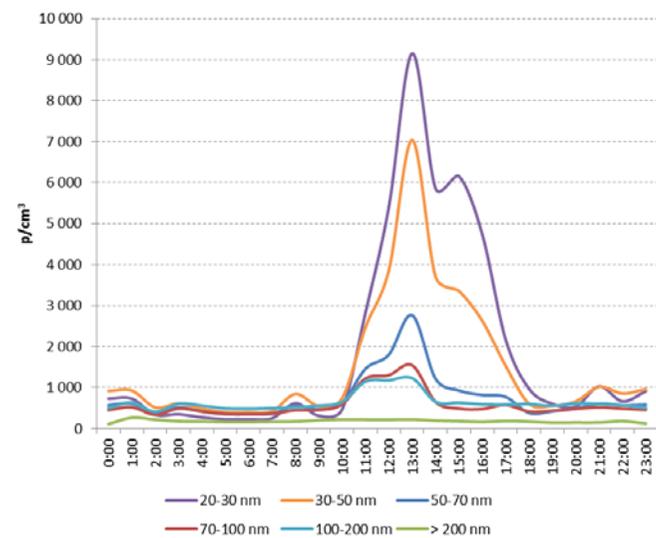
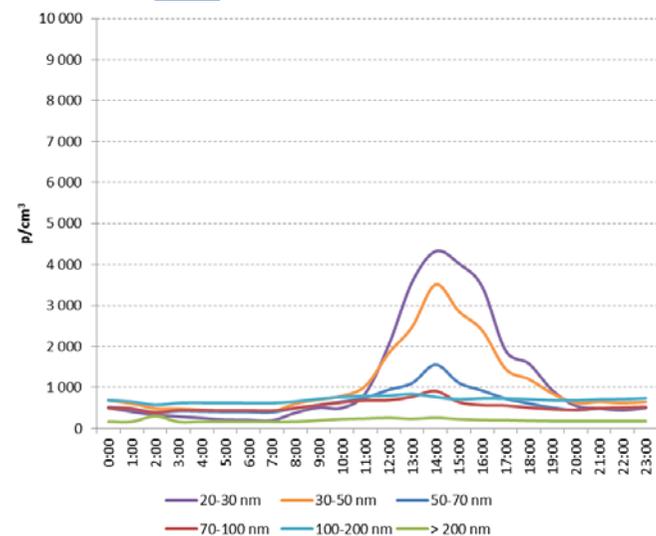


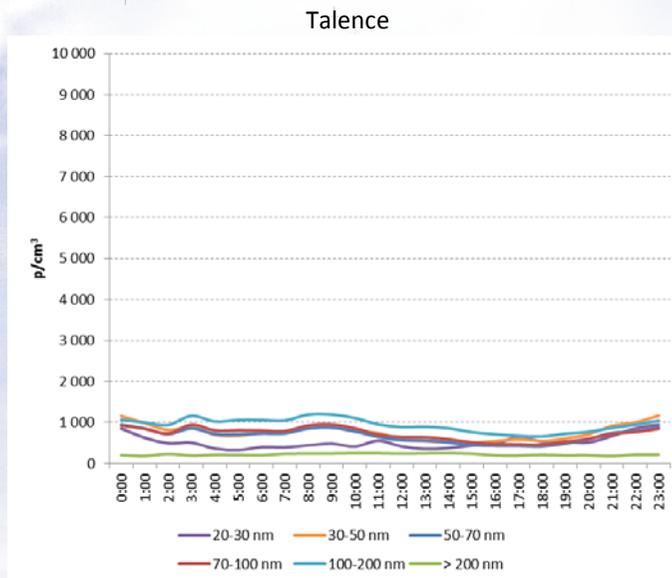
Jours ouvrés
T3



Samedis et veilles
de fête
T3

Mourenx





Dimanches et jours
fériés
T3

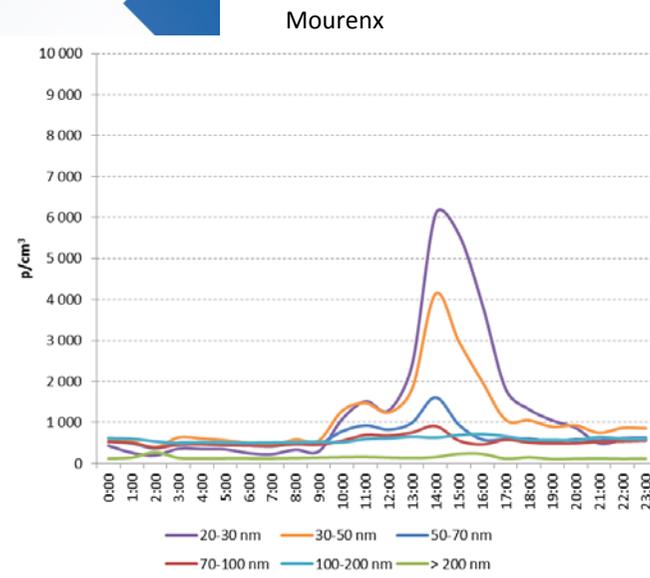
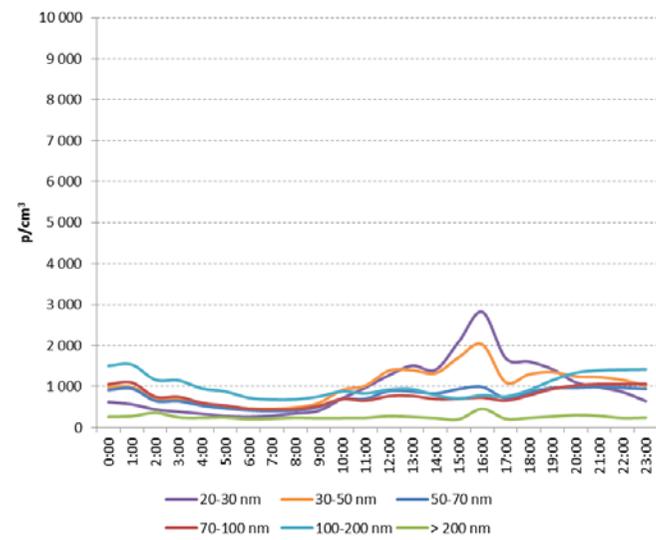
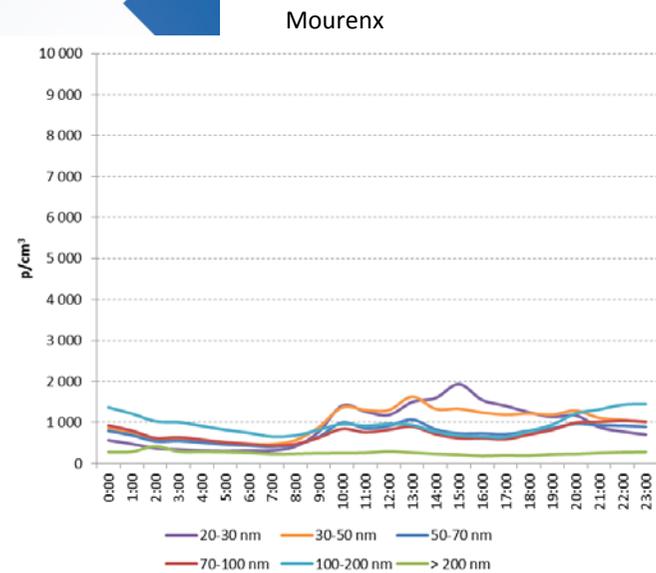
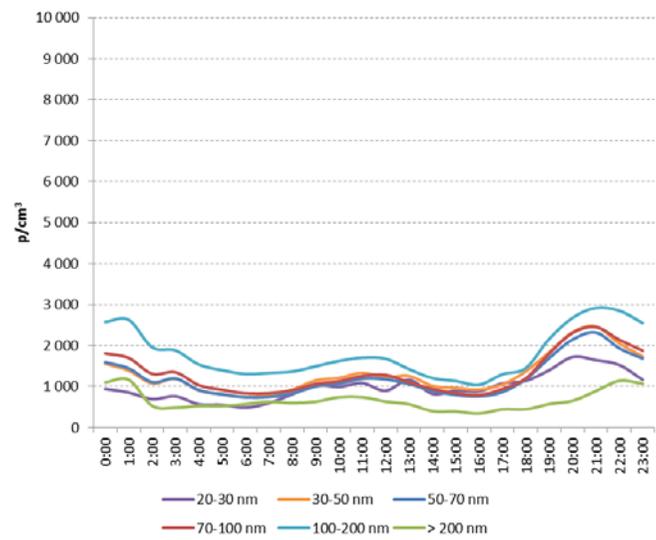
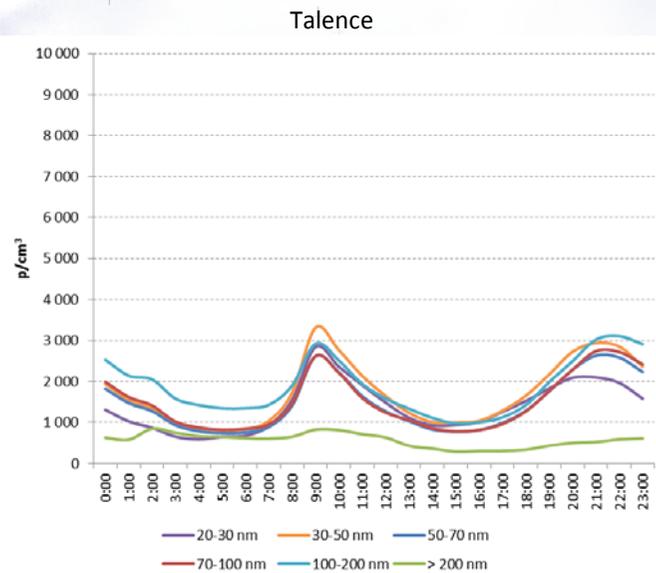
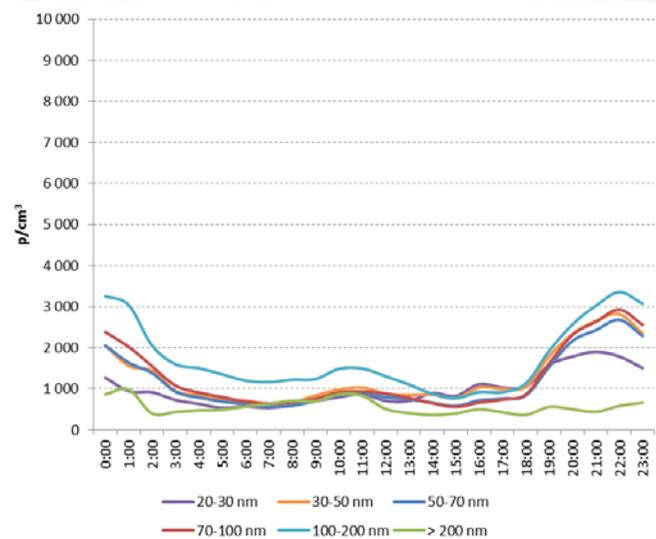


Figure 18 : Profils moyens journaliers en heure locale – Trimestre 3





Dimanches et jours
fériés
T4

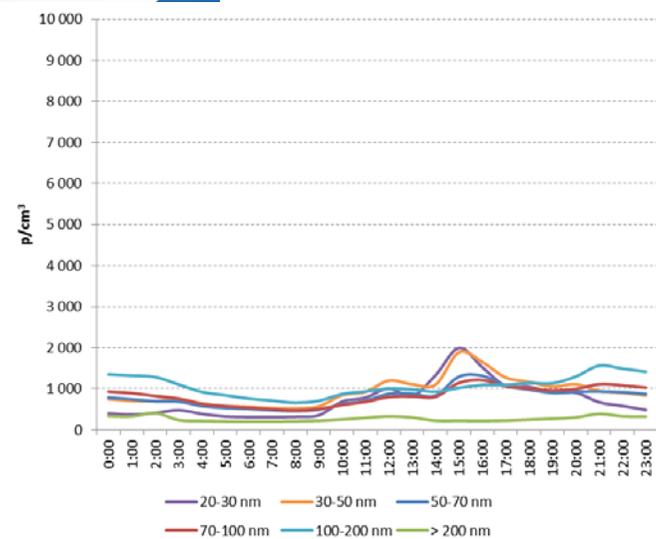


Figure 19 : Profils moyens journaliers en heure locale – Trimestre 4

III.3. Lien avec les autres polluants mesurés

III.3.1. Site de Talence

Comme indiqué en II, la station de Talence est une station urbaine de fond. Elle est également la station de référence pour AIRAQ en ce qui concerne la thématique des particules. Ainsi, elle fait partie de la dizaine de stations françaises intégrées dans le programme national CARA (pour CARActérisation des particules), mené par le LCSQA-INERIS⁹. Sur ce site, sont mesurés les polluants gazeux ozone (O₃) et oxydes d'azote (NOx), décomposés en monoxyde d'azote (NO) et dioxyde d'azote (NO₂). Au niveau particulaire, les PM10 et les PM2.5 sont mesurés, de même que les PM10nv, pour PM10 non volatils. Enfin, un analyseur de type AE33 a été installé en novembre 2014, permettant de mesurer le black carbon (BC), et permettant d'estimer la contribution de la combustion de combustibles fossiles (ou fuel fossil) aux particules (appelée PMff) et la contribution de la combustion de biomasse (ou wood burning) aux particules (appelée PMwb)⁹.

