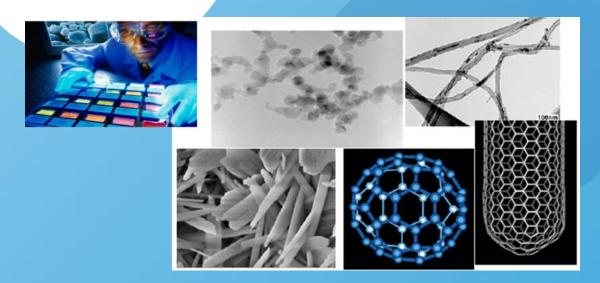
Observatoire des Particules Ultra Fines atmosphériques en Rhône-Alpes



PREMIERS RESULTATS SUR L'AGGLOMERATION GRENOBLOISE (2012-2014)

www.air-rhonealpes.fr



Diffusion: Juin 2016

Siège social : 3 allée des Sorbiers – 69500 BRON Tel : 09 72 26 48 90 - Fax : 09 72 15 65 64





CONDITIONS DE DIFFUSION

Air Rhône-Alpes est une association de type « loi 1901 » agréée par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable des Transports et du Logement (décret 98-361 du 6 mai 1998) au même titre que l'ensemble des structures chargées de la surveillance de la qualité de l'air, formant le réseau national ATMO.

Ses missions s'exercent dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996. La structure agit dans l'esprit de la charte de l'environnement de 2004 adossée à la constitution de l'Etat français et de l'article L.220-1 du Code de l'environnement. Elle gère un observatoire environnemental relatif à l'air et à la pollution atmosphérique au sens de l'article L.220-2 du Code de l'Environnement.

Air Rhône-Alpes communique publiquement sur les informations issues de ses différents travaux et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux.

A ce titre, les rapports d'études sont librement disponibles sur le site www.air-rhonealpes.fr

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'Air Rhône-Alpes.

Toute utilisation partielle ou totale de ce document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit faire référence à l'observatoire dans les termes suivants : © Air Rhône-Alpes (2016) –Observatoire des Particules Ultra Fines atmosphériques en Rhône-Alpes – Résultats 2012-2014 ».

Les données ne sont pas rediffusées en cas de modification ultérieure.

Par ailleurs, Air Rhône-Alpes n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec Air-Rhône-Alpes :

- depuis le formulaire de contact sur le site www.air-rhonealpes.fr
- par mail : contact@air-rhonealpes.fr
- par téléphone : 09 72 26 48 90

Un questionnaire de satisfaction est également disponible en ligne à l'adresse suivante http://www.surveymonkey.com/s/ecrits pour vous permettre de donner votre avis sur l'ensemble des informations mis à votre disposition par l'observatoire Air Rhône-Alpes.

Cette étude d'amélioration de connaissances a été rendue possible grâce à l'aide financière particulière de la Région :

AUVERGNE – Rhônellpes

Toutefois, elle n'aurait pas pu être exploitée sans les données générales de l'observatoire, financé par l'ensemble des membres d'Air Rhône-Alpes.

Remerciements:

Pour ce projet ambitieux, Air Rhône-Alpes s'est appuyé sur l'expertise de scientifiques spécialistes des particules ultrafines, au niveau national (Olivier Le Bihan – INERIS/LCSQA, France) et au niveau international (Alfred Wiedensohler – IFT/TROPOS, Allemagne).

Air Rhône-Alpes remercie également ses collègues homologues à AIRAQ, AIRPACA et AIRPARIF pour leur implication et leurs travaux dans le cadre du groupe de travail national sur les particules ultrafines (GT PUF).

Sommaire

1. Etat de	e l'art des connaissances sur les particules ultrafines	5
1.1.	PUF : de quoi parle-t-on exactement ?	5
1.2.		
	1.2.1. Effets sur la santé	e
	1.2.2. Autres effets environnementaux	б
	1.2.3. Réglementation	
1.3.	PUF : comment les mesurer ?	7
	1.3.1. Quelques notions théoriques	7
	1.3.2. Choix de l'équipement pour AIR Rhône-Alpes	
1.4.	Pourquoi créer un « Observatoire des Particules Ultrafines » en Rhône-Alpes ?	10
2. Résult	ats des campagnes de mesure	11
2.1.	Méthodologie	11
	2.1.1. Sites de mesure	11
	2.1.2. Calendrier des campagnes	
2.2.	Niveaux moyens / Niveaux de référence	
	2.2.1. Niveaux mesurés sur le territoire national	
	2.2.2. Niveaux mesurés dans l'agglomération de Grenoble	15
2.3.	Evolutions temporelles	
	2.3.1. Profils annuels	
	2.3.2. Profils horaires journaliers en fond urbain	
	2.3.3. Profils horaires journaliers en proximité trafic	
2.4.		
2.5.	Etudes de cas sur certaines périodes de l'année	
	2.5.1. Exemple d'épisode de pollution atmosphérique hivernal en novembre 2014	
	2.5.2. Exemple d'un épisode de pollution atmosphérique printanier : mars 2015	
	2.5.3. Exemple d'une période estivale : août 2015	
3. Synthe	ese des résultats	
3.1.	Synthèse des résultats de l'étude AIR Rhône-Alpes	26
3.2.	, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	
	3.2.1. Mesures exploratoires de PUF sur la région Aquitaine	27
	3.2.2. Recherche des sources à l'aide de signatures chimiques et granulométriques sur la	
	région PACA	
	3.2.3. Veille et support technique sur les particules ultrafines	
4. Conclu	ision et perspectives	29
ANNEXE 2	CES : Principe de fonctionnement de l'appareil de mesure UFP-3031 : GT PUF – Note de synthese sur l'impact sanitaire des particules ultrafines : GT PUF – Note sur les perspectives de travail a partir de 2015	31

Résumé

Parmi les polluants surveillés par Air Rhône-Alpes, les particules en suspension sont particulièrement problématiques. En effet, outre leurs effets sanitaires avérés, des dépassements réglementaires sont régulièrement constatés tant sur les grandes agglomérations qu'en zones alpines ou rurales.

Pour rappel, la France est concernée depuis 2008 par un contentieux avec la Communauté Européenne pour non-respect des valeurs limites concernant les particules fines (PM10), auquel s'ajoute un nouveau grief depuis 2013 pour insuffisance des plans d'action mis en œuvre.

Les valeurs fixées par les réglementations actuelles pour les particules en suspension se réfèrent essentiellement à leurs concentrations massiques (mesurées en microgrammes par mètre cube). Cependant, de plus en plus, la communauté scientifique européenne et diverses études toxicologiques et épidémiologiques mettent en évidence l'importance de considérer d'autres paramètres, comme le nombre, la taille, la forme ou encore la composition chimique des aérosols, pour permettre d'améliorer la compréhension de la toxicité des particules submicroniques ou pour étudier leurs impacts climatiques.

C'est dans ce contexte qu'Air Rhône-Alpes a investi à partir de 2011-2012 le champ des « Particules Ultra Fines » (PUF) avec pour premier objectif d'améliorer les connaissances sur les aérosols atmosphériques de taille submicronique et au final de pérenniser les mesures pour créer le premier « Observatoire des Particules Ultra Fines » sur la région Rhône-Alpes.

Le présent rapport s'articule donc en 2 grandes parties avec, en premier lieu, un état de l'art des connaissances sur les particules ultrafines issu des travaux menés entre 2011 et 2012, puis une présentation des résultats des campagnes de mesure réalisées sur l'agglomération grenobloise entre 2012 et 2014.

Les résultats montrent que la mesure des PUF apporte des éléments complémentaires aux mesures de particules en masse et des autres polluants gazeux, et notamment, que certaines classes de taille peuvent donner des indications intéressantes sur l'origine et les sources des particules.

Les conclusions de cette étude corroborent celles d'autres études menées en région Aquitaine ou en région PACA. L'ensemble de ces résultats confortent l'intérêt pour AIR Rhône-Alpes de poursuivre les mesures sur d'autres agglomérations, d'autres territoires, d'autres typologies de sites, et de créer un véritable « observatoire des PUF » en Rhône-Alpes. Par la suite, ces mesures devront également servir à alimenter des bases de données nationales et à apporter des connaissances aux acteurs de la santé.

1. Etat de l'art des connaissances sur les particules ultrafines

1.1. PUF: de quoi parle-t-on exactement?

NB: « PUF » = abréviation de « Particules Ultra Fines ».

Le terme particules désigne un mélange de polluants solides et/ou liquides en suspension dans l'air. Le terme aérosol est également employé, bien que ces deux mots n'aient pas exactement la même définition (la notion d'aérosol regroupe les particules et le gaz dans lequel elles sont en suspension).

Les particules ont une très grande variabilité en taille (de quelques nanomètres à une centaine de micromètres) et en termes de composition chimique.

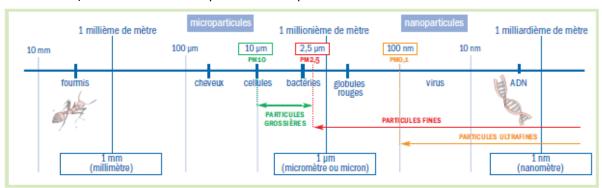


FIGURE 1: SCHEMA DE LA TAILLE DES PARTICULES

Les Particules Ultra Fines peuvent être produites soit par des processus d'origine naturelle (volcans, feux de forêts, cosmos, etc.), soit par des sources d'origine anthropique.

Parmi celles-ci, on distingue 2 sous-catégories de particules :

- Les PUF « non intentionnelles » : Celles produites de manière « non intentionnelles », à l'occasion d'activités d'origine humaine (émissions de moteurs, usures, fumées de soudure ou de cigarettes, etc.)
- Les PUF « intentionnelles » ou « manufacturées » : Celles produites de manière « intentionnelle », issues d'un produit manufacturé (Nanotubes de Carbone, nanoparticules de dioxyde de Titane, etc.), de la production à l'usure, jusqu'au déchet d'un produit fini.

Les PUF d'origine naturelle ou anthropique, produites de manière « non intentionnelle » ou « manufacturée » sont donc omniprésentes dans l'atmosphère.

Dans la littérature scientifique, le terme « aérosols ultrafins » ou « particules ultrafines » et celui de « nanoparticules » sont souvent utilisés de manière confondue pour désigner une suspension, dans un gaz, de particules dont la taille peut aller de quelques nanomètres jusqu'à environ 100 nm. Dans le secteur des nanotechnologies, le terme « nanoparticule » est plus souvent utilisé. Néanmoins, suivant les procédés de fabrication de ces nanoparticules, on peut trouver des agglomérats ou des agrégats dont la taille est bien supérieure à 100 nm. Dans ce contexte, le fait de s'intéresser aux « nanoparticules » n'exclut donc pas d'étudier les particules dont la taille est supérieure à 100 nm (notamment les agrégats).

En matière de métrologie et de qualité de la mesure, des actions sont menées tant dans le domaine de la recherche que dans le domaine de la normalisation. Ainsi, un groupe de travail européen a été créé au sein du CEN/TC-264¹ afin d'émettre des recommandations sur la mesure de la concentration en nombre et de la granulométrie des aérosols.

_

¹ Groupe CEN : Comité Européen de Normalisation

Le groupe ISO¹ a également défini la notion de nanoparticules et/ou de nanomatériaux :

- i) La définition nanométrique considère le domaine de dimension compris entre 1 et 100 nm (« typiquement mais pas exclusivement »)
- ii) Les nano-objets sont des matériaux présentant une, deux ou trois dimensions externes dans le domaine nanométrique. Parmi ces nano-objets, les nanoparticules comprennent leurs trois dimensions dans le domaine nanométrique, les nanoplaques ont une dimension nanométrique alors que les nanofibres sont des « nano-objets » présentant deux dimensions nanométriques, la troisième dimension étant plus longue de façon significative.

De plus en plus, les scientifiques semblent s'accorder pour définir les nanomatériaux comme un ensemble formé de Nano-Objets (Nanoparticules, Nanofibres et Nanoplaques) + Agrégats + Agglomérats) regroupés sous le sigle de « NOAA ».

Pour ne pas entrer plus dans le débat et pour simplifier, nous conviendrons pour la suite de ce rapport des définitions suivantes :

- « Nanoparticules ou Nanomatériaux » : désignera les particules de taille < 100 nm, mais uniquement produites de manière « intentionnelle » ou « manufacturée ».
- « Particules Ultra Fines » (PUF) : désignera toutes les particules de taille < 100 nm, quelle que soit l'origine (englobant donc les nanoparticules non intentionnelles <u>et</u> intentionnelles).
- « Particules Submicroniques » : désignera toutes les particules de taille < 1 μm (englobant les PUF)

1.2. PUF: pourquoi les mesurer?

1.2.1. Effets sur la santé

D'une manière générale, les facteurs déterminant la toxicité d'une particule sont : la concentration, la taille, la morphologie et la composition chimique. Pour le moment, il n'a pas été déterminé de seuil en-dessous duquel les particules seraient inoffensives. Les principaux effets sanitaires des particules mis en évidence des particules sont essentiellement des troubles cardio-respiratoires (inflammations respiratoires, aggravation des allergies, cancers...).

Un grand nombre d'études menées par les experts de la santé permet d'affirmer le rôle de la pollution atmosphérique particulaire sur la santé humaine (mortalité, maladies respiratoires, cardiopathies) et de souligner de plus en plus le rôle privilégié des particules ultrafines. En outre, ces études confirment l'intérêt de la mesure et l'observation des PUF dans le cadre du dispositif national de surveillance de la qualité de l'air. (Voir note de synthèse réalisée par le GT PUF -> en Annexe 2).

1.2.2. Autres effets environnementaux

Sur le bâti, les effets des particules se traduisent par des modifications de la couleur, de la texture et de la forme des édifices (empoussièrement des surfaces et formation de croutes noires). En plus de l'aspect inesthétique, les particules peuvent être porteuses de soufre et de métaux catalyseurs de réactions d'oxydation altérant les matériaux.

