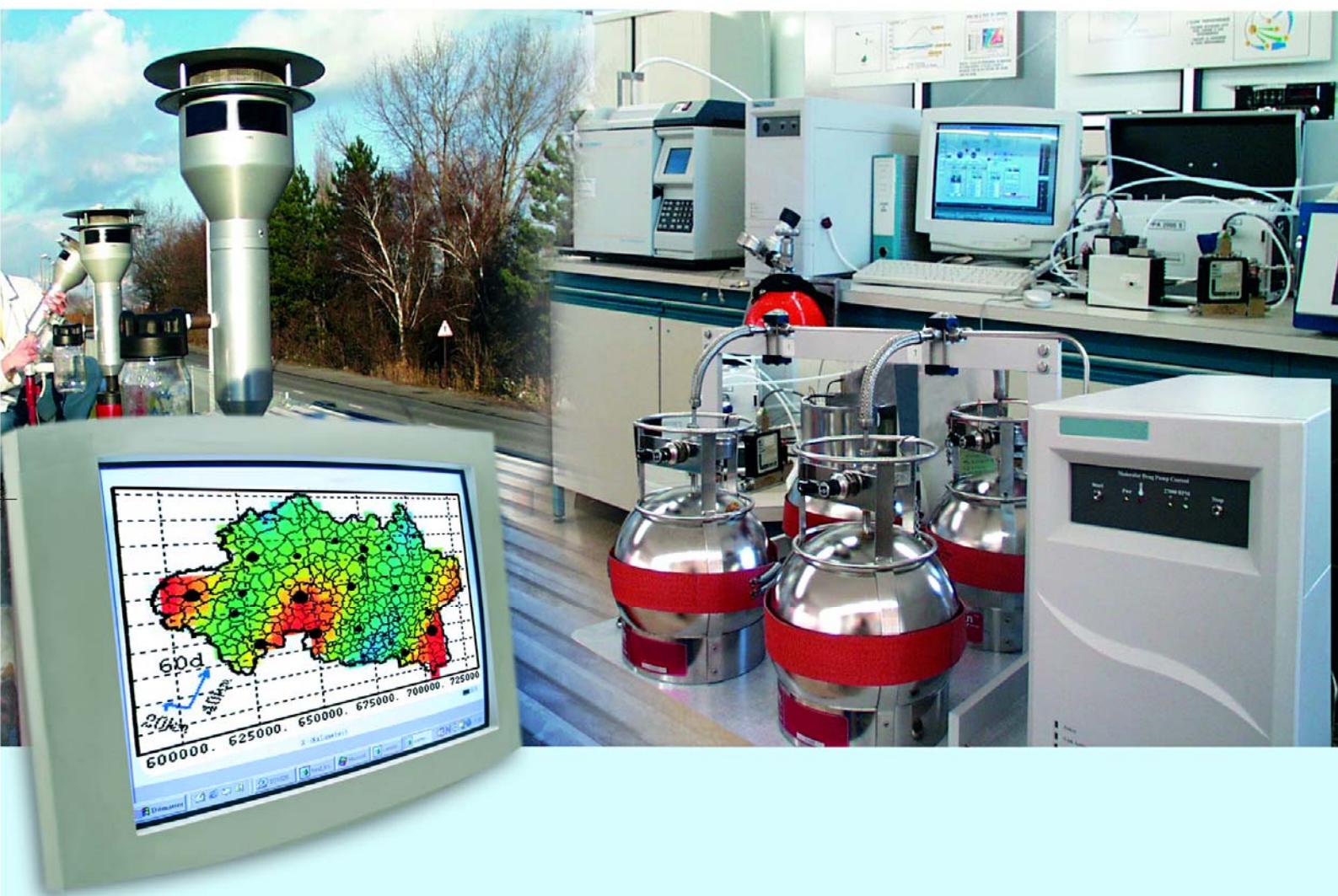




Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air



Métrieologie des particules

Connaissance de la pollution par les particules submicroniques

Décembre 2007

Programme 2007

O. LE BIHAN, L. MALHERBE



PREAMBULE

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est constitué de laboratoires de l'Ecole des Mines de Douai, de l'INERIS et du LNE. Il mène depuis 1991 des études et des recherches finalisées à la demande du Ministère chargé de l'environnement, sous la coordination technique de l'ADEME et en concertation avec les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Ces travaux en matière de pollution atmosphérique supportés financièrement par la Direction des Préventions des Pollutions et des Risques du Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durables sont réalisés avec le souci constant d'améliorer le dispositif de surveillance de la qualité de l'air en France en apportant un appui scientifique et technique aux AASQA.

L'objectif principal du LCSQA est de participer à l'amélioration de la qualité des mesures effectuées dans l'air ambiant, depuis le prélèvement des échantillons jusqu'au traitement des données issues des mesures. Cette action est menée dans le cadre des réglementations nationales et européennes mais aussi dans un cadre plus prospectif destiné à fournir aux AASQA de nouveaux outils permettant d'anticiper les évolutions futures.



Connaissance de la pollution par les particules submicroniques

Laboratoire Central de Surveillance
de la Qualité de l'Air

Métrieologie des particules

Programme financé par la
Direction des Préventions des Pollutions et des Risques (DPPR)

2007

O. LE BIHAN, L. MALHERBE (INERIS), H. MARFAING (AIRPARIF)

Ce document comporte 67 pages (hors couverture et annexes).

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	O. LE BIHAN et L. MALHERBE	J. POULLEAU	M.RAMEL
Qualité	Ingénieurs Direction des Risques Chroniques	Responsable Unité Qualité de l'air Direction des Risques Chroniques	Responsable LCSQA/INERIS Direction des Risques Chroniques
Visa			

TABLE DES MATIERES

RÉSUMÉ	3
1. INTRODUCTION	7
2. SUIVI DANS LE TEMPS.....	9
2.1 Principe : rappel	9
2.2 Résultats de la campagne 2007 et comparaison des campagnes 2003 à 2007	9
2.2.1 Concentration en nombre et masse.....	9
2.2.2 Corrélations	13
2.2.3 Profil journalier moyen.....	13
2.2.4 Distribution en taille	14
2.2.5 Décomposition en modes indépendants.....	16
2.3 Mesure de la surface spécifique.....	17
2.4 Conclusion	19
3. ACTIVITÉ DE VEILLE	20
3.1 Protocoles de mesurage	20
3.1.1 EUSAAR	20
3.1.2 Normalisation ISO sur les nanoparticules et nanomatériaux	20
3.2 Développement instrumental.....	20
3.3 Rejets automobiles : vers un protocole « en nombre » ?	21
4. ANALYSE STATISTIQUE	22
4.1 Constitution des bases de données	22
4.1.1 Liste des bases.....	22
4.1.2 variables des bases	23
4.2 Description des variables	24
4.2.1 variables de comptage.....	24
4.2.2 variables calculées	24
4.2.3 Variables d'émission.....	25
4.3 Analyse statistique	25
4.3.1 Statistiques élémentaires.....	25
4.3.2 Profils temporels	29
4.3.3 Profils granulométriques	40

4.3.4 Corrélations.....	44
4.3.5 Analyse en composantes principales (ACP)	49
4.4 Conclusion de l'analyse statistique.....	60
5. CONCLUSION GÉNÉRALE	63
6. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	65
7. LISTE DES ANNEXES	67

RESUME

En raison de leur impact sanitaire avéré sur les populations, les particules submicroniques, et tout particulièrement les particules ultrafines (diamètre < 0,1 µm), sont l'objet depuis 6 ans d'une action LCSQA spécifique.

Ce programme d'action vise à :

- disposer d'un noyau de compétences et de connaissances sur la taille et le nombre de ces particules
- documenter la situation française à travers une caractérisation dans le temps et l'espace.

Nos observations portent sur la gamme 10 nm – 20 µm, la prise en compte de la fraction 1 – 10 µm ayant pour objectif de faciliter la mise en lien avec les données PM10 et PM2,5.

Afin de faciliter la réponse nationale en matière de surveillance des PM10 (transformation profonde du dispositif français), nous avons choisi de suspendre pour une année le volet typologie. Pour mémoire, ce volet a pour objectif d'étudier les caractéristiques de l'aérosol submicronique dans différents types de site (proximité industrielle, proximité trafic, influence saisonnière, etc.).

Le volet « suivi temporel » a permis de construire une base de données expérimentale significative. Un objectif est donc désormais d'utiliser cette base de données afin de mieux comprendre quels sont les facteurs influençant les paramètres des distributions en taille observées (concentration en nombre, distribution des modes...). En particulier, il serait intéressant d'estimer les influences respectives des émissions, de la dispersion ou encore des transformations des particules dans l'atmosphère. Pour cela, nous avons entamé une analyse statistique de ces données. Ce volet constitue le fait marquant de nos travaux 2007.

Résultats :

En matière de veille, trois faits marquants sont à relever :

- Dans le cadre du projet européen EUSAAR, ainsi que dans le cadre de la normalisation ISO / domaine des nanoparticules-nanomatériaux, on assiste à une démarche visant à faire émerger des protocoles communs en matière d'exploitation de compteurs de particules et de granulomètres.
- Dans le cadre du programme européen UFIPOLEP, les partenaires –dont le fabricant TSI - ont développé un granulomètre en version prototype visant à rassembler les avantages des deux techniques dominantes (SMPS et ELPI). Ce développement présente un progrès notable sur deux points :
 - Cet appareil, tout en conservant une grande définition, évite le recours à un compteur de noyau de condensation : l'utilisation de butanol est ainsi évitée.

- La mise en charge des particules se fait par effet couronne : le recours à une source radioactive n'est plus nécessaire.
- Dans le domaine des rejets automobiles, une réflexion très sérieuse est menée quant à l'émergence d'exigences en matière de concentrations en nombre à l'émission. Même si le projet semble s'orienter vers la fraction solide des particules (et donc exclusion des semi-volatils), cette démarche constitue une première.

Dans le cadre du volet « **Suivi dans le temps** », nous avons réalisé en février-mars 2007, une campagne de mesure de 5 semaines, sur le site urbain de fond de Gennevilliers (AIRPARIF). Ces observations ont été traitées et intégrées dans la base de données. Les résultats obtenus s'inscrivent dans la continuité des campagnes précédentes, et sont pris en compte dans l'analyse statistique.

Le développement **statistique** a bénéficié des compétences de l'unité de modélisation (MECO) de l'INERIS. Le travail s'est déroulé en deux temps :

- une étape préliminaire consacrée à la définition des bases de données, à la récupération ou au calcul de certaines variables manquantes, et à la mise en forme des bases ;
- l'analyse statistique mono et bidimensionnelle. Celle-ci a été axée sur la recherche des facteurs influents.

On distingue différentes catégories de variables :

- les variables mesurées, issues des campagnes de mesure ainsi que des observations permanentes réglementaires (station AIRPARIF) : concentrations en nombre par classe granulométrique, concentrations massiques de particules PM10 et PM2.5, concentrations massiques de polluants gazeux (NOx, etc.) ; à cela s'ajoute les données de la station Météo-France du Bourget ou éventuellement de la station Météo-France de Roissy ;
- les variables calculées de météorologie (données modélisées par le préprocesseur météorologique d'ADMS 4 à partir des variables météorologiques mesurées), de qualité de l'air (données de concentration par mode résultant de l'algorithme gA3), d'émission (à venir : données issues de l'inventaire de 2001 élaboré par AIRPARIF).

Cette étude constitue une première analyse exploratoire des données qui, chaque hiver depuis 2003 ainsi qu'au cours de l'été 2005, ont été recueillies sur le site urbain de Gennevilliers. A titre de comparaison, les mesures effectuées à Douai pendant l'automne 2004, en un point sous influence du trafic, ont également été examinées.

Nous observons que 50% à 85% des particules appartiennent à la classe granulométrique 10 à 100 nm. Si l'on considère la décomposition en modes, près de 50% des particules appartiennent au mode « b », dont le diamètre médian varie la plupart du temps entre 10 et 40 nm.

La concentration est d'environ 14.000 p/cc en moyenne sur l'ensemble des campagnes hivernales. Le nombre de particules des classes 10-100 nm et 100-500 nm varie d'une année à l'autre ; toutefois, nous ne relevons pas de tendance. Par contre, nous observons en été 2005 des concentrations nettement plus importantes qu'en hiver, ainsi qu'un développement important au dessous de 20 nm.

Pour mieux caractériser les concentrations en nombre de particules et avoir une idée de leurs sources et des variables qui les influencent, nous avons étudié les données sous la forme de profils journaliers (jours ouvrés/samedi/dimanche), profils hebdomadaires, profils granulométriques par type de jour. Nous avons également fait un calcul de corrélation (concentrations massiques de gaz et de particules ; variables météorologiques) et réalisé des analyses en composantes principales avec ces mêmes variables.

Dans ces premiers calculs, les concentrations massiques de NOx ont joué le rôle d'indicateurs des émissions.

De ces calculs, ressortent les résultats suivants, qui demandent à être confirmés par des analyses complémentaires :

- i. Les émissions primaires du trafic seraient responsables d'un pic matinal de concentration ; sur le site de Douai, qui est sous influence directe du trafic, elles provoqueraient un second pic en fin d'après-midi ;
- ii. L'été, les réactions photochimiques conduisent à une augmentation, pendant l'après-midi, du nombre de particules de la classe 10 – 100 nm ;
- iii. Les variations des concentrations numériques de particules s'expliqueraient principalement par les émissions et les transformations chimiques ;
- iv. Les concentrations numériques seraient influencées, dans une moindre mesure, par les variations de la hauteur de couche limite atmosphérique et par la vitesse de vent.

En 2008, des données d'émissions extraites de l'inventaire d'AIRPARIF seront mises à la disposition de l'INERIS, ce qui devrait aider à la vérification du troisième point.

Les rôles respectifs de la vitesse de vent et de la hauteur de couche limite sont malaisément discernables car cette seconde variable (non mesurée) a été calculée à l'aide de la première. Un moyen possible de vérifier le bien fondé de la quatrième remarque serait d'utiliser, pour la hauteur de couche limite atmosphérique, une source indépendante de données, par exemple les résultats du modèle MM5.

1. INTRODUCTION

Dans le domaine des particules et de la qualité de l'air, la réglementation impose la surveillance des fractions PM10 et désormais PM2,5. Elle consiste notamment en la mesure de la concentration massique.

Toutefois, un nombre croissant d'études « santé », tant au niveau de la toxicologie que, désormais, de l'épidémiologie, soulignent le rôle potentiel tout à fait conséquent des particules ultrafines (diamètre < 0,1 µm).

De ce fait, sur la base de recommandations de l'OMS [OMS, 2003] et du groupe de travail européen sur les particules dans le cadre du programme Clean Air For Europe [CAFE, 2003], un nombre croissant d'états membres mène des travaux prospectifs sur le thème de la caractérisation et de la mesure des particules submicroniques et ultrafines.

La communauté française de la surveillance de la qualité de l'air a anticipé ces besoins en engageant dès 2003 une action de ce type.

L'objectif est de constituer un noyau de compétences et de connaissances au niveau national, au sein du LCSQA, sur le thème des propriétés des particules, telles que le nombre, la granulométrie, la surface spécifique, etc.

En pratique, le LCSQA réalise chaque année depuis 2003 une campagne de mesure hivernale de la distribution en taille numérique des particules, pendant 5 semaines, sur le site urbain parisien de Gennevilliers. Cette expérience concerne donc l'exposition aux particules submicroniques, et particulièrement aux particules ultrafines.

L'expertise constituée grâce à cette action pilote est reconnue et sollicitée par différents acteurs nationaux. Elle a permis notamment, au cours de l'exercice 2006, d'effectuer une présentation auprès du Conseil National de l'Air (audition du 18 janvier 2006). Elle constitue également une référence dans le domaine de l'exposition des travailleurs aux particules de taille nanométrique, particules venant s'ajouter au « bruit de fond » urbain.

Les travaux réalisés en 2007 présentés dans ce rapport concernent les points suivants :

- L'aspect temporel est renseigné en poursuivant le suivi initié en 2003 sur le site de Gennevilliers (région parisienne), en collaboration avec AIRPARIF. Ce volet "suivi dans le temps" est développé dans le chapitre 2. Le travail présenté ici a bénéficié du soutien du LNE, par le biais du prêt d'un granulomètre APS.
- Le volet « typologie / variabilité spatiale » a été reporté à l'exercice 2008, afin de faciliter la réponse nationale en matière de surveillance PM10 (transformation profonde du dispositif français).

- L'activité de veille, rapportée dans le chapitre 3, montre un certain nombre de développements importants dans le domaine du mesurage, avec notamment l'émergence dans la communauté des métrologues, d'une volonté de disposer de protocoles d'utilisation des granulomètres de type SMPS.
- Enfin, le volet « suivi temporel » a permis de construire une base de données expérimentale significative. Un objectif est donc désormais d'utiliser et d'enrichir au fil du temps cette base de données, afin de mieux comprendre quels sont les facteurs influençant les paramètres des distributions en taille observés (concentration en nombre, distribution des modes...). En particulier, il serait intéressant d'estimer les influences respectives des émissions, de la dispersion ou encore des transformations des particules dans l'atmosphère. Pour cela, l'exercice 2007 a eu pour objectif de commencer une analyse statistique : en préalable, nous avons mené un travail de mise en forme de données, afin de permettre l'utilisation d'outils statistiques avancés ; nous avons également introduit des variables supplémentaires, permettant de tracer l'influence des paramètres à isoler. Par exemple, la hauteur de la couche de mélange, dont dépend la dispersion, a été calculée et ajoutée à la base de données. Ce travail est exposé dans le chapitre 4.

2. SUIVI DANS LE TEMPS

2.1 PRINCIPE : RAPPEL

Le principe de cette activité consiste à mener de manière systématique, chaque année, une campagne de mesure sur le même site et à la même période.

L'objectif est, sans avoir recours à un monitoring permanent, de disposer d'une information qui s'en approche et permette ainsi de déterminer la stabilité ou l'évolution des caractéristiques de l'aérosol au cours du temps.

Le site étudié est celui de la station de surveillance urbaine de Gennevilliers (AIRPARIF). Ce site a fait l'objet d'une validation spécifique [Le Bihan 2004], et les résultats de quatre campagnes hivernales sont désormais disponibles (2003, 2004, 2005, 2006, 2007).

Les moyens mis en œuvre sont 2 appareils de la marque TSI :

- un granulomètre laser de type SMPS (cf. principe de fonctionnement en annexe) pour une gamme de diamètre de 10 à 500 nm, assurant la continuité et la cohérence des données depuis la campagne de l'hiver 2003 ;
- un granulomètre optique de type APS pour une gamme de diamètre de 500 à 20 000 nm, assurant la continuité et la cohérence des données depuis la campagne de l'hiver 2004.

2.2 RESULTATS DE LA CAMPAGNE 2007 ET COMPARAISON DES CAMPAGNES 2003 A 2007

Le suivi temporel de la concentration en nombre, ainsi que le diagramme de fréquence cumulée, sont présentés sur les graphiques 2.1 et 2.2. Ces résultats sont discutés sur la base de comparaison avec les campagnes précédentes.

2.2.1 CONCENTRATION EN NOMBRE ET MASSE

Les figures 2.3 et 2.4 permettent de comparer les moyennes et les percentiles 5 % et 95 % des différentes campagnes de Gennevilliers.

La concentration moyenne sur les campagnes 2003-2007 est de 13745 p/cc. La concentration moyenne sur l'exercice 2007 en est très proche avec une valeur de 14 800 p/cc.

Un tableau comparatif (tableau 2.1) résume les résultats obtenus en termes de concentrations en masse et en nombre, pour les cinq campagnes hivernales et la campagne estivale, sur le site de référence.

Pour rappel, le nombre total N de particules mesuré sur la plage 10 – 20 000 nm est divisé en trois gammes de taille : N1 est le nombre de particules de diamètre compris entre 10 et 100 nm, N2 entre 100 et 500, et N3 entre 500 et 20000 nm.

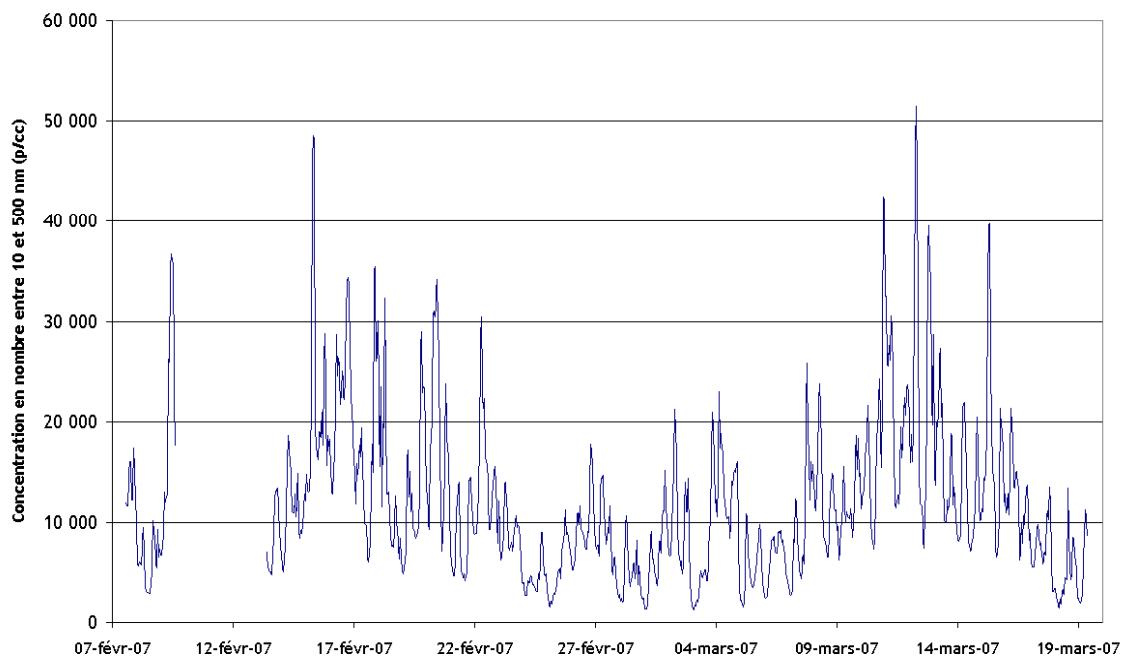


Figure 2.1 : Suivi temporel de la concentration en nombre entre 10 et 500 nm, base horaire.