L'étude des corrélations des différents canaux de PUF avec ces différents polluants permettra d'éclairer sur les liens éventuels entre ces polluants, et leurs sources communes. Au vu des résultats obtenus précédemment, les corrélations horaires par trimestre seront présentées.

⁹ Plus d'informations : Rapport AIRAQ ET/PE/14/02 « Caractérisation des particules PM10 sur l'agglomération bordelaise – Bilan des mesures réalisées en 2012-2013 »

T1	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	> 200 nm	Somme PUF
O ₃	-0,456	-0,598	-0,633	-0,635	-0,671	-0,472	-0,721
NO	0,463	0,620	0,663	0,680	0,702	0,458	0,747
NOx	0,576	0,731	0,763	0,768	0,772	0,482	0,846
NO ₂	0,666	0,781	0,784	0,762	0,727	0,410	0,843
PM10nv	0,334	0,521	0,623	0,684	0,810	0,645	0,775
PM10	0,172	0,377	0,501	0,586	0,794	0,753	0,700
PM2,5	0,131	0,341	0,472	0,567	0,801	0,781	0,686
PMwb	0,277	0,542	0,726	0,834	0,955	0,630	0,860
PMff	0,543	0,706	0,725	0,706	0,666	0,377	0,764
T2	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	> 200 nm	Somme PUF
O ₃	-0,483	-0,656	-0,709	-0,682	-0,675	-0,133	-0,700
NO	0,478	0,572	0,605	0,595	0,594	0,182	0,633
NOx	0,611	0,742	0,776	0,758	0,767	0,253	0,815
NO ₂	0,634	0,780	0,807	0,781	0,799	0,278	0,850
PM10nv	0,454	0,550	0,597	0,608	0,604	0,081	0,611
PM10	0,383	0,517	0,598	0,628	0,656	0,109	0,600
PM2,5	0,307	0,549	0,685	0,744	0,849	0,289	0,678
PMwb	0,359	0,553	0,655	0,710	0,784	0,307	0,672
PMff	0,612	0,773	0,829	0,825	0,836	0,214	0,854

T4	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	> 200 nm	Somme PUF
O ₃	-0,339	-0,533	-0,594	-0,602	-0,584	-0,268	-0,621
NO	0,446	0,621	0,657	0,675	0,732	0,521	0,777
NOx	0,524	0,715	0,742	0,748	0,769	0,496	0,844
NO ₂	0,585	0,760	0,755	0,719	0,626	0,258	0,769
PM10nv	0,340	0,592	0,691	0,740	0,826	0,532	0,804
PM10	0,222	0,477	0,615	0,699	0,872	0,646	0,776
PM2,5	0,137	0,401	0,573	0,685	0,913	0,727	0,765
PMwb	0,094	0,423	0,614	0,736	0,950	0,837	0,871
PMff	0,477	0,664	0,672	0,669	0,682	0,547	0,773
T3	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	> 200 nm	Somme PUF
O ₃	-0,162	-0,289	-0,396	-0,396	-0,318	-0,106	-0,353
NO	0,323	0,448	0,587	0,630	0,560	0,140	0,575
NOx	0,404	0,576	0,755	0,804	0,717	0,194	0,736
NO ₂	0,387	0,570	0,747	0,789	0,707	0,207	0,725
PM10nv	0,120	0,249	0,398	0,487	0,566	0,204	0,414
PM10	0,004	0,106	0,241	0,348	0,444	0,102	0,246
PM2,5	0,070	0,171	0,345	0,485	0,676	0,310	0,398
PMwb	Pas de mesures simultanées sur le 3 ^{ème} trimestre (mise en service en nov.2014)						
PMff							

Tableau 6 : Coefficients de corrélations entre polluants sur Talence par trimestre (données horaires)

Les coefficients de corrélation représentent l'intensité de la liaison qui peut exister entre deux variables. Il est compris entre -1 et 1. Dans le cas d'un coefficient positif, on parle de corrélation, alors que dans le cas d'un coefficient négatif, on parle d'anti-corrélation. Plus il est proche de 1, (ou de -1), plus la corrélation (ou l'anti-corrélation) est forte. Ainsi, dans les tableaux présentés, plus les coefficients tendent vers 1, et plus la case tend vers le vert, et plus la corrélation entre un des canaux des PUF et un autre polluant est forte.

Au niveau du total des PUF, les meilleures corrélations sont observées :

- En phase hivernale (T1 et T4) avec PMwb
- En phase estivale (T2 et T3) avec le NO₂

Cette observation globale masque des spécificités par classe granulométrique. Ainsi :

- Pour les fractions jusqu'à 70 nm, les meilleures corrélations sont observées avec le NO₂ et/ou les NOx, les différences de corrélation entre les deux étant peu significatives, et ce, quel que soit le trimestre. Aussi, ces fractions peuvent être associées au trafic routier. Cela est corroboré par les corrélations du même ordre de grandeur retrouvées avec PMff, indicateur également du trafic routier
- Pour les fractions supérieures à 70 nm
 - En hiver, une très bonne corrélation avec PMwb, lorsque les besoins de chauffage sont les plus importants.
 - En été, une bonne corrélation, à la fois avec PMff, les PM2.5 et le NO₂ et/ou les NOx

Les corrélations horaires ne donnent aucune corrélation avec l’ozone, ce qui pourrait laisser penser que le site de Talence est peu sensible à la photochimie au niveau particulaire. Toutefois, les corrélations s’améliorant en été, une analyse spécifique sur ce point sera réalisée ultérieurement (cf. §III.6.1). Au niveau particulaire, plus la fraction est fine, plus la corrélation avec les masses de particules (PM10/PM2.5) est faible. Cela montre bien que ces particules, qui peuvent être présentes en très grand nombre, n’ont pas forcément une incidence importante sur la masse des particules mesurées. Il s’agit donc là d’un véritable indicateur complémentaire aux mesures massiques de particules.

III.3.2. Site de Mourenx

Comme indiqué en II, la station de Mourenx est une station de proximité industrielle située sur la zone industrielle de Lacq. Sur ce site, sont mesurés les polluants gazeux dioxyde de soufre (SO₂) et oxydes d’azote (NO_x), décomposés en monoxyde d’azote (NO) et dioxyde d’azote (NO₂). Pour les PM10 et l’ozone (O₃), qui ne sont pas directement mesurés sur cette station, la station prise en référence est la station de Labastide-Cézéracq, située à 6 km du site de Mourenx. Ces deux polluants sont connus pour avoir un comportement à grande échelle, ce qui justifie cette approximation.

T1	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	> 200 nm	Somme PUF
SO ₂	0,297	0,331	0,244	0,205	0,121	-0,008	0,270
O ₃	-0,077	-0,286	-0,474	-0,569	-0,633	-0,242	-0,459
NO	0,275	0,420	0,479	0,446	0,322	-0,004	0,432
NO _x	0,362	0,542	0,616	0,579	0,447	0,081	0,576
NO ₂	0,392	0,585	0,660	0,623	0,502	0,154	0,632
PM10	-0,025	0,120	0,316	0,449	0,628	0,575	0,371
T2	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	> 200 nm	Somme PUF
SO ₂	0,570	0,624	0,551	0,395	0,138	0,033	0,616
O ₃	0,120	0,038	-0,042	-0,103	-0,125	-0,089	0,046
NO	0,139	0,199	0,259	0,304	0,239	0,115	0,221
NO _x	0,227	0,302	0,394	0,476	0,414	0,237	0,353
NO ₂	0,253	0,331	0,430	0,517	0,447	0,266	0,387
PM10	-0,104	-0,036	0,096	0,253	0,377	0,396	0,017

T4	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	> 200 nm	Somme PUF
SO ₂	0,245	0,209	0,181	0,153	0,076	-0,018	0,215
O ₃	0,055	-0,143	-0,306	-0,404	-0,492	-0,316	-0,279
NO	0,253	0,411	0,463	0,451	0,370	0,114	0,452
NO _x	0,343	0,529	0,593	0,577	0,472	0,166	0,588
NO ₂	0,367	0,553	0,619	0,603	0,490	0,177	0,617
PM10	-0,001	0,127	0,330	0,492	0,661	0,442	0,362
T3	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	> 200 nm	Somme PUF
SO ₂	0,367	0,441	0,545	0,662	0,593	0,018	0,494
O ₃	0,229	0,203	0,156	0,130	0,266	0,365	0,239
NO	0,015	0,056	0,123	0,183	0,125	-0,089	0,063
NO _x	0,089	0,158	0,258	0,349	0,310	-0,003	0,179
NO ₂	0,132	0,210	0,317	0,416	0,407	0,064	0,239
PM10	-0,051	-0,020	0,037	0,124	0,336	0,466	0,018

Tableau 7 : Coefficients de corrélations entre polluants sur Mourenx par trimestre (données horaires)

Sur Mourenx, il est également nécessaire de distinguer l’été et l’hiver. Ainsi, sur la somme des particules, les corrélations sont les meilleures avec :

- Le NO₂ en phase hivernale (T1 et T4)
- Le SO₂ en phase estivale (T2 et T3)

En distinguant par classe, il ressort :

- En hiver :
 - Une meilleure corrélation avec le NO₂ jusqu'à 100 nm
 - Une meilleure corrélation avec les PM10 au-delà de 100 nm
- En été :
 - Une meilleure corrélation avec le SO₂ jusqu'à 70 nm (T2), voire 200 nm (T3)
 - Une meilleure corrélation avec les PM10 au-delà de 200 nm
 - Sur T2, une meilleure corrélation avec le NO₂ pour la fraction 70-200 nm.

Cela peut être mis en relation avec l'hypothèse de formation de particules secondaires en été. Il semble même se profiler une différence entre les 2^{ème} et 3^{ème} trimestres, avec la formation de particules plus petites sur le 2^{ème} trimestre, et des particules qui ont davantage tendance à s'agréger sur le 3^{ème} trimestre.

La station de Mourenx étant située dans le couloir du gave de Pau, elle est principalement sous l'influence de la zone industrielle de Lacq par vents de Nord-Ouest, et sous l'influence de l'agglomération de Pau par vents de Sud-Est, comme visible sur la Figure 20 ci-dessous.

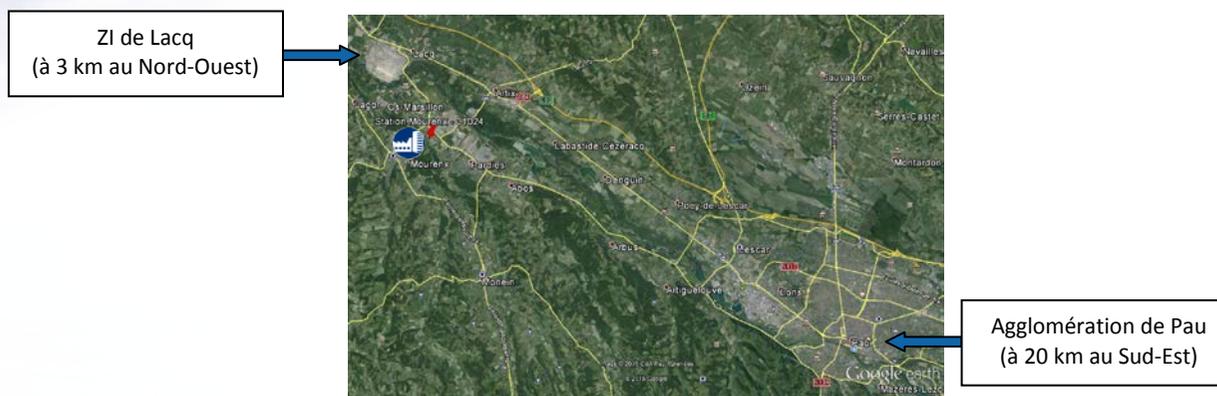


Figure 20 : Macro-implantation de la station de Mourenx

Ainsi, même si la station de Mourenx a une typologie « industrielle », elle peut avoir, en fonction des directions de vents, une caractéristique plutôt rurale. Aussi, les roses de vents peuvent être intéressantes pour identifier les principales influences pour chaque classe granulométrique. Les roses de vent présentées ci-après indiquent les directions des vents uniquement pour les 10 % des valeurs les plus élevées, et ce, à partir du canal 20-30 nm, jusqu'au canal 100-200 nm, pour l'ensemble des données, sans distinction de trimestre.