Les effets sur les écosystèmes sont encore mal connus. Par dépôt sur les plantes, les particules peuvent altérer les échanges gazeux, diminuer la photosynthèse, favoriser le développement d'organismes pathogènes. Les particules peuvent également contaminer les sols et les eaux souterraines par entrainement de polluants.

¹ ISO: International Standard Organisation; texte publié en septembre 2008 sous le numéro ISO / TS 276872 (« Nanotechnologies – Terminologie et définitions relatives aux nanoobjets – Nanoparticule, nanofibre et nanoplat »)

D'un point de vue climatique, les aérosols participent également au bilan radiatif terrestre. De manière directe (absorption, réflexion du rayonnement, perte de lumière au sol) ou indirecte (modification de la composition des nuages, perturbation des précipitions). Cependant aujourd'hui le bilan sur le climat reste difficile à estimer.

1.2.3. Réglementation

Aujourd'hui, les particules sont réglementées uniquement sur la concentration massique (mesurée en $\mu g/m^3$) et les valeurs réglementaires ne concernent que les particules PM10 et PM2.5 (de taille respectivement < 10 microns ou < 2,5 microns).

Polluant	Particules inférieures à 10 μm (PM10)	Particules inférieures à 2,5 μm (PM2.5)
Seuil d'information	50 μg/m³ en moyenne 24 heures	
Seuil d'alerte	80 μg/m³ en moyenne 24 heures	
Valeurs limites	50 μg/m³ moyenne journalière (35 dépassements/année civile) 40 μg/m³ moyenne année civile	2015 : 25 μg/m³ moyenne année civile 2020 : 20 μg/m³ moyenne année civile
Valeurs cibles		25 μg/m³ moyenne année civile 20 μg/m³ moyenne année civile
Objectif de qualité	30 μg/m³ moyenne année civile	10 μg/m³ moyenne année civile
Obligation en matière de concentration d'exposition		2020 : 20 μg/m³ moyenne année civile

Année civile : du 1er janvier au 31 décembre

Il n'existe pas à l'heure actuelle de réglementation sur la concentration en nombre et sur la granulométrie des particules (travail en cours du groupe CEN/TC-264 pour des recommandations).

1.3. PUF: comment les mesurer?

1.3.1. Quelques notions théoriques

Depuis plus d'un siècle, beaucoup de recherches ont été conduites sur les aérosols et la pollution atmosphérique particulaire avec un effort notable depuis les années 70 sur la métrologie.

Tout comme les propriétés physico-chimiques, le comportement des particules dispersées dans l'air change également en fonction de leur taille. Dans les conditions de pression et de température normales, le mouvement des particules de taille inférieure à 100 nm est affecté par les collisions individuelles avec les molécules composant le gaz environnant. On dit que les particules sont soumises au mouvement brownien, c'est le régime « diffusionnel » ou « moléculaire ». En revanche, les particules de taille supérieure à 1 μ m sont soumises à l'inertie et sujettes à la sédimentation. Entre 100 nm et 1 μ m, c'est le régime transitoire où les effets « diffusionnels » et « inertiels » sont du même ordre de grandeur. Ces effets, ainsi que les effets électriques, sont utilisés dans différents instruments pour mesurer les particules en suspension dans l'air.

Au cours du temps, ces particules peuvent évoluer en taille et forme, notamment par condensation et coagulation ou par processus de nucléation à partir de réactions photochimiques dans l'atmosphère avec des précurseurs gazeux (dioxyde de soufre, oxydes d'azote, composés organiques volatils). Selon la littérature, leur concentration varie entre 10³ et 10⁶ particules par centimètre cube (p/cm³) suivant l'environnement (zones urbaine, continentale, maritime).

Dans un premier temps, les paramètres les plus utilisés et les plus aisés pour mesurer les Particules Ultra Fines sont la concentration en nombre (comptage) et la distribution de ces concentrations en fonction de la taille (distribution granulométrique).

Par la suite, afin de mieux caractériser l'origine des PUF, il faut essayer de définir ou quantifier plusieurs autres facteurs, comme leur forme (sphérique ou non, agrégat, dimension fractale, etc.), leurs différents diamètres équivalents (aérodynamique, thermodynamique, de mobilité électrique, etc.), ou encore leur composition chimique.

La distribution granulométrique des particules peut être décrite en 3 modes principaux (voir Figure ci-dessous) :

<u>Le mode « nucléation »</u> contient les particules ultrafines (<0.1 μ m). Elles sont principalement formées par condensation de vapeurs chaudes (lors de combustions) et par nucléation homogène lors de leur refroidissement. Ce mode représente un très grand nombre de particules, mais constitue une faible part en termes de volume, et donc dans la masse des particules.

<u>Le mode « accumulation »</u> contient les particules comprises entre $0.1\mu m$ et $2\mu m$ résultant de la coagulation des particules du mode nucléation et de la condensation de vapeurs sur les particules existantes. Ce mode contribue largement à la surface et masse totale des particules. Temps de séjour : plusieurs jours à plusieurs semaines.

<u>Le mode « sédimentation »</u> contient les particules >2μm, formées pour la plupart par procédés mécaniques (érosion éolienne, embruns marins, broyage industriel...). Leur durée de vie dans l'atmosphère est faible (dépôt par gravité). Elles contribuent peu en nombre de particules mais de façon importante en masse.

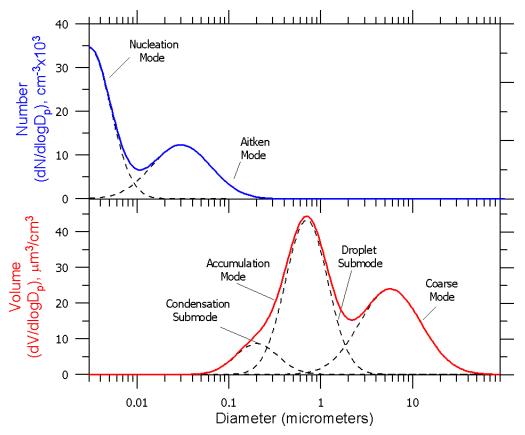


FIGURE 2: DISTRIBUTION EN TAILLE ET EN NOMBRE DES PARTICULES [WHITBY ET AL.]

En outre, ce graphe montre bien que les PUF sont présentes en très grand nombre (particules/cm³). En revanche, lorsque la concentration est mesurée en masse ($\mu g/m^3$), c'est-à-dire proportionnelle au volume, elles représentent une part négligeable par rapport à la masse totale des particules mesurées dans l'air (PM1, PM2.5, PM10).

Le paragraphe suivant présente les appareils choisis par Air Rhône-Alpes pour la mesure des particules en nombre et en taille dans le cadre de cette étude.

1.3.2. Choix de l'équipement pour AIR Rhône-Alpes

Pour ce projet d'Observatoire des Particules Ultra Fines, Air-Rhône a mené en 2011 un travail de recherche bibliographique et de réflexions avec d'autres AASQA et des partenaires scientifiques (INERIS¹ et IFT/TROPOS²) pour valider le choix des appareils de mesures à utiliser.

Ces réflexions ont conduit notamment à la création d'un groupe de travail national sur la thématique des Particules Ultra Fines, le « **GT PUF** », piloté par des ingénieurs du LCSQA³ (INERIS) avec des représentants de plusieurs AASQA souhaitant travailler sur la connaissance et la mesure des PUF (AIR-Rhône-Alpes, AIRAQ, AIRPACA et AIRPARIF).

Les travaux menés dans le cadre de ce GT PUF ont permis, entre autres, de valider le choix des appareils, de réaliser des campagnes d'intercomparaison et d'accompagner les AASQA, tant sur les aspects techniques que scientifiques.

Le choix de l'équipement s'est porté sur un appareil conçu spécialement pour une activité de surveillance continue, qui a été développé en 2007 par la société TOPAS (basée en Allemagne) et commercialisé depuis 2008 par la société TSI sous le nom de : **UFP-3031.**

L'UFP-3031 présente en effet un bon compromis entre les 2 techniques de mesures souvent utilisées dans les laboratoires de recherche :

- Le CPC^4 : il permet un comptage du nombre total de particules entre quelques nanomètres et 1 µm, mais sans apporter d'information sur la répartition en taille.
- Le SMPS⁵ : il mesure la distribution en nombre et en taille avec une grande résolution, mais avec l'inconvénient d'utiliser une source radioactive et d'être difficilement transportable.

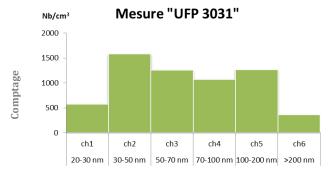
Fin 2011, Air Rhône-Alpes a fait l'acquisition de 2 instruments de mesures UFP-3031. Les premières mesures ont débuté courant avril 2012. AIRAQ possède également 2 instruments (achetés et installés à peu près au même moment). AIRPACA s'est doté d'un appareil en 2012 et un autre en 2015.

Caractéristiques de l'UFP3031:

 Comptage en nombre pour 6 classes de tailles, comprises entre 20 nm et 800nm, dont 4 classes en dessous de 100 nm :

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

- Absence de source radioactive : utilisation plus aisée d'un point de vue réglementaire et administratif
- Absence de butanol : allègement de consommables et de gestion des rejets
- Coût : plus élevé qu'un CPC, mais presque 2 fois moindre qu'un SMPS.



Granulométrie (6 classes de tailles)

¹ INERIS: Institut National de l'Environnement et des Risques Industriels (Verneuil-en-Halatte, France)

² IFT/TROPOS: Leibniz Institute For Trospospheric Research, Alfred WIEDENSOHLER (Leipzig, Allemagne)

³ LCSQA: Laboratoire Central pour la Surveillance de la Qualité de l'Air

⁴ CPC: Condensation Particle Counter (Compteur à Noyau de Condensation ou CNC)

⁵ Scanning Mobility Particle Sizer (Analyseur de mobilité électrique à balayage)

1.4. Pourquoi créer un « Observatoire des Particules Ultrafines » en Rhône-Alpes ?

La première étape a donc permis à AIR Rhône-Alpes de monter en compétence sur la connaissance des particules ultrafines, au travers de recherches bibliographiques ou d'échanges avec des acteurs spécialistes du sujet, mais aussi de valider le choix des appareils de mesure.

La deuxième étape a consisté à mettre en œuvre des campagnes de mesure pour étudier la taille et le nombre de particules se trouvant dans différents environnements, puis d'essayer de pérenniser les mesures en créant un « Observatoire des Particules Ultra Fines » sur la région Rhône-Alpes afin d'avoir une base de données robuste avec un historique des niveaux de concentrations en air ambiant.

Cet observatoire a pour but de compléter les indicateurs et diagnostics fournis par AIR Rhône-Alpes dans le cadre des bilans annuels, du suivi des programmes et plans d'actions (PPA, PDU, ...), ou d'apporter des connaissances complémentaires pour essayer de mieux comprendre les épisodes de pollution ou encore pour répondre à diverses plaintes et sollicitations.

L'historique des mesures permettra d'étudier l'évolution des niveaux en fonction des années ou des actions mises en place et d'avoir une avance considérable sur la connaissance des particules ultrafines au cas où elles soient un jour réglementées.

Ces mesures pourront également servir à alimenter des bases de données nationales et à apporter des connaissances complémentaires aux acteurs de la santé pour des études épidémiologiques ou sanitaires.

2. Résultats des campagnes de mesure

2.1. Méthodologie

2.1.1. Sites de mesure

La première étape a montré à quel point le sujet des « particules ultra fines » est encore à l'état d'amélioration des connaissances. C'est pourquoi, avant de chercher à voir s'il est possible de différencier les PUF d'origine naturelle, anthropique ou de sources manufacturées, Air Rhône-Alpes s'est fixé pour objectif, dans le cadre de ce premier observatoire, de mesurer les niveaux de PUF dans différents environnements.

Les sites de mesures ont été volontairement concentrés sur une zone peu étendue, l'objectif étant de voir s'il existe une différence en nombre et en taille de particules en fonction de l'environnement (sur des sites urbains et trafic dans un premier temps) tout en limitant le nombre de paramètres externes pouvant influencer les mesures (topographie, météorologie, émissions...). Entre 2012 et 2014, Air Rhône-Alpes a donc réalisé des campagnes de mesures avec les 2 appareils UFP-3031, sur 7 sites de l'agglomération grenobloise.