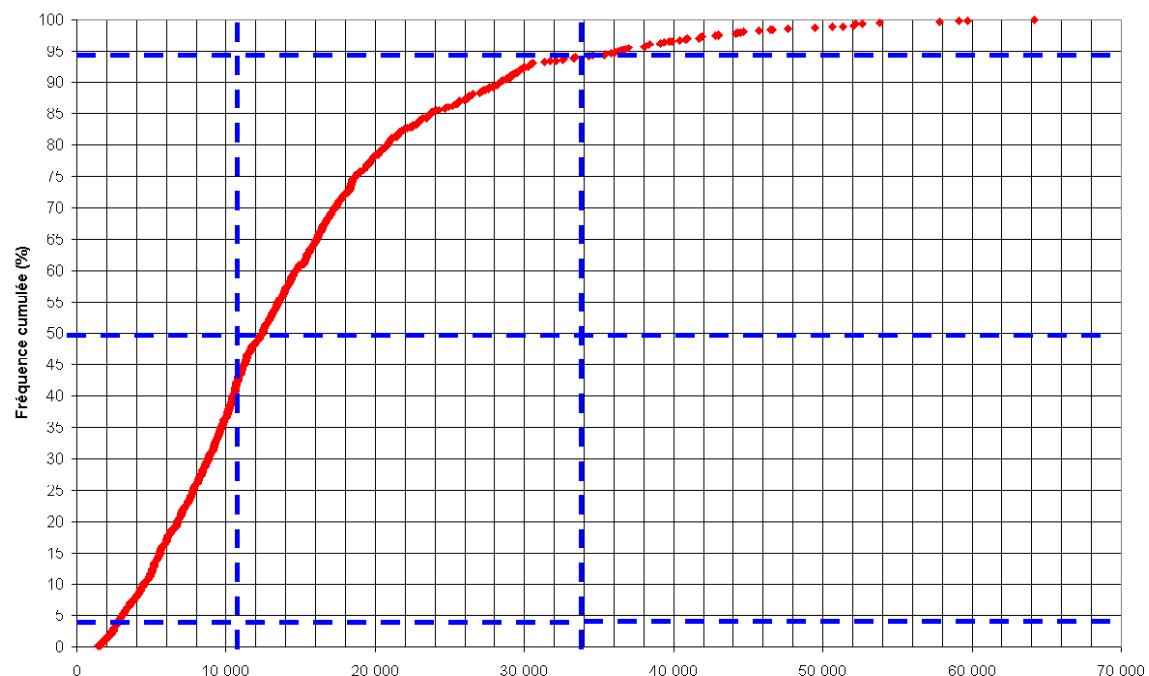


Figure 2.2 : diagramme de fréquence de la concentration totale

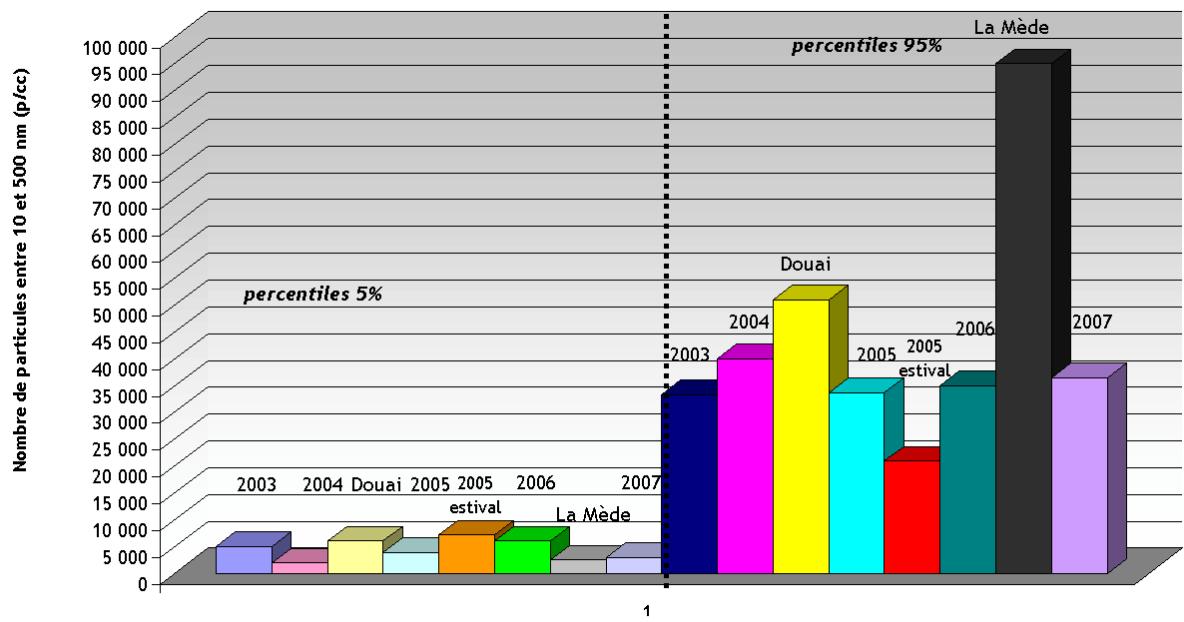


Figure 2.3 : percentiles 5 % et 95 % pour les campagnes 2003 à 2006.

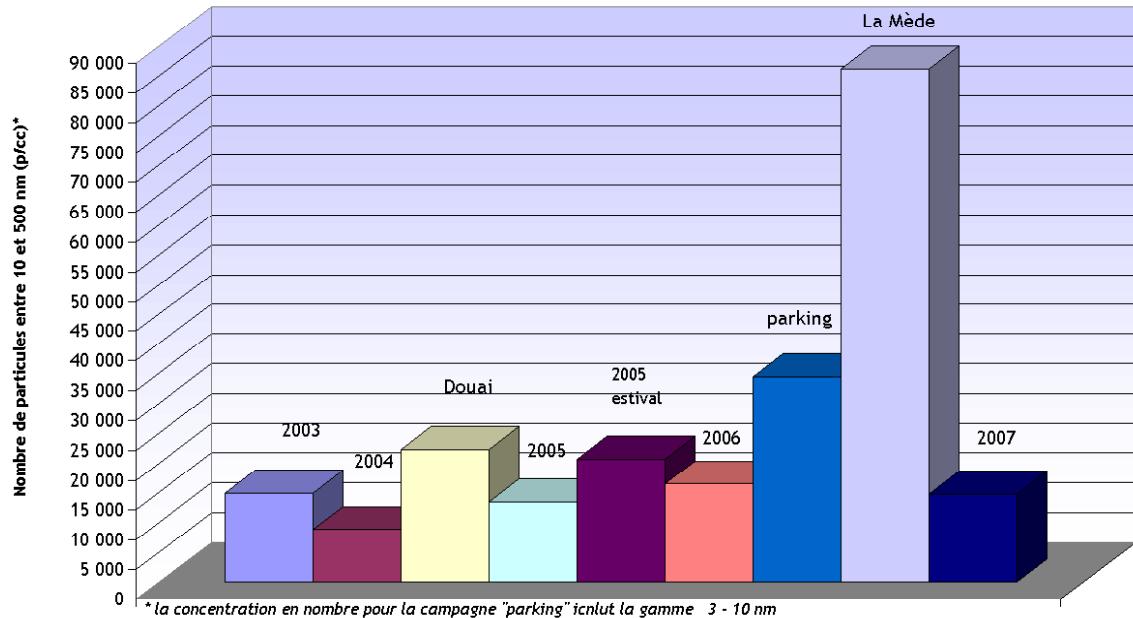


Figure 2.4 : comparaison des valeurs moyennes pour les campagnes 2003 à 2006.

Moyennes horaires						
Polluants particulaires et gazeux	Percentiles		Valeurs extrêmales et médiane		Moyennes	
	5%	95%	Minimum	Médiane	Maximum	
GENNEVILLIERS 07						
N1+ N2 = C [10 - 500 nm] (p/cm ³)	3 000	36 500	1 429	12 434	64 147	14 826
N3 = C [500 - 20000 nm] (p/cm ³)	48	217	2	24	408	56
FDMS PM10 (µg/cm ³)	7	72	3	21	259	29
PM10 (µg/cm ³)	4	47	0	18	120	21
PM2,5 (µg/cm ³)	3	30	0	10	46	12
O ₃ (en µg/m ³)	0	70	0	37	80	35
NO (en µg/m ³)	1	96	0	4	280	18
NO _x (en µg/m ³)	10	83	5	35	153	39
LA MEDE						
2006						
N1+ N2 = C [10 - 500 nm] (p/cm ³)	2 550	95 090	900	13 000	9 307 000	86 200
N3 = C [500 - 20000 nm] (p/cm ³)	16	262	0	71	495	93
PM10 (µg/cm ³)	10	69	1	29	259	34
SO ₂ (en µg/m ³)	0	22	0	4	435	9
H ₂ S(en µg/m ³)	0	12	0	3	73	4
NO (en µg/m ³)	0	4	0	0	37	1
NO _x (en µg/m ³)	1	35	0	7	87	11
NO _x (en µg/m ³)	2	47	0	10	83	16
PARKING Pompidou						
2006						
N [4-1000 nm]			6 250	33 500	85 100	34 429
GENNEVILLIERS						
2006						
N1+ N2 = C [10 - 500 nm] (p/cm ³)	6 000	33 300	2 100	14 500	59 900	16 500
N3 = C [500 - 20000 nm] (p/cm ³)	9	292	0	10	106	18
PM10 (µg/cm ³)	6	58	1.1	19	106	23
PM2,5 (µg/cm ³)	3	30	0.0	12	99	13
O ₃ (en µg/m ³)	1	71	0	31	87	33
NO (en µg/m ³)	1	134	0	9	218	18
NO _x (en µg/m ³)	8	85	3	35	98	38
GENNEVILLIERS 2005 ESTIVAL						
N1+ N2 = C [10 - 500 nm] (p/cm ³)	7 200	40 000	4 000	18 100	92 600	20 700
N3 = C [500 - 20000 nm] (p/cm ³)	12	285	6	28	458	43
PM10 (en µg/m ³)	7	42	1.6	18	96	20
PM2,5 (en µg/m ³)	3	20	0.7	8	48	10
O ₃ (en µg/m ³)			1.0	49	134	48
NO (en µg/m ³)			0	2	204	6
NO _x (en µg/m ³)			5	20	102	25
GENNEVILLIERS						
2005						
N1+ N2 = C [10 - 500 nm] (p/cm ³)	3 900	33 700	1 600	10 300	75 000	13 500
N3 = C [500 - 20000 nm] (p/cm ³)	2	81	1	9	200	20
PM10 (µg/cm ³)	6	54	0.9	17	139	22
O ₃ (en µg/m ³)			0	44	123	42
NO (en µg/m ³)			0	20	461	20
NO _x (en µg/m ³)			5	40	173	40
DOUAI						
N1+ N2 = C [10 - 500 nm] (p/cm ³)	6 000	51 000	1 900	18 600	119 000	22 300
N3 = C [500 - 20000 nm] (p/cm ³)	18	370	3	127	602	160
N ^r = C [750 - 15000 nm] (p/cm ³), compteur grimm	3	8	2	4	10	5
N4 = C[770 - 14860 nm] (p/cm ³), APS	2	31	0	7	60	10
grimm corrigé			3	5	15	6
ratio PM2,5/PM10 SES			29	72	259	72
PM10 SES (en µg/m ³)	9	56	0.3	22	127	25
PM2,5 (en µg/m ³)	5	39	1.1	16	94	18
NO (en µg/m ³)			9	23	383	41
NO _x (en µg/m ³)			6	41	92	40
2004						
N1+ N2 = C [10 - 500 nm] (p/cm ³)	2 000	21 000	800	7 100	50 000	8 900
N3 = C [500 - 20000 nm] (p/cm ³)	2	75	1	9	139	22
PM10 (µg/cm ³)	7	53	0.1	18	133	22
PM2,5 (µg/cm ³)	3	35	0.2	11	77	14
O ₃ (en µg/m ³)			15	41	82	45
NO (en µg/m ³)			1.0	9	99	13
NO _x (en µg/m ³)			7.0	40	84	38
2003						
C [10 - 500 nm] (p/cm ³)	5 000	35 000	1 500	13 000	84 000	15 000
PM10 (µg/cm ³)	10	85	0.7	25	160	31
PM2,5 (µg/cm ³)	5	45	0.7	15	80	19
O ₃ (en µg/m ³)			5	36	67	35
NO (en µg/m ³)			1	14	110	24
NO _x (en µg/m ³)			23	51	97	55

Tableau 2.1 : mesures SMPS et PM – comparaison des indicateurs entre les années 2003 à 2006.

2.2.2 CORRELATIONS

Sur la base du tableau 2.2 (base horaire), nous relevons pour l'année 2007 :

- une domination désormais bien connue de la concentration en nombre par les particules ultrafines (lien entre N1 et N : R = 0,99) ;
- une remontée de la corrélation entre particules ultrafines (N1) et PM10 50°C (R = 0,69 contre 0,41 en 2006) ;
- nous disposons pour la première fois d'une base de données complète en matière d'observation PM10 par FDMS : la corrélation entre particules ultrafines et PM10 est légèrement plus faible en prenant en compte les volatiles (R = 0,60 contre 0,69) ;
- une très bonne corrélation entre la fraction 100 – 500 nm (N2) et PM2,5 50°C (R = 0,91) ;
- une bonne corrélation entre particules ultrafines (N1) et NOx ;
- une anti-corrélation systématique entre concentrations en nombre et en ozone.

R	APS	N1	N2	N1 + N2	N1 + N2 + N3	FDMS	TEOM PM10	TEOM PM2.5	NO ₂	NO	O ₃
N3 2007 [542 - 20 000 nm]	1	0.36	0.65	0.45	0.45	0.92	0.66	0.74	0.54	0.45	-0.61
SMPS 2007 [10 - 500 nm]	0.45	0.99	0.89	1	1.0	0.70	0.76	0.70	0.84	0.75	-0.71
N1 2007 [10 - 100 nm]	0.36	1	0.81	0.99	0.99	0.60	0.69	0.69	0.80	0.69	-0.69
N2 2007 [100 - 500 nm]	0.65	0.81	1	0.89	0.89	0.87	0.85	0.91	0.83	0.82	-0.67
N3 2006 [542 - 20 000 nm]		0.23	0.56	0.32	0.91		0.63	0.59	0.18	0.31	-0.51
SMPS 2006 [10 - 500 nm]		0.99	0.79		1		0.49	0.59	0.68	0.74	-0.64
N1 2006 [10 - 100 nm]			0.68	0.99	0.99		0.41	0.52	0.65	0.70	-0.59
N2 2006 [100 - 500 nm]		0.68	1	0.79	0.79		0.62	0.71	0.64	0.71	-0.66
APS 2005 [< 523 - 20 000 nm]	1	0.37	0.61	0.43	0.43		0.64	0.73	0.42	0.30	-0.41
N3 2005 [542 - 20 000 nm]	0.90	0.26	0.49	0.32	0.32		0.53	0.64	0.27	0.22	-0.43
SMPS 2005 [10 - 500 nm]	0.43	0.99	0.91	1	1		0.67	0.66	0.77	0.72	-0.58
N1 2005 [10 - 100 nm]	0.37	1	0.85	0.99	0.99		0.61	0.59	0.75	0.69	-0.55
N2 2005 [100 - 500 nm]	0.61	0.85	1	0.91	0.91		0.79	0.83	0.77	0.74	-0.58
APS 2004 [< 523 - 20 000 nm]	1	0.50	0.57	0.53	0.53	0.89	0.22	0.37	0.57	0.36	-0.67
N3 2004 [542 - 20 000 nm]	0.91	0.39	0.45	0.41	0.41	0.76	0.17	0.30	0.46	0.25	-0.55
SMPS 2004 [10 - 500 nm]	0.53	0.99	0.91	1	1	0.54	0.41	0.37	0.88	0.81	-0.73
N1 2004 [10 - 100 nm]	0.50	1	0.84	0.99	0.99	0.47	0.41	0.37	0.86	0.77	-0.73
N2 2004 [100 - 500 nm]	0.57	0.84	1	0.90	0.90	0.72	0.36	0.31	0.83	0.86	-0.64
SMPS 2003 [10 - 500 nm]		0.99	0.87	1		0.42	0.51	0.58	0.64	0.73	-0.50
N1 2003 [10 - 100 nm]		1	0.80	0.99		0.35	0.45	0.50	0.60	0.70	-0.47
N2 2003 [100 - 500 nm]		0.80	1	0.87		0.63	0.65	0.75	0.67	0.72	-0.52

Tableau 2.2 : étude de corrélation entre différents paramètres – base horaire

2.2.3 PROFIL JOURNALIER MOYEN

La figure 2.5 présente le cycle journalier moyen de la concentration en nombre entre 10 et 500 nm, pour les jours de semaine (lundi au vendredi inclus).

Le profil 2007 présente un profil désormais classique, avec une structure bimodale composée d'un pic matinal et d'un pic en fin de journée. Particularité : contrairement aux années passées, les hauteurs de ces pics sont comparables, le pic du matin étant jusqu'ici prédominant. Il se situe pour 2007 dans les valeurs basses.

2.2.4 DISTRIBUTION EN TAILLE

La distribution moyenne en taille sur l'ensemble de la campagne, ainsi que les résultats obtenus lors des campagnes précédentes sont présentés sur les figures 2.6 (échelle linéaire en ordonnée) et 2.7 (échelle logarithmique en ordonnée).

S'agissant du profil granulométrique, nous observons des résultats 2007 tout à fait équivalents à ceux des campagnes hivernales précédentes avec une domination des particules ultrafines.

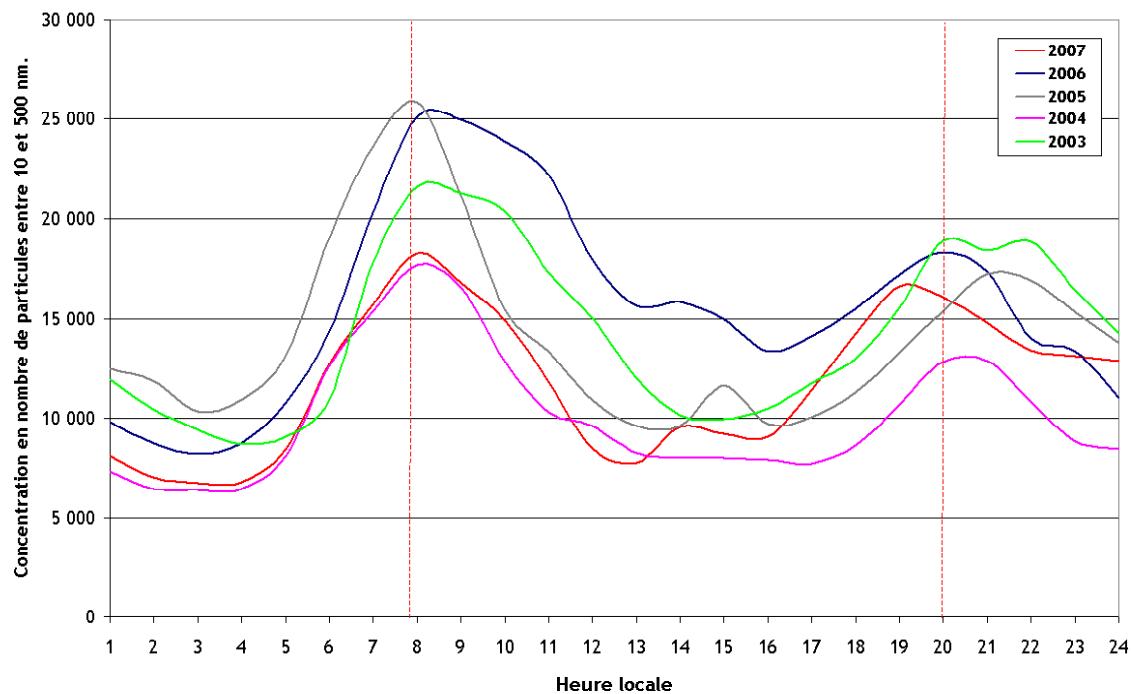


Figure 2.5 : profils journaliers moyens des campagnes hivernales 2003 à 2007,
pour les jours de semaine.

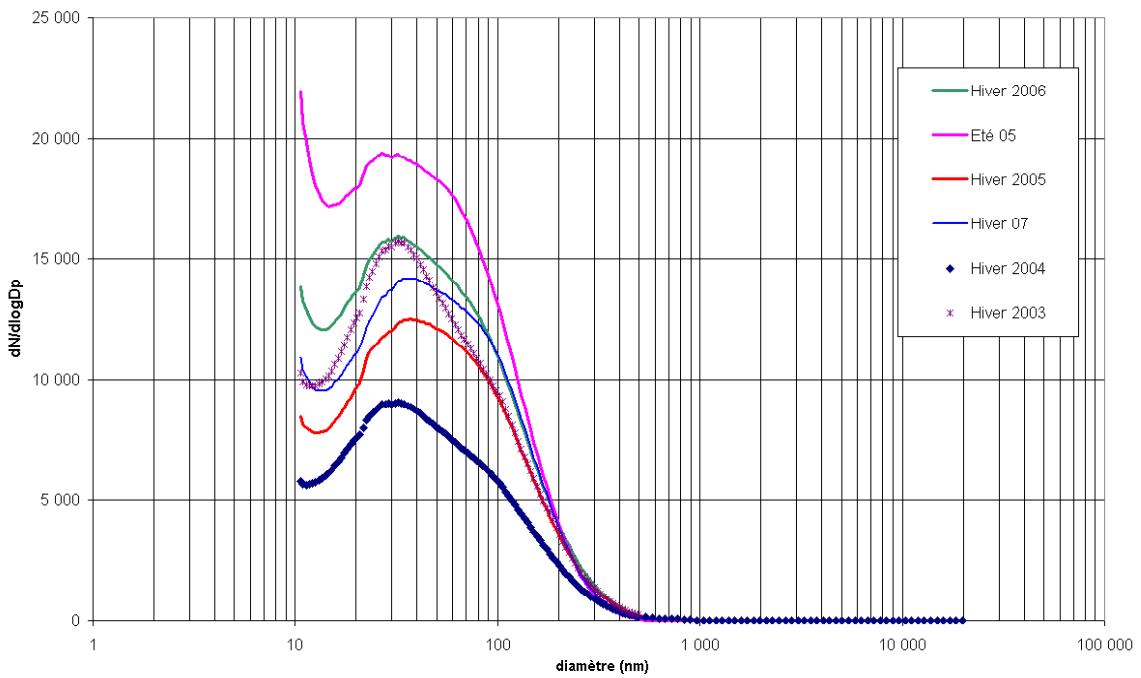


Figure 2.6 : distribution en taille moyenne sur la campagne 2007, comparée aux années précédentes – échelle linéaire en ordonnée.

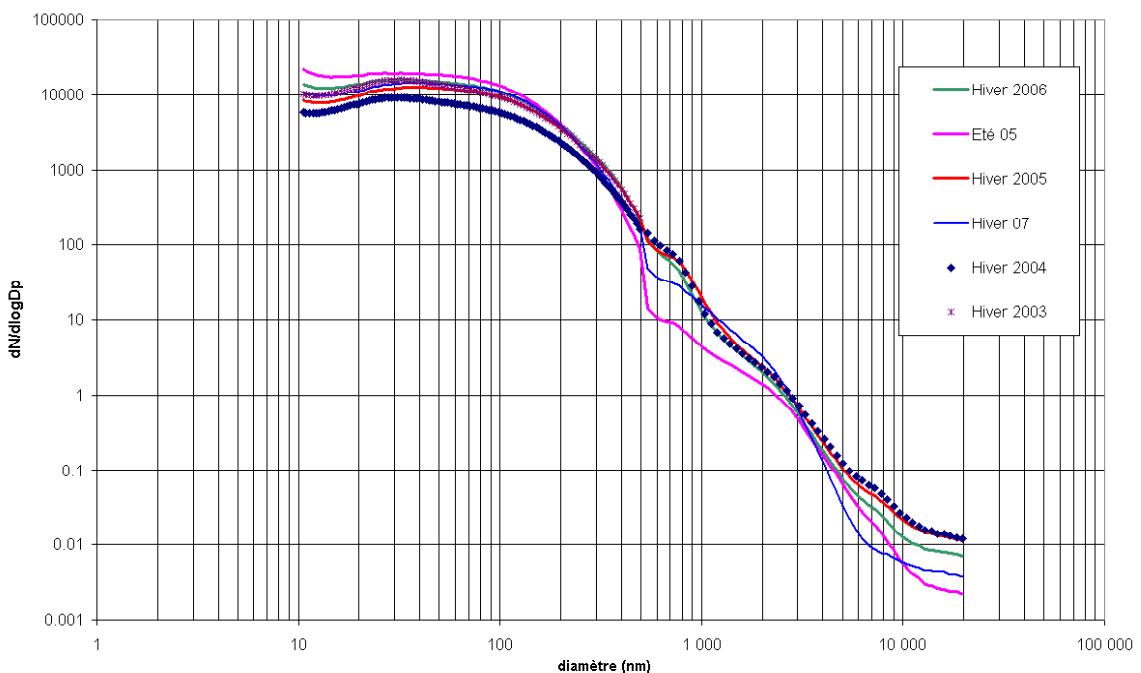


Figure 2.7 : distribution en taille moyenne sur la campagne 2007, comparée aux années précédentes – échelle logarithmique en ordonnée.