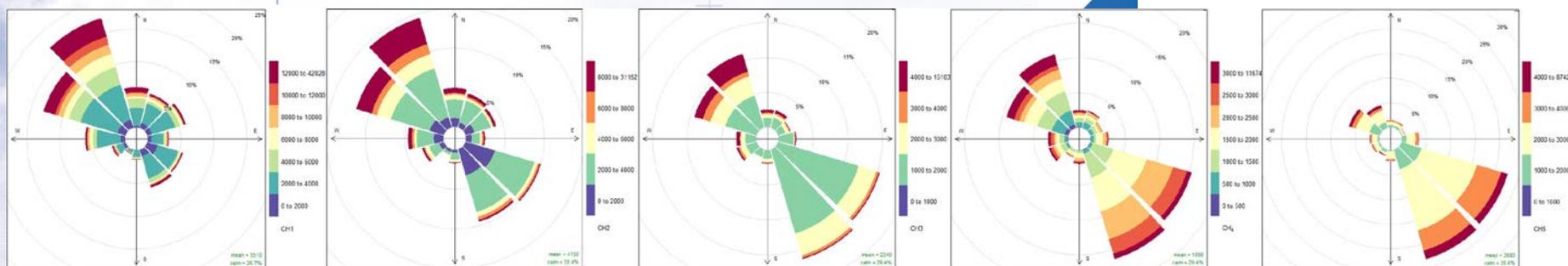


Figure 21 : Roses des vents pour les 10 % des valeurs les plus élevées (20-30, 30-50, 50-70, 70-100 et 100-200 nm)

Il ressort donc que les deux premières classes (jusqu'à 50 nm) sont à des niveaux plus élevés lorsque l'on est sous influence de la zone industrielle. A l'inverse, à partir de 50 nm, et jusqu'à 200 nm, les niveaux les plus élevés sont majoritairement relevés sous l'influence de l'agglomération paloise.

III.4. Période hivernale : zoom sur Talence

Pendant les vacances scolaires de Noël 2014-2015, des niveaux soutenus de particules en suspension ont été relevés sur l'agglomération bordelaise. Ainsi, des procédures d'information et recommandations ont été déclenchées pendant 5 jours sur la Gironde les 22, 23, 30, 31/12 et le 01/01. Ainsi, les données ont été extraites pour les périodes allant du 21/12 au 23/12 et du 30/12 au 03/01. Sur ces épisodes, la contribution de la biomasse est majoritaire, ainsi, l'analyse des données pour cette période permet de mieux caractériser cette source en terme d'émissions de PUF

Noël 2014-2015	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	> 200 nm	Somme PUF
O ₃	-0,214	-0,236	-0,344	-0,437	-0,546	-0,403	-0,531
NO	0,275	0,312	0,420	0,559	0,780	0,685	0,769
NO _x	0,317	0,374	0,478	0,603	0,797	0,684	0,803
NO ₂	0,453	0,609	0,655	0,661	0,629	0,450	0,732
PM10nv	0,131	0,312	0,504	0,669	0,942	0,838	0,907
PM10	-0,011	0,162	0,372	0,563	0,906	0,857	0,831
PM2,5	-0,048	0,118	0,335	0,534	0,897	0,859	0,809
PMwb	0,087	0,258	0,461	0,640	0,942	0,823	0,867
PMff	0,449	0,574	0,674	0,738	0,703	0,388	0,750

Tableau 8 : Corrélations entre polluants sur Talence – Noël 2014-2015

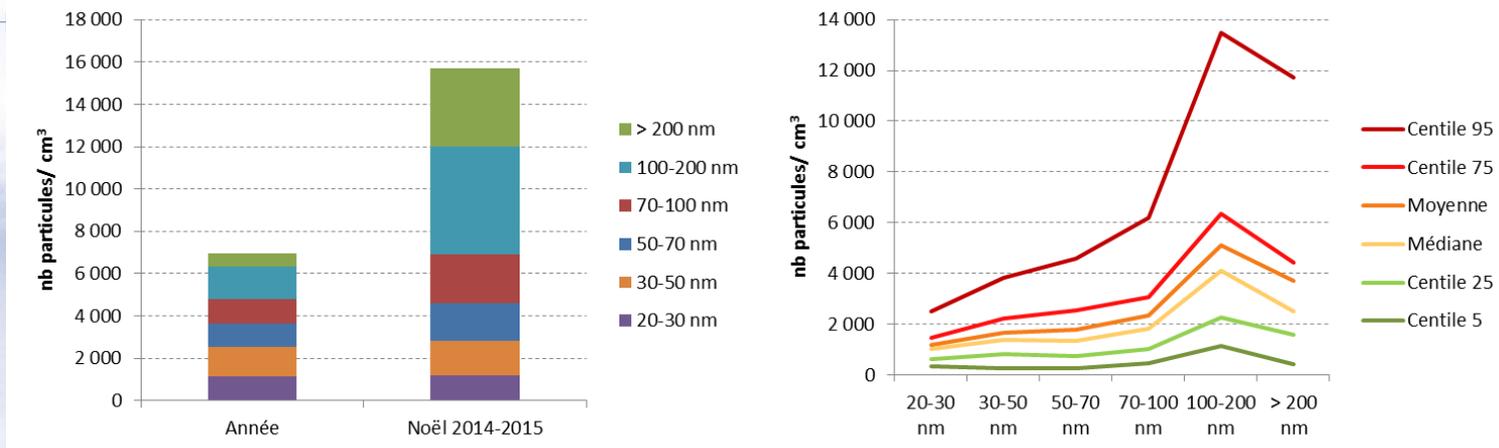


Figure 22 : Noël 2014-2015 : concentration totale par période (à gauche) et indicateurs statistiques par classe granulométrique sur Talence (à droite)

III.5. Période printanière : cas d'un pic de pollution aux particules secondaires

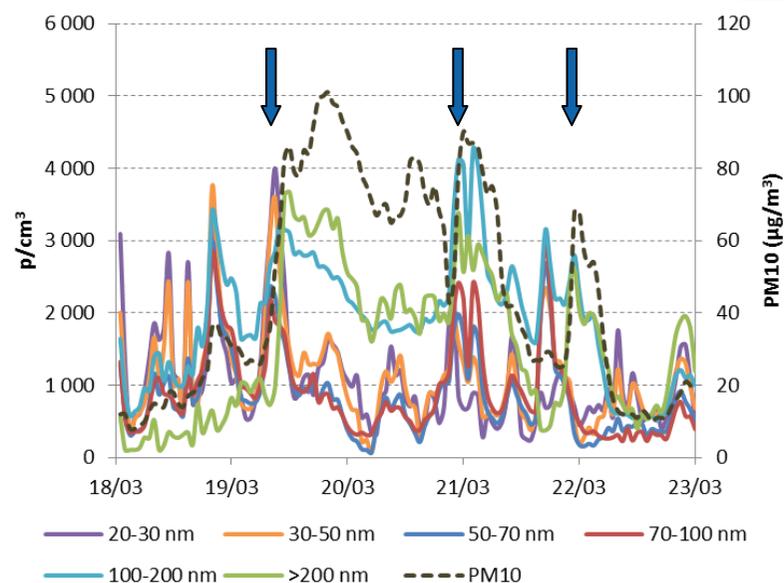


Figure 23 : Evolution horaire des PUF et des PM10 du 18/03 minuit au 23/03 minuit

Un épisode de pollution aux PM10 a été déclenché le 19/03/15 sur la région Aquitaine, en lien avec des niveaux soutenus en aérosols d'origine secondaire. Cet épisode est la conséquence de transport à longue distance de ces aérosols, qui touchaient la moitié Nord de la France quelques jours auparavant et a duré jusqu'au 21/03/15. La Figure 23 présente l'évolution temporelle des PM10 sur Talence depuis le 18/03, date à laquelle l'épisode n'était pas encore commencé, jusqu'au 22/03, soit une fois l'épisode terminé. L'arrivée de l'épisode dans la matinée du 19/03 est très visible, avec une augmentation brutale des niveaux de PM10 d'environ $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à plus de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire. En parallèle, une forte augmentation des teneurs en particules entre 100 et 200 nm et > 200 nm est également visible et suit relativement bien l'évolution des PM10. Sur cet épisode, classique des épisodes de PM dits « printaniers », une grande partie des PM10 est liée à la présence de particules secondaires de nitrate d'ammonium, qui se créent dans l'atmosphère à partir d'ammoniac (issu principalement de l'agriculture) et d'oxydes d'azotes (issus principalement du trafic routier). Le fait que ces particules soient principalement dans la fraction 100-800 nm donne une indication sur l'âge de ces particules. En effet, ces particules étant formées par des phénomènes de nucléation/condensation, elles ont, en vieillissant dans l'atmosphère, la propension à être de plus en plus grosses. Lors de l'arrivée de l'épisode, ce ne sont pas des PUF qui sont observées, mais principalement des particules submicroniques (> 100 nm). Au vu des tailles des particules, il semble donc qu'elles ont donc plutôt été transportées que produites sur place. A ce sujet, les augmentations successives des concentrations en PM10 sur cette période sont majoritairement corrélées à des augmentations de la fraction > 200 nm. Cela est corroboré par les corrélations présentées en Tableau 9.

18-22/03/15	20-30 nm	30-50 nm	50-70 nm	70-100 nm	100-200 nm	> 200 nm	Somme PUF
O ₃	-0,429	-0,327	-0,281	-0,293	-0,550	-0,570	-0,580
NO	0,684	0,655	0,535	0,437	0,280	-0,034	0,514
NO _x	0,762	0,762	0,677	0,594	0,474	0,123	0,708
NO ₂	0,752	0,767	0,713	0,649	0,570	0,227	0,781
PM10nv	0,350	0,418	0,411	0,447	0,790	0,748	0,755
PM10	0,064	0,067	0,067	0,151	0,677	0,868	0,514
PM2,5	0,048	-0,028	-0,128	-0,071	0,616	0,859	0,397
PMwb	0,275	0,528	0,780	0,850	0,702	0,228	0,725
PMff	0,522	0,560	0,497	0,490	0,765	0,637	0,801

Tableau 9 : Corrélations entre polluants sur Talence – 18-22/03/15

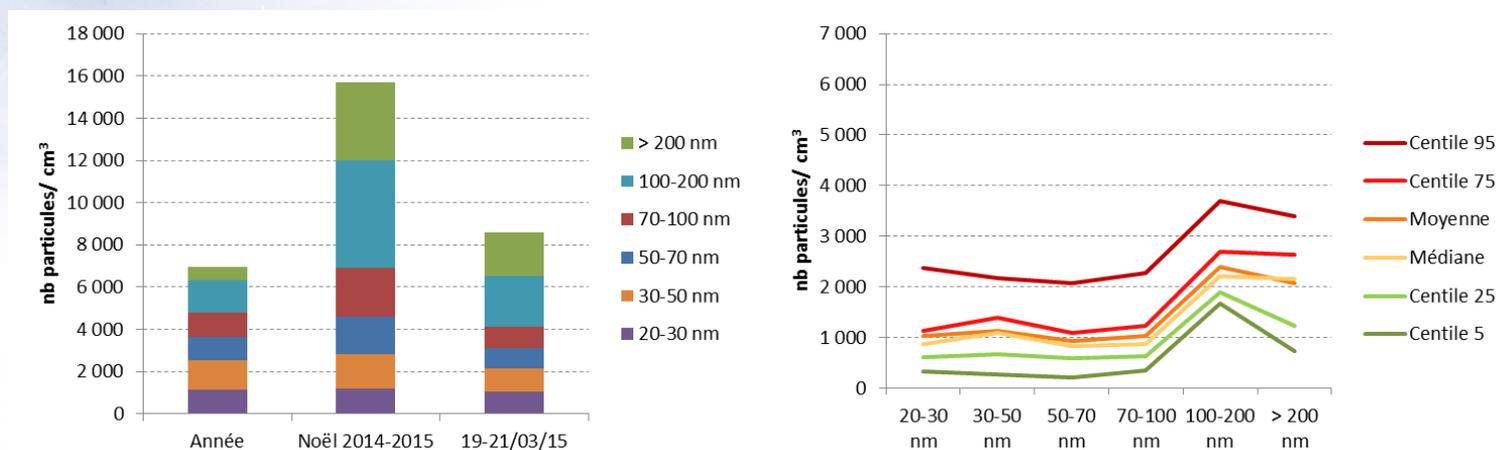


Figure 24 : Concentration totale par période (à gauche) et indicateurs statistiques par classe granulométrique sur Talence (à droite) du 19 au 21/03/15

En étudiant les concentrations totales et les principaux indicateurs statistiques, il apparaît que sur l'épisode de mars, aussi important au niveau massique que l'épisode de Noël, le nombre de particules est beaucoup plus faible. Il est même assez proche du total annuel, à l'exception notable des fractions > 100 nm. Ainsi, en moyenne annuelle, le total jusqu'à 100 nm représente 4 800 p/cm³, contre 4 200 p/cm³ sur l'épisode de mars. A l'inverse, la part > 100 nm représente 2 000 p/cm³ en moyenne annuelle, contre plus de 4 500 p/cm³ sur l'épisode printanier. Aussi, lors de cet épisode, les particules ont principalement un diamètre compris entre 100 nm et 2.5 µm.