La carte ci-dessous présente l'emplacement des sites d'études :

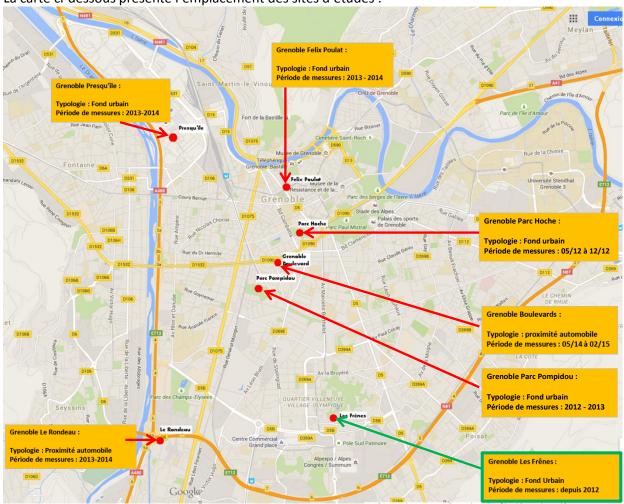


FIGURE 3: REPARTITION DES SITES DE L'OBSERVATOIRE GRENOBLOIS

- Un UFP-3031 a été implanté de manière permanente sur un site de fond urbain (Grenoble Les Frênes) multiinstrumenté. Ce site sert de site de référence.
- L'autre UFP-3031 a été implanté dans un laboratoire mobile, pour pouvoir être déplacé sur plusieurs sites. Ce laboratoire a été équipé avec d'autres analyseurs de polluants également mesurés en continu sur le site de « Grenoble Les Frênes » et d'autres sites du réseau de surveillance de qualité de l'air : particules (PM10, PM2.5) et oxydes d'azote (NO,NO₂). Le laboratoire mobile a été déplacé de site en site, en couvrant plusieurs périodes de l'année (cf. ci-après)

La carte ci-dessous présente la localisation des autres sites de mesures de PUF en France :

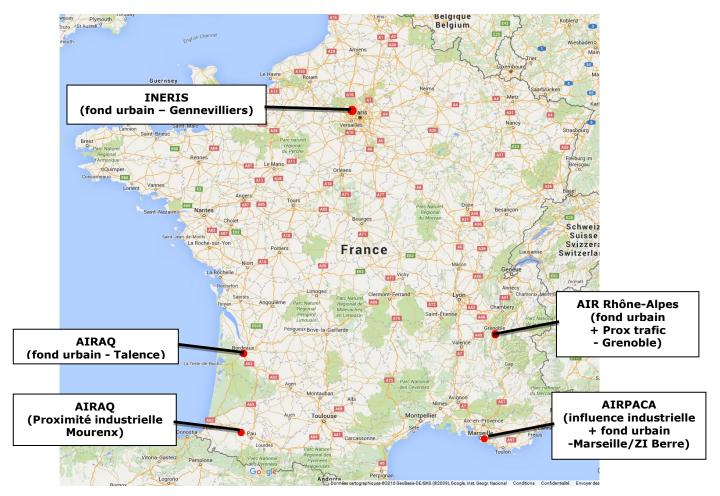
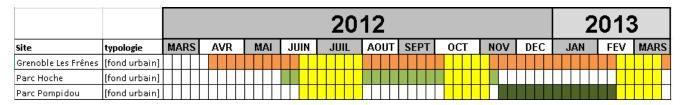


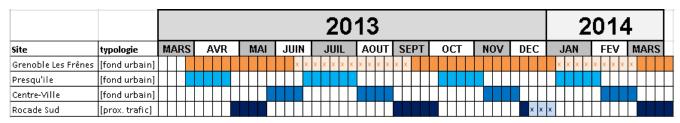
FIGURE 4: REPARTITION DES SITES DE MESURES PUF EN FRANCE

2.1.2. Calendrier des campagnes

Un des appareils a donc été placé en permanence sur le site de référence de Grenoble Les Frênes. Le deuxième a servi à échantillonner les autres sites de manière temporaire, à différentes saisons. Les 2 premiers sites temporaires (Parc Hoche et Parc Pompidou) ont été investigués sur plusieurs mois avec des campagnes d'environ un mois de mesures.

Sur les autres sites (Presqu'ile, Centre-ville/Felix-Poulat, Rocade-Sud/Le Rondeau et Gd Boulevards) les mesures ont été réalisées sur des durées plus courtes (3 semaines à 1 mois), mais avec des campagnes répétées pour sonder plusieurs saisons.





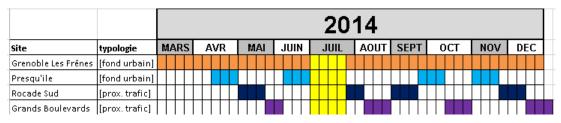


FIGURE 5 : CALENDRIER DES CAMPAGNES DE MESURES

Les périodes en jaune correspondent à des déplacements des analyseurs à l'INERIS pour réaliser des campagnes d'intercomparaison entre les différents analyseurs acquis par les différents partenaires du groupe de travail national (GT PUF).

Les périodes de maintenances ou de pannes d'appareils sont notées avec une croix (x).

2.2. Niveaux moyens / Niveaux de référence

2.2.1. Niveaux mesurés sur le territoire national

Le graphe ci-dessous présente les concentrations moyennes de PUF (en nombre de particules/cm³) mesurées avec les UFP-3031 sur Grenoble, entre 2012 et 2014, en fond urbain et en proximité trafic, avec la répartition par classes de taille. Les niveaux sont comparés avec des mesures qui ont été réalisées en France par d'autres AASQA (AIRAQ et AIRPACA).

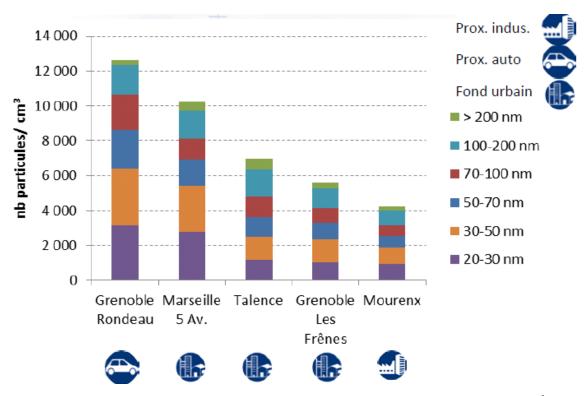


FIGURE 6: CONCENTRATIONS MOYENNES EN NOMBRE PARTICULES - COMPARAISON AUX AUTRES SITES FRANÇAIS¹

Le nombre moyen de PUF mesurées en fond urbain à Grenoble est d'environ 5 500 p/cm³.

Ce niveau est inférieur à celui mesuré sur d'autres sites de fond urbain comme à Talence (en périphérie de Bordeaux) ou à Marseille (« 5 avenues »), mais plus élevé qu'à Mourenx, situé en zone presque rurale dans un environnement industriel (ZI de Lacq).

D'autres mesures, réalisées sur des années précédentes à Gennevilliers (au nord de Paris), présentaient des niveaux moyens en fond urbain de l'ordre de 10 000 à 15 000 p/cm³. D'autre part, ces niveaux sont cohérents avec ceux de la littérature², indiquant des niveaux moyens urbains compris entre 7 000 et 11 000 p/cm³ et des niveaux ruraux de l'ordre de 5 000 p/cm³. Ces résultats montrent donc que les concentrations de PUF en fond urbain à Grenoble se situent dans une moyenne relativement basse par rapport au niveau national.

En proximité automobile, les niveaux mesurés à Grenoble sont d'environ 12 500 p/cm³, soit globalement deux fois plus élevés qu'en fond urbain. Le site trafic de Grenoble Rondeau présente la moyenne la plus élevée de l'ensemble des sites de mesures. En revanche, ces niveaux ne semblent pas si élevés au regard de la littérature, qui relate des niveaux en proximité automobile pouvant être supérieurs à 30 000 p/cm³.

Source: http://www.airaq.asso.fr/11-se-connecter/file-4185-minisynthese-n141-mesures-exploratoires-de-puf-particules-ultrafines-en-aquitaine.html

¹ Données fournies par AIRAQ, Air PACA et Air Rhône-Alpes

 $^{^2}$ L. Morawskaet al, Atmospheric Environment 42, 8113-8138 (2008) « Review – ambient nano and ultrafine particles from motor vehicle emissions : characteristics, ambient processing and implications on human exposure »

2.2.2. Niveaux mesurés dans l'agglomération de Grenoble

En première approche, le fond urbain grenoblois n'est pas homogène et montre des valeurs moyennes comprises entre 4 000 et 8 000 p/cm³ (cf. graphe ci-après). Il y a en effet des disparités entre les sites (selon les influences des sources locales, du trafic, de l'exposition aux vents...). Par ailleurs, les 2 sites de proximité automobile se détachent nettement avec des concentrations de l'ordre de 13 000 p/cm³ ce qui montre l'influence importante du trafic sur les concentrations en nombre de PUF.

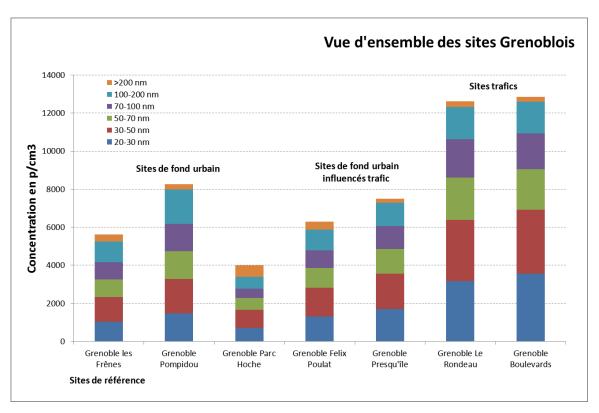


FIGURE 7: COMPARAISON DES NIVEAUX SUR L'AGGLOMERATION GRENOBLOISE

Les différences les plus notables entre sites de fond et de proximité automobile concernent les particules les plus fines : la part des particules inférieures à 50 nm (et notamment inférieures à 30 nm) augmente à mesure que les sources automobiles sont proches.

Le graphique page suivante présente la répartition des classes de tailles (en % relatif par rapport au nombre total mesuré) sur les sites classés en fonction de leur distance à des axes de circulation importants (du plus loin au plus proche).

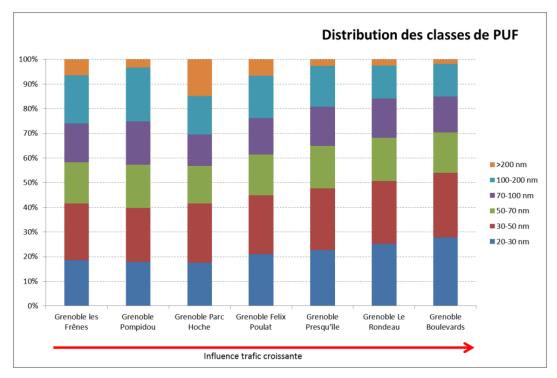


FIGURE 8: CLASSEMENT DES SITES SELON L'INFLUENCE TRAFIC

Ce graphe montre bien la hausse progressive des particules les plus petites à mesure que l'influence trafic augmente. Les particules de tailles comprises entre 20-30nm et 30-50nm paraissent donc être de bons indicateurs de ce type de sources (particules primaires, jeunes, encore très petites).

Ce constat est également visible avec la représentation graphique suivante, qui permet de distinguer que les classes de tailles des particules se répartissent selon 2 modes principaux :

- Entre 20 et 50 nm : l'influence du trafic est très forte
- > 100-200 nm : l'influence du trafic devient nettement moins importante (voir négligeable)

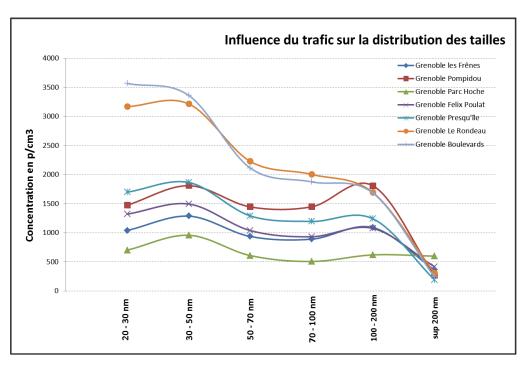


FIGURE 9: DISTRIBUTION DES CLASSES DE TAILLES DE PUF

2.3. Evolutions temporelles

2.3.1. Profils annuels

Sur le site de référence urbain de Grenoble les Frênes, la saisonnalité est bien marquée, avec des maximums relevés durant les mois plus froids. Cela pourrait indiquer une influence importante du chauffage sur les niveaux de PUF (couplé aux conditions hivernales moins dispersives).

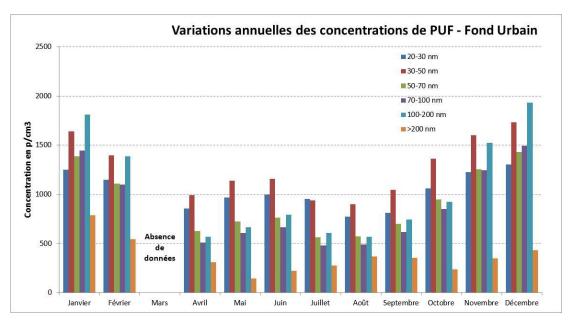


FIGURE 10: PROFILS ANNUELS DES PUF EN FOND URBAIN - GRENOBLE LES FRENES

Il est intéressant de noter que les classes de particules ayant la plus grande variabilité sont : [50-70nm], [70-100nm] et [100-200nm].

Ces premières analyses sont confirmées par la figure suivante : tout d'abord les concentrations globales en fond urbain sont les plus fortes entre les mois de novembre et février. Et en décembre et janvier, la classe [100-200nm] devient prépondérante (influence du chauffage a priori). A l'inverse, ce sont les classes les plus fines qui sont majoritaires hors période de chauffe (avril à octobre).

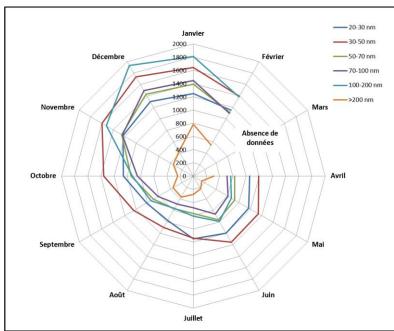


FIGURE 11: PROFILS ANNUELS DES PUF EN FOND URBAIN - REPRESENTATION "RADAR" - GRENOBLE LES FRENES

A l'inverse, les niveaux relevés en proximité automobile, au Rondeau, ont une variabilité annuelle nettement plus faible, particulièrement pour les classes les plus fines.

Cela, combiné à des valeurs bien supérieures au fond urbain, confirme l'influence des sources automobiles sur les concentrations des particules les plus fines (particules primaires).