2.2.5 DECOMPOSITION EN MODES INDEPENDANTS

Le principe de la décomposition en modes indépendants a été expliqué en détail dans le rapport LCSQA de 2005.

Nous avons ainsi mis en évidence, pour les données 2005, la possibilité de recalculer la quasi-totalité des observations horaires, à partir de la somme de trois sous-groupes de particules, chacun étant caractérisé par une distribution log-normale de diamètre moyen, de concentration et de « largeur » propres.

Nous avons désormais systématisé le recours à cet outil pour analyser les campagnes de Gennevilliers.

En terme de validation du calcul, le test du Khi2 est concluant pour l'ensemble des données 2007.

La figure 2.8 indique que, sur une base horaire, les concentrations en nombre mesurées et recalculées convergent dans l'ensemble des cas, la pente étant excellente (1.04) et la dispersion très limitée ($R^2 = 0,99$), ces valeurs étant identiques aux résultats 2006.

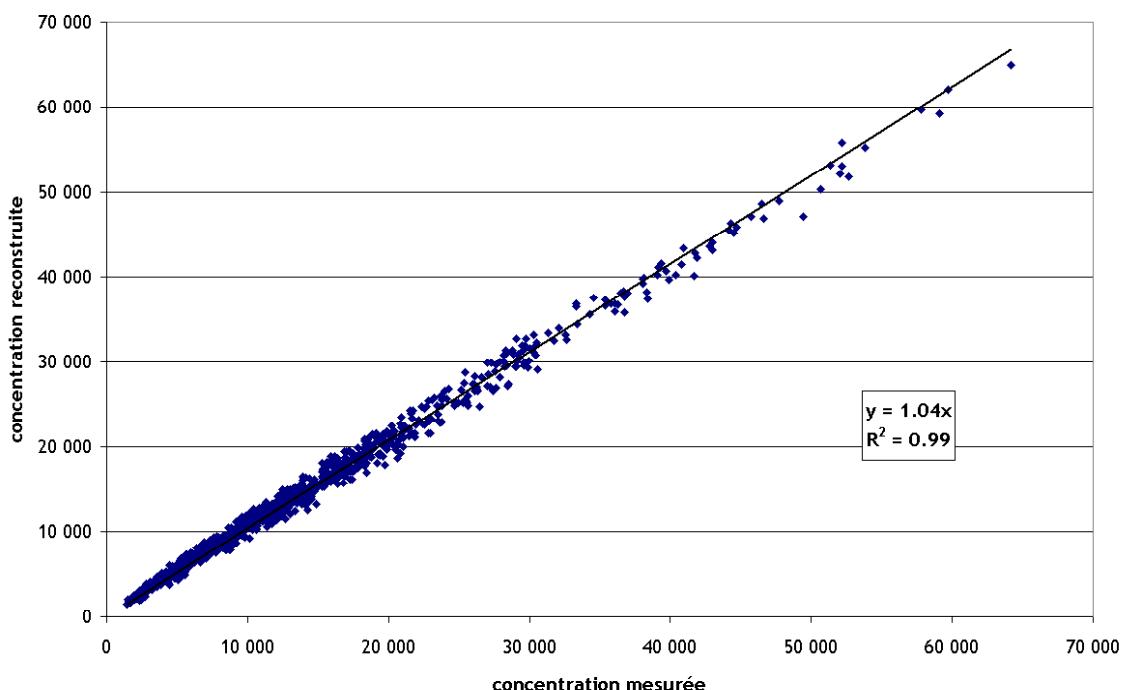


Figure 2.8 : comparaison des concentrations en nombre mesurée et reconstruite.
Base horaire Gennevilliers hiver 2007.

Le tableau 2.3 montre le diamètre moyen associé à chaque mode.

Rappel : il est très important de souligner ici le caractère virtuel des informations fournies par le mode A : en effet, son diamètre central moyen se situe systématiquement au-dessous de 10 nm, gamme dans laquelle le SMPS que nous utilisons ne fait aucune mesure. Ce mode permet en fait de tenir compte du nombre de particules non négligeable compris dans la traîne observée entre 10 et 20 nm, et interpelle sur le nombre potentiel de particules existant en dessous de 10 nm dans l'hypothèse d'une distribution gaussienne.

La concentration en nombre associée au mode A est restreinte dans notre comparaison avec les valeurs mesurées, à la gamme de mesure réelle de l'appareil, c'est à dire le nombre de particules du mode A supérieures à 10 nm.

Mode	A	B	C
Diamètre central moyen (nm)	< 10	29	97
Ecart-type absolu	1	7	21
Ecart-type relatif		31%	37%

Tableau 2.3 : valeur moyenne du diamètre autour duquel est centré chaque mode.

2.3 MESURE DE LA SURFACE SPECIFIQUE

Un état de l'art portant sur la mesure de la surface spécifique, a été réalisé au cours de l'exercice 2006, et présenté dans le rapport correspondant [Le Bihan O., Mathé F., 2006].

Un appareil de type NSAM, basé sur la technique de la mesure par diffusion de charge, avait été testé au cours de la campagne de Gennevilliers 2006, sur une durée de 7 jours.

Ces résultats préliminaires ont été jugés satisfaisants :

- bonnes capacités opérationnelles de cette première génération d'appareil,
- variabilité cohérente avec l'estimation de la surface calculable à partir des observations du granulomètre.

C'est pourquoi il a été décidé d'étendre l'utilisation de ce type de matériel à l'ensemble de la campagne 2007. Lors de la campagne 2007, nous avons mis en œuvre une nouvelle version du NSAM, l'AeroTrak 9000.

Résultats

Cet appareil est d'un usage simple, et assez convivial.

En revanche, l'utilisateur ne dispose pas à ce jour de moyens d'étalonnage, ni de comparaison.

L'appareil a fonctionné durant 2 semaines, avant d'être confronté à un problème de pompe.

Les résultats obtenus montrent à nouveau une très bonne cohérence temporelle vis-à-vis de la surface estimée à partir des mesures SMPS (graphiques 2.10 et 2.10 bis), cette dernière se situant à un niveau deux fois supérieur (graphique 2.11).

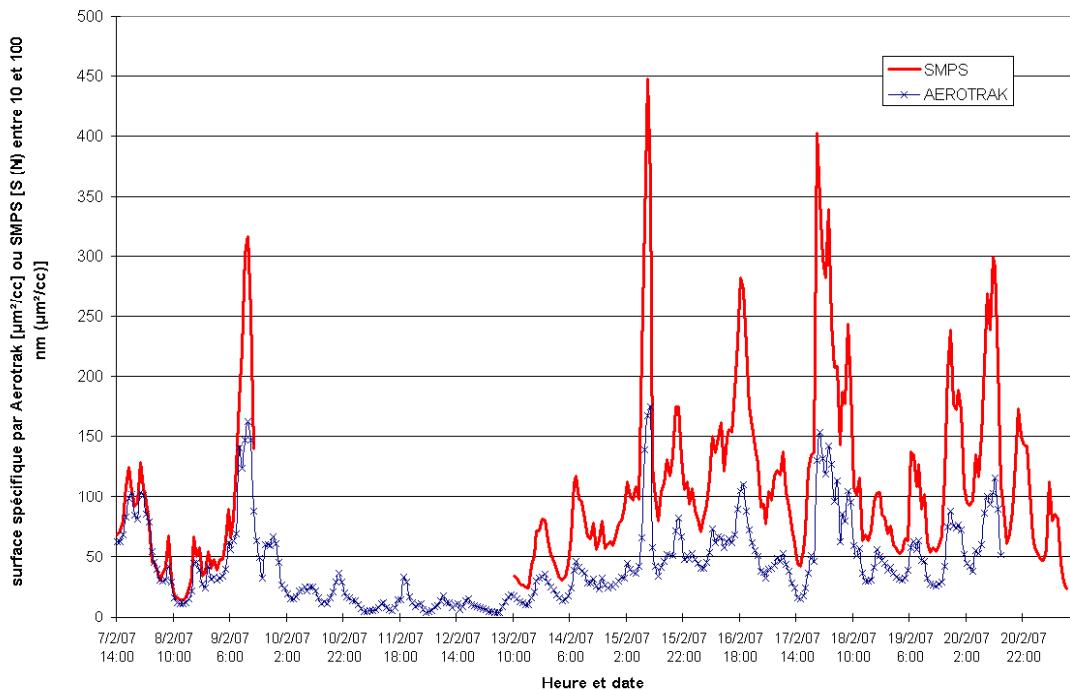


Figure 2.10 : suivi temporel de la surface spécifique par AeroTrak – estimation par SMPS (gamme 10 – 100 nm).

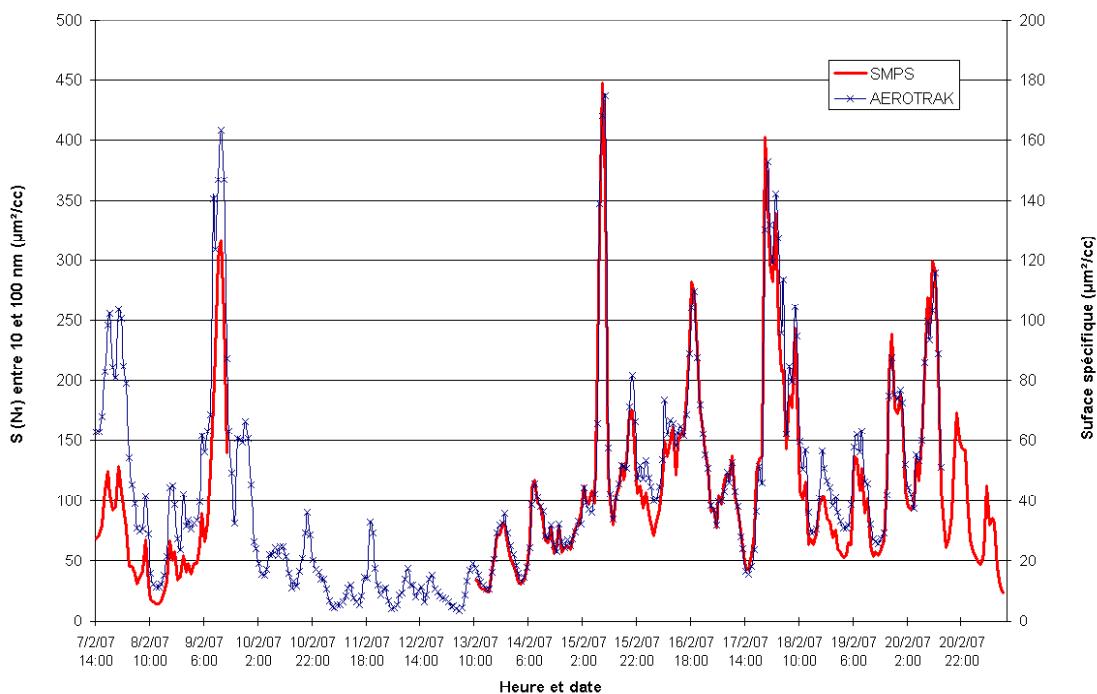


Figure 2.10_bis : figure 2.10 mais avec un axe des ordonnées pour chaque appareil.

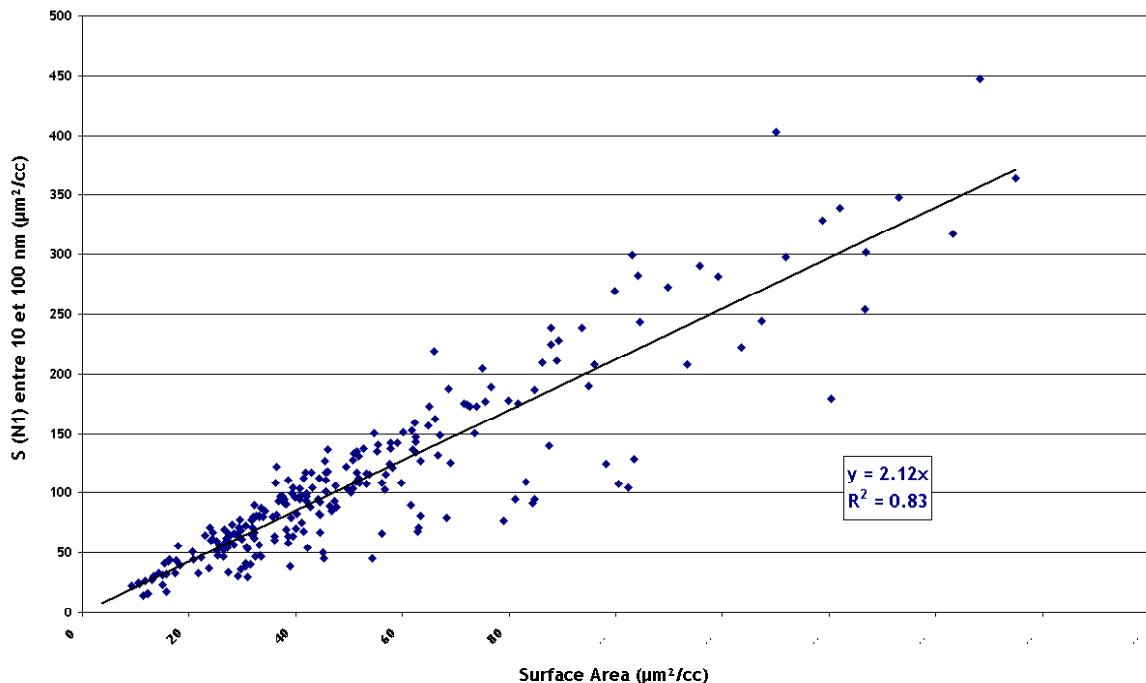


Figure 2.11 : comparaison entre mesure de la surface spécifique par AeroTrak, et estimation à partir du SMPS – courbe de tendance linéaire forcée à l'origine.

2.5 CONCLUSION

La campagne hivernale 2007 sur le site urbain de fond de Gennevilliers montre des caractéristiques très classiques en ce qui concerne la concentration en nombre et la distribution en taille, avec un niveau moyen en particules proche de la valeur moyenne relevée sur les campagnes hivernales depuis 2003.

La décomposition en trois modes s'avère à nouveau très opérationnelle, le mode "B" (diamètre moyen de 29 nm) ayant le plus de poids.

Le mode "A", ayant un diamètre moyen systématiquement inférieur à 10 nm, et donc en dehors de la gamme de mesure du SMPS, indique que le nombre de particules inférieures à 10 nm est potentiellement très important.

3. ACTIVITE DE VEILLE

Plusieurs faits marquants ont été relevés dans le domaine du mesurage.

3.1 PROTOCOLES DE MESURAGE

La mise au point de protocoles reconnus par un large spectre d'intervenants est un atout quelle que soit la discipline : un tel élément constitue en effet une base de reconnaissance mutuelle en terme de production de données.

3.1.1 EUSAAR

Le projet EUSAAR (<http://www.eusaar.net/>) a pour objectif d'intégrer 20 stations européennes d'observation des propriétés de l'aérosol atmosphérique de fond.

Il s'agit par exemple de la station de haute altitude de Jungfraujoch (Suisse), de la station côtière de Mace Head (Irlande), ou de la station française du Puy de Dôme.

Un tel réseau constitue une excellente trame d'étude, à condition toutefois que les données soient homogènes : de ce fait, le développement de la comparabilité des données est un point essentiel de ce projet.

La plupart des paramètres considérés ne sont pas réglementés. L'instrumentation est pour partie constituée de prototypes. Un bilan a été fait, et montre un manque de coordination sur un certain nombre de propriétés clés, parmi lesquelles figure la distribution en taille.

3.1.2 NORMALISATION ISO SUR LES NANOParticules ET NANOMATERIAUX

La problématique des nanomatériaux et des nanoparticules associées, suscite un grand nombre de travaux. Cela se traduit notamment au niveau normatif, tant au niveau européen (CEN TC 352) qu'au niveau international (ISO TC 229).

Dans ce cadre, il est important de souligner une initiative visant à faire émerger des protocoles communs en matière d'exploitation de compteurs de particules et de granulomètres. Cette démarche est en phase de lancement.

3.2 DEVELOPPEMENT INSTRUMENTAL

Dans le cadre du programme européen UFIPOLEN [UFIPOLEN], les partenaires –dont le fabricant TSI- ont développé un granulomètre version prototype visant à rassembler les avantages des deux techniques dominantes (SMPS et ELPI). Ce développement présente un progrès notable sur deux points :

- cet appareil, tout en conservant une grande définition, évite le recours à un compteur de noyau de condensation : l'utilisation de butanol est ainsi évitée,
- la mise en charge des particules se fait par effet couronne : le recours à une source radioactive n'est plus nécessaire.

3.3 REJETS AUTOMOBILES : VERS UN PROTOCOLE « EN NOMBRE » ?

Dans le domaine des rejets automobiles, une réflexion très sérieuse est menée quant à l'émergence d'exigences en matière de concentration en nombre à l'émission. Même si le projet semble s'orienter vers la fraction solide des particules (et donc exclusion des semi-volatils), cette démarche constitue une première.

4. ANALYSE STATISTIQUE

Le volet « suivi temporel » de cette étude, décrit dans le chapitre 2, se déroule depuis 2003. Il a donc permis de construire une base de données expérimentale significative.

Un objectif est donc désormais d'utiliser et d'enrichir dans le temps cette base de données, afin de mieux comprendre quels sont les facteurs influençant les paramètres des distributions en taille observés (concentrations en nombre, distribution des modes...). En particulier, il serait intéressant d'estimer les influences respectives des émissions, de la dispersion ou encore des transformations des particules dans l'atmosphère.

Ce travail est relativement complexe, et nous avons opté pour une approche statistique. Le travail s'est déroulé en deux temps :

- une étape préliminaire consacrée à la définition et la mise en forme des bases de données. A cela s'ajoute la récupération ou le calcul de certaines variables supplémentaires, permettant de tracer l'influence des paramètres dont on souhaite évaluer respectivement le rôle. Par exemple, la hauteur de la couche de mélange, dont dépend la dispersion, a été calculée et ajoutée à la base de donnée. Cette étape est décrite dans les paragraphes 4.1 et 4.2.
- l'analyse statistique mono et bidimensionnelle. Celle-ci a été axée sur la recherche des facteurs influents (paragraphe 4.3).

Il nous faut souligner le rôle fondamental des « traceurs », du caractère ambigu ou non ambigu d'un paramètre : notre démarche vise avant tout à dissocier les rôles respectifs de différentes sources ou de différents processus (par exemple, la photochimie). C'est pourquoi nous sommes à la recherche d'indicateurs les plus représentatifs possible de ces entités. A l'inverse, certaines variables ne représentent pas exclusivement une source particulière ou un processus donné mais sont associées à différentes entités : on peut par exemple citer la concentration de NO₂ qui est non-seulement sensible aux différentes sources de combustion (trafic, chauffage urbain, etc.) mais également aux processus de transformation (il s'agit également d'un polluant secondaire).

Le succès de notre démarche passe donc par la réussite de l'élargissement de la base de données, et par la présence dans cette base de « traceurs » spécifiques.

4.1 CONSTITUTION DES BASES DE DONNEES

4.1.1 LISTE DES BASES

Sept bases de données, qui correspondent aux sept campagnes de mesure conduites depuis 2003, ont été constituées :

Base	Date de début	Date de fin
Gennevilliers* 2003	21/02/2003 16h00 HL	04/04/2003 10h00 HL
Gennevilliers 2004	02/03/2004 15h00 HL	05/04/2004 11h00 HL
Gennevilliers 2005H	11/03/2005 11h00 HL	25/04/2005 13h00 HL
Gennevilliers 2005E	01/07/2005 10h00 HL	10/08/2005 11h00 HL
Gennevilliers 2006	10/02/2006 13h00 HL	17/03/2006 16h00 HL
Gennevilliers 2007	07/02/2007 14h00 HL	19/03/2007 00h00 HL
Douai** 2004	04/11/2004 18h00 HL	06/12/2004 12h00 HL

* site urbain ** site ouvert sous influence du trafic

Selon l'objectif des calculs, ces bases de données sont considérées isolément ou préalablement regroupées dans le traitement statistique.

4.1.2 VARIABLES DES BASES

On distingue différentes catégories de variables :

Variables mesurées
<ul style="list-style-type: none"> - de concentration : <ul style="list-style-type: none"> ▪ comptages de particules par classe granulométrique ; ▪ concentrations massiques de particules PM₁₀ et PM_{2.5} (TEOM, FDMS) [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] ; ▪ concentrations massiques [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] d'autres polluants ; - de météorologie : données de la station Météo-France du Bourget ou éventuellement de la station Météo-France de Roissy.
Variables calculées
<ul style="list-style-type: none"> - de météorologie : données modélisées par le préprocesseur météorologique d'ADMS 4 à partir des variables météorologiques mesurées ; - de qualité de l'air : données de concentration par mode résultant de l'algorithme gA3. - d'émission : données issues de l'inventaire de 2001 élaboré par AIRPARIF.

Une liste ordonnée de ces variables a été définie. Elle est présentée dans le tableau en annexe 1. Les colonnes de chaque base reprennent exactement cette liste, que des données soient ou non disponibles. La présence ou l'absence de données par année et par variable est signalée dans ce même tableau.

Ce format de base de données sera désormais adopté pour toutes les campagnes de mesure à venir. Toute nouvelle variable modélisée pourra être ajoutée dans une colonne en fin de base.

4.2 DESCRIPTION DES VARIABLES

4.2.1 VARIABLES DE COMPTAGE

Les appareils SMPS et APS fournissent des concentrations en nombre de particules pour 159 fractions granulométriques (cf. annexe 1). Celles-ci ont été regroupées en trois grandes classes granulométriques qui seront désormais nos variables de travail : **N1** est le nombre de particules de diamètre **compris entre 10 et 100 nm**, **N2**, le nombre de particules de diamètre compris **entre 100 et 500 nm**, et **N3**, le nombre de particules de diamètre compris **entre 500 et 20000 nm**. N est la somme de N1 et N2, Nt est la somme de N1, N2 et N3.

4.2.2 VARIABLES CALCULEES

4.2.2.1 VARIABLES METEOROLOGIQUES

La couche limite atmosphérique est la basse couche de l'atmosphère influencée par la surface terrestre et dans laquelle le vent est soumis à de fortes fluctuations. Son épaisseur et sa structure varient au cours de la journée et dépendent des conditions atmosphériques. Haute de 1 à 2 km en situation instable, elle ne dépasse pas quelques dizaines de mètres en situation stable.

Au sein de cette couche limite, on distingue deux types de turbulence : une turbulence d'origine mécanique, liée au frottement du vent sur la surface du sol et une turbulence d'origine thermique, due à la convection sous l'effet du rayonnement solaire. Cet état de turbulence peut être décrit de façon continue à l'aide d'un paramètre appelé longueur de Monin-Obukhov et de la hauteur de couche limite.

Dans cette étude, ces deux paramètres ont été calculés à l'aide du préprocesseur météorologique d'ADMS 4. Au préalable, les données manquantes des variables nécessaires à ce calcul (vent, température et nébulosité) ont été interpolées avec l'outil Convert-MTO d'ADMS4, afin d'évaluer les conditions de dispersion pour un plus grand nombre d'heures (N.B. : pas d'interpolation pour les plages de données manquantes supérieures à douze heures consécutives). Les variables originales de vent, température et nébulosité ont été cependant conservées dans les bases.

Le paramètre de rugosité, qui permet au préprocesseur météorologique de prendre en compte l'effet de l'occupation du sol, a été fixé à 0,8 m pour le site de Gennevilliers (zone urbanisée) et à 0,3 m pour le site de Douai.

Remarque : à Douai en 2004 et à Gennevilliers en 2003 et de 2005 à 2007, l'interpolation ne concerne que des données ponctuellement manquantes. A

Gennevilliers en 2004, les données nocturnes (entre 20h et 7h) sont systématiquement absentes, rendant leur interpolation plus incertaine.

4.2.2.2 VARIABLES DE CONCENTRATION

La distribution granulométrique mesurée à chaque instant par APS-SMPS peut être assimilée à la somme de trois modes décrits par des fonctions log-normales.