III.6. Période estivale : zoom sur les processus chimiques et photochimiques

III.6.1. Site de Talence

Afin d'étudier l'influence de la photochimie sur les niveaux en PUF sur Talence, les journées de l'été 2012 où l'indice ATMO en ozone a été supérieur ou égal à 5 (soit un indice moyen ou plus) sur Bordeaux et où des mesures de PUF étaient disponibles ont été isolées, ce qui représente 20 jours sur août-septembre 2012. La Figure 25 présente les profils obtenus sur ces journées. Il apparaît globalement sur ces profils que l'influence primaire semble prépondérante, avec des niveaux maximums en PUF lors des trajets domicile-travail. Toutefois, une spécificité apparaît pour les fractions 20-30 nm et 30-50 nm, avec un pic en cloche complémentaire dans l'après-midi, corrélé avec le pic d'ozone. Cette augmentation dans l'après-midi est donc à mettre en lien avec la formation de particules secondaires, et il est cohérent que ce pic soit plus important pour les fractions les plus fines. Ces résultats sont équivalents à ceux observés sur Gennevilliers lors des campagnes été de 2009 et 2010⁶. Ainsi, même si la formation de particules secondaires sur Talence n'est pas le phénomène majoritaire, il est toutefois bien présent lors des journées où la photochimie est la plus intense.

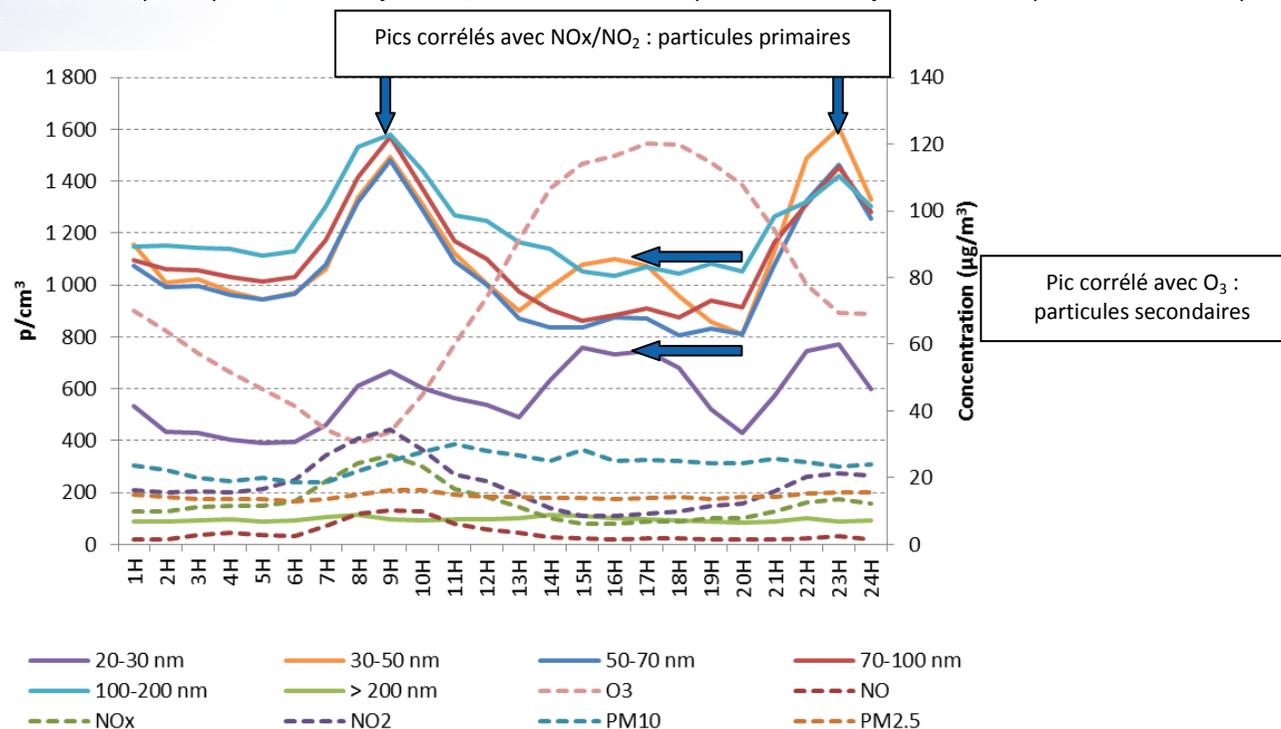


Figure 25 : Profils moyens journaliers – site de Talence – Été 2012

III.6.2. Site de Mourenx

Afin d'étudier l'influence de la photochimie sur les niveaux en PUF sur Mourenx, les données de la période allant du 13/07/2013 au 01/08/2013 ont été isolées, en retirant la journée du 20/07, marquée par de forts niveaux en SO_2 , dont les effets sont étudiés ultérieurement (cf. III.7). Cette période d'environ 3 semaines consécutives a été marquée par des niveaux en ozone significatifs, avec 9 jours d'indices « médiocres », 9 jours « moyens » et 2 jours « bons ». Les profils moyens journaliers observés sur cette période sont présentés en Figure 26. Le pic de PUF observé en milieu de journée est bien cohérent avec les observations faites en III.2. Le pic est très marqué pour les fractions 20-30 nm et 30-50 nm. Il est également visible, dans une moindre mesure, pour les fractions jusqu'à 100 nm.

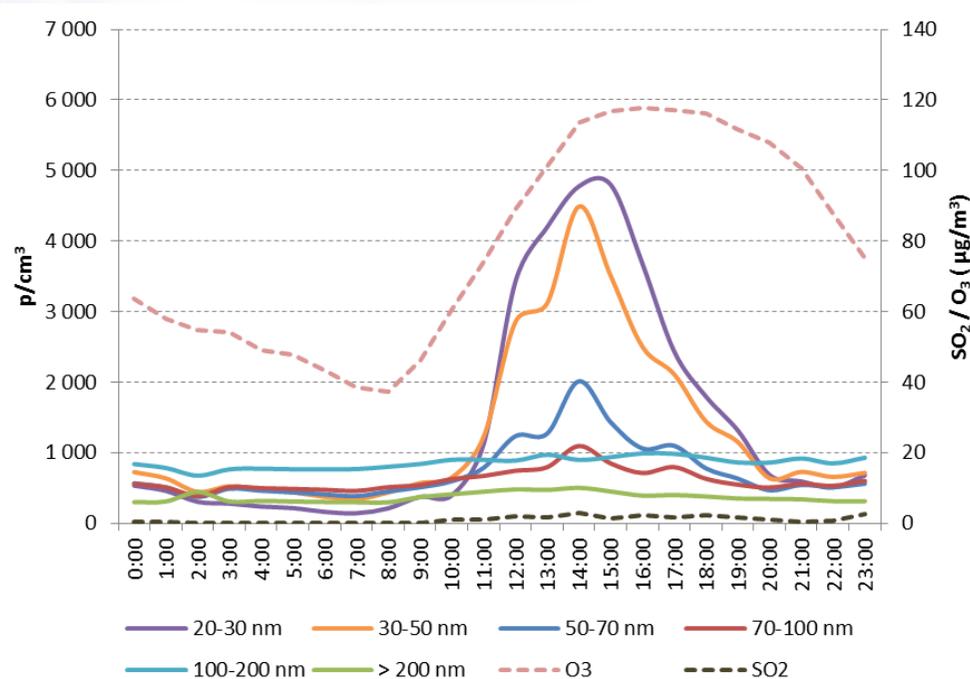


Figure 26 : Profils moyens journaliers – site de Mourenx – 13/07-01/08/13

Les jours où la photochimie est favorisée, il y a, sur Mourenx, une formation importante d'aérosols secondaires, beaucoup plus marquée qu'à Talence (cf. III.6.1). Les niveaux en PUF augmentent rapidement dès 11 h du matin, pour atteindre leur maximum aux alentours de 15 h. Les niveaux baissent par la suite, bien avant que l'ozone ne diminue, ce qui traduit également l'influence des phénomènes de couches d'inversion, qui ont souvent lieu sur la zone industrielle de Lacq vers 12h00. Aussi, il y a donc bien sur Mourenx la formation d'aérosols secondaires, pouvant contenir, selon la bibliographie, des sulfates, en lien avec la présence de SO_2 sur la zone industrielle de Lacq. Toutefois, ces phénomènes peuvent ne pas être directement liés à la photochimie, mais à la chimie tout court. Aussi, il y a donc plutôt une concomitance des phénomènes qu'un impact direct de la photochimie sur la formation de ces particules.

III.7. Lien avec le SO₂ : site de Mourenx

Pour argumenter le lien entre PUF et SO₂ sur Mourenx, les journées où ont été observés sur Mourenx des maximums horaires en SO₂ > 100 µg/m³ ont été isolées, soit 12 journées sur la période d'étude. Les profils moyens sur ces journées sont présentés en Figure 27. Le profil en SO₂ observé sur Mourenx est représentatif des phénomènes d'inversion thermique observés sur la zone en général en fin de matinée. Ces inversions entraînent un effet « couvercle » et limitent la dispersion de la pollution, jusqu'à ce que l'inversion soit détruite, en début d'après-midi.

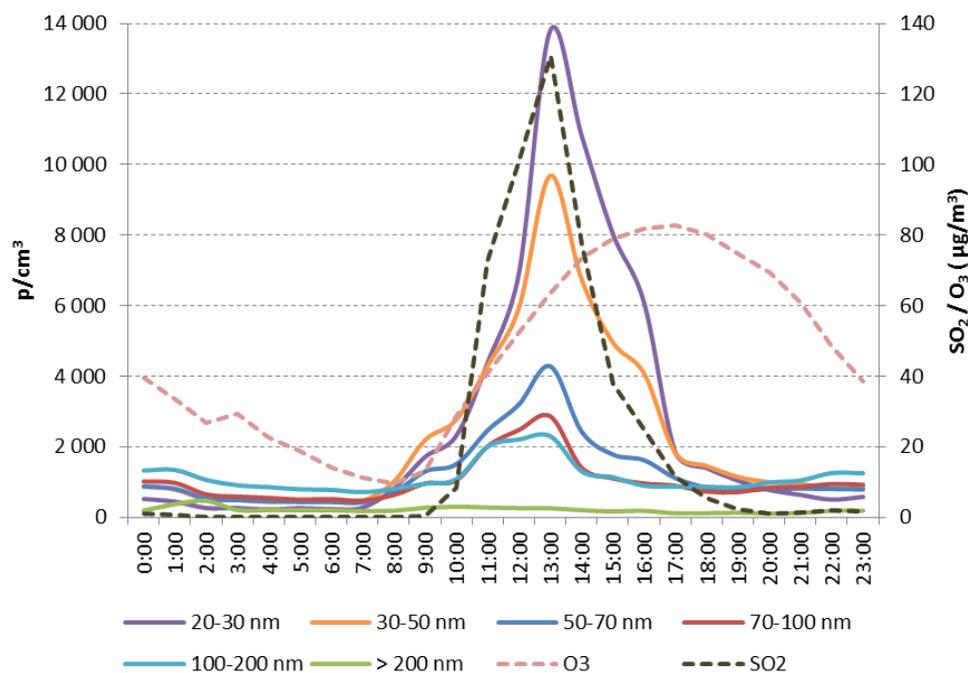


Figure 27 : Profils moyens journaliers – site de Mourenx – Journées SO_{2_max} > 100 µg/m³

Si on regarde plus spécifiquement le profil des PUF lors de ces journées, le lien avec le SO₂ est évident. Le profil de toutes les fractions jusqu'à 200 nm présente le même pic en milieu de journée, de manière concomitante au pic de SO₂, ce qui peut être mis en relation avec l'hypothèse de la formation d'aérosols secondaires de sulfates¹⁰.