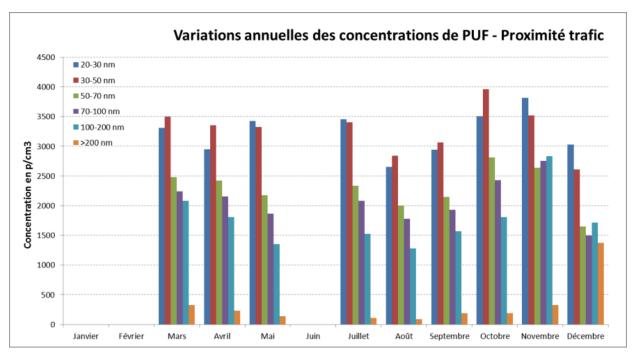


FIGURE 12: PROFILS ANNUELS DES PUF EN PROXIMITE TRAFIC - GRENOBLE LE RONDEAU

En résumé et en première analyse :

- En site de fond, la classe de taille des PUF comprises entre 100 et 200nm semble être fortement influencée par le chauffage (forte variation saisonnière).
- En site de proximité automobile, les classes de tailles entre 20 et 50 nm, quant à elles, sont majoritairement influencées par le trafic (particules primaires)

2.3.2. Profils horaires journaliers en fond urbain

Sur l'ensemble de l'année et plus encore les jours ouvrés, les profils journaliers des PUF sont très similaires aux autres polluants primaires (type NO). Sur le graphe suivant, on distingue deux pics vers 8h et 19-20h correspondant aux pics d'émissions du trafic et du chauffage résidentiel. Durant ces deux pics, les classes 20-30nm et 30-50nm prédominent (influence marquée du trafic). Les particules supérieures à 200 sont beaucoup moins marquées par les cycles journaliers.

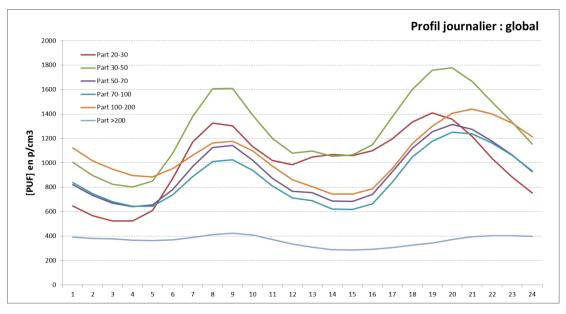


FIGURE 13: PROFILS JOURNALIERS DES PUF EN FOND URBAIN - GLOBAL

A noter un décalage dans le temps des pic. Plus précisément, plus les particules sont fines, plus le pic survient tôt. Cela peut démontrer un phénomène de « vieillissement » des particules (grossissent avec le temps par mécanisme d'agglomération, de condensation...) ou de changement de type de sources : pic du soir plus tardif pour la fraction 100-200 nm et persistant le week-end, en lien avec le chauffage résidentiel.

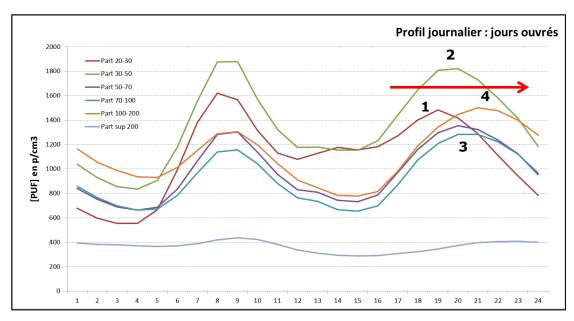


FIGURE 14: PROFILS JOURNALIERS DES PUF EN FOND URBAIN GRENOBLE LES FRENES - JOURS OUVRES

Les profils du dimanche et jours fériés montrent un grand pic le soir, vers 19-20h, durant lequel la classe 30-50nm prédomine, puis un pic plus tardif avec une prédominance de la classe 100-200nm qui se prolonge jusqu'au matin vers 9h. Cela semble bien confirmer la signature trafic pour les particules les plus fines et la signature chuaffage résidentiel pour la classe 100-200nm.

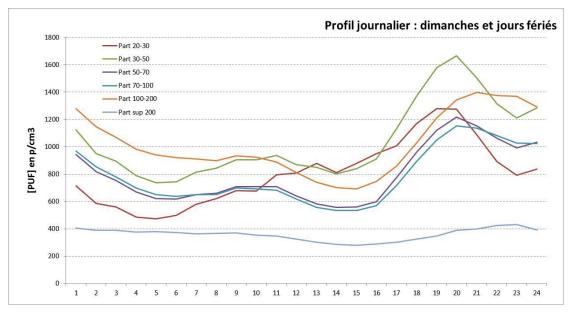


FIGURE 15: PROFILS JOURNALIERS DES PUF EN FOND URBAIN GRENOBLE LES FRENES - DIMANCHES ET JOURS FERIES

2.3.3. Profils horaires journaliers en proximité trafic

Les profils journaliers sur le site trafic (Rondeau/Rocade Sud) sont très différents du fond urbain. Les concentrations augmentent à partir de 6h et ne diminuent qu'à partir de 20h (après la période de trafic intense). Encore une fois, les classes 20-30nm et 30-50nm sont bien plus élevées que les autres, indiquant une fois de plus la source trafic de ces particules.

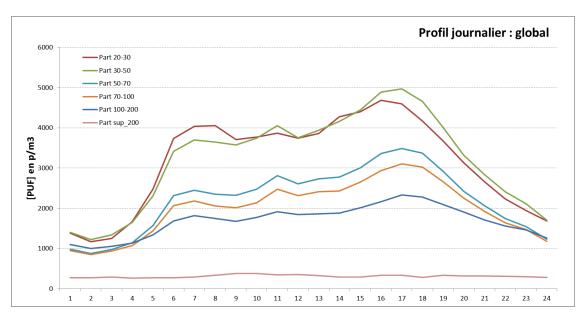


FIGURE 16: PROFILS JOURNALIERS « GLOBAL » DES PUF EN PROXIMITE TRAFIC – GRENOBLE RONDEAU

Sur les jours ouvrés, bien que cela soit moins visible qu'en fond urbain, on peut distinguer les deux pics d'activités (vers 7h et 17-18h).

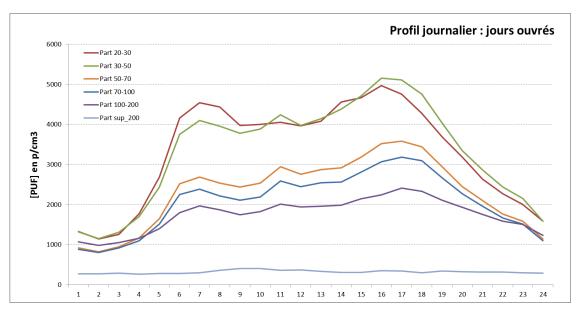


FIGURE 17: PROFILS JOURNALIERS « JOURS OUVRES » DES PUF EN PROXIMITE TRAFIC – GRENOBLE RONDEAU

Les dimanches et jours fériés, outre les niveaux moins élevés, les concentrations augmentent plus tard (autour de 10h) pour atteindre le maximum cers 18-19h. Ce sont les classes de 20 à 50 nm qui montrent les plus grandes différences entre les jours ouvrés et jours fériés (différence de régime de trafic).

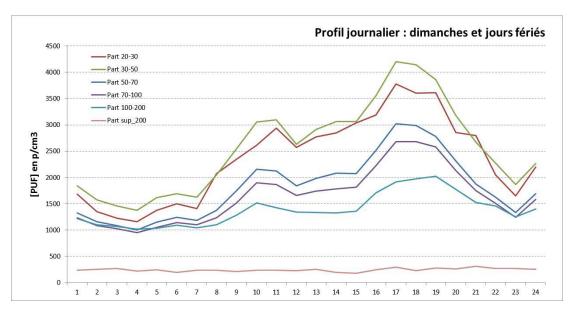


FIGURE 18: PROFILS JOURNALIERS « DIMANCHES ET JOURS FERIES » DES PUF EN PROXIMITE TRAFIC – GRENOBLE RONDEAU

2.4. Corrélation avec d'autres polluants

Le site de Grenoble les Frênes est équipé de plusieurs appareils pour mesurer les principaux polluants gazeux (O₃, NOx) et les particules « classiques » (PM10 et PM2.5). De plus, un analyseur AE33 (aethalomètre) permet de mesurer la fraction carbonée contenue dans les particules (black carbon) et d'estimer la part liée à la combustion de fuel fossile (notée PMff), traceur de la source trafic, de celle liée à la combustion de biomasse (PMwb), traceur des sources de chauffage au bois.

Les tableaux ci-dessous présentent les coefficients de corrélations entre ces polluants et les niveaux de PUF sur les 4 trimestres d'une année. Le code de couleur « vert clair » indique une corrélation significative et « vert foncé » une forte corrélation.

T1	NO	NO2	PM25	PM10	O3	PMff	PMwb	T3	NO	NO2	PM25	PM10	O3	PMff	PMwb
Les Frenes 20-30	0,51	0,55	0,00	0,05	-0,33	-	-	Les Frenes 20-30	0,26	0,23	-0,13	0,00	-0,13		
Les Frenes 30-50	0,62	0,60	0,17	0,22	-0,46	-	-	Les Frenes 30-50	0,35	0,32	0,00	0,10	-0,24		
Les Frenes 50-70	0,67	0,56	0,32	0,35	-0,54	-	-	Les Frenes 50-70	0,39	0,34	0,05	0,12	-0,33		
Les Frenes 70-100	0,67	0,52	0,42	0,44	-0,57	-	-	Les Frenes 70-100	0,38	0,34	0,09	0,14	-0,36		
Les Frenes 100-200	0,63	0,48	0,55	0,53	-0,59	-	-	Les Frenes 100-200	0,36	0,37	0,29	0,28	-0,34		
Les Frenes sup 200	0,46	0,08	0,65	0,65	-0,38	-	-	Les Frenes sup 200	0,22	0,40	0,67	0,61	0,00		
T2	NO	NO2	PM25	PM10	O3	PMff	PMwb	T4	NO	NO2	PM25	PM10	О3	PMff	PMwb
Les Frenes 20-30	0,29	0,31	-0,02	-0,02	-0,08			Les Frenes 20-30	0,59	0,67	0,35	0,42	-0,32	0,64	0,40
Les Frenes 30-50	0,40	0,47	0,08	0,06	-0,26			Les Frenes 30-50	0,66	0,68	0,53	0,59	-0,36	0,70	0,57
Les Frenes 50-70	0,47	0,56	0,17	0,14	-0,34			Les Frenes 50-70	0,66	0,65	0,61	0,66	-0,37	0,70	0,64
Les Frenes 70-100	0,48	0,57	0,24	0,20	-0,33			Les Frenes 70-100	0,72	0,66	0,71	0,76	-0,40	0,76	0,74
Les Frenes 100-200	0,41	0,51	0,43	0,34	-0,28			Les Frenes 100-200	0,82	0,71	0,87	0,90	-0,46	0,84	0,90
Les Frenes sup 200	0,19	0,25	0,91	0,70	-0,25			Les Frenes sup 200	0,72	0,56	0,96	0,94	-0,49	0,68	0,89

FIGURE 19: TABLEAUX DE CORRELATION ENTRE PUF ET DIFFERENTS POLLUANTS - SITE DE GRENOBLE LES FRENES

De manière globale, les plus fortes corrélations sont visibles au 1^{er} et 4^{ème} trimestre (périodes hivernales, souvent conjuguées aux conditions météorologiques moins dispersives).

- ✓ PUF de taille 20 à 50 nm : corrélations significatives avec les polluants automobiles en saison froide (NO, NO₂), bonne corrélation avec PMff (sources trafic)
- ✓ PUF de taille 50 à 100 nm : corrélations les plus fortes avec les NOx et PMff (trafic), et dans une moindre mesure avec PM10 ou PM2.5.
- ✓ PUF de taille > 100nm : corrélations les plus significatives avec les PM2.5 et PM10, mais également avec PMwb (chauffage au bois).

En résumé :

- ➤ Il apparaît donc que le comportement des Particules Ultra Fines (<100nm), et notamment les plus fines (20 à 50 nm) se rapproche beaucoup plus de celui des polluants gazeux comme le NO ou NO₂ que des particules plus grosses et taille et en masse (PM10, PM2.5).
- ➤ En revanche, cela semble être le contraire pour les particules >100nm.
- Les tailles comprises entre 50 et 100nm ont un comportement intermédiaire.

NB : Ces remarques corroborent celles des autres campagnes de mesure réalisées sur le territoire national (voir plus loin)

2.5. Etudes de cas sur certaines périodes de l'année

2.5.1. Exemple d'épisode de pollution atmosphérique hivernal en novembre 2014

Les 24 et 25 novembre 2014, le seuil réglementaire d'information et de recommandations en PM10 a été dépassé sur l'agglomération grenobloise, déclenchant un dispositif préfectoral en cas d'épisode de pollution. Durant ces 2 jours, la classe de taille prédominante des PUF a été celle des 100-200 nm et la part de fraction carbonée majoritaire a été celle liée au chauffage (PMwb).

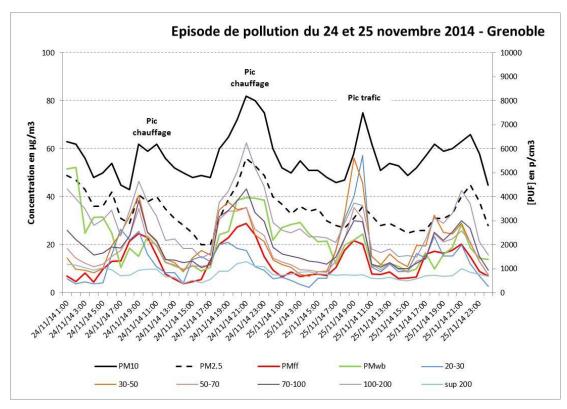


FIGURE 20: EVOLUTION DES CONCENTRATIONS HORAIRES DU 24/11/14 AU 26/11/14 - GRENOBLE LES FRENES

Ce graphe montre une bonne corrélation entre cette classe de taille 100-200nm et les concentrations de PM10 et PM2.5. De même, les hausses de la part PMwb (liées aux pics de chauffage survenant les soirs et matins) coïncident parfaitement avec les pics de la classe de taille 100-200nm.