Pour chaque heure, un algorithme de reconstitution (« genetic algorithm for aerosol analysis) fournit les caractéristiques suivantes :

- le diamètre de particule sur lequel chacun des modes est centré ;
- l'écart-type donnant la forme des log-normales ;
- le nombre de particules par mode et la somme de ces trois nombres ;
- le khi2, qui mesure la proximité entre la distribution mesurée et la distribution reconstituée avec les modes.

4.2.3 VARIABLES D'EMISSION

Les données d'émission, tirées de l'inventaire des émissions de 2001 établi par AIRPARIF, sont en cours d'extraction à AIRPARIF. Afin de maintenir une cohérence temporelle avec les données de concentration, elles ne seront introduites que dans les bases de Gennevilliers 2003 et Gennevilliers 2004.

En 2008, les données de l'inventaire des émissions de 2005 (en cours de mise à jour) pourront être incluses dans les bases.

Rem. : Ces variables ne sont pas encore incluses dans les bases. Elles seront prises en compte dans le travail prévu pour 2008 .

4.3 ANALYSE STATISTIQUE

4.3.1 STATISTIQUES ELEMENTAIRES

Le calcul des statistiques élémentaires et le tracé des boîtes à moustaches permettent de contrôler le contenu des bases et offrent une vue d'ensemble des concentrations en particules mesurées de 2003 à 2007.

Les tableaux de l'annexe 2 fournissent les statistiques élémentaires par campagne des principales variables de concentration.

Les boîtes à moustaches présentées ci-après et en annexe 2 sont fréquemment utilisées pour apprécier l'étendue et la variabilité des concentrations (voir par exemple Puustinen et al., 2007). De bas en haut, les traits horizontaux d'une boîte à moustaches matérialisent les statistiques suivantes : valeur minimale hors valeurs atypiques, centile 25, centile 50 (=médiane), centile 75, valeur maximale hors valeurs atypiques. Les valeurs atypiques, représentées par des points, sont les valeurs qui s'éloignent de plus de 1,5 fois l'écart P25-P75 (Le Guen, 2001).

4.3.1.1 CONCENTRATIONS NUMERIQUES MESUREES

Répartition entre les classes

Quels que soient le lieu (Gennevilliers ou Douai), l'année (2003 à 2007) ou la saison (hiver ou été 2005), **les particules de la classe 10 à 100 nm sont les plus nombreuses. Elles représentent 50% à 85% du nombre total de particules.** Ce pourcentage varie entre 4% et 50% pour les particules de la classe 100 à 500 nm et entre 0 et 2% pour celles de la classe 500 nm à 20 µm.

Evolution interannuelle

A Gennevilliers, les concentrations en nombre des classes 10 à 100 nm (N1) et 100 à 500 nm (N2) diminuent sensiblement de 2003 à 2004 puis augmentent de 2004 à 2006. Ces variations se remarquent aussi bien sur la moyenne que sur la plupart des centiles (au minimum sur ceux d'ordre 10 à 90). Entre 2006 et 2007, l'évolution est moins évidente mais la tendance est à la diminution (Figure 1 et Figure 22 de l'annexe 2).

Les concentrations moyennes par campagne des particules plus grossières (500 nm à 20 µm) décroissent entre 2004 et 2007 (Figure 22 de l'annexe 2).

Un test d'égalité de la moyenne (test de variance de Fisher suivi d'un test de Student) indique, pour un seuil de 5% :

- N1 : de 2003 à 2007, entre deux années consécutives, les moyennes sont significativement différentes.
- N2 : de 2003 à 2006, entre deux années consécutives, les moyennes sont significativement différentes ; pas de différence significative entre l'hiver 2006 et l'hiver 2007.
- N : de 2003 à 2007, entre deux années consécutives, les moyennes sont significativement différentes.
- N3 : entre 2004 et 2005, les moyennes sont significativement différentes, elles ne le sont plus entre les hivers 2005 et 2006, elles diffèrent à nouveau de façon significative entre 2006 et 2007.
- Nt : de 2004 à 2007, entre deux années consécutives, les moyennes sont significativement différentes.

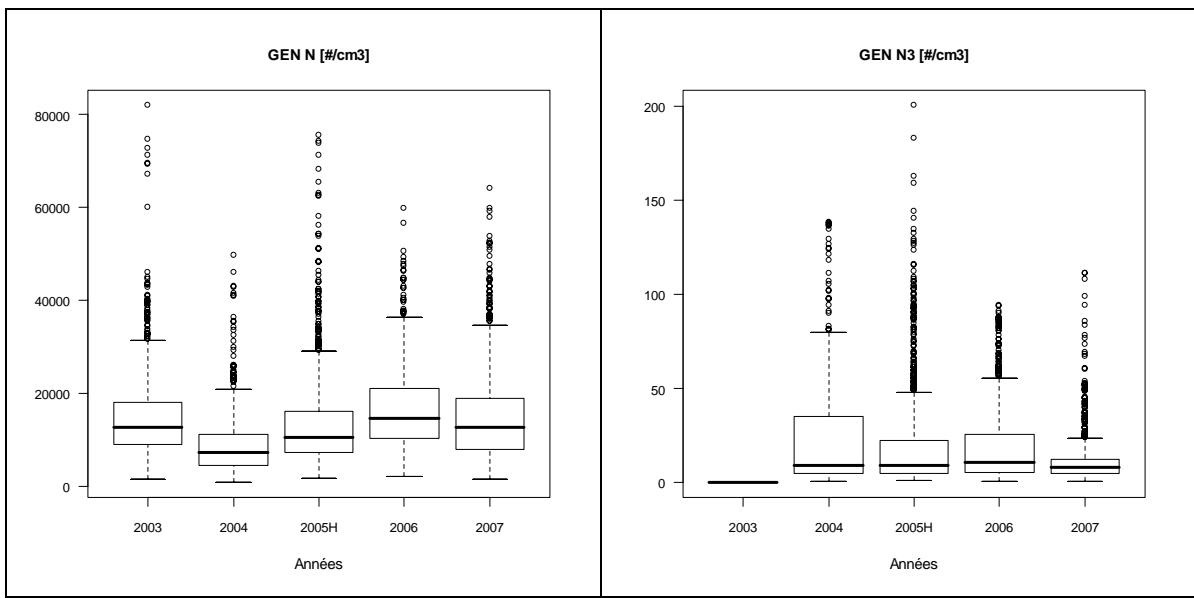


Figure 1 – Boîtes à moustaches des concentrations numériques de particules de la classe 10 à 500 nm (N) et 500 nm à 20 µm (N3). Campagnes hivernales de 2003 à 2007 à Gennevilliers.

Comparaison entre hiver et été :

Cette comparaison n'est possible que pour l'année 2005.

Les concentrations en nombre des classes 10 à 100 nm et 100 à 500 nm sont nettement supérieures en été alors que celles de la classe 500 nm à 20 µm sont plus élevées en hiver. Toutes classes granulométriques confondues, les concentrations numériques sont supérieures en été.

Les statistiques des concentrations relatives – i.e. rapportées à la concentration totale -, montrent une petite modification de la distribution granulométrique entre l'hiver et l'été : la part représentée par la classe 10 à 100 nm diminue légèrement au profit des classes 100 à 500 nm et 500 nm à 20 µm.

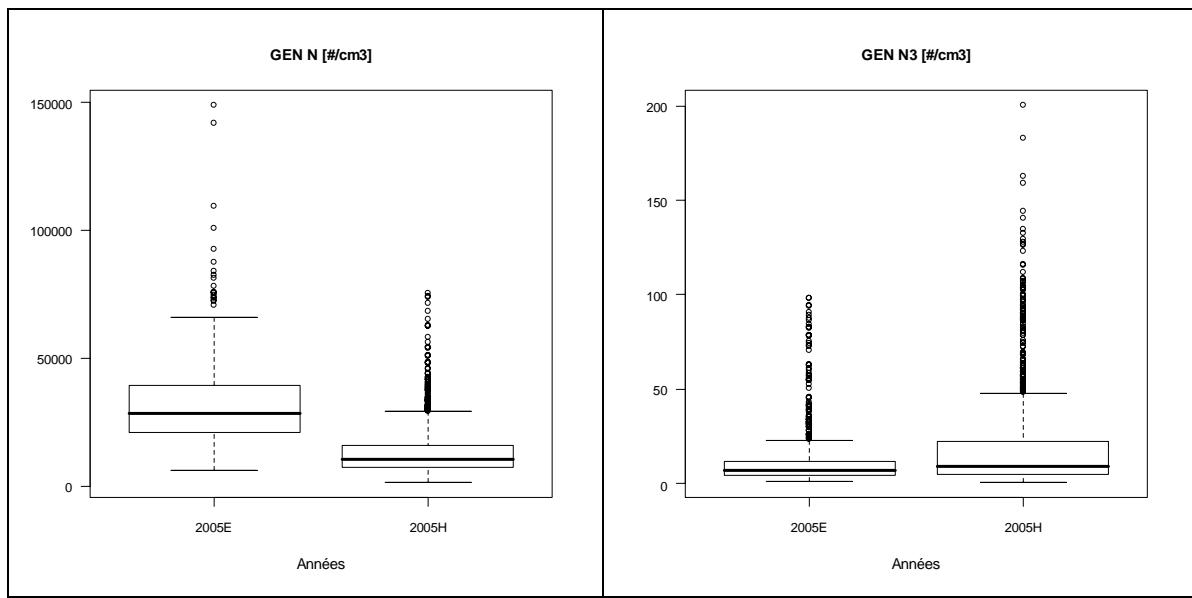


Figure 2 – Boîtes à moustaches des concentrations numériques de particules de la classe 10 à 500 nm (N) et 500 nm à 20 µm (N3). Campagnes hivernale (H) et estivale (E) de 2005 à Gennevilliers.

Comparaison entre sites :

Cette comparaison est limitée du fait que les campagnes de Gennevilliers et de Douai ne sont pas concomitantes.

Les concentrations mesurées à Douai durant l'automne 2004 sont très supérieures aux concentrations mesurées à Gennevilliers pendant les hivers 2004 et 2005 mais inférieures aux concentrations mesurées à Gennevilliers pendant l'été 2005.

En revanche, la part représentée par chacune des grandes classes granulométriques considérées (10-100 nm ; 100 nm-500nm et 500 nm-20 µm) diffère peu d'un site à l'autre. Il en va de même pour quelques plages granulométriques sélectionnées aléatoirement parmi les 159 canaux SMPS-APS. Ces ressemblances pourraient indiquer des similarités entre les sources de particules.

4.3.1.2 CONCENTRATIONS NUMERIQUES RECONSTITUEES

Près de 50% des particules appartiennent au mode b dont le diamètre médian varie généralement dans l'intervalle 10-40 nm (cf. annexe 2). Le reste des particules se répartit entre le mode a (environ 10% des particules), de diamètre médian compris le plus souvent entre 4 et 10 nm, et le mode c (environ 40% des particules), de diamètre médian compris le plus souvent entre 55 et 160 nm).

Les statistiques élémentaires des concentrations en nombre absolues et relatives et des diamètres associés sont présentées en annexe 2.

4.3.1.3 CONCENTRATIONS MASSIQUES

Comme il a été constaté pour les concentrations en nombre, les concentrations massiques de particules ($PM_{2.5}$ et PM_{10}) mesurées par TEOM 50°C baissent sensiblement entre 2003 et 2004. De 2004 à 2007, aucune tendance marquée ne se dessine.

Les statistiques et boîtes à moustaches des données de TEOM 50°C et de TEOM FDMS figurent intégralement en annexe 2.

4.3.2 PROFILS TEMPORELS

L'objet de cette partie est d'examiner les variations temporelles des concentrations de particules durant la journée et la semaine et de les comparer aux variations de facteurs potentiellement influents.

Nota : Les heures sont systématiquement des heures locales.

4.3.2.1 PROFILS JOURNALIERS DES CONCENTRATIONS NUMERIQUES

Les profils journaliers des concentrations en nombre ont été calculés par site, par saison et par type de jour, en moyenne sur toutes les années de données disponibles. Le profil journalier de la hauteur de la couche limite atmosphérique (notée HCLA) a été également représenté.

Gennevilliers, hiver

Jours ouvrés :

Le profil journalier se caractérise par :

- un pic à 8-9h du matin ;
- un minimum à 15h pour N1 et N2 (maximum de HCLA) et à 16h-17h pour N3 ;
- un nouveau maximum le soir, moins élevé que le pic du matin, vers 21h pour la classe 10-100 nm (N1), et vers 22h-23h (heure à laquelle HCLA touche à son minimum) pour la classe 100-500 nm (N2).

Il n'y a pas de second pic pour la classe 500 nm – 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (N3) qui poursuit lentement sa croissance jusqu'au lendemain matin.

- un nouveau minimum à 4h pour N1 et N2.

Week end :

Le week end, les concentrations diurnes atteignent leur maximum vers 9h-10h le samedi et vers 8h le dimanche. Comme le montrent la Figure 1 et les boîtes à moustaches en annexe 3, ce maximum est peu marqué pour N2 et N3. Pour les trois classes, il est inférieur aux valeurs nocturnes.

On remarque également, notamment les jours de week end, un léger décalage temporel entre N1 et N2 : N2 change parfois de sens de variation une heure après

N1. Ce décalage n'est toutefois pas mis en évidence par les profils des modes reconstitués (4.3.2.2).

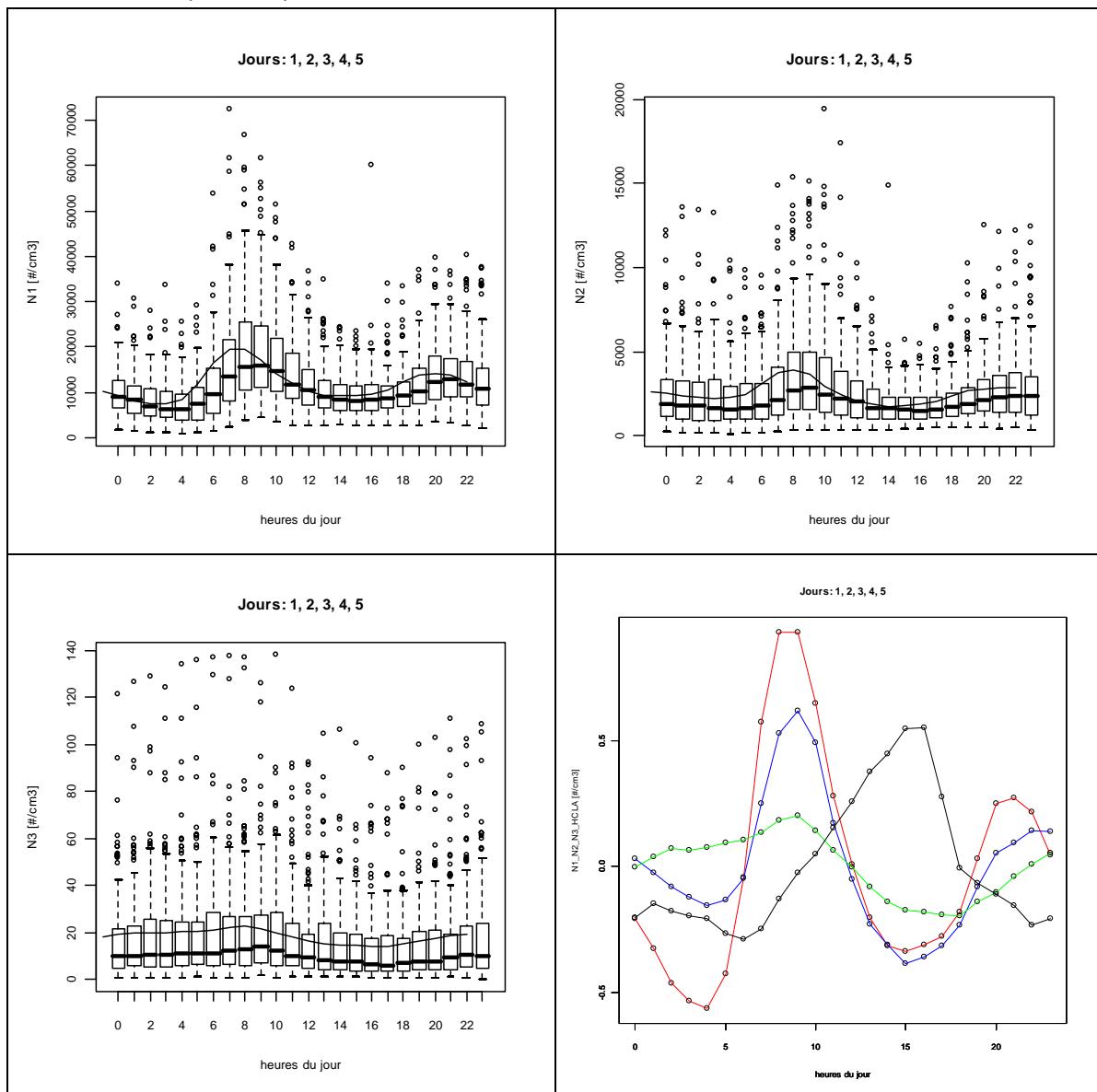
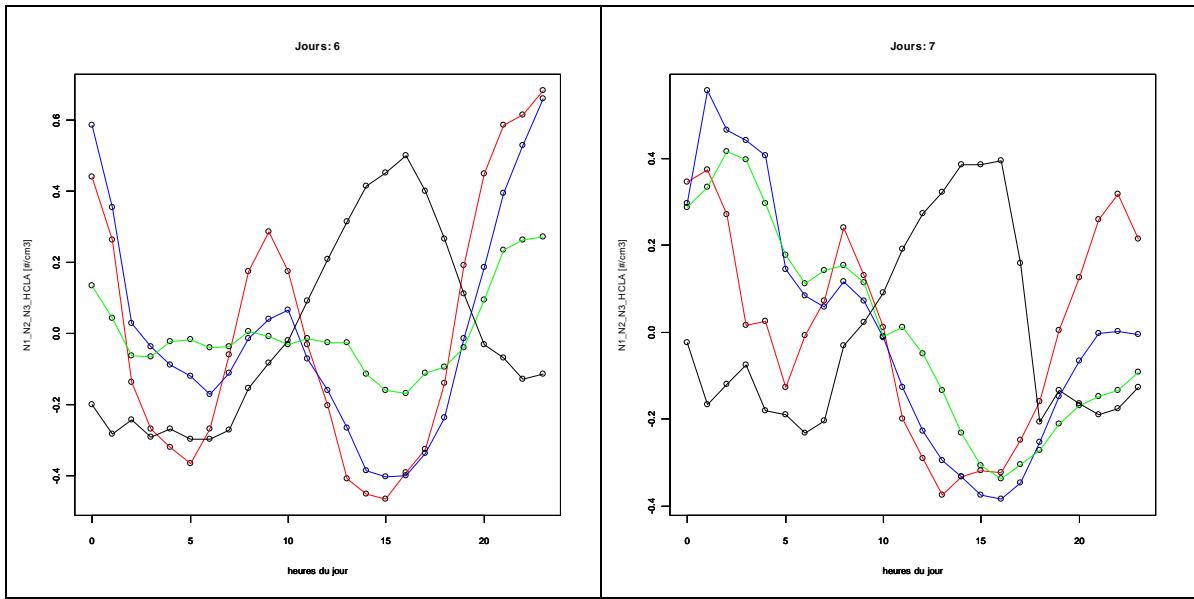


Figure 3 – Profil journalier des concentrations en nombre de particules. De haut en bas et de gauche à droite : classe 10-100 nm ; classe 100-500 nm ; classe 500 nm – 20 µm ; les trois classes et la hauteur de couche limite atmosphérique (variables normalisées). Jours ouvrés. Moyenne des hivers 2003 à 2007 à Gennevilliers. La courbe en trait continu représente la moyenne.



*Figure 4 – Profil journalier des concentrations en nombre de particules. Les trois classes granulométriques et la hauteur de couche limite atmosphérique (variables normalisées). **Samedi** (fig. de gauche) et **dimanche** (fig. de droite). Moyenne des **hivers 2004 à 2007 à Gennevilliers**.*

Retrouve-t-on ces profils l'été ?

Les profils estivaux sont plus irréguliers à cause du plus petit nombre de données disponibles. S'agissant des classes 10-100 nm (N1) et 100-500 nm (N2), ils ont même allure qu'en hiver. Entre 13h et 16h cependant, on observe une remontée des concentrations de N1 qui n'apparaissait pas en hiver (Figure 6). Ce résultat s'accorde en partie avec une étude de Moore et al. (2007). En juin-juillet 2006, ces auteurs ont effectué des mesures de concentrations à Los Angeles avec un SMPS (6-225 nm). Le profil qu'ils obtiennent présente un premier maximum à 7-8h, qu'ils expliquent par le trafic, puis un second, plus élevé à 12h-13h, qu'ils expliquent notamment par l'oxydation des COV.

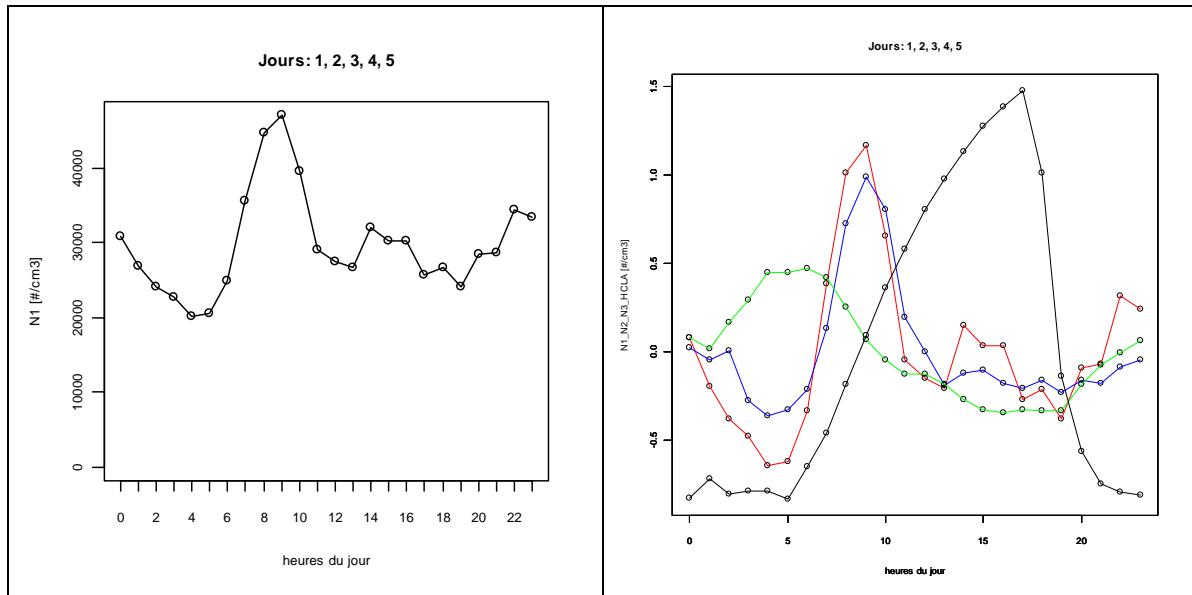


Figure 5 – Profil journalier des concentrations en nombre de particules. De gauche à droite : classe 10-100 nm ; les trois classes et la hauteur de couche limite atmosphérique. Jours ouvrés. Eté 2005 à Gennevilliers. (La courbe en trait continu représente la moyenne).