¹⁰ « Understanding Environmental Pollution », 3rd Edition, 2010, Marquita K. Hill, Cambridge University Press

CONCLUSION

Ces mesures exploratoires de particules ultrafines, initiées en 2012, ont permis de remplir les principaux objectifs fixés, à la fois dans le cadre du PRSE2 d'Aquitaine, mais aussi du GT national sur les PUF piloté par le LCSQA-INERIS.

Il ressort tout d'abord que les niveaux observés en particules sur Talence et Mourenx sont cohérents avec les niveaux relevés dans la littérature, ainsi que sur les autres sites français explorés dans le cadre de ce groupe de travail. Ainsi, il est observé :

- Sur Talence, des niveaux moyens représentatifs d'un site urbain
- Sur Mourenx, des niveaux moyens représentatifs d'un site rural

Si l'on regarde la distribution granulométrique, deux « modes » principaux se détachent, l'un étant situé entre 20 et 50 nm, et l'autre vers 100-200 nm. Ces deux modes sont également une constante dans les différentes mesures réalisées dans le cadre de ce groupe de travail.

Sur ces deux modes, les corrélations avec les autres polluants mesurés indiquent :

- Pour la fraction 100-200 nm, une contribution majeure de la combustion de biomasse (feux de cheminée...)
- Pour les fractions 20-30 et 30-50 nm :
 - o la mise en évidence de la production d'aérosols secondaires les jours où les conditions sont propices à la chimie/photochimie
 - o l'existence d'une fraction primaire (directement émise), associée au trafic (corrélation avec NO_x/NO₂)

Plus spécifiquement, sur le site de Talence :

- Les niveaux les plus élevés sont relevés en hiver
- Des pics sont observés le matin et le soir
 - o Cohérents avec les profils « classiques » de polluants liés au trafic (NO₂/NO_x)
 - o Avec un pic du soir plus tardif pour la fraction 100-200 nm et persistant le week-end, en lien avec les feux de cheminée

Enfin, sur le site de Mourenx :

- Un profil annuel atypique, relativement plat : en moyenne, niveaux légèrement plus élevés en été
- Une chimie beaucoup plus marquée qu'à Talence sur les fractions les plus fines, en lien avec la formation importante d'aérosols secondaires
 - o Phénomène encore accentué les jours où des niveaux de SO₂ significatifs sont relevés sur la station

Le suivi des PUF va être poursuivi par AIRAQ, afin d'augmenter le nombre de données disponibles. En perspective de ce programme, un renforcement des moyens de mesures est prévu avec la mise en place de compteurs totaux de particules. Par ailleurs, les travaux d'exploitation croisée des données dans le cadre du groupe de travail seront également renforcés, afin de valoriser au mieux ce travail précurseur et collaboratif.

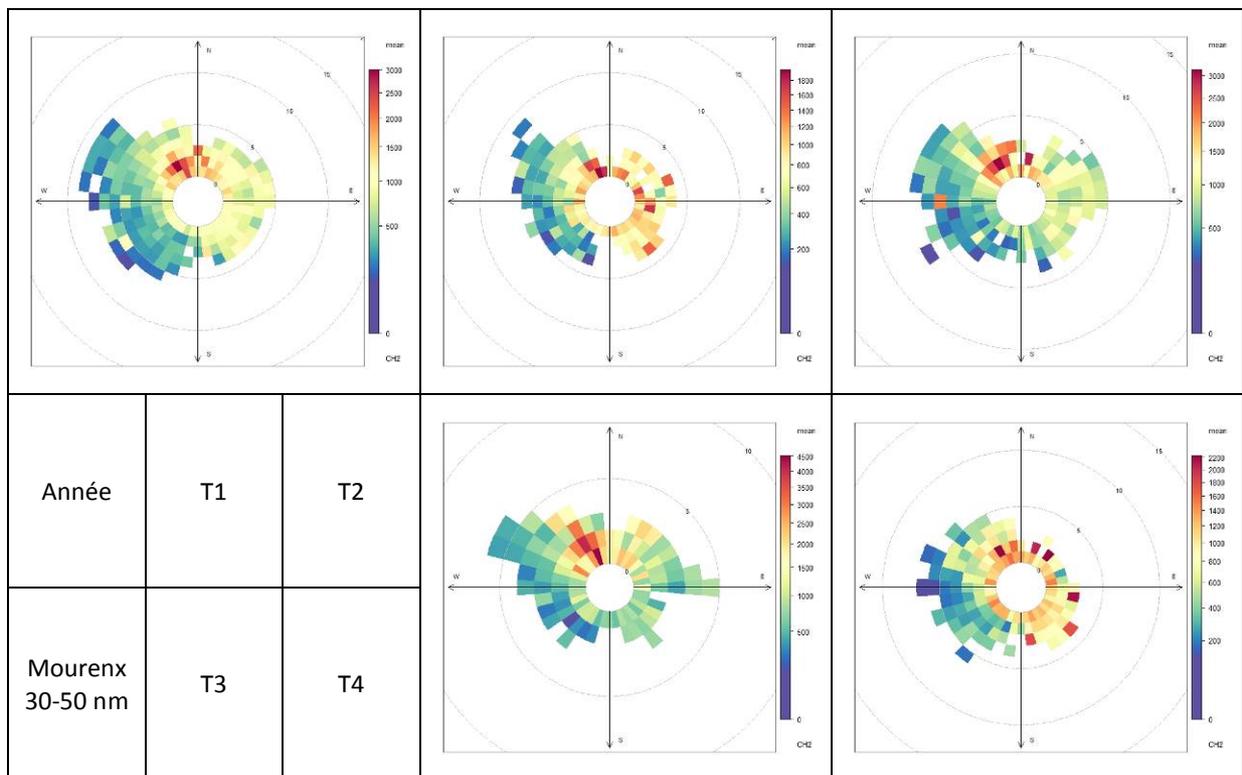
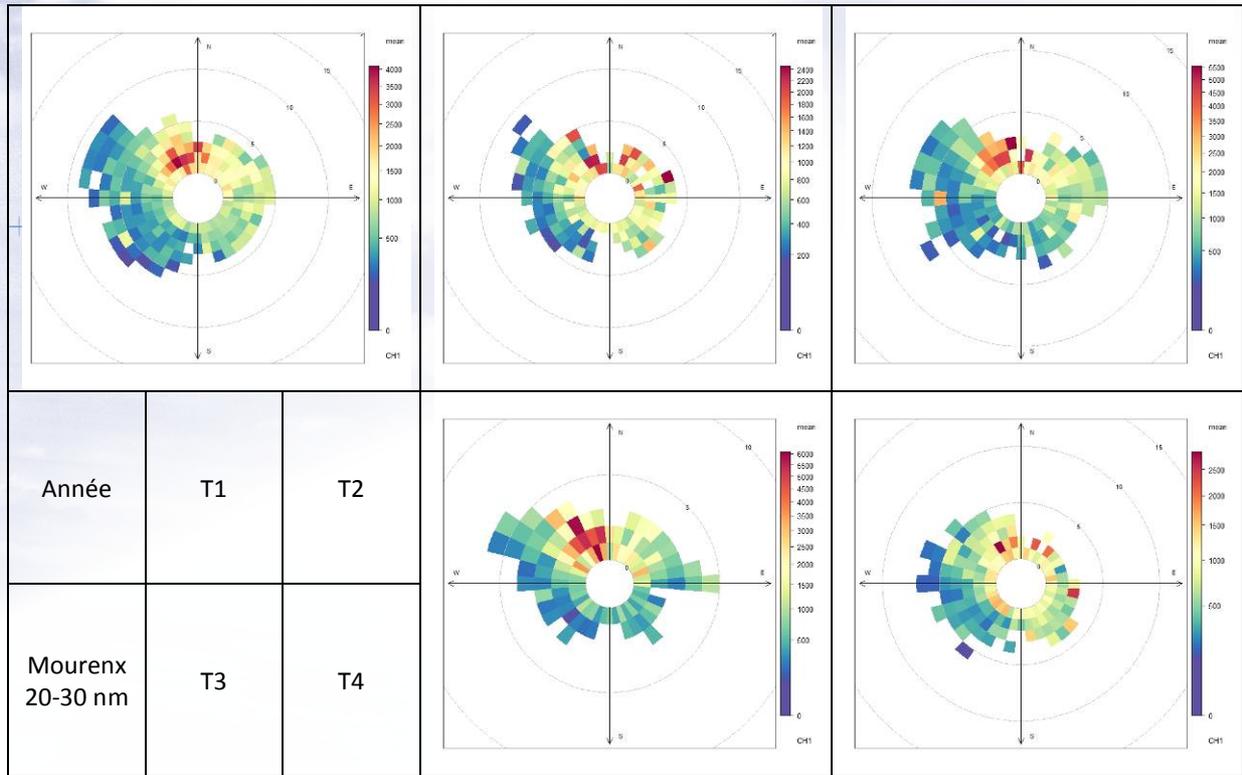


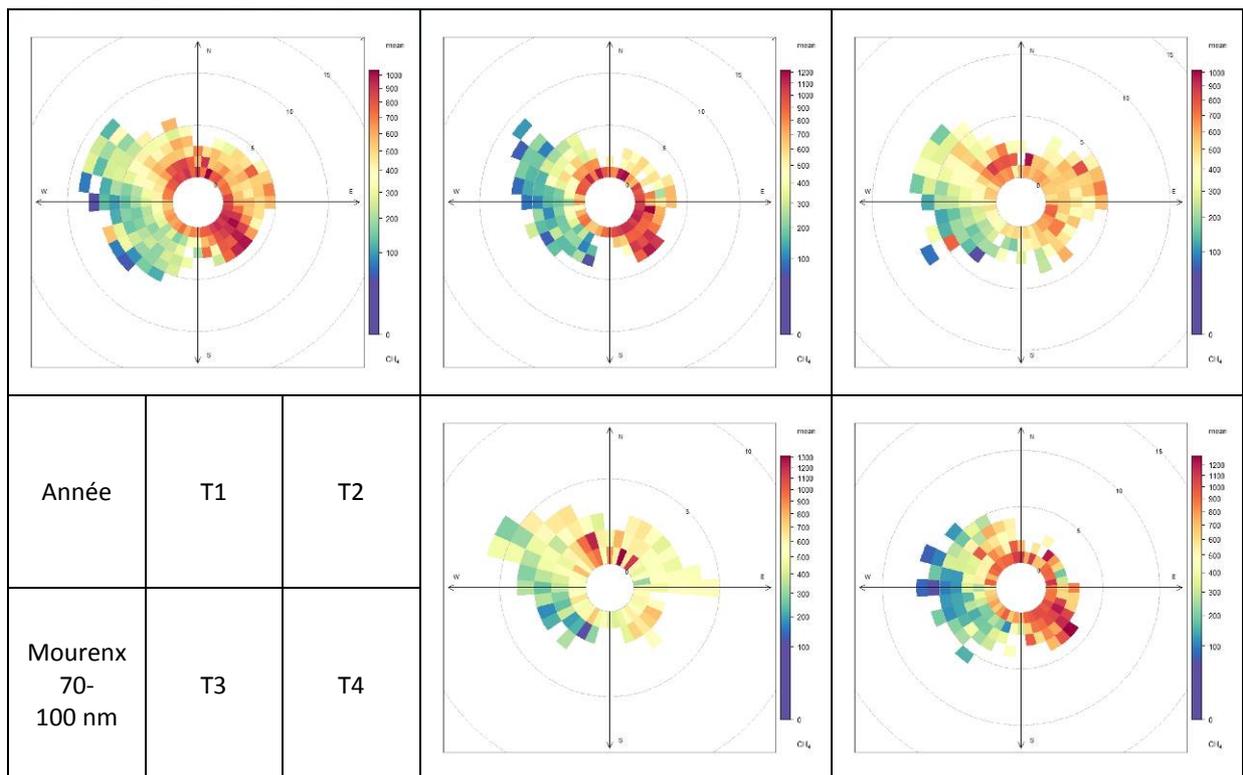
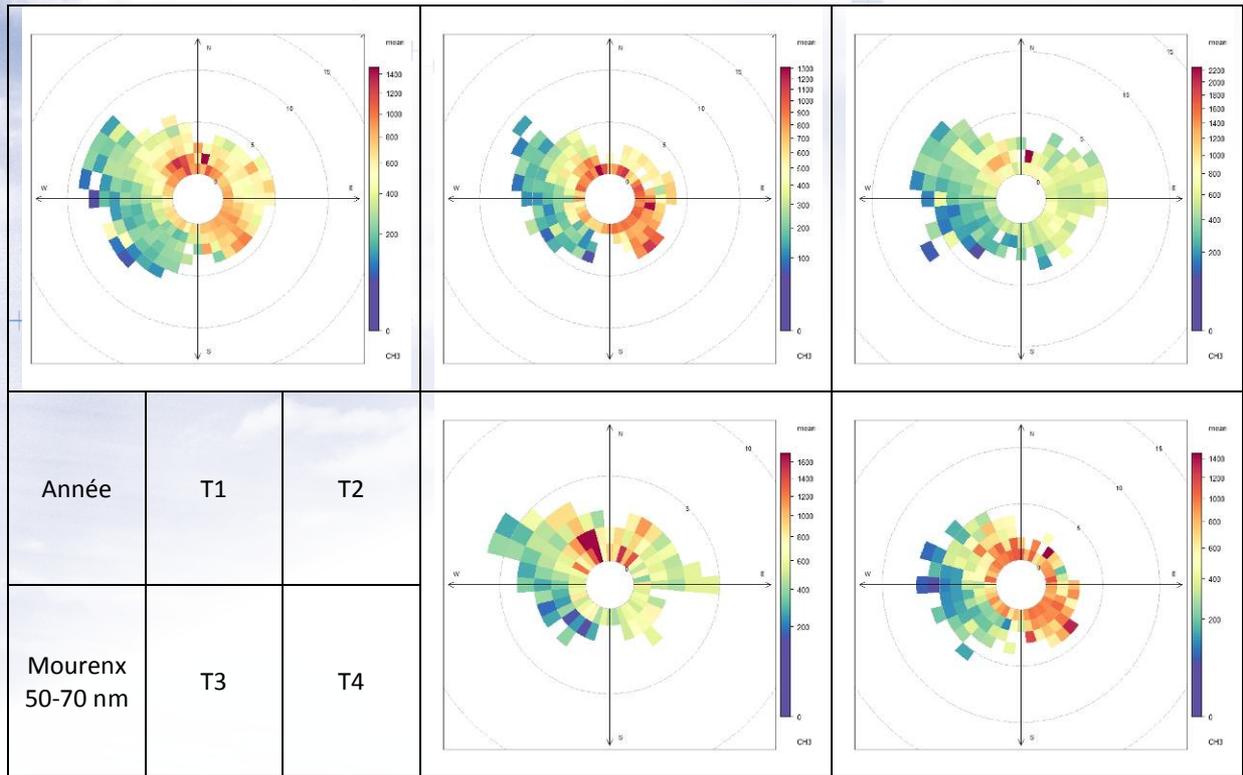
ANNEXES