Le 25 novembre, un pic « trafic » PM10 a également été enregistré (vers 8-9h du matin), celui-ci survenant en même temps qu'une hausse en nombre des classes 20-30nm et 30-50nm, ce qui va dans le sens des précédentes conclusions.

Le tableau ci-dessous montre les corrélations existantes entre les différents polluants et les PUF :

	20-30	30-50	50-70	70-100	100-200	sup 200
PM10	0,270	0,488	0,697	0,793	0,806	0,635
PM2.5	-0,089	0,161	0,461	0,681	0,844	0,883
PMff	0,622	0,851	0,916	0,873	0,765	0,473
PMwb	-0,127	0,066	0,326	0,531	0,729	0,862
NO	0,606	0,784	0,823	0,797	0,754	0,534
NO2	0,547	0,754	0,767	0,654	0,482	0,167
O3	-0,154	-0,178	-0,203	-0,229	-0,257	-0,419

FIGURE 21: TABLEAU DE CORRELATIONS DES POLLUANTS — EPISODE HIVERNAL — GRENOBLE LES FRENES

2.5.2. Exemple d'un épisode de pollution atmosphérique printanier : mars 2015

Entre le 18 et le 23 mars 2015, la France a été touchée par un épisode de pollution de grande ampleur. Sur l'agglomération grenobloise, l'épisode s'est fait sentir à partir du 19 jusqu'au 21 mars avec une forte augmentation des niveaux de PM10 (constituées en grande partie de PM2.5, voir cidessous) et a engendré un déclenchement du dispositif préfectoral. Durant ces 3 jours, des mesures de composition chimique des particules (sur Lyon et le reste du territoire national) ont montré qu'une grande partie de cet épisode « printanier » était dû à des particules secondaires (nitrate d'ammonium) issues des émissions du trafic (oxydes d'azotes) combinées aux émissions des activités agricoles (ammoniac).

Le graphe ci-dessous montre que durant cet épisode, sur Grenoble, la classe de taille prédominante des PUF était comprise entre 100 et 200 nm et suit relativement bien le profil des PM10 et PM2.5. D'autre part, on observe également une augmentation des PUF > 200 nm. Il semble donc que ces particules soient bien liées aux particules secondaires transportées sur de grandes distances. En effet, ces particules submicroniques >100nm sont généralement formées après des processus d'agrégation et donc plus « âgées » que les particules primaires.

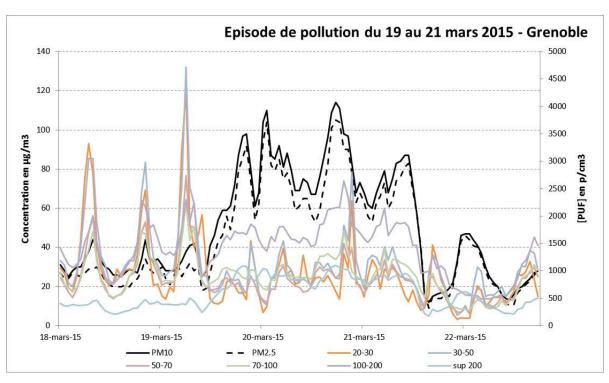


FIGURE 22: EVOLUTION DES CONCENTRATIONS HORAIRES DU 18/03/15 AU 23/03/15

	20-30	30-50	50-70	70-100	100-200	sup 200
PM10	0,280	0,390	0,585	0,733	0,834	0,977
PM2.5	0,257	0,379	0,569	0,715	0,823	0,974
NO	0,422	0,498	0,563	0,555	0,564	0,512
NO2	0,565	0,620	0,822	0,886	0,861	0,676
O3	-0,459	-0,623	-0,663	-0,584	-0,593	-0,500
PMff	0,430	0,518	0,746	0,879	0,922	0,887
PMwb	0,445	0,556	0,709	0,781	0,821	0,695
NO3	0,494	0,479	0,602	0,730	0,823	0,799
NH4	0,482	0,460	0,581	0,716	0,816	0,799
Levoglucosan	0,018	-0,040	-0,017	0,023	0,042	0,096
somme ions	0,466	0,427	0,553	0,692	0,779	0,771

FIGURE 23: TABLE DE CORRELATIONS DES POLLUANTS - EPISODE PRINTANIER

2.5.3. Exemple d'une période estivale : août 2015

En étudiant des profils de journées estivales, propices à la formation de l'ozone, il apparaît une corrélation entre ce polluant et les classes les plus fines (de 20 à 50 nm), avec une hausse des concentrations lorsque le pic d'ozone est atteint vers 16h. Cette hausse peut être attribuable à la formation de particules secondaires par nucléation, en lien avec les processus photochimiques, alors que les pics de 8h et 20h sont à relier aux émissions automobiles (pics trafic).

A noter un niveau de fond toujours important de la classe 100-200 nm avec une faible variabilité.

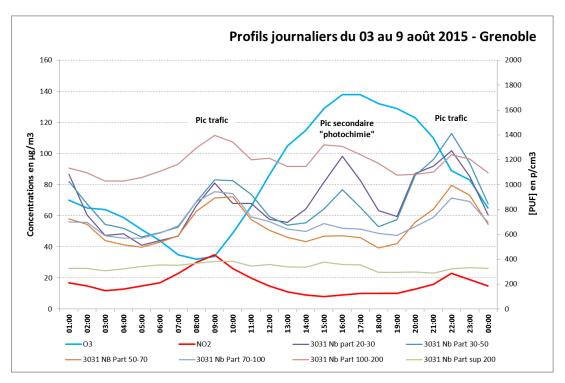


FIGURE 24: PROFILS HORAIRES JOURNALIERS EN PERIODE ESTIVALE - LES FRENES

En résumé:

- ✓ En hiver, lors d'épisodes hivernaux, les PUF comprises entre 100 et 200 nm semblent être de bons « indicateurs » pour visualiser l'influence du chauffage au bois (foyers ouverts ou non performants).
- ✓ Au printemps, lors d'épisodes mixtes (chauffage, trafic et émissions agricoles), la fraction submicronique > 100 nm augmente, en lien avec la formation et le transport des particules secondaires telles que le nitrate d'ammonium par exemple.
- ✓ Les classes de tailles les plus fines, comprises entre 20-30nm et 30-50 nm, sont majoritairement influencées par le trafic (particules primaires et jeunes), mais peuvent a priori être également issues des processus photochimiques en période estivale (phénomène de nucléation).

3. Synthèse des résultats

3.1. Synthèse des résultats de l'étude AIR Rhône-Alpes

L'exploitation des résultats a permis de faire ressortir les points suivants :

Au niveau de la répartition spatiale et typologie :

- ✓ En fond urbain, sur l'agglomération grenobloise, les concentrations moyennes en nombre de PUF se situent autour de 5000 à 6000 particules/cm³, mais avec des niveaux pouvant varier en fonction de l'influence du trafic autour du site (entre 4000 et 8000 p/cm³). Ces niveaux sont relativement comparables avec les niveaux relevés dans la littérature ou avec ceux mesurés sur d'autres sites de fond urbain en France (région de Bordeaux, Marseille ou nord de Paris), tout en se situant dans la fourchette basse.
- ✓ En proximité automobile, les niveaux moyens mesurés à Grenoble sont globalement deux fois plus élevés qu'en fond urbain (autour de 12 000 p/cm3). Le site en bordure de la Rocade Sud (Le Rondeau) présente la moyenne la plus forte de tous les sites de mesures. Cependant, ces niveaux ne semblent pas si élevés au regard de la littérature, qui relate des niveaux en proximité automobile pouvant être supérieurs à 30 000 p/cm³.

Au niveau de la variabilité temporelle :

- ✓ Sur les sites de fond urbain, la saisonnalité est relativement bien marquée, avec des maximums relevés durant les mois plus froids. Entre décembre et janvier, en période de chauffage, la classe de taille [100-200nm] devient prépondérante. D'avril à octobre, ce sont les classes les plus fines qui sont majoritaires. Les profils horaires journaliers présentent des pics le matin et le soir, avec une prédominance des PUF les plus petites [20-30nm] et [30-50nm], en corrélation avec les profils « classiques » de polluants liés au trafic (NO, NO₂). Un pic apparait également pour la fraction [100-200 nm] plus tardivement le soir et persistant le week-end, en lien avec les émissions du chauffage résidentiel (feux de cheminée).
- ✓ Sur les sites en proximité trafic, la variabilité annuelle est nettement plus faible, particulièrement pour les classes les plus fines. Les profils journaliers sont également différents du fond urbain, avec des niveaux plus élevés pour les particules de taille 20-30nm et 30-50nm que pour les autres classes de tailles. Cela confirme l'influence des sources automobiles sur les concentrations des particules les plus fines.

Au niveau de la distribution en taille :

- ✓ Le comportement des PUF les plus fines (20 à 50 nm) se rapproche beaucoup de celui des polluants gazeux comme le NO ou NO₂.
- ✓ Les plus grandes classes de tailles (>100nm) réagissent plutôt comme des particules plus massiques (PM10 ou PM2.5).
- ✓ Les tailles comprises entre 50 et 100nm ont un comportement intermédiaire.

Par ailleurs, les études de cas montrent la capacité des analyseurs UFP3031 à venir améliorer et consolider la compréhension de la physico-chimie des particules, selon les classes de taille :

- ✓ La fraction < 50 nm : Ces particules sont de bons traceurs de l'influence du trafic (particules primaires, jeunes, encore très fines), mais peuvent être aussi des traceurs d'aérosols secondaires volatils les jours où les conditions sont propices à la chimie/photochimie.
- ✓ La fraction > 100 ou 200 nm : Au-delà de cette gamme de taille, l'influence du trafic devient nettement moins importante (voir négligeable). En revanche, ces particules semblent être de bons indicateurs pour visualiser l'influence de la combustion de biomasse en période hivernale (feux de cheminées) ou bien l'apparition au début du printemps de particules secondaires (comme les nitrates/sulfates d'ammonium) issues de sources d'activités mixtes (trafic, agriculture et industries).

3.2. Autres résultats sur le territoire français

Cette partie présente les principales conclusions des autres études réalisées par les membres du groupe de travail national sur les PUF (« GT PUF »).

3.2.1. Mesures exploratoires de PUF sur la région Aquitaine

AIRAQ a mené entre 2012 et 2015, dans le cadre du Plan Régional Santé Environnement 2009-2013 d'Aquitaine, des mesures exploratoires de particules ultrafines sur deux stations de mesures :

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

Les principales conclusions de l'étude sont les suivantes :

- Les niveaux observés sont cohérents avec la littérature et les autres sites français explorés par d'autres AASQAs
 - Sur le site de Talence (33), en périphérie de Bordeaux, les niveaux moyens sont représentatifs d'un site urbain.
 - O Sur le site de Mourenx (64), sur la ZI de Lacq, les niveaux moyens sont représentatifs d'un site rural.
- Il existe une distribution « bimodale » :
 - Fraction 100-200 nm:
 - Caractéristique de la contribution de la biomasse (feux de cheminée...)
 - Fractions 20-30 et 30-50 nm :
 - Mise en évidence de la production de particules secondaires les jours où la chimie et/ou la photochimie sont les plus importantes.
 - Existence également d'une fraction primaire (directement émise), associée au trafic (corrélation avec NOx/NO2)
- Sur Talence (fond urbain à proximité de Bordeaux) :
 - Niveaux les plus élevés en hiver
 - Présence de pics le matin et le soir
 - Cohérent avec les profils « classiques » de polluants liés au trafic
 - Pic du soir plus tardif pour la fraction 100-200 nm et persistant le week-end (lien avec les feux de cheminée)
- Sur Mourenx (ZI de Lacq) :
 - Profil annuel atypique, relativement plat : en moyenne, niveaux légèrement plus élevés en été
 - Production d'aérosols secondaires beaucoup plus marquée qu'à Talence sur les fractions les plus fines
 - Phénomène encore accentué les jours avec des niveaux significatifs en SO₂

 $\textbf{Retrouver l'étude sur le site Internet d'AIRAQ}: \underline{\texttt{http://www.airaq.asso.fr}}$

 $\textbf{Synth\`ese}: \underline{\text{http://www.airaq.asso.fr/11-se-connecter/file-4185-minisynthese-n141-mesures-exploratoires-de-puf-particules-ultrafines-en-aquitaine.html}$

Rapport: http://www.airaq.asso.fr/11-se-connecter/file-4184-mesures-exploratoires-de-puf-particules-ultrafines-en-aquitaine.html

3.2.2. Recherche des sources à l'aide de signatures chimiques et granulométriques sur la région PACA

Entre 2012 et 2014, AIR PACA a conduit l'étude « PM Sources » (PMS) qui s'inscrivait dans les actions menées pour une meilleure connaissance des sources de la pollution particulaire. Ce projet participe à une logique d'aide à la décision pour la planification des actions de réduction efficace de cette pollution. Il avait notamment pour objectif d'identifier les sources de pollution particulaire

présentes dans la région industrielle de l'étang de Berre au travers de leurs signatures chimiques et granulométriques.

Les mesures ont été réalisées entre 2012 et 2014 sur plusieurs sites sur la zone de l'étang de Berre :

- 3 sites dits « récepteurs » (1 site fixe et 2 sites mobiles) pour rendre compte de l'influence des différentes sources de pollution (industries et transports) : à Port-Saint-Louis-du-Rhône, Rognac-les-Brets et Fos-sur-Mer.
- 4 sites avec des mesures de PUF en aval de sources particulières dans la zone industrielle : autour d'activités métallurgiques et sur le port minéralier.