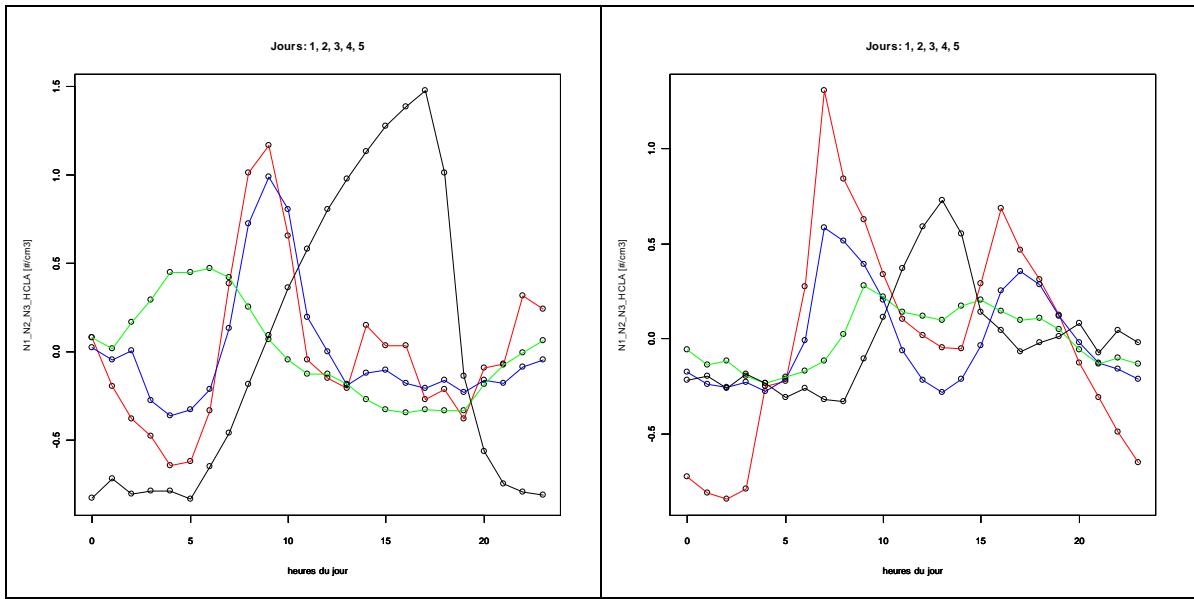
Par rapport à l'hiver, le profil correspondant à la classe 500 nm – 20 µm atteint son maximum à une heure plus avancée du matin (entre 4 et 6h du matin).

Retrouve-t-on ces profils à Douai ?

Les profils journaliers, issus des données d'une seule campagne, sont là encore plus irréguliers. Ils n'en montrent pas moins de nettes différences avec les profils de Gennevilliers, qui reflètent l'influence plus directe des émissions du trafic.

Pour les classes 10-100 nm et 100-500 nm, les deux pics apparaissent vers les heures de pointe : un premier pic survient à 7h du matin et un second, moins élevé, à 16-17h. Il n'y a pas de nouveau maximum le soir et les concentrations nocturnes sont relativement faibles. Dans la journée, un minimum est atteint à 13h.

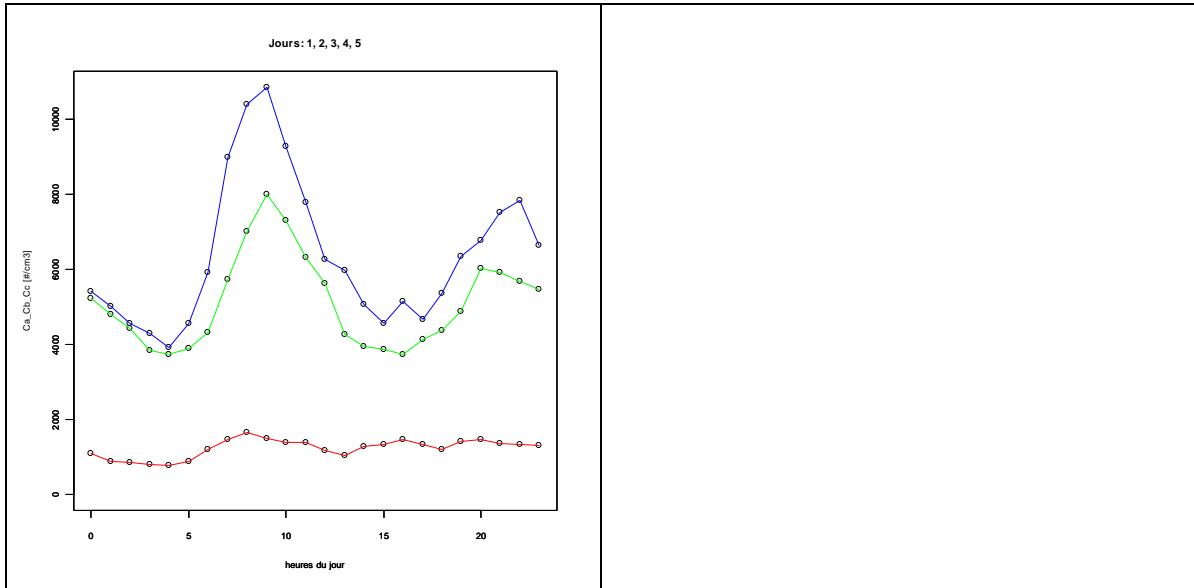
Le profil de la classe 500 nm – 20 µm, plus plat pendant le jour, présente un maximum le matin à 9h.



*Figure 6 - Profil journalier des concentrations en nombre de particules. Les trois classes granulométriques et la hauteur de couche limite atmosphérique (variables normalisées). Jours ouvrés. **Eté 2005 à Gennevilliers** (fig. de gauche) et **automne 2004 à Douai** (fig. de droite).*

4.3.2.2 PROFILS JOURNALIERS DES MODES RECONSTITUÉS ET DES DIAMETRES CORRESPONDANTS

Les diamètres varient peu au cours de la journée, seul le profil de **Dc**, diamètre médian du mode c, présente des irrégularités.



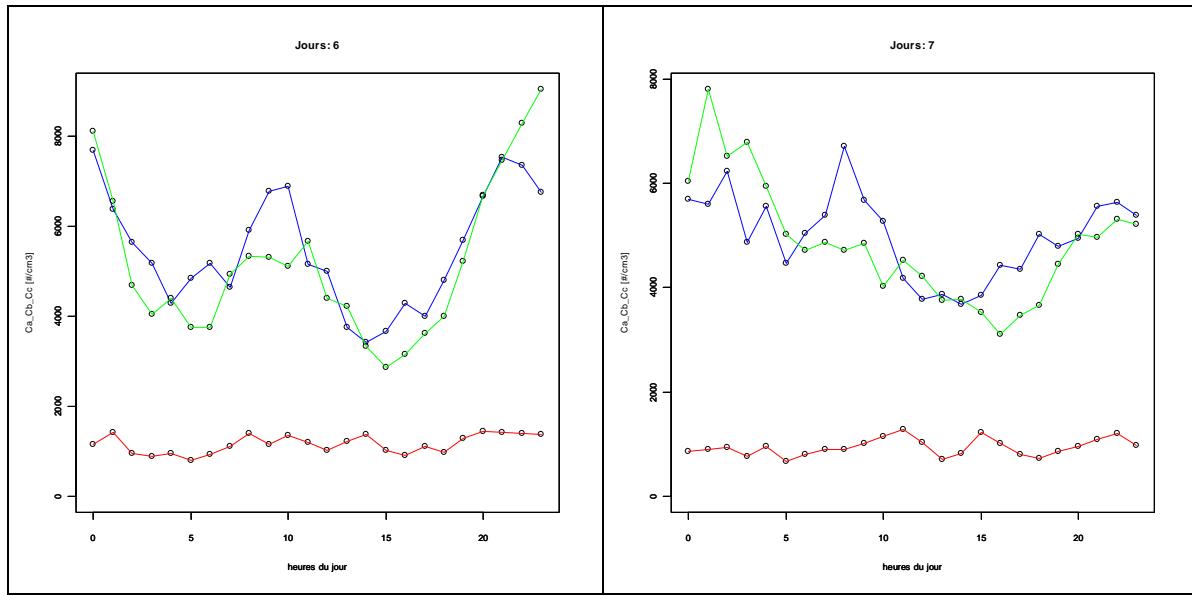


Figure 7 - Profil journalier des concentrations en nombre de particules. Les trois modes reconstitués. Hivers 2004 à 2007 à Gennevilliers. En haut : jours ouvrés ; en bas, de gauche à droite : samedi, dimanche. Rouge : mode A, bleu : mode B, vert : mode C.

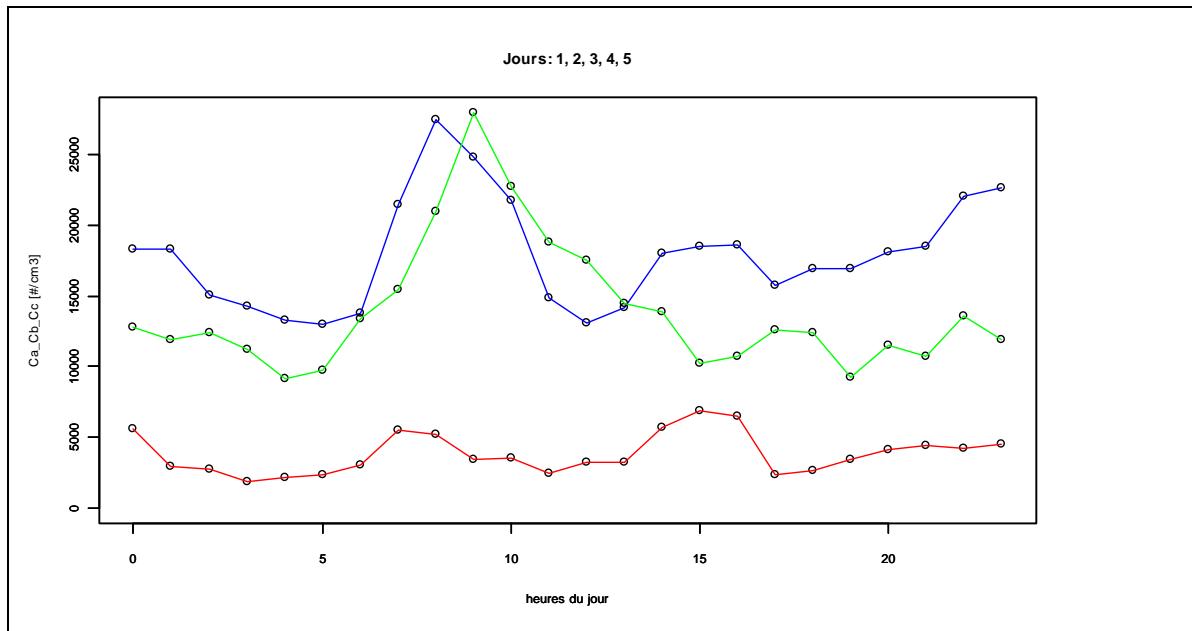


Figure 8 - Profil journalier des concentrations en nombre de particules. Les trois modes reconstitués. Eté 2005 à Gennevilliers. Jours ouvrés. Rouge : mode A, bleu : mode B, vert : mode C.

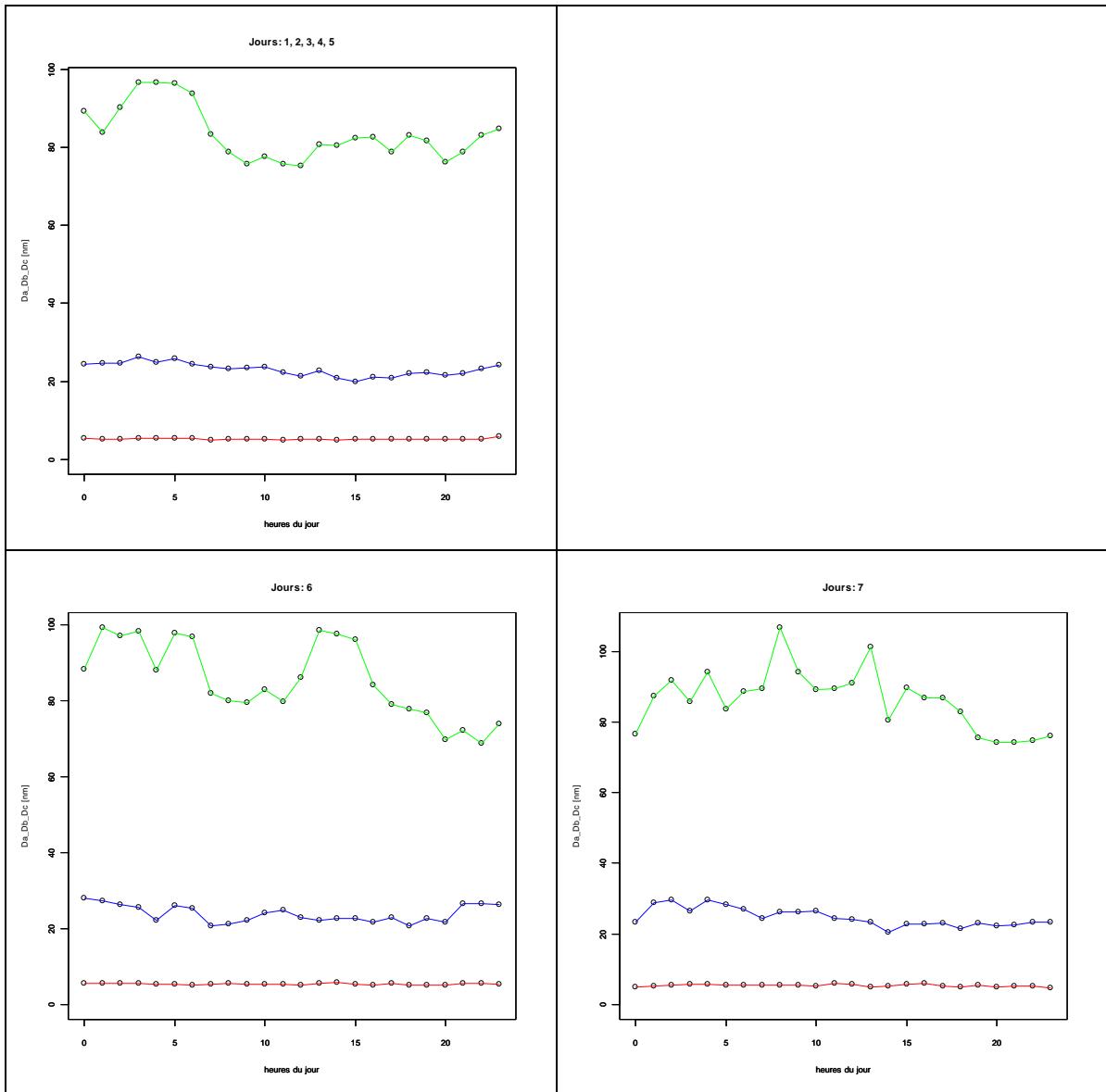


Figure 9 - Profil journalier du diamètre central de chaque mode reconstitué. Hivers 2004 à 2007 à Gennevilliers. En haut : jours ouvrés ; en bas, de gauche à droite : samedi, dimanche. Rouge : mode A, bleu : mode B, vert : mode C.

4.3.2.3 PROFILS JOURNALIERS DES CONCENTRATIONS MASSIQUES

Les jours de les profils journaliers des concentrations massiques de PM10 et de PM2.5 présentent un pic matinal bien plus marqué que le week end (Figure 10 à Figure 12). Le week end, les niveaux nocturnes sont proches des valeurs mesurées dans la journée, voire supérieures. L'ensemble des profils (semaine et week end) est présenté en annexe 3 (Figure 29 à Figure 33).

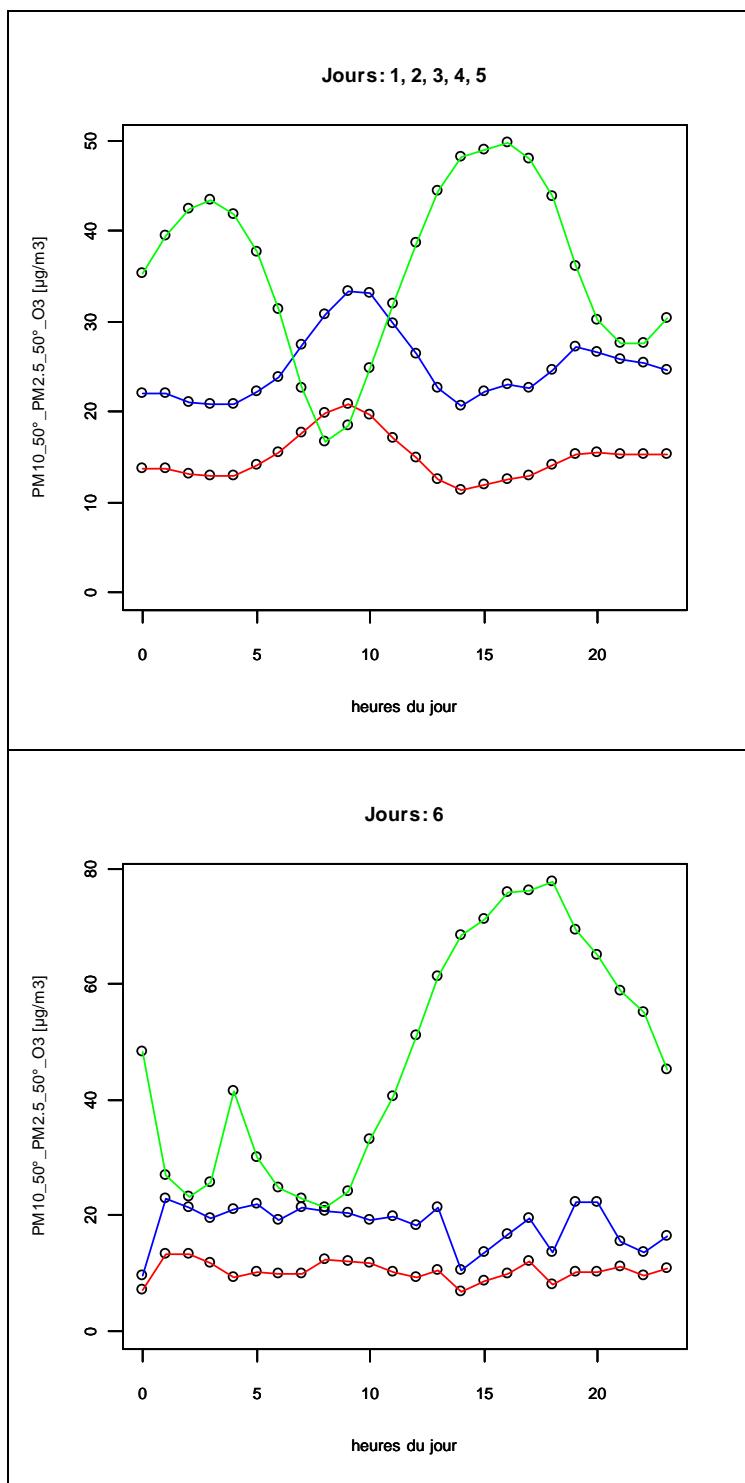


Figure 10 - Profil journalier des concentrations massiques de PM₁₀, PM_{2.5} (TEOM_50°C) et ozone. Moyenne des hivers 2004 à 2007 à Gennevilliers.
En haut: jours ouvrés ; en bas : samedi.

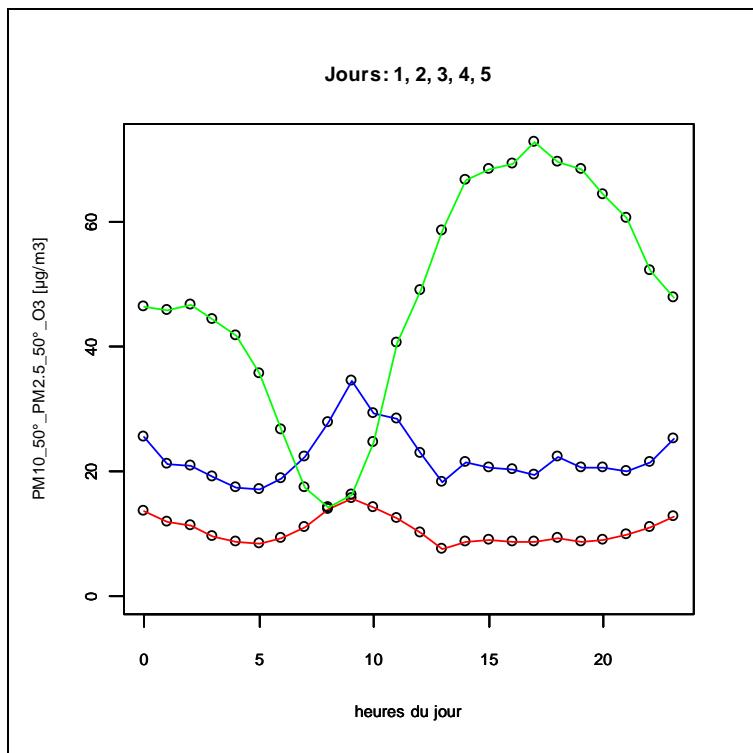


Figure 11 - Profil journalier des concentrations massiques de PM_{10} , $PM_{2.5}$ et d'ozone. Eté 2005 à Gennevilliers. A gauche : jours ouvrés ; à droite : samedi.

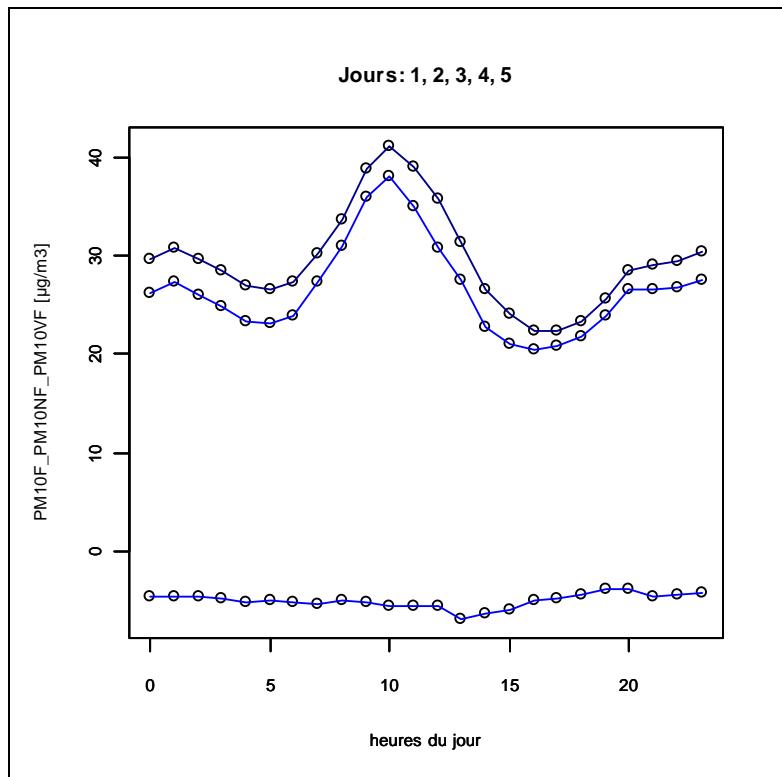


Figure 12 - Profil journalier des concentrations massiques de PM_{10} mesurées par TEOM-FDMS (total, fraction non volatile et fraction volatile). Moyenne des deux hivers 2004 et 2007 à Gennevilliers. A gauche : jours ouvrés ; à droite : samedi.

4.3.2.4 CONCLUSION SUR LES PROFILS JOURNALIERS

Cette analyse suggère une influence des émissions du trafic. En effet, le profil journalier des jours ouvrés présente un pic matinal sans lien avec la hauteur de couche limite atmosphérique, et qui est nettement supérieur aux valeurs enregistrées le reste du temps. En revanche, les jours de week end où le trafic est réduit, ce maximum matinal est inférieur aux valeurs mesurées pendant la nuit.