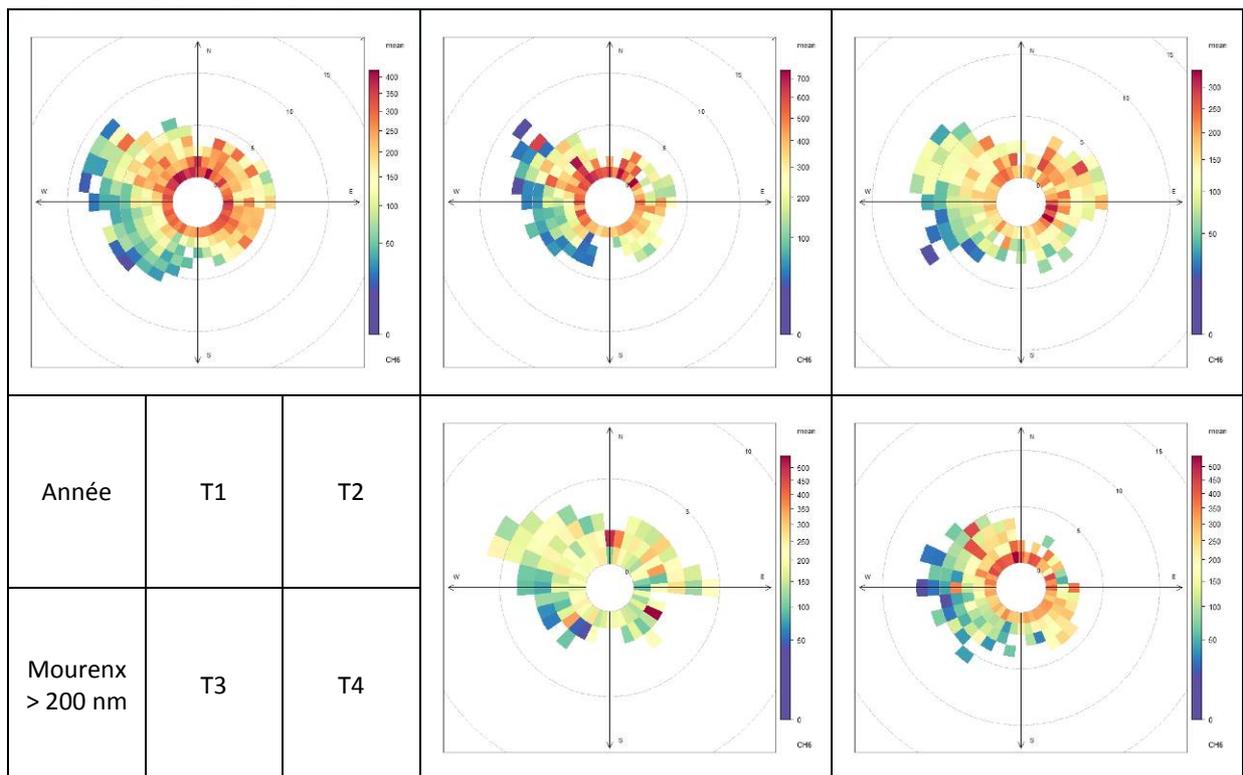
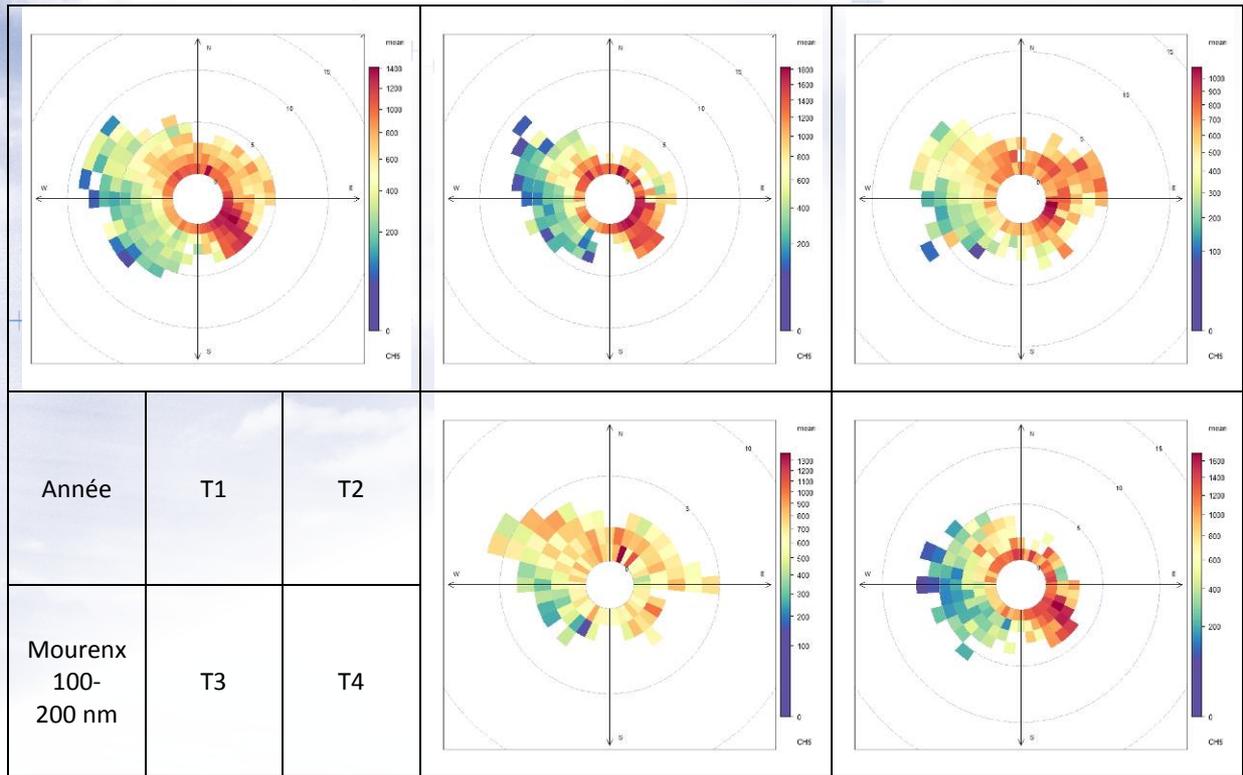
Annexe 1 : Rose des vents

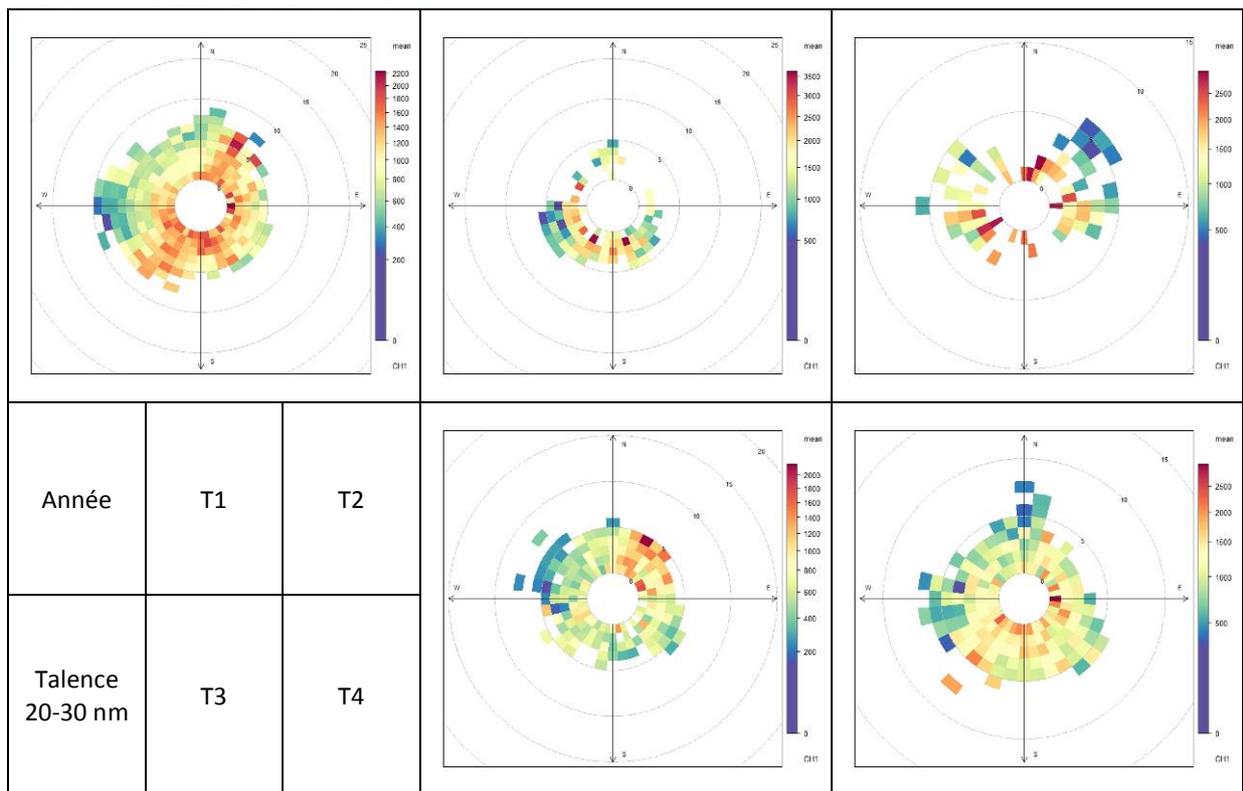
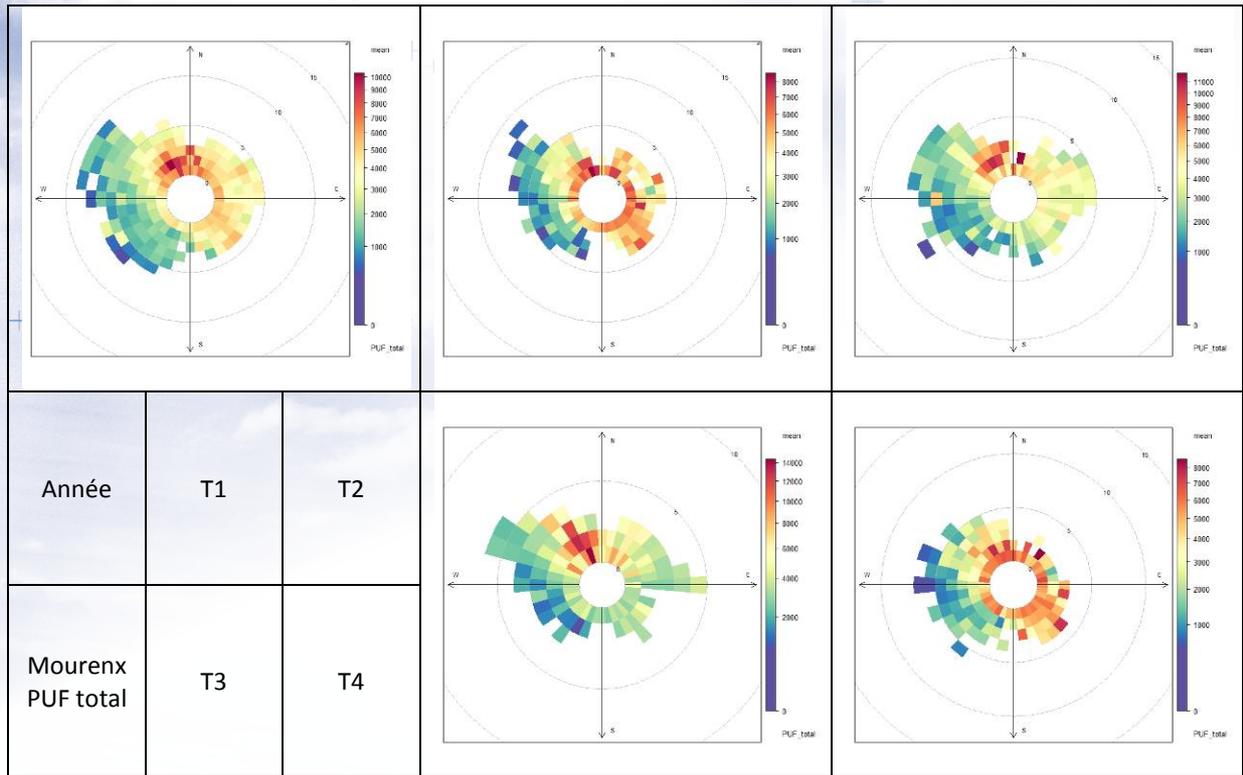
Annexe 2 : Table des illustrations