Les conclusions principales de l'étude sont les suivantes :

- Les travaux sur la granulométrie ont montré que
 - Il existe des différences certaines entre les sources industrielles considérées, à la fois sur les niveaux de concentrations en nombre et sur le profil granulométrique.
 - Les mesures granulométriques des particules fines sont un outil pertinent dans la recherche de sources PM.
- Les mesures de spéciation chimique des particules associées à une modélisation (CMB) ont permis de préciser la contribution des différentes sources de pollution à la concentration des particules PM2.5:
 - o La combustion de biomasse est la source principale en moyenne annuelle.
 - Il existe des différences dans les contributions des sources en fonction des périodes de l'année considérées (hivers et hors hivers par exemple).
 - La composition des PM2.5 et les contributions des sources sont caractéristiques des sources « récepteurs » : situation géographique, proximité des sources...
 - Concernant les sources industrielles, d'autres travaux sont nécessaires pour affiner leurs contributions. Les investigations devraient permettre de préciser dans quelle mesure les parts notées « poussière minérale » et « sulfate secondaire » contribuent à l'apport de la source industrielle.

Retrouver l'étude sur le site Internet d'AIR PACA : http://www.airpaca.org

Rapport complet: http://www.airpaca.org/sites/paca/files/atoms/files/151001_airpaca_pmsources_rapport.pdf

3.2.3. Veille et support technique sur les particules ultrafines

Dans le cadre de sa mission d'appui au Ministère et aux AASQA, le LCSQA a réalisé plusieurs travaux de veille scientifique et technique, de mesures exploratoires (avec AIRPARIF notamment), et d'exercices d'intercomparaison sur les appareils UFP-3031 (avec les membres du GT PUF).

Retrouver les rapports sur le site Internet du LCSQA : http://www.lcsqa.org/rapports

- « Recommandations techniques pour l'utilisation du granulomètre de type UFP-3031 », Dalle, rapport LCSQA DRC-15-152367-12401A.
- « Synthèse des travaux 2012-2013 sur le granulomètre de type UFP-3031 », Ustache, Le Bihan, Favez, rapport LCSQA DRC-14-144358-12629A.
- « Intercomparaison 2015 sur les granulomètres UFP 3031 », Le Bihan, Dalle, rapport LCSQA DRC-15-152367-11727A.
- « Intercomparaison 2014 sur les granulomètres UFP-3031 », Le Bihan, Dalle, Meunier, rapport LCSQA DRC-14-144358-12985A.
- « Connaissance du nombre et de la distribution granulométrique des particules submicroniques Suivi dans le temps, métrologie : bilan des travaux 2003-2011 », Le Bihan, Malherbe, Ustache, rapport LCSQA DRC-11-118212-13897A.

4. Conclusion et perspectives

L'étude menée depuis 2011 par Air Rhône-Alpes sur les « Particules Ultra Fines » (particules < 100 nanomètres) a permis de franchir une étape importante dans la connaissance des aérosols atmosphériques.

Entre 2011 et 2012, le travail bibliographique et les réflexions avec d'autres AASQA et partenaires scientifiques a abouti à l'achat de 2 appareils de type « UFP-3031 », permettant de mesurer le nombre de particules sur 6 classes de tailles, dont 4 classes en dessous de 100 nm : [20-30nm] [30-50nm] [50-70nm] [70-100nm] [100-200nm] [>200nm].

Les campagnes de mesures exploratoires réalisées entre 2012 et 2014 sur l'agglomération grenobloise ont permis d'étudier la répartition spatiale et temporelle des PUF avec un grand nombre de données recueillies sur des sites de typologies différentes (urbains et trafic). L'exploitation des résultats a fait ressortir plusieurs points marquants et très intéressants sur le comportement et l'origine des PUF :

En fond urbain:

- ✓ Les concentrations moyennes en nombre de PUF sur l'agglomération grenobloise se situent autour de 5 000 à 6 000 particules/cm³, mais avec des niveaux pouvant varier en fonction de l'influence du trafic autour du site (entre 4 000 et 8 000 p/cm³). Ces niveaux sont relativement comparables avec les niveaux relevés dans la littérature ou avec ceux mesurés sur d'autres sites de fond urbain en France, tout en se situant dans la fourchette basse.
- ✓ La saisonnalité est relativement bien marquée, avec des maximums relevés durant les mois plus froids, en période de chauffage, notamment pour la classe de taille [100-200nm].
- ✓ Sur les profils horaires journaliers, les PUF les plus petites ([20-30nm] et [30-50nm]), suivent les profils classiques des polluants liés au trafic, avec des hausses de concentrations le matin et le soir. Une hausse apparait également pour la fraction [100-200 nm] plus tardivement le soir et persistant le week-end, en lien avec les émissions du chauffage résidentiel (feux de cheminée).

En proximité trafic :

- ✓ Les niveaux moyens mesurés à Grenoble en proximité du trafic sont globalement deux fois plus élevés qu'en fond urbain (autour de 12 000 p/cm3). Cependant, ces niveaux ne semblent pas si élevés au regard de la littérature, qui relate des niveaux en proximité automobile pouvant être supérieurs à 30 000 p/cm³.
- ✓ La variabilité annuelle est nettement plus faible qu'en fond urbain, particulièrement pour les classes les plus fines.
- ✓ Les profils journaliers sont également différents du fond urbain, avec des niveaux plus élevés pour les particules de taille [20-30nm] et [30-50nm], ce qui confirme l'influence des sources automobiles sur les concentrations des particules les plus fines.

Par ailleurs, les résultats montrent que les analyseurs UFP3031 peuvent améliorer et consolider la compréhension de la physico-chimie des particules, selon les classes de taille :

- ✓ Les classes de taille [20-30nm] et [30-50 nm] sont de bons traceurs de l'influence du trafic (particules primaires, jeunes, encore très fines), mais peuvent être aussi des traceurs d'aérosols secondaires volatils les jours où les conditions sont propices à la chimie/photochimie (en période estivale).
- ✓ Au-delà de 100 nm, l'influence du trafic devient nettement moins importante (voir négligeable). En revanche, la fraction [100-200 nm] est un bon indicateur pour visualiser l'influence de la combustion de biomasse en période hivernale (feux de cheminées) ou bien l'apparition au début du printemps de particules secondaires issues de sources d'activités mixtes (trafic, agriculture et industries).

Avec cette étude, le premier objectif d'amélioration des connaissances sur les Particules Ultra Fines a donc été atteint. Les campagnes de mesures réalisées sur l'agglomération grenobloise ont permis de montrer que la mesure des PUF apporte des éléments complémentaires aux mesures de particules en masse et des autres polluants gazeux, et notamment, que les différentes classes de tailles peuvent donner des indications sur l'origine et les sources de certaines particules.

Les conclusions de cette étude corroborent celles des autres campagnes de mesure réalisées sur le territoire national. L'étude menée par AIRAQ en région Aquitaine montre, comme à Grenoble, que les plus petites classes de tailles [20-50nm] sont liées aux émissions du trafic mais aussi à la production de particules secondaires et que la fraction [100-200nm] est un bon indicateur de la contribution du chauffage résidentiel. L'étude d'AIRPACA confirme que la mesure granulométrique des particules ultrafines peut être un outil pertinent dans la recherche de sources de particules, et notamment autour d'activités industrielles.

Ces résultats confortent donc bien l'intérêt pour AIR Rhône-Alpes de poursuivre les mesures sur d'autres agglomérations, d'autres territoires, d'autres typologies de sites, et de créer un véritable « observatoire des PUF » en Rhône-Alpes. Dans cette perspective, Air Rhône-Alpes a fait l'acquisition d'un compteur total de particules (type CPC) afin de renforcer les moyens de mesures, et va commencer à réaliser des mesures de PUF dans l'agglomération lyonnaise, où sont également réalisées des mesures en continu de caractérisation chimique des particules. Il sera donc intéressant de pouvoir exploiter ces données avec celles des mesures de PUF. Par ailleurs, il parait également important de continuer à faire des mesures sur l'agglomération grenobloise, pour garder un certain historique de données, afin d'étudier l'évolution des niveaux en fonction des années.

L'ensemble de ces mesures permettront d'alimenter des bases de données nationales et surtout d'apporter des connaissances aux acteurs de la santé, que ce soit dans le cadre des études épidémiologiques ou sanitaires ou dans le cadre du Plan National/Régional Santé Environnement (PNSE / PRSE).

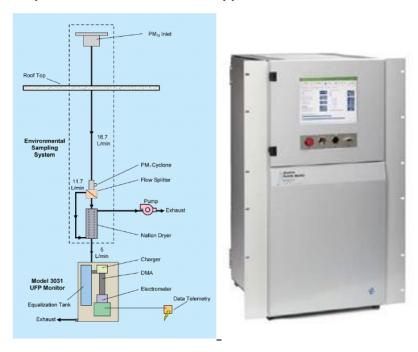
Enfin, les actions prévues dans le cadre du groupe de travail national « GT PUF » seront également poursuivies, afin de renforcer les collaborations sur l'assistance technique des appareils ainsi que sur les travaux de traitement, d'analyse et d'interprétation des données. A titre d'exemple, il a été proposé en 2016 de présenter les résultats de l'ensemble des études réalisées par les membres du GT PUF dans un colloque international (EAC 2016 ¹).

•

¹ European Aerosol Conference - http://www.eac2016.fr/

Annexes

ANNEXE 1 : Principe de fonctionnement de l'appareil de mesure UFP-3031



Principe de fonctionnement :

- À l'entrée de l'UFP-3031, un cyclone PM1 permet de ne retenir que les particules ultra fines (<1μm). Une membrane « Nafion » réduit l'humidité relative de l'échantillon d'aérosols qui passe ensuite dans un réservoir d'égalisation (pour éviter des fluctuations court-terme).
- Les particules sont ensuite électriquement chargées (positivement) grâce à un chargeur de diffusion à « effet couronne » (sans source radioactive).
- Une colonne DMA (Differential Mobility Analyzer) permet ensuite de sélectionner les particules chargées selon 6 classes de tailles (6 canaux).
- A la sortie du DMA, l'échantillon entre dans une cage faraday où les particules et leur charge sont collectées sur un filtre de particule conducteur qui est connecté à un électromètre. En faisant varier successivement la tension du DMA (sur les 6 canaux), l'appareil mesure le courant à chaque étape avec l'électromètre. La concentration en nombre pour chaque canal est finalement calculée à partir de l'intensité du courant détecté, de la fonction de transfert du DMA et de la loi de charge électrique en utilisant une technique d'inversion des données.
- La durée d'un cycle de mesure peut être fixée à 10 ou 15 min.

Note de synthèse sur l'impact sanitaire des particules ultrafines

Introduction

Cette note, rédigée dans le cadre des travaux du groupe de travail national nommé « GT PUF », présente une synthèse des connaissances actuelles sur l'impact sanitaire des particules ultrafines sur la santé humaine, et démontre l'intérêt de la métrologie dans la collaboration que les AASQA peuvent entretenir sur ce sujet avec les experts du secteur de la santé

Particules fines / ultra-fines et santé

Les effets sur la santé des polluants atmosphériques, notamment des polluants visés par les réglementations européennes et françaises (particules, ozone, dioxyde d'azote, dioxyde de soufre, ...), sont de mieux en mieux connus, que ce soit dans le cas d'expositions de courte durée (expositions aiguës, déclenchement d'un évènement sanitaire en rapport avec un pic de pollution) ou d'expositions à moyen et à long terme (expositions sub-chroniques et chroniques, excès de risque de maladie cardiovasculaire en rapport avec une exposition à long terme, diminution de l'espérance de vie de plusieurs années). Ces effets sont décrits sur le site de l'Institut de veille sanitaire (InVS) [1].

En 2013, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a réalisé pour le compte de la Commission européenne une importante mise à jour des connaissances sur les effets sur la santé de la pollution atmosphérique (Voir le rapport final du projet REVIHAAP - Review of evidence on health aspects of air pollution sur le site de l'OMS [2]).

La pollution atmosphérique est associée à un risque cardio-vasculaire ou cardiorespiratoire dont la nature causale s'est confirmée ces dernières années, ainsi qu'à un risque de cancer du poumon, comme le rappelle la classification de la pollution atmosphérique comme carcinogène certain par le CIRC en 2013. Différentes études résument bien l'état des connaissances et les questions qui restent en suspens [3-4], notamment les autres effets sanitaires possibles (diabète, pathologies de la grossesse, troubles du système nerveux central...). Les experts de la santé indiquent dans leurs conclusions que le poids des effets cardiovasculaires de la pollution atmosphérique en termes de morbidité et de mortalité est supérieur à celui des effets respiratoires. Ils soulignent le rôle clé de la pollution particulaire et ont mis en évidence certaines bases physio-pathogéniques de ces effets (impact sur la coagulation, déclenchement des arythmies, effets vasculaires, réponse inflammatoire systémique, développement de l'athérosclérose).

De nombreuses publications précisent le rôle clé des particules PM2.5 (particules fines de moins de 2,5 µm de diamètre aérodynamique, dont l'essentiel de la masse est représentée par les particules microniques) sur la survenue d'infarctus du myocarde, d'accidents vasculaires cérébraux, de troubles du rythme et d'épisodes de l'insuffisance cardiaque. L'ensemble des études disponibles permet de vérifier la nature causale de l'association concernant les PM2.5. En outre, il existe une relation dose-effet sans seuil identifiable, et en particulier avec des effets persistant en deçà des valeurs limites américaines en moyennes annuelles (12 µg/m³) et sur 24 heures (35 µg/m³). Ces effets sont observés dans les populations vulnérables (sujets âgés, patients atteints d'affections cardio-vasculaires ou respiratoires) et présentant des facteurs de risque complémentaires (polymorphisme génétique portant sur les gènes impliqués dans les défenses anti-oxydantes ou le métabolisme des xénobiotiques ; diabète ; obésité ; syndrome métabolique ; sexe féminin), mais aussi chez des sujets initialement en bonne santé.

Le rôle des particules ultrafines (PUF : particules nanométriques de diamètre inférieur à 100 nm) est souligné, quant à lui, tant à travers les études de panel que dans les études cliniques expérimentales (exposition contrôlée de groupes de sujets sains ou malades).