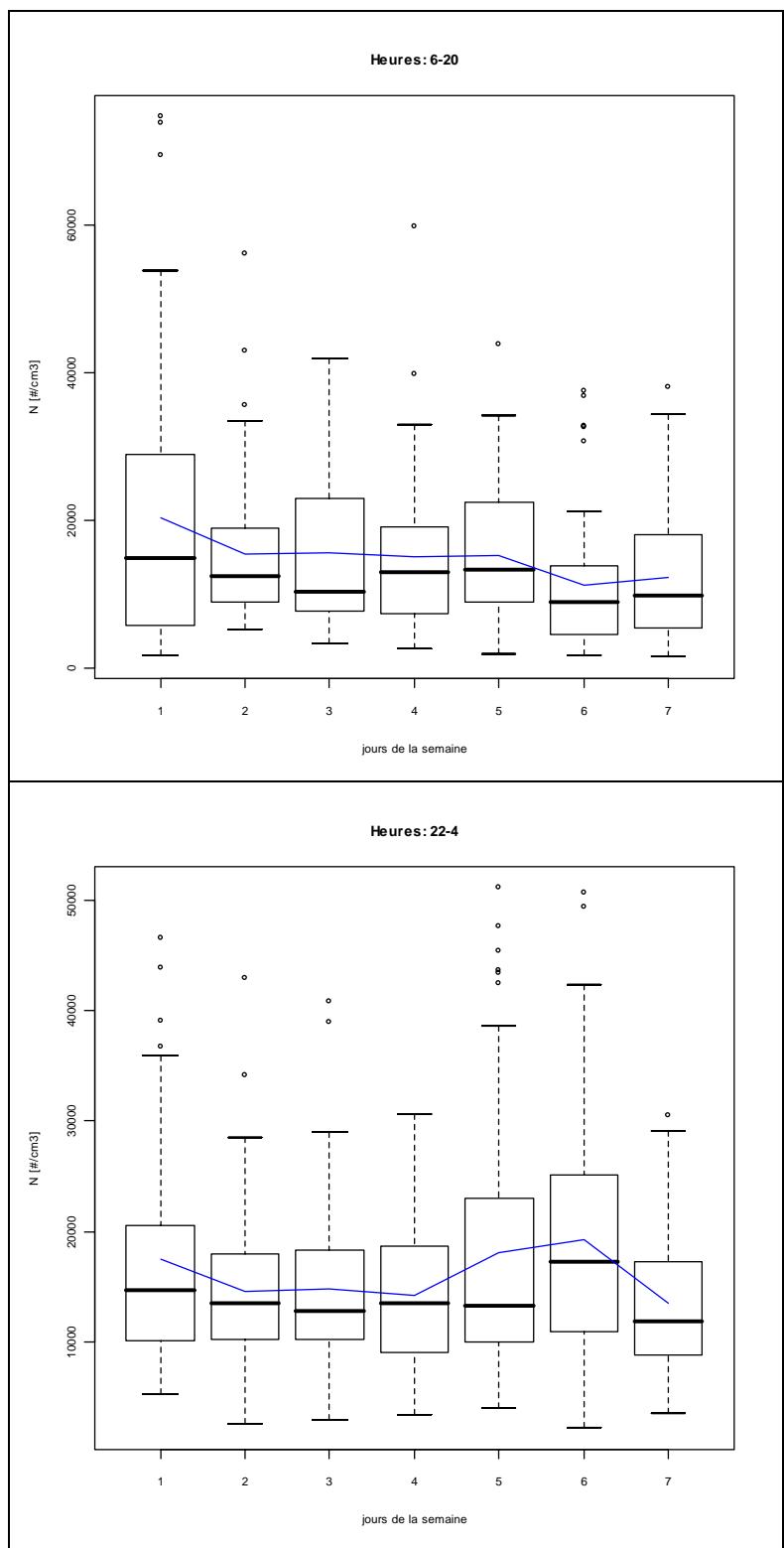
Les profils journaliers suggèrent aussi une influence de la hauteur de couche limite atmosphérique (variable évaluée à partir des données météorologiques). Se conjuguant cependant avec d'autres effets, cet impact est plus difficile à évaluer. Hors des heures de pointe, on note bien généralement une opposition entre les variations de concentration et de hauteur de couche limite atmosphérique, mais cette opposition ne se vérifie pas systématiquement.

L'été, le profil journalier des particules les plus fines (10-100 nm) présente une légère remontée au cours de l'après-midi, entre 13h et 16h. Ce résultat, qui pourrait être lié à la photochimie, rejoint les observations de Moore at al. (2007). Selon eux, les émissions primaires sont principalement responsables du pic du matin tandis que les processus atmosphériques secondaires et les variations de la hauteur de mélange jouent un rôle dans l'évolution observée par la suite.

4.3.2.5 CYCLES HEBDOMADAIRES DES CONCENTRATIONS NUMERIQUES

Les profils hebdomadaires ont été calculés toutes heures confondues puis en se limitant d'une part aux valeurs diurnes de concentration (la tranche horaire 6h-20h a été ici considérée) et d'autre part aux valeurs nocturnes (22h-4h).

En période diurne, les niveaux médians ou moyens et la dispersion des concentrations sont plus élevés pendant les jours ouvrés. En période nocturne, pour les classes N1 et N2, la dispersion est plus grande le samedi (Figure 15 et détail par classe granulométrique en annexe 4).



*Figure 15 - Profil hebdomadaire des concentrations en nombre de particules.
Boîtes à moustaches et valeur moyenne (ligne bleue). De haut en bas :
tranche 6h-20h et tranche 22h-4h. Total des classes 10-100 nm et 100-500
nm. Moyenne des hivers 2003 à 2007 à Gennevilliers.*

4.3.3 PROFILS GRANULOMETRIQUES

Les profils granulométriques par type de jour ont été tracés sur un même graphique, selon la représentation proposée par Lonati et al. (2006).

Par rapport aux jours de week-end, les jours ouvrés favorisent l'apparition des particules submicroniques, et plus particulièrement des particules de diamètre compris entre 10 et 100 nm. Une étude par tranche horaire révèle que ce phénomène est caractéristique de la période diurne.

Cette observation vaut aussi pour l'été et pour le site de Douai.

On retrouve le fait (constaté en 4.3.1.1) qu'en été, les particules sont plus nombreuses. Ainsi pour les jours ouvrés, le maximum du profil de N vaut environ 250 pp/cm^3 en hiver et 500 pp/cm^3 en été.

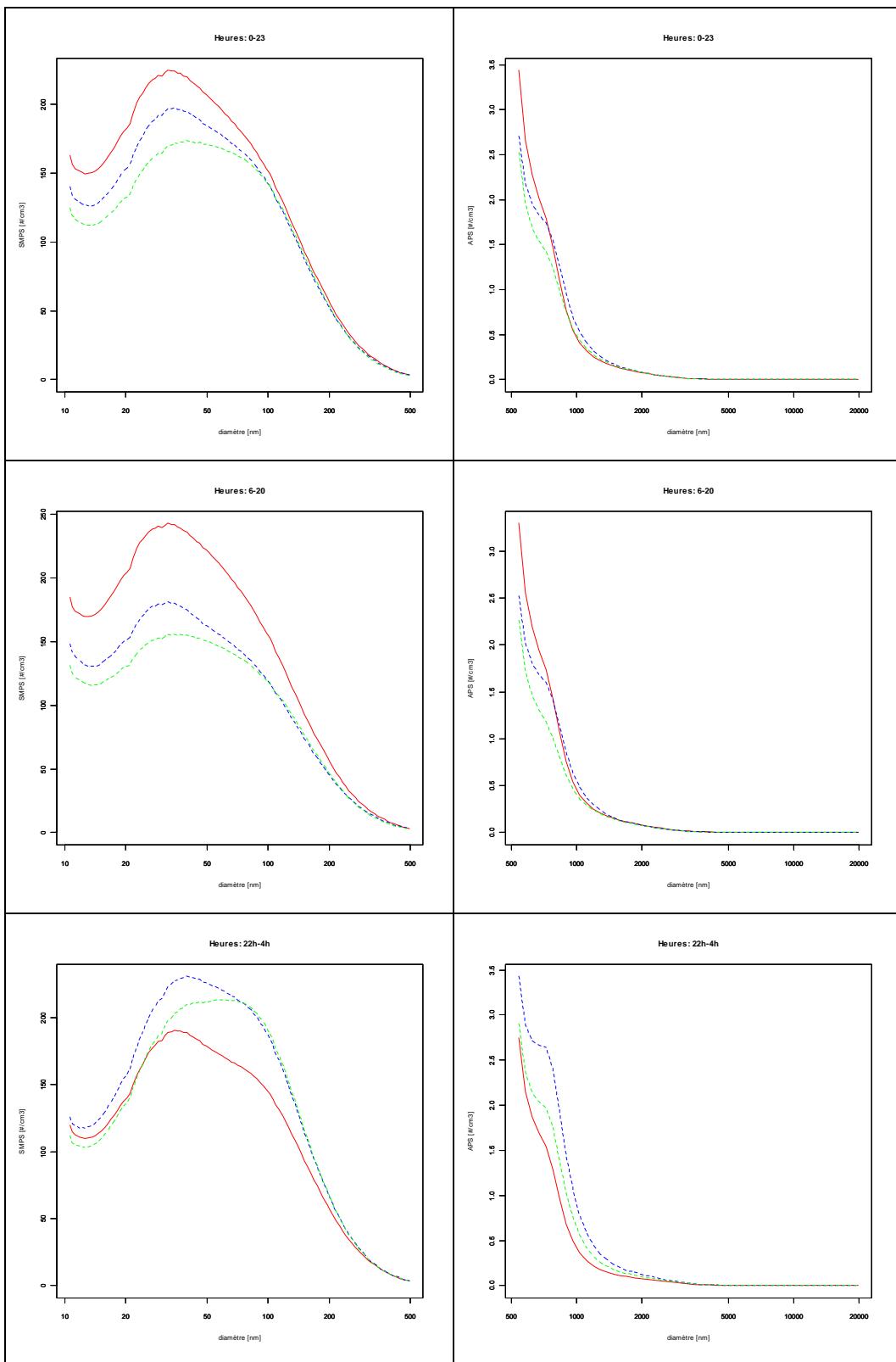


Figure 16 – Profils granulométriques. Gennevilliers. Mesures SMPS : moyenne des hivers 2003 à 2007. APS : moyenne des hivers 2004 à 2007. Rouge : jours ouvrés ; bleu : samedi ; vert : dimanche

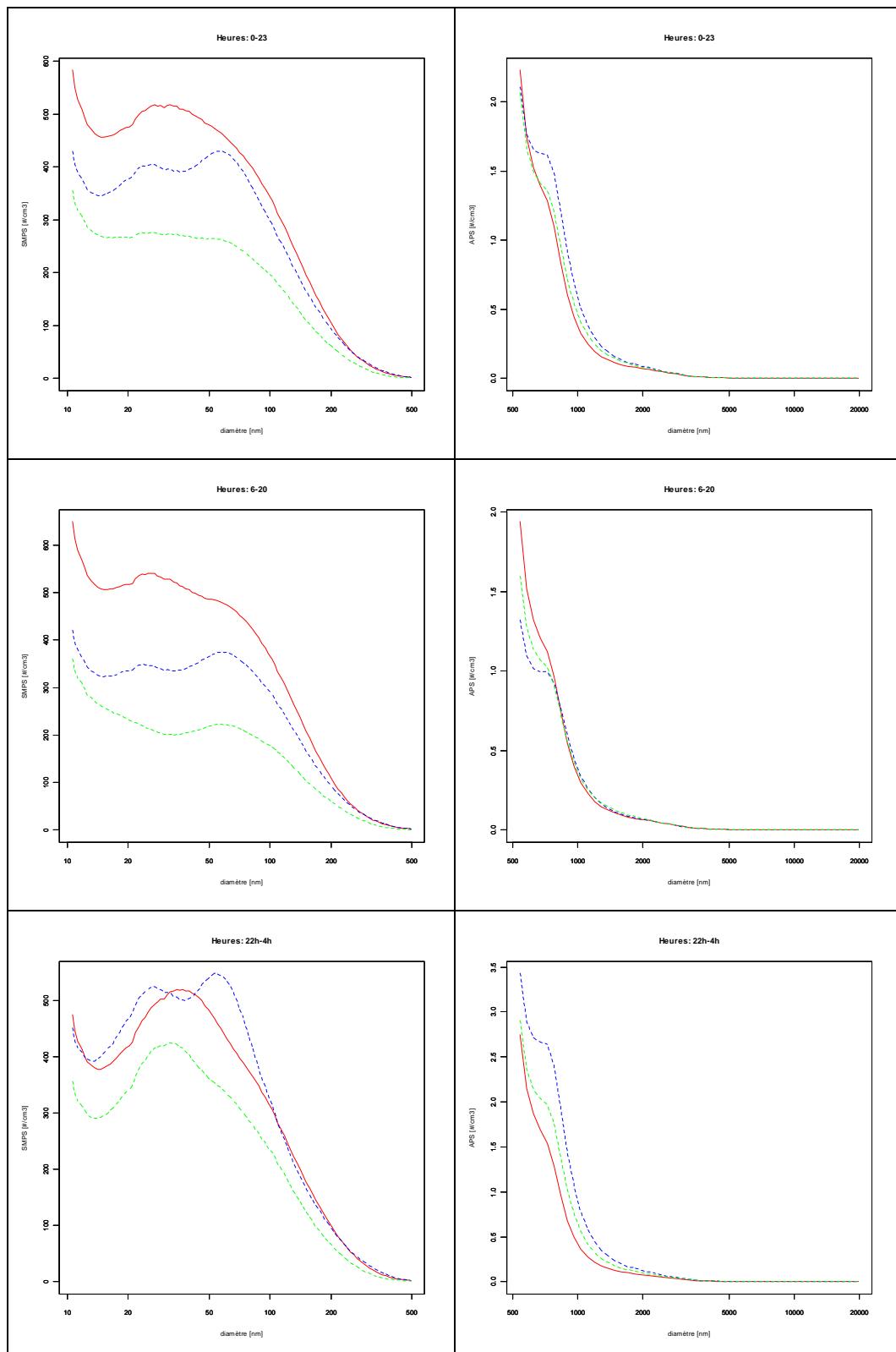


Figure 17 – Profils granulométriques. Gennevilliers. Mesures SMPS et APS : été 2005. Rouge : jours ouvrés ; bleu : samedi ; vert : dimanche

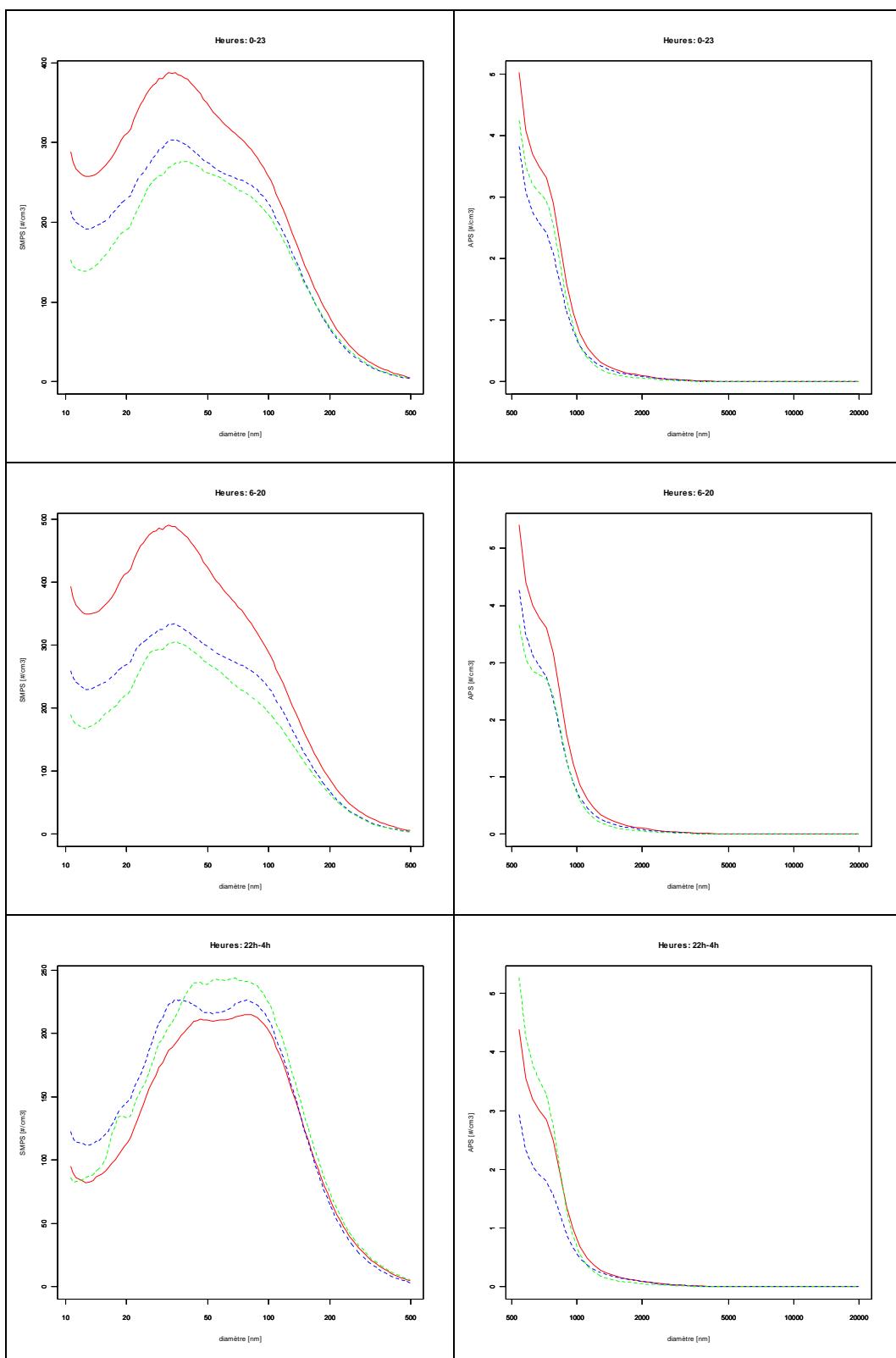


Figure 18 – Profils granulométriques. Douai. Mesures SMPS et APS : automne 2004. Rouge : jours ouvrés ; bleu : samedi ; vert : dimanche

4.3.4 CORRELATIONS

4.3.4.1 CORRELATIONS ENTRE CONCENTRATIONS NUMERIQUES

Quels que soient la saison ou le lieu, on note (Tableau 4-1 à Tableau 4-3) :

- une corrélation positive très élevée entre N1 et N ou Nt ;
- une corrélation positive élevée entre N2 et N ;
- une corrélation positive élevée mais moindre que les deux précédentes entre N1 et N2 ;
- une corrélation positive sensiblement plus faible entre N3 et les autres variables.

Les trois premiers résultats s'accordent avec le fait que la classe 10-100 nm est largement majoritaire en nombre (elle représente en moyenne 80% à 85% du nombre total de particules, cf. annexe 2) et que les profils journaliers de N1 et N2 montrent à certains moments un petit décalage temporel (cf. §4.3.2.1)

Tableau 4-1 – Corrélation entre les concentrations numériques. Hivers 2004 à 2007 à Gennevilliers

Var	N1	N2	N	N3	Nt
N1	1.00	0.80	0.99	0.18	0.99
N2		1.00	0.88	0.36	0.88
N			1.00	0.23	1.00
N3				1.00	0.23
Nt					1.00

Tableau 4-2 – Corrélation entre les concentrations numériques. Eté 2005 à Gennevilliers

Var	N1	N2	N	N3	Nt
N1	1.00	0.75	0.99	n.s.	0.99
N2		1.00	0.83	0.13	0.83
N			1.00	0.08	1.00
N3				1.00	0.08
Nt					1.00

Tableau 4-3 – Corrélation entre les concentrations numériques. **Automne 2004 à Douai**

Var	N1	N2	N	N3	Nt
N1	1.00	0.73	0.99	0.14	0.99
N2		1.00	0.81	0.27	0.81
N			1.00	0.17	1.00
N3				1.00	0.17
Nt					1.00

4.3.4.2 CORRELATIONS AVEC D'AUTRES VARIABLES

Cette partie présente les corrélations entre

- les concentrations numériques de particules ;
- et
- les concentrations massiques de particules et de gaz ;
- les variables météorologiques.

Ces corrélations ont été calculées toutes heures confondues ainsi que sur des tranches horaires plus restrictives. S'agissant de la corrélation avec la hauteur de couche limite atmosphérique, les sélections suivantes ont été testées et éventuellement combinées : plage 12h-23h, afin d'éliminer le pic matinal lié aux émissions primaires ; vitesse de vent inférieure à 3 m/s de façon à éliminer les situations de plus forte dilution.

Dans tous les cas considérés, les résultats sont peu modifiés par rapport aux corrélations calculées sur l'intégralité des heures. C'est pourquoi nous nous limitons à présenter ces dernières.

Les calculs sont effectués séparément pour l'hiver et pour l'été, cette dernière saison étant beaucoup moins représentée dans la base.

Les coefficients de corrélation (Tableau 4-4 à Tableau 4-9) n'indiquent pas de lien linéaire étroit entre les concentrations en nombre de particules et les variables météorologiques. Cependant, d'après leurs valeurs et l'allure des nuages de corrélation (cf. Figure 36 et annexe 5) on note une relation négative avec la vitesse de vent et la hauteur de couche limite atmosphérique et une relation positive avec l'humidité relative.

En ce qui concerne N1 et N2, les corrélations avec les variables de pollution sont plus élevées, bien que les nuages de corrélation soient assez dispersés : elles sont positives avec les concentrations de PM₁₀ et PM_{2.5}, NO₂ et SO₂, négatives avec les concentrations d'ozone.

(Rem. : La corrélation avec NO et NO₂ paraît moins forte que la corrélation présentée par Johansson et al. (2007) entre la concentration en nombre de particules (de diamètre supérieur à 7nm) mesurée par CPC30022 janvier 2001 à

mai 2005 et la concentration en NOx ($R^2=0,85$). Mais d'une part cette dernière corrélation est établie entre des valeurs journalières et d'autre part il s'agit d'un site de Stockholm sous influence directe du trafic automobile).