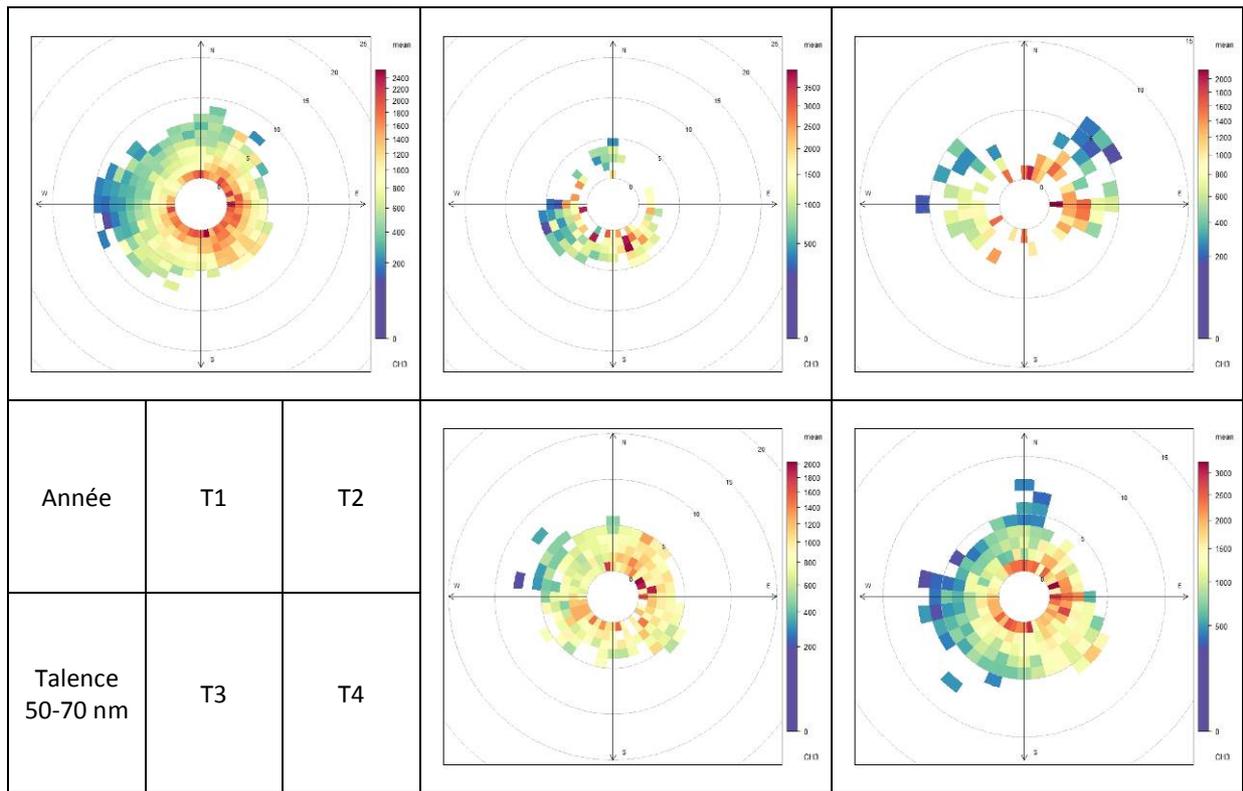
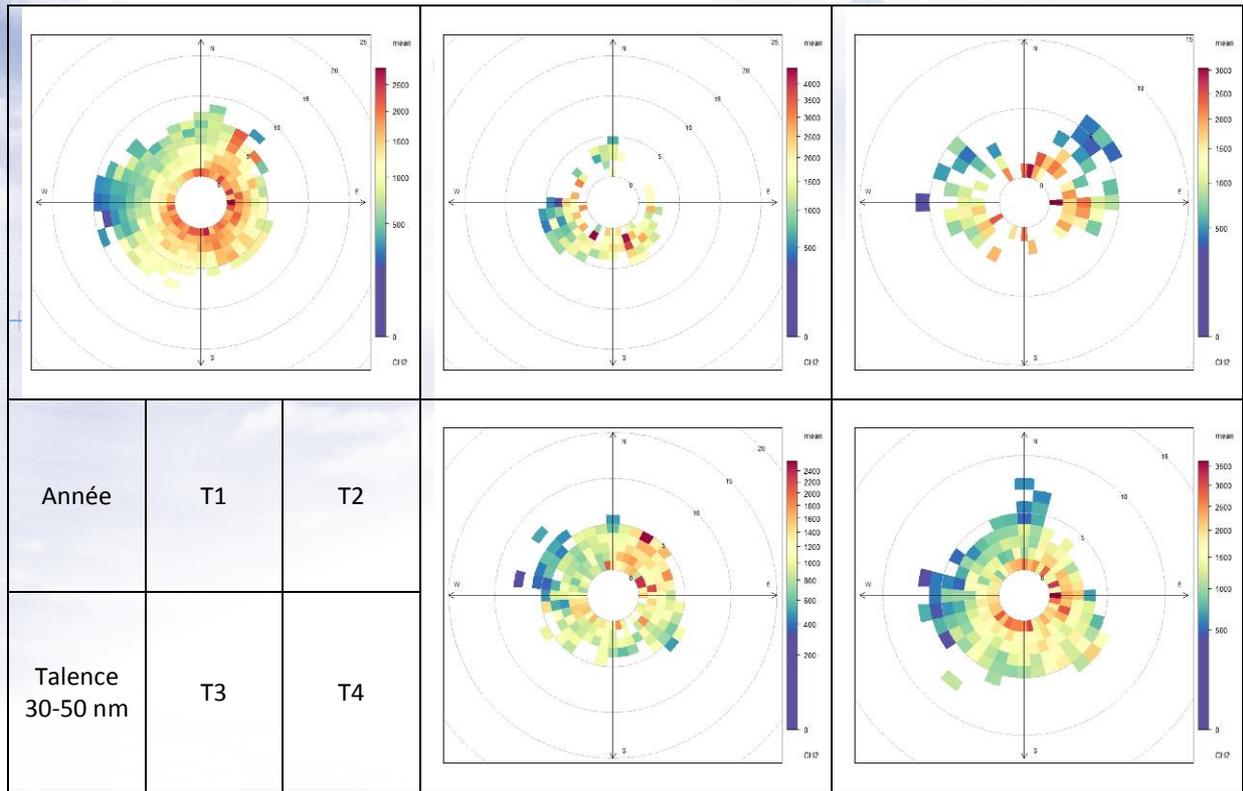
ANNEXE 1 : ROSE DES VENTS

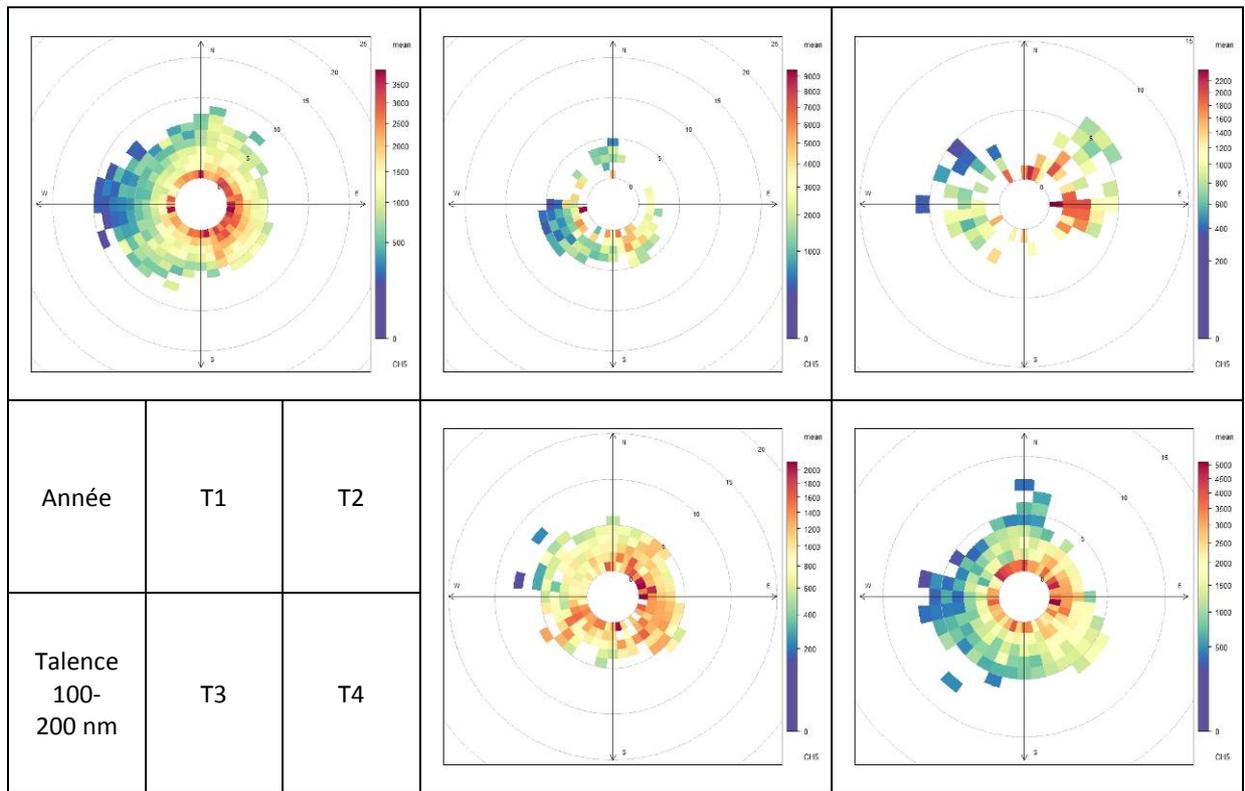
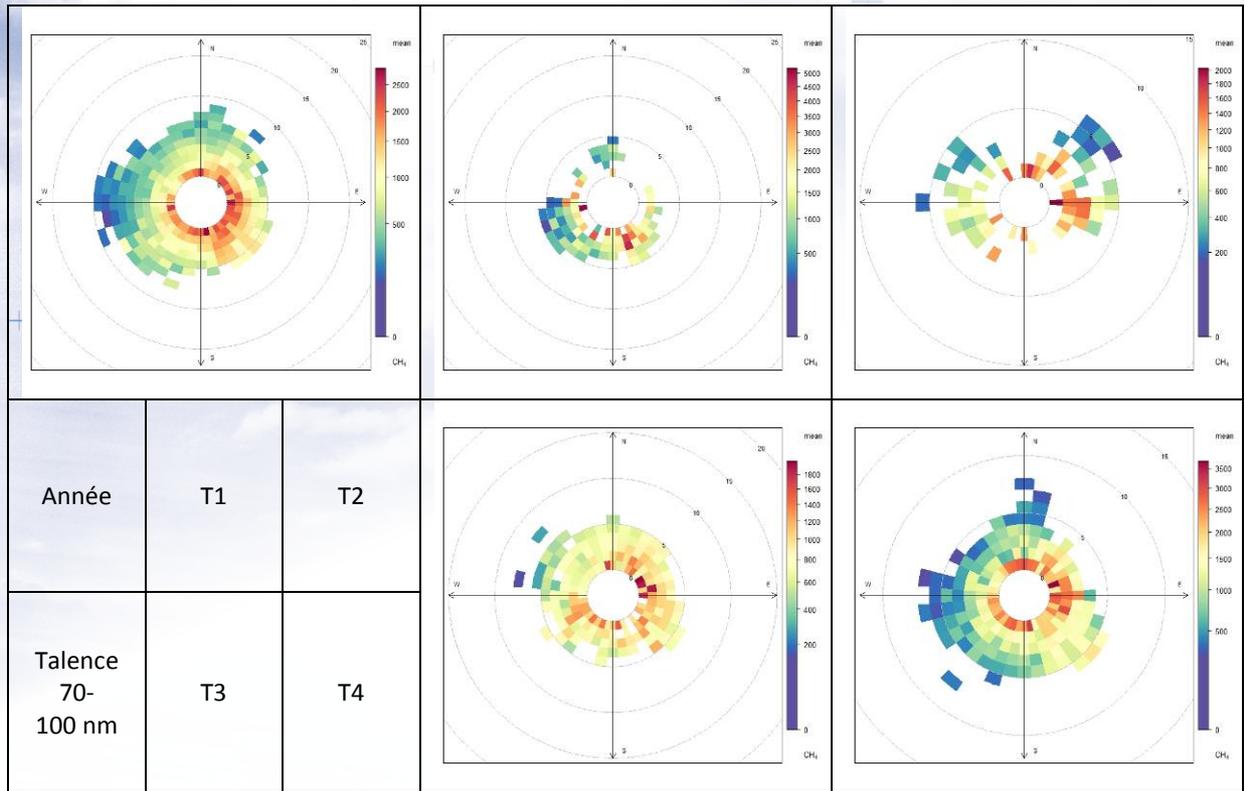