Selon le rapport final du projet REVIHAAP 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 montré que les PUF (ou une partie) agissent par des mécanismes qui se différencient par rapport aux plus grosses particules, comme les PM2.5 ou les PM10, qui dominent la mesure en masse.

Si les données épidémiologiques sur le rôle des PUF sont moins nombreuses (difficultés d'interprétation des études de panel du fait de l'absence de standardisation des méthodes de mesure des expositions), les études expérimentales réalisées chez l'homme ou chez l'animal (aérosol contrôlé de particules diesel, de concentré de particules atmosphériques, de particules ultrafines de noir de carbone) confirment l'impact de ces PUF sur l'appareil cardiovasculaire. Enfin les mécanismes évoqués (stress oxydant induit par le dépôt des particules dans le poumon profond, responsable d'une réaction inflammatoire locale et systémique; stimulation du système nerveux autonome avec modification de la balance parasympathique / sympathique; effets direct – translocation des PUF - ou indirect – effet sur la coagulation, effet

sur les cellules endothéliales et la réponse vasculaire) confirment le rôle potentiel des particules les plus fines.

Importance de la méthodologie

Les recommandations méthodologiques [5-7] sur les indicateurs d'exposition (standardisation des méthodes de mesures applicables aux individus; prise en compte des variations temporelles et spatiales de la composition des particules fines et ultrafines ; intérêt des études prenant en compte le trafic comme source principale d'exposition ; prise en compte de l'ensemble des situations d'exposition et pas seulement dans l'air extérieur) et les indicateurs d'effets (intérêt de prendre en compte les effets infra-cliniques – fréquence cardiaque ; ischémie myocardique électrique ; dysfonctionnement vasculaire ; biomarqueurs de stress oxydant; biomarqueurs d'inflammation systémique; hémostase - dans les études de panel) ainsi que la prise en compte des facteurs de susceptibilité individuelle permettent de mieux construire les protocoles d'études de panel. Les données des études de panel sur les PM2.5 confirment l'impact clinique [8] et infra-clinique [9-14]. Les données des études de panel sur les PUF confirment le rôle des PUF dans la survenue d'évènements cardiovasculaires cliniques - mortalité et hospitalisation [15], accès aux services d'urgence [16] et infra-cliniques [17-22]. Les études expérimentales cliniques renforcent ces conclusions [23-28] en apportant une confirmation du rôle spécifique des PUF et en précisant au mieux les délais d'apparition des effets cardiovasculaires infra-cliniques.

Les études in vivo utilisant des PUF représentatives de la pollution atmosphérique permettent de préciser les hypothèses physio-pathogéniques [29–31]. De plus, l'identification des facteurs déterminant la toxicité des particules inhalables (taille, surface spécifique, réactivité de surface, forme et biopersistance) obtenue à partir des études réalisées sur des nanoparticules manufacturées confirment la plausibilité des effets biologiques des PUF non intentionnelles.

Franck J. Kelly¹, dans un bulletin épidémiologique du 8 janvier 2013 [32], indique que les preuves épidémiologiques indiquant que les particules ultrafines constitueraient la fraction des PM ayant les effets les plus nocifs, sont apportées par des études montrant une augmentation de la mortalité et des hospitalisations pour causes cardio-respiratoires [33-34]. Cela est d'une certaine façon logique, étant donné que la petite taille des particules permet une plus grande pénétration pulmonaire et un passage vers des sites extra-pulmonaires. De plus, les petites particules présentent, en masse, une surface beaucoup plus importante pour l'adsorption de substances chimiques toxiques. Cependant, il est difficile d'étudier la toxicité d'une classe granulométrique particulière, car elle n'est pas indépendante de la composition

•

¹ MRC-HPA Centre for Environment and Health, School of Biomedical Sciences, King's College London

chimique (par exemple, les PUF sont généralement riches en hydrocarbures potentiellement nocifs). Des données montrent néanmoins que les fractions les plus fines des PM, quelle que soit leur origine (urbaine ou rurale), sont plus susceptibles d'influencer des biomarqueurs d'effets et d'exposition [35].

Intérêts et apports de la métrologie

D'après un rapport récent publié par le « Health Effects Institute » [36], plusieurs publications actuelles mettent bien en avant les difficultés rencontrées pour l'évaluation des effets de l'exposition aux PUF dans les études épidémiologiques. Les données de mesures et de surveillance continue des PUF sont rares. Certaines publications soulignent notamment le fait que l'évaluation de l'exposition aux PUF à partir uniquement des résultats des concentrations mesurées sur des sites de surveillance en air ambiant peut conduire à une forte probabilité d'une classification erronée de l'exposition, en raison de la forte variabilité spatiale des concentrations des PUF, induisant ainsi une forte incertitude dans les études épidémiologiques [37-39].

La source majeure des expositions les plus susceptibles d'avoir un effet sanitaire est le trafic, responsable des émissions de particules fines et ultrafines (60% des émissions de PUF en milieu urbain proviennent du trafic) et de polluants gazeux (oxydes d'azote notamment) dont les contributions respective sont difficiles à préciser. Pour certaines pathologies, telles que celles liées au système cardiovasculaire, le rôle spécifique de la pollution atmosphérique liée au trafic a déjà été souligné [40]. En termes épidémiologiques, d'autres paramètres, comme le bruit issu du trafic, peuvent également avoir une incidence sur la santé cardiovasculaire [41], et donc constituer un facteur de confusion dans les études sur les relations entre exposition aux PUF et santé cardiovasculaire.

Un exemple récent de coopération internationale sur l'estimation de l'exposition aux PUF, conduit dans 3 grandes villes européennes, est le projet Tri-TABS (Tri-national traffic, air, noise and health, à Bâle en Suisse, Girone en Espagne et Grenoble en France, coordonné par N. Künzli) visant à essayer de distinguer, dans les études épidémiologiques, les contributions respectives de l'exposition aux particules ultrafines et au bruit, tous deux issus du trafic, dans les effets sur la santé à court terme. Des campagnes de mesures ont été réalisées en 40 à 60 sites dans chaque ville, avec des mesures simultanées sur chaque site de particules ultrafines (comptage), du bruit et un comptage du trafic. L'objectif était également de pouvoir croiser ces mesures avec des indicateurs sanitaires recueillis dans le cadre de suivi de cohortes (à Bâle et à Girone). Cette étude a été menée grâce à une collaboration entre différents groupes de chercheurs universitaires et épidémiologistes, dont le STPH à Bâle (Swiss Tropical and Public

Health Institute), le CREAL à Barcelone (Centre for Research in Environmental Epidemiology), l'INSERM à Grenoble (Institut Albert Bonniot de Grenoble – équipe d'épidémiologie environnementale appliquée à la reproduction et la santé respiratoire) et des acteurs locaux comme les réseaux de surveillance de la qualité de l'air (Air Rhône-Alpes). Les résultats de ces travaux sont en cours de publication [42].

Conclusion

Un grand nombre d'études menées par les experts de la santé permet d'affirmer le rôle de la pollution atmosphérique particulaire sur la santé humaine (mortalité, maladies respiratoires, cardiopathies) et de souligner de plus en plus le rôle privilégié des particules ultrafines. L'ensemble de ces données confirme donc l'intérêt de la mesure et l'observation des PUF dans le cadre du dispositif national de surveillance de la qualité de l'air.

Références bibliographiques

- http://www.invs.sante.fr/surveillance/psas9/
- http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/airquality/publications/2013/review-of-evidence-on-health-aspects-of-air-pollution-revihaapproject-final-technical-report
- Brook RD, Franklin B, Cascio W, Hong Y, Howard G, Lipsett M, et al. Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professionals from the Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. Circulation. 2004 juin 1;109(21):2655-71.
- Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA 3rd, Brook JR, Bhatnagar A, Diez-Roux AV, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. Circulation. 2010 juin 1;121(21):2331-78.
- Zanobetti A, Baccarelli A, Schwartz J. Gene-air pollution interaction and cardiovascular disease: a review. Prog Cardiovasc Dis. 2011 avr;53(5):344-52.
- Weichenthal S. Selected physiological effects of ultrafine particles in acute cardiovascular morbidity. Environ. Res. 2012 mai;115:26-36.
- Bell ML. Assessment of the health impacts of particulate matter characteristics. Res Rep Health Eff Inst. 2012 janv; (161):5-38.
- He F, Shaffer ML, Rodriguez-Colon S, Yanosky JD, Bixler E, Cascio WE, et al. Acute effects of fine particulate air pollution on cardiac arrhythmia: the APACR study. Environ. Health Perspect. 2011 juill;119(7):927-32.
- Brook RD, Shin HH, Bard RL, Burnett RT, Vette A, Croghan C, et al. Exploration of the rapid effects of personal fine particulate matter exposure on arterial hemodynamics and vascular function during the same day. Environ. Health Perspect. 2011 mai;119(5):688-94.
- McCracken J, Smith KR, Stone P, Díaz A, Arana B, Schwartz J. Intervention to lower household wood smoke exposure in Guatemala reduces ST-segment depression on electrocardiograms. Environ. Health Perspect. 2011 nov;119(11):1562-8.
- Liao D, Shaffer ML, Rodriguez-Colon S, He F, Li X, Wolbrette DL, et al. Acute adverse effects of fine particulate air pollution on ventricular repolarization. Environ. Health Perspect. 2010 juill;118(7):1010-5.
- McBride SJ, Norris GA, Williams RW, Neas LM. Bayesian hierarchical modeling of cardiac response to particulate matter exposure. J Expo Sci Environ Epidemiol. 2011 févr;21(1):74-91.
- Jia X, Song X, Shima M, Tamura K, Deng F, Guo X. Effects of fine particulate on heart rate variability in Beijing: a panel study of healthy elderly subjects. Int Arch Occup Environ Health. 2012 janv;85(1):97-107.
- Hampel R, Breitner S, Schneider A, Zareba W, Kraus U, Cyrys J, et al. Acute air pollution effects on heart rate variability are modified by SNPs involved in cardiac rhythm in individuals with diabetes or impaired glucose tolerance. Environ. Res. 2012 janv;112:177-85.

- Hoek G, Boogaard H, Knol A, de Hartog J, Slottje P, Ayres JG, et al. Concentration response functions for ultrafine particles and all-cause mortality and hospital admissions: results of a European expert panel elicitation. Environ. Sci. Technol. 2010 janv 1;44(1):476-82.
- Franck U, Odeh S, Wiedensohler A, Wehner B, Herbarth O. The effect of particle size on cardiovascular disorders--the smaller the worse. Sci. Total Environ. 2011 sept 15;409(20):4217-21.
- Delfino RJ, Staimer N, Tjoa T, Arhami M, Polidori A, Gillen DL, et al. Associations of primary and secondary organic aerosols with airway and systemic inflammation in an elderly panel cohort. Epidemiology. 2010 nov;21(6):892-902.
- Delfino RJ, Staimer N, Tjoa T, Arhami M, Polidori A, Gillen DL, et al. Association of biomarkers of systemic inflammation with organic components and source tracers in quasi-ultrafine particles. Environ. Health Perspect. 2010 juin;118(6):756-62.
- Schneider A, Hampel R, Ibald-Mulli A, Zareba W, Schmidt G, Schneider R, et al. Changes in deceleration capacity of heart rate and heart rate variability induced by ambient air pollution in individuals with coronary artery disease. Part Fibre Toxicol. 2010;7:29.
- Wu C, Kuo I-C, Su T-C, Li Y-R, Lin L-Y, Chan C-C, et al. Effects of personal exposure to particulate matter and ozone on arterial stiffness and heart rate variability in healthy adults. Am. J. Epidemiol. 2010 juin 15;171(12):1299-309.
- Delfino RJ, Gillen DL, Tjoa T, Staimer N, Polidori A, Arhami M, et al. Electrocardiographic ST-segment depression and exposure to traffic-related aerosols in elderly subjects with coronary artery disease. Environ. Health Perspect. 2011 févr;119(2):196-202.
- Rich DQ, Zareba W, Beckett W, Hopke PK, Oakes D, Frampton MW, et al. Are Ambient Ultrafine, Accumulation Mode, and Fine Particles Associated With Adverse Cardiac Responses in Patients Undergoing Cardiac Rehabilitation? Environmental health perspectives [Internet]. 2012 avr 27 [cité 2012 mai 9]; Available de: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22542955
- Barath S, Mills NL, Lundbäck M, Törnqvist H, Lucking AJ, Langrish JP, et al. Impaired vascular function after exposure to diesel exhaust generated at urban transient running conditions. Part Fibre Toxicol. 2010;7:19.
- Rundell KW, Steigerwald MD, Fisk MZ. Montelukast prevents vascular endothelial dysfunction from internal combustion exhaust inhalation during exercise. Inhal Toxicol. 2010 août;22(9):754-9.
- Stewart JC, Chalupa DC, Devlin RB, Frasier LM, Huang L-S, Little EL, et al. Vascular effects of ultrafine particles in persons with type 2 diabetes. Environ. Health Perspect. 2010 déc;118(12):1692-8.
- Lucking AJ, Lundbäck M, Barath SL, Mills NL, Sidhu MK, Langrish JP, et al. Particle traps prevent adverse vascular and prothrombotic effects of diesel engine exhaust inhalation in men. Circulation. 2011 avr 26;123(16):1721-8.
- Langrish JP, Li X, Wang S, Lee MMY, Barnes GD, Miller MR, et al. Reducing personal exposure to particulate air pollution improves cardiovascular health in patients with coronary heart disease. Environ. Health Perspect. 2012 mars;120(3):367-72.
- Cosselman KE, M Krishnan R, Oron AP, Jansen K, Peretz A, Sullivan JH, et al. Blood pressure response to controlled diesel exhaust exposure in human subjects. Hypertension. 2012 mai;59(5):943-8.