Tableau 4-4 – Corrélation entre les concentrations numériques de particules et les variables météorologiques. Hivers 2003 à 2007 à Gennevilliers

Var	T	HR	HPRECIP	DPRECIP	RAY	DINS	Ps	Pm	DV	VV	VIS	VIS2	Neb	invLMO	HCLA
N1	-0.28	0.12	n.s.	-0.05	n.s.	n.s.	0.16	0.16	-0.22	-0.26	-0.32	-0.07	-0.17	0.08	-0.26
N2	-0.25	0.12	-0.05	-0.14	n.s.	n.s.	0.26	0.27	-0.25	-0.33	-0.40	-0.15	-0.26	0.12	-0.35
N	-0.28	0.14	n.s.	-0.08	n.s.	n.s.	0.18	0.19	-0.22	-0.29	-0.34	-0.10	-0.18	0.09	-0.30
N3	-0.20	0.12	-0.09	-0.14	n.s.	n.s.	0.29	0.30	-0.20	-0.10	-0.48	n.s.	-0.09	0.05	-0.10
Nt	-0.32	0.18	n.s.	-0.08	n.s.	n.s.	0.19	0.20	-0.25	-0.39	-0.37	n.s.	-0.23	0.11	-0.40

n.s. : corrélation non significative

Tableau 4-5 – Corrélation entre les concentrations numériques de particules et les variables météorologiques. Eté 2005 à Gennevilliers

Var	T	HR	HPRECIP	DPRECIP	RAY	DINS	Ps	Pm	DV	VV	VIS	VIS2	Neb	invLMO	HCLA
N1	0.13	0.08	n.s.	n.s.	n.s.	0.12	0.09	0.09	-0.19	-0.25	-0.26	n.s.	n.s.	-0.08	-0.17
N2	0.19	0.08	n.s.	n.s.	n.s.	0.15	0.23	0.23	-0.15	-0.30	-0.40	n.s.	n.s.	n.s.	-0.19
N	0.15	0.08	n.s.	n.s.	n.s.	0.13	0.12	0.12	-0.19	-0.27	-0.30	n.s.	n.s.	0.09	-0.18
N3	-0.13	0.30	0.22	0.09	n.s.	0.11	0.15	0.14	-0.13	-0.12	-0.14	0.15	0.15	n.s.	-0.21
Nt	0.15	0.08	n.s.	n.s.	n.s.	0.13	0.12	0.12	-0.19	-0.27	-0.30	n.s.	n.s.	0.09	-0.18

n.s. : corrélation non significative

Tableau 4-6 – Corrélation entre les concentrations numériques de particules et les variables météorologiques. Automne 2004 à Douai

Var	T	HR	HPRECIP	DPRECIP	RAY	DINS	Ps	Pm	DV	VV	VIS	VIS2	Neb	invLMO	HCLA
N1	-0.29	n.s.	-0.12	-0.12	/	0.15	n.s.	n.s.	-0.34	-0.36	-0.13	/	-0.24	0.24	-0.32
N2	-0.49	0.17	-0.16	-0.20	/	0.14	n.s.	0.09	-0.36	-0.53	-0.28	/	-0.33	0.42	-0.46
N	-0.34	n.s.	-0.13	-0.14	/	0.15	n.s.	n.s.	-0.36	-0.41	-0.16	/	-0.26	0.28	-0.36
N3	-0.24	0.31	-0.15	-0.19	/	0.02	0.26	0.25	-0.36	-0.36	-0.59	/	0.14	0.14	-0.33
Nt	-0.34	n.s.	-0.13	-0.14	/	0.15	n.s.	n.s.	-0.36	-0.41	-0.16	/	-0.26	0.28	-0.36

Tableau 4-7 – Corrélation entre les concentrations numériques de particules et les variables de pollution. Hivers 2003 à 2007 à Gennevilliers

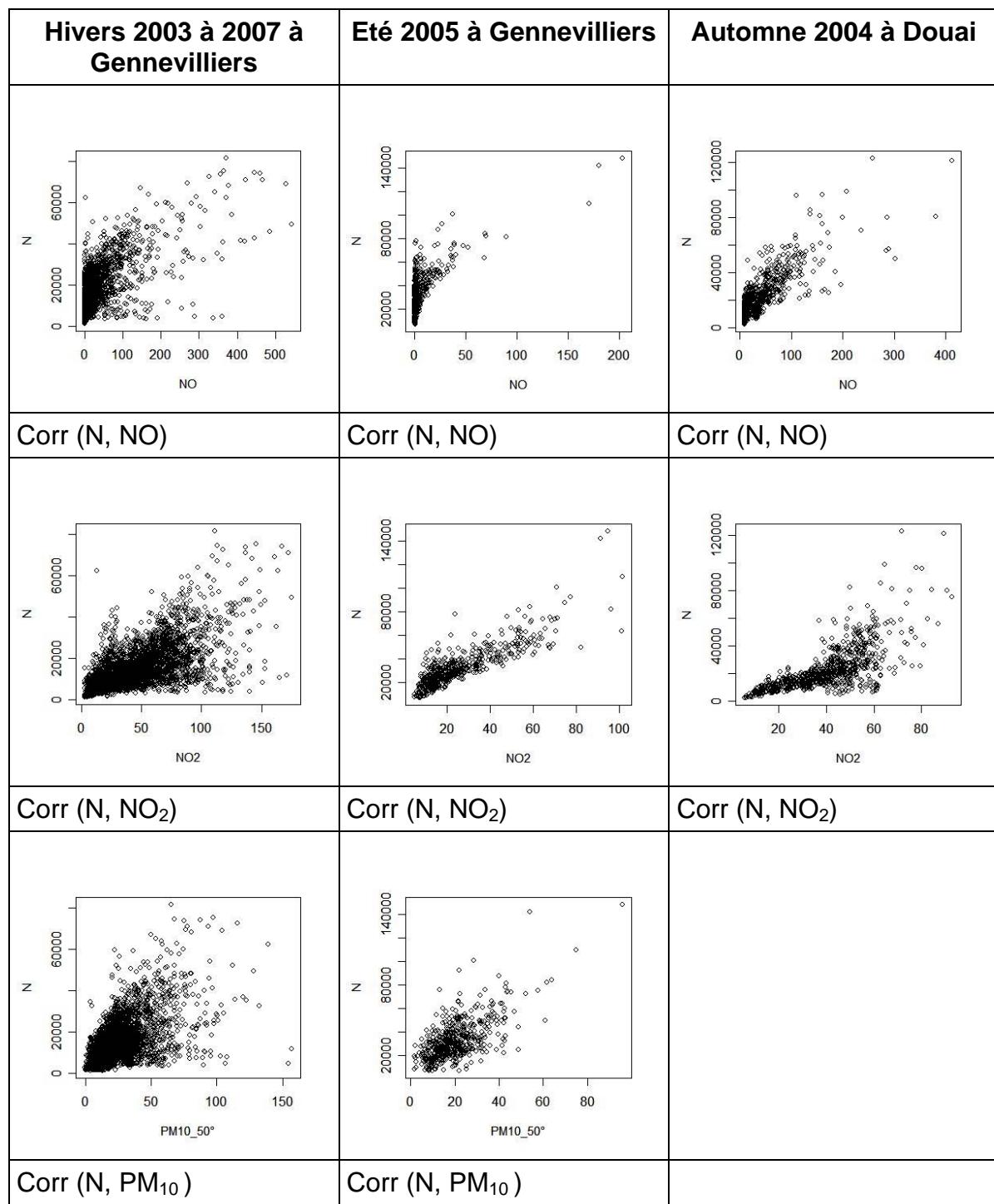
Var	PM10 _50°	PM2. 5_50°	PM10 F	PM10 NF	PM10 VF	PM2. 5F	PM2. 5NF	PM2. 5VF	O3	NO	NO2	SO2
N1	0.52	0.53	0.61	0.64	-0.22	0.60	0.67	-0.28	-0.56	0.63	0.64	0.40
N2	0.67	0.72	<u>0.84</u>	<u>0.84</u>	-0.47	<u>0.87</u>	<u>0.91</u>	-0.58	-0.55	0.69	0.68	0.47
N	0.57	0.59	0.64	0.58	-0.15	0.69	0.75	-0.37	-0.58	0.66	0.66	0.43
N3	0.51	0.59	0.67	0.66	-0.61	0.83	0.79	-0.79	-0.40	0.22	0.27	n.s.
Nt	0.69	0.70	0.69	0.71	-0.30	0.69	0.75	-0.37	-0.65	0.73	0.77	n.s.

Tableau 4-8 – Corrélation entre les concentrations numériques de particules et les variables de pollution. Eté 2005 à Gennevilliers

Var	PM10 _50°	PM2. 5_50°	PM10 F	PM10 NF	PM10 VF	PM2. 5F	PM2. 5NF	PM2. 5VF	O3	NO	NO2	SO2
N1	0.62	0.62	Pas de données						-0.46	0.66	<u>0.82</u>	-0.46
N2	0.75	0.87							-0.29	0.71	<u>0.83</u>	-0.29
N	0.67	0.69							-0.45	0.70	<u>0.85</u>	-0.45
N3	n.s.	n.s.							-0.15	0.18	0.15	-0.15
Nt	0.67	0.69							-0.45	0.70	<u>0.85</u>	-0.45

Tableau 4-9 – Corrélation entre les concentrations numériques de particules et les variables de pollution. Automne 2004 à Douai

Var	PM10 _50°	PM2. 5_50°	PM10 F	PM10 NF	PM10 VF	PM2. 5F	PM2. 5NF	PM2. 5VF	O3	NO	NO2	SO2
N1			Pas de données						0.76	0.67		
N2									0.84	0.73		
N									0.80	0.71		
N3									0.35	0.39		
Nt									0.80	0.71		



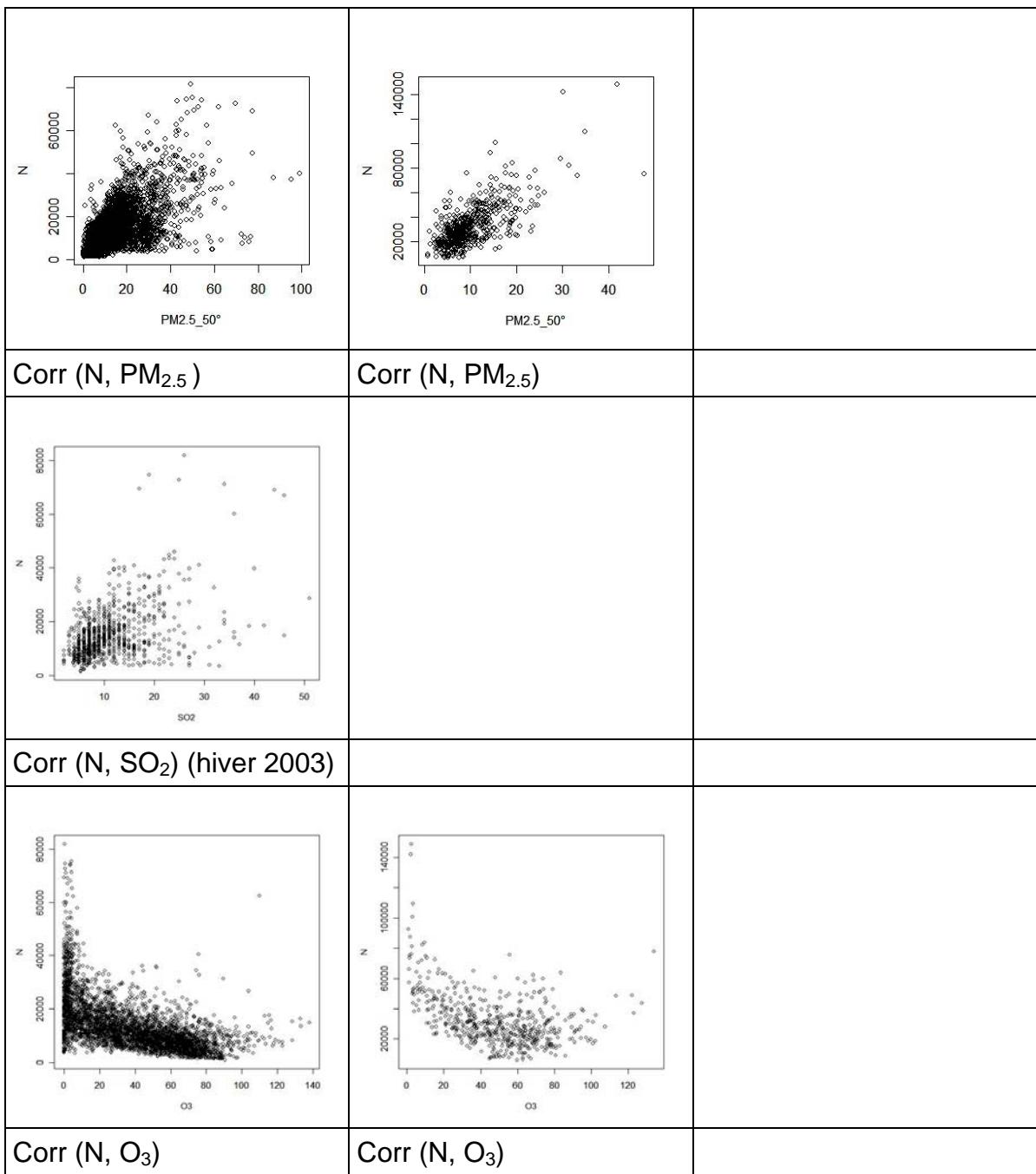


Figure 19 – Corrélation entre les concentrations en nombre de particules de la classe 10-500 nm (N) et les concentrations massiques de NOx, de PM(TEOM_50°C), de SO₂ et d'ozone. Tous types de jours et toutes heures confondues.

4.3.5 ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP)

4.3.5.1 OBJECTIFS

Ces calculs préliminaires d'analyse multidimensionnelle ne font qu'introduire le travail plus approfondi qui sera réalisé en 2008 (et qui, en particulier, pourra tenir compte des données d'émission). Ils sont conduits en deux temps.

La première partie a pour objet d'obtenir une vue d'ensemble des liaisons linéaires entre les variables quantitatives suivantes :

- concentrations en nombre de particules : N1, N2 et N3 ;
- concentrations en masse de PM₁₀, PM_{2,5}, NO, NO₂, O₃;
- variables météorologiques les plus influentes : HR, T, VV et HCLA.

La seconde partie cherche à voir si la variabilité des concentrations en nombre de particules peut s'expliquer à l'aide des autres variables, considérées comme indicatrices des émissions et des phénomènes de dispersion.

4.3.5.2 METHODE

La technique d'analyse en composantes principales (ACP), dont le principe est décrit en annexe 6, est mise en œuvre. Une ACP sur P variables actives (variables utilisées effectivement dans l'analyse) donne lieu au calcul de P axes factoriels orthogonaux deux à deux. Ceux-ci définissent des plans factoriels sur lesquels le nuage des P variables peut être projeté. Sur chaque plan factoriel :

- la projection du nuage des variables est contenue dans un cercle de rayon unitaire appelé cercle des corrélations ;
- une variable est d'autant mieux représentée que sa projection est plus proche du bord du cercle ;
- deux variables bien représentées sont d'autant plus corrélées entre elles que leurs projections sont plus proches ;
- deux variables bien représentées sont d'autant moins corrélées entre elles que leurs projections forment un angle droit avec le centre du cercle.

Précisions qu'il s'agit de corrélations linéaires.

On peut aussi projeter a posteriori des variables qui n'ont pas participé au calcul des axes factoriels et examiner quelle part de leur variance est restituée par ces projections.

4.3.5.3 CALCULS REALISES

Dans la première ACP, destinée à évaluer les liens entre les différentes variables quantitatives, toutes les variables citées précédemment sont utilisées comme variables actives.

Dans les ACP suivantes, seules les concentrations de polluants gazeux et les variables météorologiques, considérées comme variables explicatives, sont introduites dans les calculs. Les concentrations numériques N1, N2 et N3, considérées comme variables à expliquer, sont projetées a posteriori.

Les axes factoriels sélectionnés pour l'interprétation des résultats sont ceux qui conservent un pourcentage de la variance des données (variables actives)

supérieur à la variance moyenne par axe, soit $\frac{100\%}{P}$. Pour chacun de ces axes, un tableau présente :

1. le rang de l'axe factoriel ;
2. son inertie (=la part de variance qu'il restitue) ;
3. les variables de coordonnée négative sur l'axe qui contribuent pour plus de 100/P% à son inertie ;
4. la contribution de ces variables à l'inertie de l'axe ;
5. les variables de coordonnée positive sur l'axe qui contribuent pour plus de 100/P% à son inertie ;
6. la contribution de ces variables à l'inertie de l'axe.

Il est également intéressant d'examiner les résultats relatifs aux individus, c'est-à-dire aux N enregistrements horaires pour lesquels les P variables ont été mesurées. En particulier, cela permet d'identifier d'éventuels groupements de données associés à certaines combinaisons de variables. Dans ces premiers essais, on se limite toutefois à l'interprétation du nuage des variables.

4.3.5.4 ACP SUR LES CONCENTRATIONS NUMERIQUES ET MASSIQUES ET LES VARIABLES METEOROLOGIQUES

Variables introduites :

12 variables : N1, N2, N3, HR, T, VV, HCLA, PM₁₀, PM_{2.5}, NO, NO₂, O₃

Lieu :

Gennevilliers

Période :

Hivers 2003, 2004, 2005, 2006 et 2007

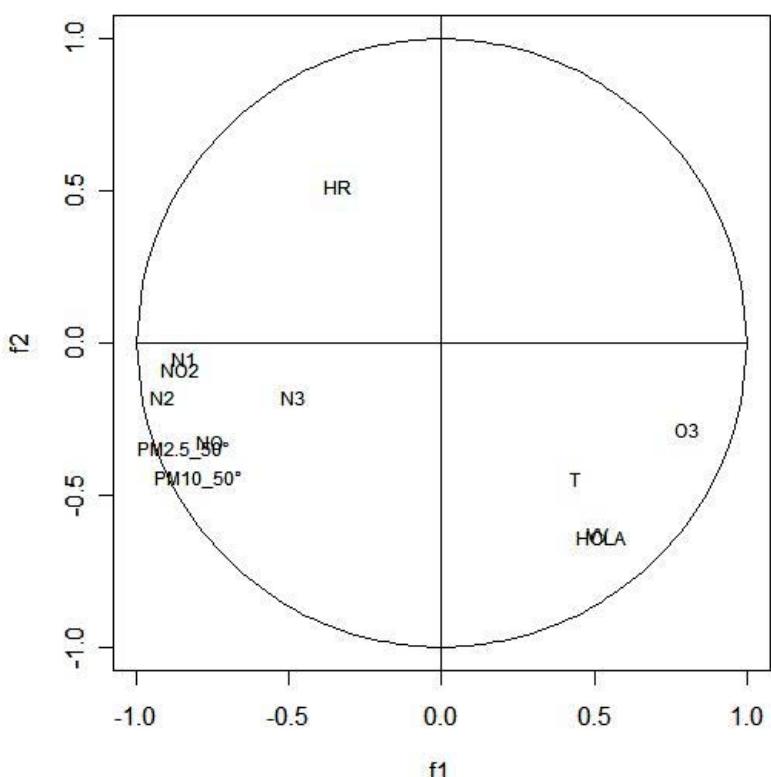
Nombre d'axes retenus :

4 axes représentant près de 85% de la variance totale du nuage des données

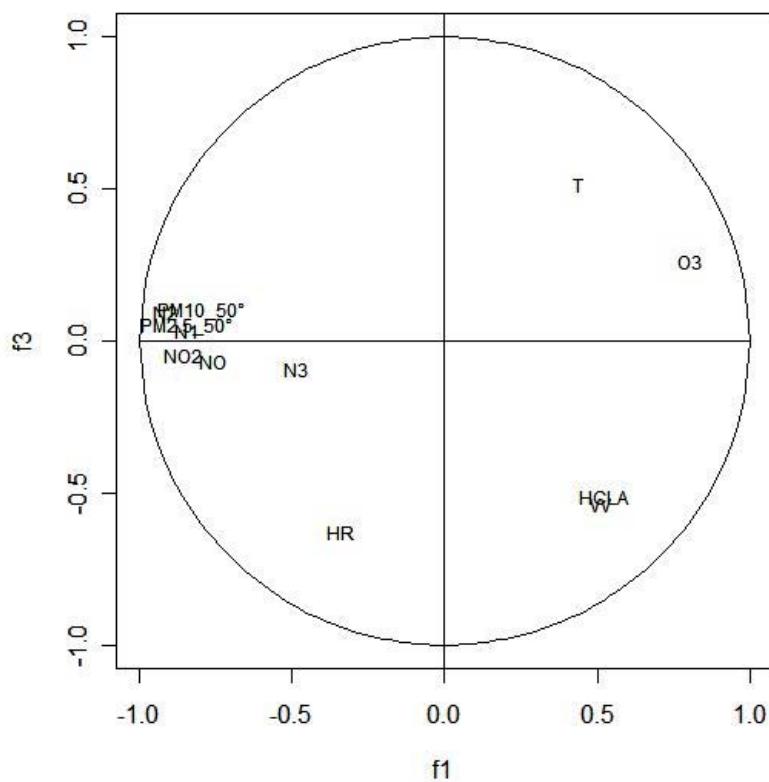
Principaux résultats :

Axe	Inertie	Variables de coordonnée négative sur l'axe	Contribution de chaque variable à l'inertie de l'axe (%)	Variables de coordonnée positive sur l'axe	Contribution de chaque variable à l'inertie de l'axe (%)
1	49,5	N1, N2, PM_{2,5}, NO₂ PM₁₀, NO N3 HR	entre 12% et 15% entre 9% et 12% ~ 4% <2%	O ₃ T, VV, HCLA	~ 11% entre 3% et 5%
2	15,3	VV, HCLA T, PM ₁₀ PM _{2,5} , NO, O ₃ N1, N2, N3, NO ₂	entre 21% et 23% ~ 10% entre 4% et 7% <2%	HR	~ 14%
3	11,0	HR VV, HCLA N3, NO, NO ₂	~ 30% entre 20% et 22% <1%	T O ₃ N1, N2, PM ₁₀ , PM _{2,5}	~ 20% ~ 5% <1%
4	8,5	N3 PM ₁₀ , PM _{2,5} HR	~ 64% entre 2% et 5% <1%	N1, NO NO ₂ N2, T, VV, HCLA, O ₃	entre 9% et 12% ~ 6% <1%

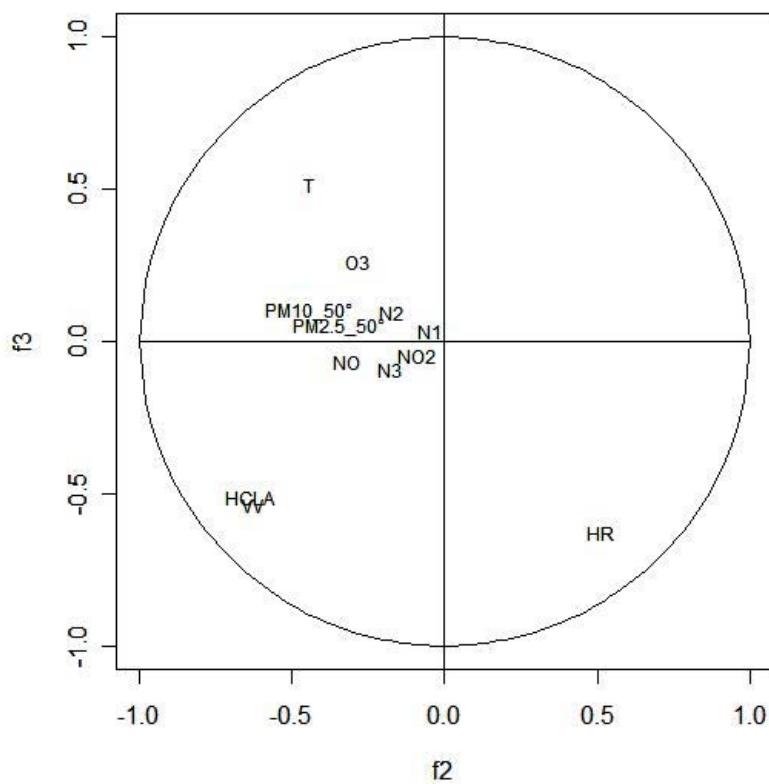
Plan 1-2



Plan 1-3



Plan 2-3



Plan 1-4

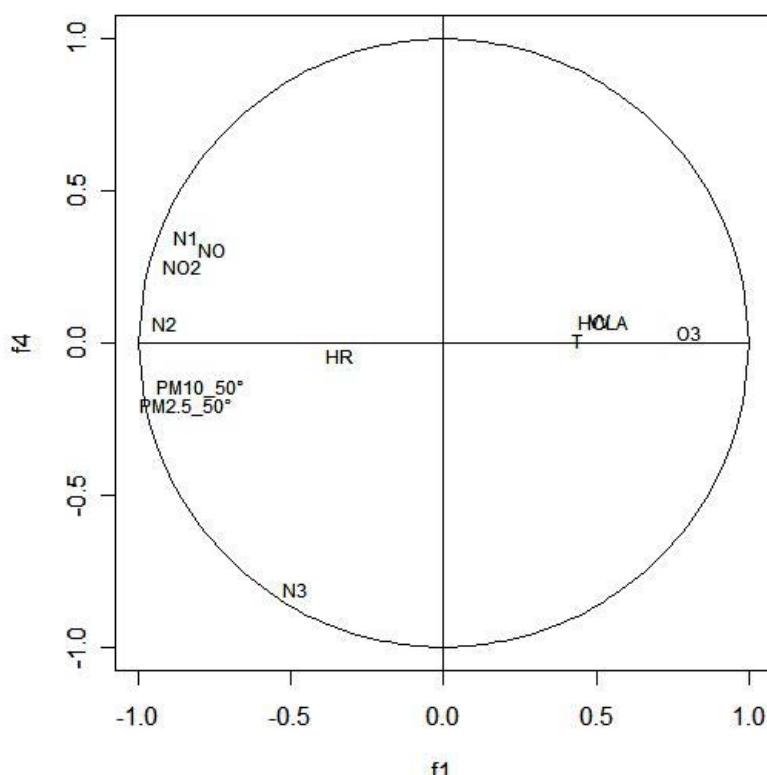


Figure 20 - Projection du nuage des variables sur les premiers plans factoriels

Les quatre premiers axes restituent près de 85% de la variance initiale des données, au lieu de 33% dans l'espace d'origine ($=4 \times (100/12)\%$). De l'étude du tableau qui précède et des projections sur les plans factoriels (Figure 20) découlent les commentaires suivants¹

Axe 1

Les variables de pollution sont bien corrélées avec l'axe 1 ($|\rho|=0,75-0,92$) à l'inertie duquel elles contribuent majoritairement. Seule la variable N3 présente avec cet axe une moindre corrélation. Vitesse de vent et hauteur de couche limite atmosphérique se projettent du côté des plus faibles concentrations de particules et de NOx.