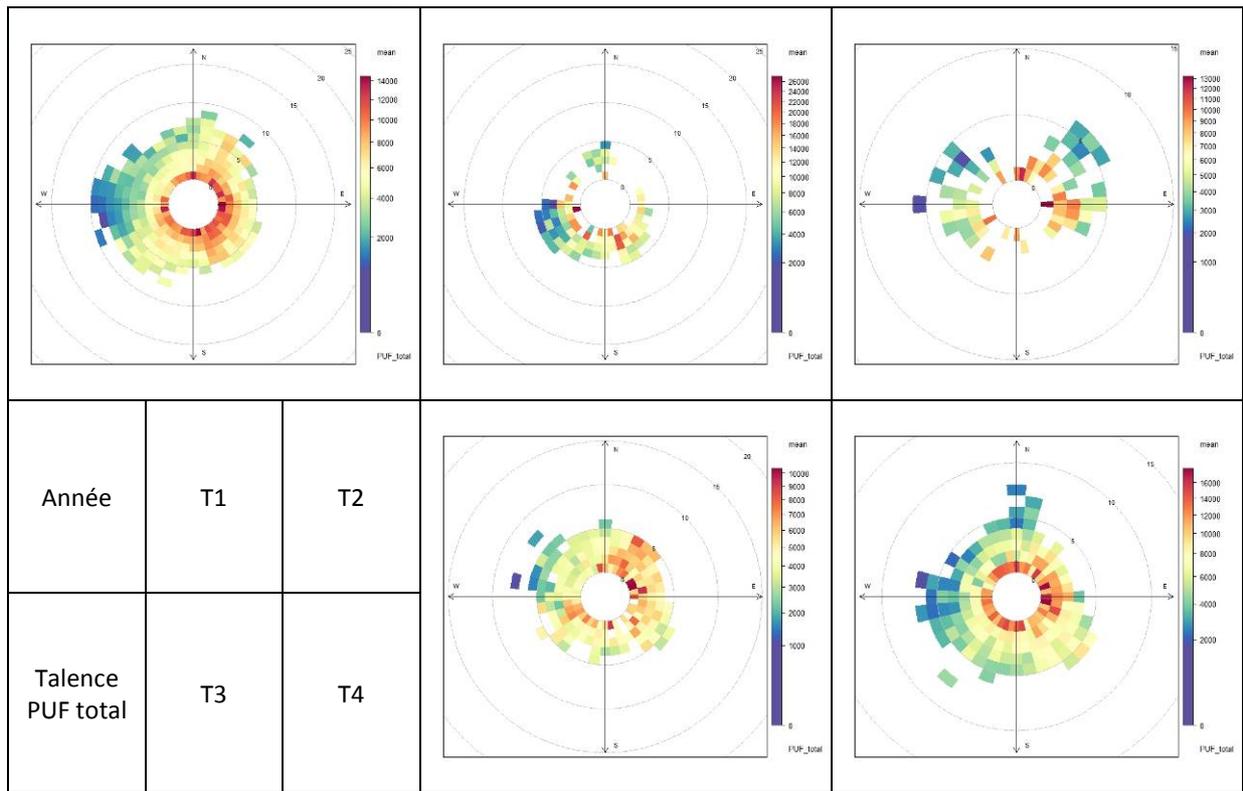
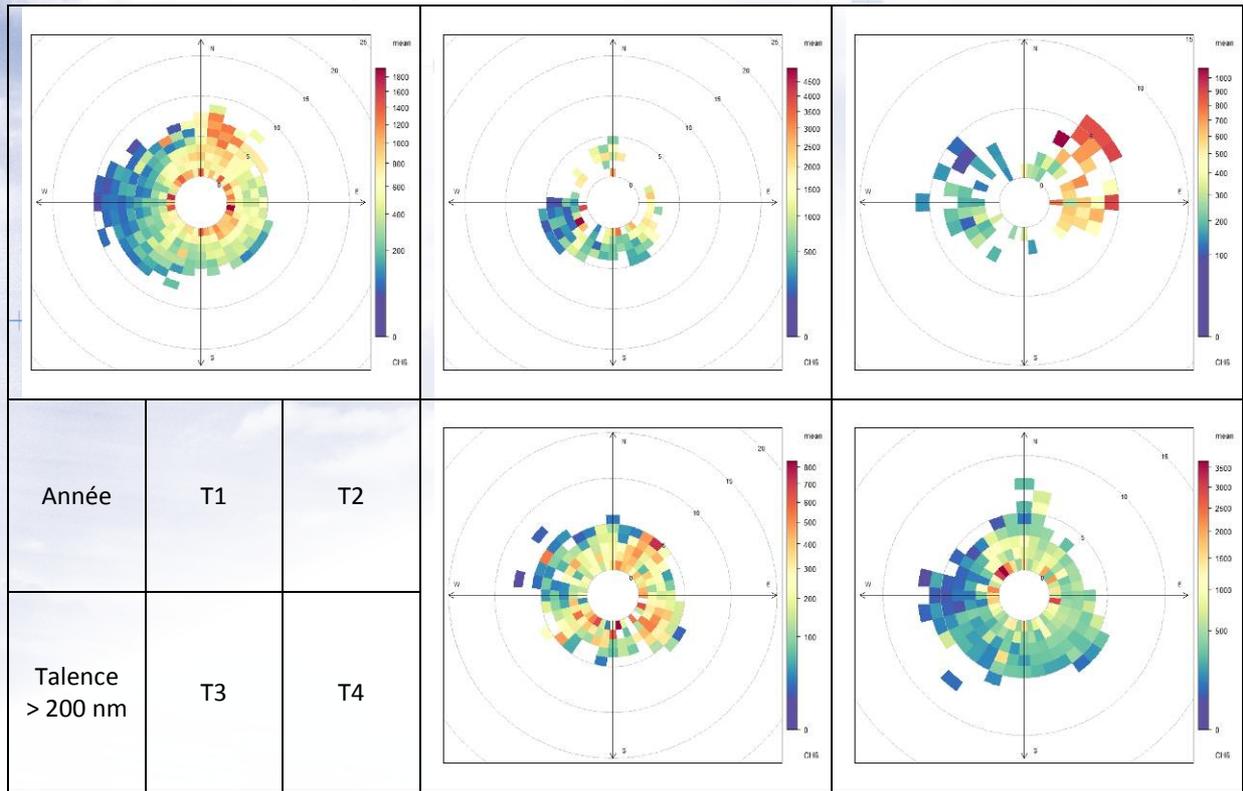












ANNEXE 2 : TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURES

Figure 1 : Représentation schématique des différentes classes de particules.....	7
Figure 2 : Répartition des émissions de particules en suspension PM10 et de particules fines PM2.5 en Aquitaine en 2012 (AIRAQ – Inventaire 2012 v1.1)	8
Figure 3 : principe de fonctionnement de la microbalance (source Thermo).....	11
Figure 4 : principe de mesures de la jauge beta – cas du BAM1020 (source MetOne Instrument).....	12
Figure 5 : principe de fonctionnement d'un compteur de particules (source ADDAIR)	12
Figure 6 : principe de fonctionnement de l'UFP 3031 (source TSI).....	14
Figure 7 : schéma fluïdique de la cellule de mesure de l'UFP 3031 (source TSI).....	14
Figure 8 : localisation de la station urbaine de fond de Talence (agglomération bordelaise)	16
Figure 9 : localisation de la station de proximité industrielle de Mourenx (ZI de Lacq)	16
Figure 10 : Concentrations en particules - comparaison aux autres sites français investigués dans le cadre du GT PUF (sources : AIRAQ, Air PACA et Air Rhône-Alpes).....	18
Figure 11 : Répartitions par classe - comparaison aux autres sites français investigués dans le cadre du GT PUF (sources : AIRAQ, Air PACA et Air Rhône-Alpes)	19
Figure 12 : Concentrations moyennes totales par trimestre sur Talence (à gauche) et Mourenx (à droite).....	21
Figure 13 : Profils trimestriels par classe granulométrique sur Talence (à gauche) et Mourenx (à droite)	22
Figure 14 : Indicateurs statistiques par classe granulométrique sur Talence (à gauche) et Mourenx (à droite) ..	23
Figure 15 : Profils moyens journaliers en heure locale – Année complète	26
Figure 16 : Profils moyens journaliers en heure locale – Trimestre 1.....	28
Figure 17 : Profils moyens journaliers en heure locale – Trimestre 2.....	30
Figure 18 : Profils moyens journaliers en heure locale – Trimestre 3.....	32
Figure 19 : Profils moyens journaliers en heure locale – Trimestre 4.....	34
Figure 20 : Macro-implantation de la station de Mourenx.....	37
Figure 21 : Roses des vents pour les 10 % des valeurs les plus élevées (20-30, 30-50, 50-70, 70-100 et 100-200 nm).....	38
Figure 22 : Noël 2014-2015 : concentration totale par période (à gauche) et indicateurs statistiques par classe granulométrique sur Talence (à droite)	39
Figure 23 : Evolution horaire des PUF et des PM10 du 18/03 minuit au 23/03 minuit.....	40
Figure 24 : Concentration totale par période (à gauche) et indicateurs statistiques par classe granulométrique sur Talence (à droite) du 19 au 21/03/15	41
Figure 25 : Profils moyens journaliers – site de Talence – Eté 2012.....	42
Figure 26 : Profils moyens journaliers – site de Mourenx – 13/07-01/08/13.....	43
Figure 27 : Profils moyens journaliers – site de Mourenx – Journées $SO_{2\max} > 100 \mu g/m^3$	44

TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse des valeurs-guides de l'OMS pour les PM10 et les PM2.5.....	10
Tableau 2 : Valeurs réglementaires en vigueur pour les PM10 et les PM2.5 issues du décret 2010-1250	10
Tableau 3 : résumé des mesures	15
Tableau 4 : Statistiques élémentaires sur Talence (à gauche) et Mourenx (à droite) – Données annuelles.....	17
Tableau 5 : Statistiques élémentaires sur Talence (à gauche) et Mourenx (à droite) par trimestre	20
Tableau 6 : Coefficients de corrélations entre polluants sur Talence par trimestre (données horaires).....	35
Tableau 7 : Coefficients de corrélations entre polluants sur Mourenx par trimestre (données horaires).....	36
Tableau 8 : Corrélations entre polluants sur Talence – Noël 2014-2015.....	38
Tableau 9 : Corrélations entre polluants sur Talence – 18-22/03/15.....	41