- Tong H, Cheng W-Y, Samet JM, Gilmour MI, Devlin RB. Differential cardiopulmonary effects of size-fractionated ambient particulate matter in mice. Cardiovasc. Toxicol. 2010 déc;10(4):259-67.
- Nurkiewicz TR, Porter DW, Hubbs AF, Stone S, Moseley AM, Cumpston JL, et al. Pulmonary particulate matter and systemic microvascular dysfunction. Res Rep Health Eff Inst. 2011 déc;(164):3-48.
- Amatullah H, North ML, Akhtar US, Rastogi N, Urch B, Silverman FS, et al. Comparative cardiopulmonary effects of size-fractionated airborne particulate matter. Inhal Toxicol. 2012 févr;24(3):161-71.
- 32. Bulletin épidémiologique hebdomadaire de l'InVS, n°1-2, du 8 janvier 2013
- Belleudi V, Faustini A, Stafoggia M, Cattani G, Marconi A, Perucci CA, et al. Impact
 of fine and ultrafine particles on emergency hospital admissions for cardiac and
 respiratory diseases. Epidemiology. 2010;21(3): 414-23.
- Wichmann HE, Spix C, Tuch T, Wölke G, Peters A, Heinrich J, et al. Daily mortality and fine and ultrafine particles in Erfurt, Germany part I: role of particle number and particle mass. Res Rep Health Eff Inst. 2000;98: 5-86.
- Val S, Martinon L, Cachier H, Yahyaoui A, Marfaing H, Baeza-Squiban A. Role of size and composition of traffic and agricultural aerosols in the molecular responses triggered in airway epithelial cells. Inhal Toxicol. 2011;23(11):627-40.
- Health Effects Institute, 2013. Understanding the health effects of ambient ultrafine particles. HEI Review Panel on Ultrafine Particles. http://pubs.healtheffects.org/getfile.php?u=893
- Fanning EW, Froines JR, Utell MJ, Lippmann M, Oberdörster G, Frampton M, Godleski J, Larson TV. 2009. Particulate matter (PM) research centers (1999–2005) and the role of interdisciplinary center-based research. Environ Health Perspect 117:167–174.
- Terzano C, Di Stefano F, Conti V, Graziani E, Petroianni A. 2010. Air pollution ultrafine particles: Toxicity beyond the lung. Eur Rev Med Pharmacol Sci 14:809

 –821.
- 39. Hoek G, Boogaard H, Knol A, De Hartog J, Slottje P, Ayres JG, Borm P, Brunekreef B, Donaldson K, Forastiere F, Holgate S, Kreyling WG, Nemery B, Pekkanen J, Stone V, Wichmann HE, Van der Sluijs J. 2010. Concentration response functions for ultrafine particles and all-cause mortality and hospital admissions: Results of a European expert panel elicitation. Environ Sci Technol 44:476–482.
- Peters A, von Klot S, Heier M, Trentinaglia I, Hörmann A, Wichmann HE, Löwel H; Cooperative Health Research in the Region of Augsburg Study Group. Exposure to traffic and the onset of myocardial infarction. N Engl J Med. 2004 Oct 21;351(17):1721-30.
- Basner M, Babisch W, Davis A, Brink M, Clark C, Janssen S, et al. Auditory and nonauditory effects of noise on health. Lancet 2013; doi:10.1016/S0140-6736(13)61613-x
- 42. Inmaculada Aguilera, Maria Foraster, Xavier Basagaña, Elisabetta Corradi, Alexandre Deltell, Xavier Morelli, Harish C Phuleria, Martina S Ragettli, Marcela Rivera, Alexandre Thomasson, Rémy Slama & Nino Künzli, Application of land use regression modelling to assess the spatial distribution of road traffic noise in three European cities, Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology (17 September 2014)



Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

Note technique

SUR LES PERSPECTIVES DE TRAVAIL DU GT « PUF » A PARTIR DE 2015

1. GENESE DU GT PUF : DE BESOINS COMMUNS ENTRE AASQA A L'INTERET D'UN SUIVI AU NIVEAU NATIONAL

Dans le domaine de la qualité de l'air, il est maintenant établi que les particules ultrafines (PUF) ont un impact spécifique sur la santé (cf. note de synthèse du GT sur le sujet). Une des particularités des PUF, et qui explique entre autre cet impact, est dû à leur gamme de taille ultrafine qui varie entre quelques nanomètres et plusieurs centaines de nanomètres. De ce fait, leur concentration en masse reste généralement négligeable vis-à-vis des particules plus grosses qui sont réglementées (PM10, PM2.5), alors que les particules ultrafines sont très souvent majoritaires en nombre. C'est pourquoi la mesure des PUF nécessite d'avoir des appareillages de type « granulomètres », permettant le comptage en nombre et en taille des particules. Par ailleurs, la mesure et la meilleure connaissance des ces PUF contribue à la compréhension globale des particules (identification des sources de particules, compréhension des phénomènes de fluctuations de l'aérosol, origine des dépassements de seuils réglementaires, etc.).

C'est dans ce contexte que différentes AASQA se sont impliquées, pratiquement au même moment, dans des actions spécifiques menées au niveau régional — connaissance de l'aérosol urbain (AIR Rhône-Alpes, AIRAQ), impact de sources industrielles (AIR PACA), connaissance de l'exposition via des mesures embarquées (AIRPARIF) — avec pour 3 d'entre elles, des demandes d'investissements pour l'achat de nouveaux instruments pour la mesure des PUF.

MOIS ANNEE (TREBUCHET 12)



Dès 2011, les AASQA ont senti le besoin et l'intérêt commun d'échanger sur différents aspects liés à cette nouvelle thématique. Cela a été le cas notamment pour effectuer des choix en matière d'achat des appareils de mesure. Pour sa part, le LCSQA, qui avait développé progressivement dans les années précédentes une compétence sur le mesurage et l'étude des PUF, a tout naturellement mis ses connaissances au service des AASQA, passant, petit à petit, d'un rôle de production de données à celui de support technique et de coordination des échanges.

Une petite communauté s'est ainsi formée, privilégiant les actions d'intérêt commun. Les échanges ont ainsi permis de réaliser un choix argumenté des matériels, en assurant dès le lancement des actions régionales une homogénéité du parc instrumental. Cette coordination a permis d'avoir une position forte par rapport au constructeur, dans un contexte d'instrumentation émergente. Elle a également permis d'impliquer un acteur de référence au niveau international dans le domaine de la recherche et du développement des granulomètres (Alfred Wiedensohler, IFT, Leipzig) et d'échanger avec des programmes européens tels qu'ACTRISS. Enfin, les discussions en commun (sur les orientations respectives des projets, l'instrumentation, les retours d'expériences,...) ont permis de favoriser la complémentarité des programmes régionaux, et la remontée des connaissances au niveau national.

L'intérêt de ce travail a été reconnu début 2014, avec la nomination officielle de cette communauté en tant que groupe de travail national (GT PUF), affilié à la CS PM.

Le Tableau 1 (cf. Annexe 1) rassemble les dates des principales réunions depuis la constitution de cette communauté.

2. THEMES DE TRAVAIL DU GT

Les réunions organisées en 2011 en réponse à des besoins du moment, ont laissé progressivement place à des échanges structurés, à des actions coordonnées, s'inscrivant dans la durée : on retrouve là le profil classique d'un GT.

Sur la base de cet historique, on peut proposer une description du GT PUF. D'un point de vue général, il vise à :

- Une mise en synergie des actions « PUF » menées au niveau régional,
- Un retour d'expérience vers le dispositif national et vers la normalisation.

Ses principaux axes de travail sont les suivants :

- Echange sur les actions en cours et à venir : projets régionaux, aspects techniques, scientifiques, stratégiques. Coordination (recherche de complémentarité entre les programmes de travail de chaque AASQA).
 - Exemple en Annexe 2 : programme de travail d'AIR RA.
- Echange avec d'autres communautés, notamment « santé ».
 Une proposition d'action commune a ainsi été imaginée en 2012 (projet cardio-PUF), visant à étudier l'impact des PUF sur le système cardiovasculaire d'un panel de personnes.
- 3. Instrumentation
 - a. Choix de matériels

- b. Suivi des relations avec le constructeur et le distributeur
- c. Organisation d'intercomparaisons
- d. Production et mise à jour de protocoles
- e. Retour d'expérience : recueil des pannes et solutions
- 4. Traitement des données
 - a. Méthodes et protocoles de mise en forme des données
 - b. Validation technique et environnementale
 - c. Interprétation
- 5. Suivi des actions nationales et européennes
 - a. Suivi normalisation CEN
 - b. Actions PNSQA / PRSQA
 - c. Actions PNSE / PRSE
 - d. CS PM
- 6. Valorisation technique et scientifique
 - a. Suivi de la normalisation (Normes CEN pour le comptage en nombre et en taille)

Suivi/participation à des congrès sur les PUF (ex. EFCA)

3. PERSPECTIVES: DES OBJECTIFS A COURT, MOYEN ET PLUS LONG TERME

Mise en synergie des projets

L'objectif dans les mois à venir est d'accompagner la clôture de 2 projets régionaux en cours et d'aider au montage des actions en cours de préparation. La communauté est également sollicitée par des acteurs extérieurs, avec par exemple une demande de contribution à un projet national pour la caractérisation des sources automobiles -hors rejet à l'échappement-(CORTEA 2015).

2. Echange avec d'autres communautés

Des prises de contact sont envisagées dans les mois à venir : d'une part avec l'IFSTTAR sur les émissions automobiles (hors échappement), et d'autre part avec des acteurs de la santé.

3. Instrumentation

En matière d'instrumentation, le principal objectif est, sous 3 ans, de passer d'un usage prospectif des 3031 à un mesurage de routine, encadré par des protocoles QA/QC confirmés par l'expérience. Les exercices d'intercomparaison, utilisés principalement jusqu'ici pour évaluer la technologie et donner à la communauté une position forte vis-à-vis du constructeur, joueront un rôle croissant dans cette stratégie QA/QC.

Par ailleurs, une réflexion sera menée sur les gammes de taille non-couvertes ou mal couvertes par le 3031 (diamètres < 20 nm et > 200 nm). Le potentiel du comptage total (avec un CPC) sera discuté, avec un retour d'expérience chez des collègues européens (Belgique, Pays-Bas).

4. Traitement des données

Ce thème a été amorcé lors la dernière intercomparaison (juillet 2014). Il va être développé, avec d'ores et déjà le projet d'organiser une journée spécifique (échanges) au prochain GT PUF (début 2015).

5. Suivi des actions nationales

La préparation du PRSE 3, volet régional du PNSE 3, offrira en 2015 l'occasion de proposer des actions régionales sur les PUF; le GT permettra un échange, pour faciliter la préparation de ces propositions mais aussi pour chercher des synergies.

6. Valorisation

Le prochain congrès « PUF » de l'EFCA se tient en 2015 ; le travail sur le 3031 pourrait y être présenté.

Par ailleurs, il conviendra de démarrer une réflexion sur la communication vers le public.

Table des illustrations

FIGURE 1 : SCHEMA DE LA TAILLE DES PARTICULES	5
FIGURE 2: DISTRIBUTION EN TAILLE ET EN NOMBRE DES PARTICULES [WHITBY ET AL.]	8
FIGURE 3: REPARTITION DES SITES DE L'OBSERVATOIRE GRENOBLOIS	11
FIGURE 4: REPARTITION DES SITES DE MESURES PUF EN FRANCE	12
FIGURE 5 : CALENDRIER DES CAMPAGNES DE MESURES	13
FIGURE 6 : CONCENTRATIONS MOYENNES EN NOMBRE PARTICULES - COMPARAISON AUX AUTRES SITES FRANÇAIS	14
FIGURE 7: COMPARAISON DES NIVEAUX SUR L'AGGLOMERATION GRENOBLOISE	15
FIGURE 8 : CLASSEMENT DES SITES SELON L'INFLUENCE TRAFIC	16
FIGURE 9 : DISTRIBUTION DES CLASSES DE TAILLES DE PUF	16
FIGURE 10 : PROFILS ANNUELS DES PUF EN FOND URBAIN – GRENOBLE LES FRENES.	17
FIGURE 11: PROFILS ANNUELS DES PUF EN FOND URBAIN - REPRESENTATION "RADAR" – GRENOBLE LES FRENES	17
FIGURE 12 : PROFILS ANNUELS DES PUF EN PROXIMITE TRAFIC — GRENOBLE LE RONDEAU	
FIGURE 13: PROFILS JOURNALIERS DES PUF EN FOND URBAIN - GLOBAL	
FIGURE 14: PROFILS JOURNALIERS DES PUF EN FOND URBAIN GRENOBLE LES FRENES - JOURS OUVRES	19
FIGURE 15: PROFILS JOURNALIERS DES PUF EN FOND URBAIN GRENOBLE LES FRENES - DIMANCHES ET JOURS FERIES	20
FIGURE 16: PROFILS JOURNALIERS « GLOBAL » DES PUF EN PROXIMITE TRAFIC – GRENOBLE RONDEAU	20
FIGURE 17: PROFILS JOURNALIERS « JOURS OUVRES » DES PUF EN PROXIMITE TRAFIC — GRENOBLE RONDEAU	21
Figure 18: Profils journaliers & dimanches et jours feries & des PUF en proximite trafic - Grenoble Rondeau	21
FIGURE 19: TABLEAUX DE CORRELATION ENTRE PUF ET DIFFERENTS POLLUANTS – SITE DE GRENOBLE LES FRENES	22
FIGURE 20 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS HORAIRES DU 24/11/14 AU 26/11/14 – GRENOBLE LES FRENES	23
FIGURE 21: TABLEAU DE CORRELATIONS DES POLLUANTS — EPISODE HIVERNAL — GRENOBLE LES FRENES	23
FIGURE 22: EVOLUTION DES CONCENTRATIONS HORAIRES DU 18/03/15 AU 23/03/15	24
FIGURE 23 : TABLE DE CORRELATIONS DES POLLUANTS - EPISODE PRINTANIER	24
FIGURE 24: PROFILS HORAIRES JOURNALIERS EN PERIODE ESTIVALE – LES FRENES.	25