L'axe 1 caractérise surtout l'importance de la pollution. Il oppose les situations de plus grandes concentrations de particules et de NOx aux situations de plus fortes concentrations d'ozone.

Axe 2

Les variables météorologiques sont corrélées avec l'axe 2 ($(|\rho|=0,44-0,64)$ à l'inertie duquel elles contribuent majoritairement.

¹ Dans la suite, ρ désigne le coefficient de corrélation. Le signe de ρ indique de quel côté de l'axe la variable se situe.

L'axe 2 caractérise surtout la météorologie. Il oppose des situations de plus forte humidité à des situations de température, vitesse de vent et hauteur de couche limite plus élevées.

Axe 3

Les variables météorologiques sont corrélées avec l'axe 2 ($(|\rho|=0,44-0,64)$) à l'inertie duquel elles contribuent majoritairement.

L'axe 3 caractérise lui aussi la météorologie. Il oppose des situations de plus forte température à des situations d'humidité, vitesse de vent et hauteur de couche limite atmosphérique plus élevées.

Axe 4

La variable N3 est très corrélée à l'axe 4 ($(|\rho|=0,8)$) à l'inertie duquel elle contribue majoritairement.

L'axe 4 caractérise surtout l'importance de la classe N3 (500 nm-20 µm) qu'il oppose, dans une certaine mesure, à N1 et aux NOx.

Le plan (2-3), sur lequel les variables météorologiques sont les mieux représentées, montre une corrélation négative entre humidité et température et une corrélation positive entre température et ozone mais il apporte peu d'information au sujet des concentrations de particules. Vitesse de vent et hauteur de couche limite atmosphérique apparaissent très corrélées entre elles (ce qui s'explique notamment par le mode de calcul de cette seconde variable, fonction de la vitesse de friction – Thomson, 2003-) et peu voire non corrélées avec température et humidité.

Les plans (1-2) et (1-4) sur lesquels les variables de pollution sont les mieux représentées indiquent que **N1, N2 et les concentrations de NOx sont étroitement corrélées entre elles, négativement corrélées avec la vitesse de vent ou la hauteur de couche limite atmosphérique et faiblement liées à N3.**

4.3.5.5 ACP SUR LES CONCENTRATIONS MASSIQUES ET LES VARIABLES METEOROLOGIQUES. LES CONCENTRATIONS EN NOMBRE SONT PROJETEES A POSTERIORI SUR LES PLANS FACTORIELS.

Dans cette seconde série d'ACP, on cherche à déterminer quelles variables expliquent le mieux les concentrations en nombre de particules.

Variables actives introduites :

9 variables explicatives des concentrations de particules : HR, T, VV, HCLA, PM10, PM2.5, NO, NO₂, O₃

HR, T, VV, HCLA décrivent l'influence de la météorologie et des conditions de dispersion. On peut considérer qu'en plus des effets de la météorologie, les concentrations de NO, NO₂ et O₃ représentent indirectement les variations des émissions et les processus chimiques qui se produisent dans la journée.

Dans des calculs ultérieurs, il sera intéressant de prendre en compte les variables d'émission, plus spécifiques que les concentrations pour décrire les sources de particules.

Variables supplémentaires projetées a posteriori

Les 3 variables à expliquer : N1, N2, N3,

Lieu :

Gennevilliers

Période :

Hivers 2003, 2004, 2005, 2006 et 2007

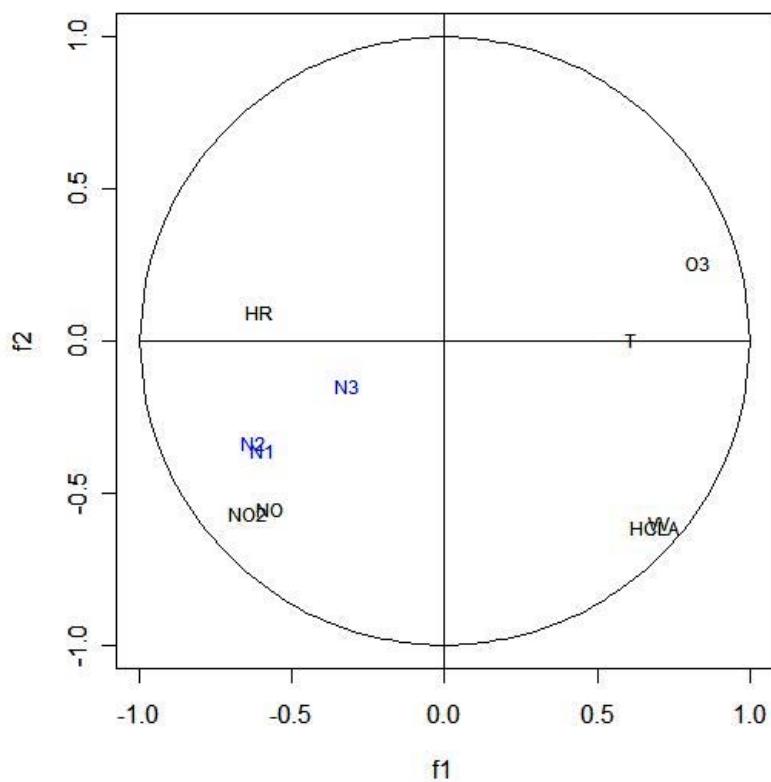
Nombre d'axes retenus :

3 axes, représentant près de 82% de la variance totale du nuage des données relativ aux variables explicatives

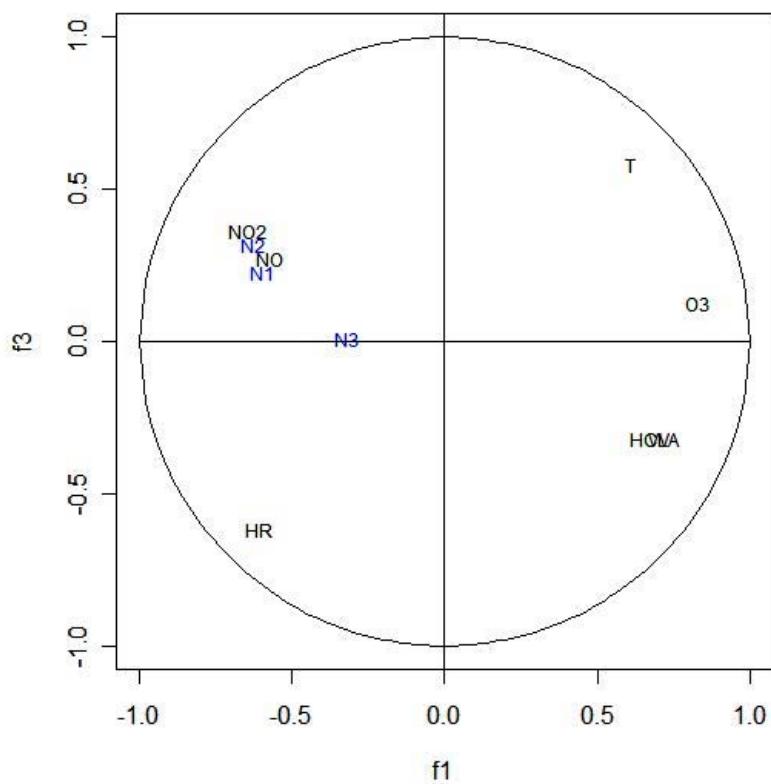
Principaux résultats :

Axe	Inertie	Variables de coordonnée de négative sur l'axe	Contribution de chaque variable à l'inertie de l'axe (%)	Variables de coordonnée positive sur l'axe	Contribution de chaque variable à l'inertie de l'axe (%)
1	45,0	NO ₂ HR, NO	~ 13% entre 10% et 12%	O ₃ VV, HCLA T	~ 22% ~ 15% ~ 12%
2	20,5	VV, HCLA, NO, NO ₂	entre 21% et 25%	O ₃ T, HR	~ 5% <1%
3	16,4	HR VV, HCLA	~ 33% ~ 9%	T NO ₂ NO O ₃	~ 30% ~ 12% ~ 7% <12%

Plan 1-2



Plan 1-3



Plan 2-3

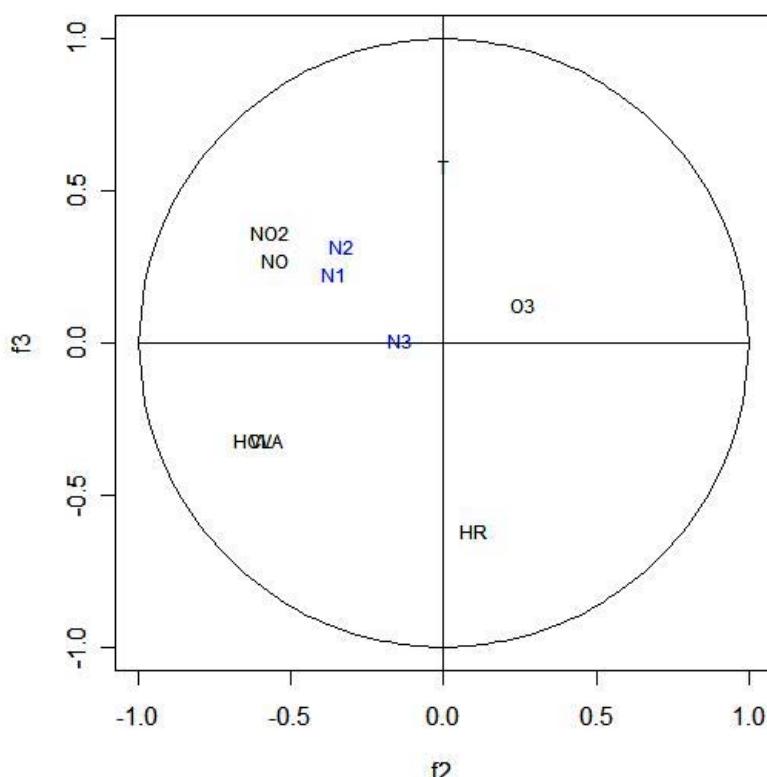


Figure 21 - Projection du nuage des variables sur les premiers plans factoriels. En noir : variables actives ; en bleu : variables projetées a posteriori

Les trois premiers axes restituent près de 82% de la variance initiale des données, au lieu de 44% dans l'espace d'origine ($=4 \times (100/9)\%$). De l'étude du tableau qui précède et des projections sur les plans factoriels (Figure 21) découlent les commentaires suivants².

Axe 1

Le premier axe oppose les situations caractérisées par des concentrations de NOx élevées aux situations caractérisées par une pollution photochimique plus importante (température, ozone) ou par des conditions favorables à la dispersion (vitesse de vent et hauteur de couche limite accrues).

Axe 2

L'axe 2 correspond aux situations où les concentrations de NOx sont relativement élevées malgré des conditions propices à la dispersion (vitesse de vent et hauteur de couche limite accrues).

² Dans la suite, ρ désigne le coefficient de corrélation. Le signe de ρ indique de quel côté de l'axe la variable se situe.

Axe 3

L'axe trois oppose les situations plus chaudes aux situations plus humides.

Le Tableau 4-10 indique les pourcentages de la variance de N1, N2 et N3 restitués par chaque axe.

Tableau 4-10 – ACP sur les concentrations de NOx et d'ozone et les variables météorologiques. Part de la variance de N1, N2 et N3 restituée par chaque axe factoriel.

	Part de variance restituée par l'axe 1 (%)	Part de variance restituée par l'axe 2 (%)	Part de variance restituée par l'axe 3 (%)	Total pour les 7 axes (%)
N1	35,7	13,0	5,1	56,5
N2	39,7	11,3	10,0	64,0
N3	10,2	2,1	0,01	21,4

Les variables considérées permettent de restituer une part significative de la variance de N1 et N2 mais une proportion moindre de la variance de N3.

Afin d'isoler l'effet de la météorologie, cette analyse est complétée par deux ACP : dans l'une, les variables actives se réduisent aux variables météorologiques, dans l'autre, on ne conserve que les concentrations de NOx et d'ozone. Les parts de variance expliquée deviennent (Tableau 4-11, Tableau 4-12) :

Tableau 4-11 – ACP sur les variables météorologiques. Part de la variance de N1, N2 et N3 restituée par chaque axe factoriel.

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	Axe 4	
Inertie	56,8	28,7	12,1	0,02	
Variables contribuant le plus à l'axe	VV (+) HCLA (+)	T (+) HR (-)	T (+) HR (+)	VV (-) HCLA (+)	
	Part de variance restituée (%)				Total pour les 4 axes (%)
N1	9,6	0,08	3,25	0,01	12,8
N2	12,8	0,29	2,48	0,30	15,8
N3	2,84	1,12	0,85	0,04	4,84

Entre parenthèses : signe de la coordonnée de la variable sur l'axe

Tableau 4-12 – ACP sur les concentrations de NOx et d'ozone. Part de la variance de N1, N2 et N3 restituée par chaque axe factoriel.

	Axe 1	Axe 2	Axe 3	
Inertie	71,3	19,6	9,0	
Variables contribuant le plus à l'axe	NO, NO ₂ (-) O ₃ (+)	NO (+) O ₃ (+)	NO ₂ (+)	
	Part de variance restituée (%)			Total pour les 3 axes (%)
N1	51,1	0,67	0,49	52,3
N2	56,1	1,78	0,26	58,1
N3	11,9	2,75	3,57	18,2

Entre parenthèses : signe de la coordonnée de la variable sur l'axe

Ainsi, les émissions et processus chimiques représentés par les concentrations de NOx et d'ozone contribueraient plus que la météorologie à la variabilité de N1 et N2. Cette supposition nécessite d'être confirmée par des analyses incluant les variables d'émissions.

Le cas idéal serait de pouvoir caractériser physiquement chaque axe de l'ACP, en l'associant à un type d'émetteur ou à un processus bien précis (relatif à la chimie ou à la dispersion), et évaluer ainsi la part de variabilité de N1, N2 ou N3 restituée par ce facteur. Une condition nécessaire est de disposer de traceurs spécifiques des phénomènes influents. Dans cette optique, les données d'émission d'AIRPARIF seront utilisées et s'il est nécessaire, on considérera d'autres sources de données météorologiques.

4.4 CONCLUSION DE L'ANALYSE STATISTIQUE

Cette étude constitue un première analyse exploratoire des données qui, chaque hiver depuis 2003 ainsi qu'au cours de l'été 2005, ont été recueillies sur le site urbain de Gennevilliers. A titre de comparaison les mesures effectuées à Douai pendant l'automne 2004, en un point sous influence du trafic, ont été également examinées.

50% à 85% des particules appartiennent à la classe granulométrique 10 à 100 nm ou, si l'on considère la décomposition en modes, près de 50% des particules appartiennent au mode b dont le diamètre médian varie la plupart du temps entre 10 et 40 nm.

En moyenne sur l'hiver, le nombre de particules des classes 10-100 nm et 100-500 nm varie d'une année à l'autre ; toutefois, nous ne relevons pas de tendance. Par contre, nous observons en été 2005 des concentrations nettement plus importantes qu'en hiver, ainsi qu'un développement important au dessous de 20 nm.

Pour mieux caractériser les concentrations en nombre de particules et avoir une idée de leurs sources et des variables qui les influencent, les graphiques et calculs suivants ont été réalisés :

- profils journaliers par type de jour (jours ouvrés/samedi/dimanche) ;
- profils hebdomadaires ;
- profils granulométriques par type de jour ;
- corrélations avec les concentrations massiques de gaz et de particules et les variables météorologiques ;
- analyses en composantes principales avec ces mêmes variables.

Dans ces premiers calculs, les concentrations massiques de NOx ont joué le rôle d'indicateurs des émissions.

De ces calculs, ressortent les résultats suivants, qui demandent à être confirmés par des analyses complémentaires :

- Les émissions primaires du trafic sont responsables d'un pic matinal de concentration ; sur le site de Douai, qui est sous influence directe du trafic, elles provoquent un second pic en fin d'après-midi ;
- L'été, les réactions photochimiques conduisent à une augmentation, pendant l'après-midi, du nombre de particules de la classe 10 – 100 nm ;
- Les variations des concentrations numériques de particules s'expliquent principalement par les émissions et les transformations chimiques ;
- Les concentrations numériques sont influencées, dans une moindre mesure, par les variations de la hauteur de couche limite atmosphérique et par la vitesse de vent.

En 2008, des données d'émission extraites de l'inventaire d'AIRPARIF seront mises à la disposition de l'INERIS, ce qui devrait aider à la vérification du troisième point. Les rôles respectifs de la vitesse de vent et de la hauteur de couche limite sont malaisément discernables car cette seconde variable (non mesurée) a été calculée à l'aide de la première. Un moyen possible de vérifier la quatrième remarque serait d'utiliser, pour la hauteur de couche limite atmosphérique, une source indépendante de données, par exemple les résultats du modèle MM5.

De manière plus générale, à ce stade du travail, nous ne disposons visiblement pas d'un ensemble suffisant de variables spécifiques, de traceurs réels.

De ce point de vue, l'élargissement à venir de la base de données vers les inventaires d'émission devrait apporter des améliorations : des traceurs de certaines sources devraient apparaître (ex. émissions du trafic).

Nous avons également observé l'intérêt qu'il y avait à pouvoir dissocier les phénomènes influents selon les axes du référentiel dans lequel sont projetées les variables d'étude. Plus nous disposerons de variables décrivant sans ambiguïté la majorité de ces entités (sources / processus), plus le référentiel sera pertinent.

5. CONCLUSION GENERALE

La surveillance des particules est actuellement au cœur de profondes réflexions scientifiques : un nombre croissant d'études sanitaires, tant au niveau de la toxicologie que, désormais, de l'épidémiologie, montrent que le paramètre "concentration massique" (actuellement suivi en Europe et donc en France) n'est probablement pas le plus pertinent pour la caractérisation des impacts sanitaires. La cause, clairement identifiée, en est que la concentration massique de particules (guidée par les plus grosses particules, ou particules supermicroniques) n'est pas assimilable à la fraction des particules ayant un impact sanitaire (les plus fines, ou particules submicroniques).

Ainsi, les particules submicroniques, et tout particulièrement les particules ultrafines, sont l'objet depuis désormais 5 ans, d'actions LCSQA spécifiques.

Ce programme d'action a pour objectifs :

- de disposer d'un noyau de compétences et de connaissances sur les paramètres émergents, comme la distribution en taille du nombre de particules,..
- de documenter la situation française à travers une caractérisation dans le temps et l'espace de la granulométrie des particules.

Suivi dans le temps

L'objectif est la réalisation, le traitement et l'intégration dans la base de données, d'une campagne de 5 semaines sur le site urbain de fond de Gennevilliers (AIRPARIF).

Les résultats obtenus s'inscrivent dans la continuité des campagnes précédentes, avec notamment la domination du mode ultrafin. Ils sont pris en compte dans la partie « traitement statistique ».

Veille :

En terme de veille,

- On assiste à une démarche visant à faire émerger des protocoles communs en matière d'exploitation de compteurs de particules et de granulomètres (projet de recherche EUSAAR, mais aussi normalisation ISO sur les nanomatériaux/nanoparticules)
- Dans le cadre du programme européen UFIPOLEP, un granulomètre (prototype) a été développé visant à rassembler les avantages des deux techniques dominantes (SMPS et ELPI), à savoir éviter le recours à du butanol ainsi qu'à une source radioactive.
- Dans le domaine des rejets automobiles, une réflexion très sérieuse est menée quant à l'émergence d'exigences en matière de concentration en nombre à l'émission. Même si le projet semble s'orienter vers la fraction solide des particules (et donc exclusion des semi-volatils), cette démarche constitue une première.

Le développement **statistique** a bénéficié des compétences de l'unité de modélisation (MECO) de l'INERIS. Le lecteur consultera avec intérêt la conclusion détaillée du chapitre 3. En résumé, de ce travail ressortent les résultats suivants, qui demandent à être confirmés par des analyses complémentaires :

- i. Les émissions primaires du trafic seraient responsables d'un pic matinal de concentration ; sur le site de Douai, qui est sous influence directe du trafic, elles provoqueraient un second pic en fin d'après-midi ;
- ii. L'été, les réactions photochimiques conduisent à une augmentation, pendant l'après-midi, du nombre de particules de la classe 10 – 100 nm ;
- iii. Les variations des concentrations numériques de particules s'expliqueraient principalement par les émissions et les transformations chimiques ;
- iv. Les concentrations numériques seraient influencées, dans une moindre mesure, par les variations de la hauteur de couche limite atmosphérique et par la vitesse de vent.

Dans ces premiers calculs, les concentrations massiques de NOx ont joué le rôle d'indicateurs des émissions.

En 2008, des données d'émissions extraites de l'inventaire d'AIRPARIF seront mises à la disposition de l'INERIS, ce qui devrait aider à la vérification du troisième point.

Les rôles respectifs de la vitesse de vent et de la hauteur de couche limite sont malaisément discernables car cette seconde variable (non mesurée) a été calculée à l'aide de la première. Un moyen possible de vérifier la quatrième remarque serait d'utiliser, pour la hauteur de couche limite atmosphérique, une source indépendante de données, par exemple les résultats du modèle MM5.

6. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Baltensberger U., Weingartner E., Burtscher H. and Keskinen, (2001), Dynamic Mass and Surface Measurements, dans *Aerosol Measurement : Principles, Techniques and Applications*, 2nd édition by P.A. Baron & K. Willeke (p 406).
- Baltensperger U, Gaggeler HW, Jost DT [1988]. The epiphanimeter, a new device for continuous aerosol monitoring. *J Aerosol Sci* 19(7):931–934.
- Brunauer S, Emmett PH, Teller E [1938]. Ad-sorption of gases in multimolecular layers. *J Am Chem Soc* 60:309.
- CAFE 2003, Second paper on particulate matter –draft for discussion- CAFE Working Group on Particulate Matter, August 20th, 2003.
- CPP (1997), Recommandations du Comité de la Prévention et de la Précaution sur les particules fines – 1^{er} juin 1997.
- Johansson C., Norman M., Gidhagen L., 2007. Spatial and temporal variations of PM10 and particle number concentrations in urban air. *Environmental Monitoring and Assessment*, 127, 477-487.
- Ku B.K. and Maynard A.D. (2005); Comparing aerosol surface-area measurements of monodisperse ultrafine silver agglomerates by mobility analysis, transmission electron microscopy and diffusion charging, *Journal of aerosol science* 36 1108–1124.
- Ku B.K. and Maynard A.D. (2006); Generation and investigation of airborne silver nanoparticles with specific size and morphology by homo-geneous nucleation, coagulation and sinter-ing. *J Aerosol Sci* 37:452–470.
- Le Bihan O., Mathé F., Connaissance de la pollution par les particules submicroniques », Rapport LCSQA 2006, INERIS-DRC/AIRE-06-74752-Ole-N°0803-v4, décembre 2006. www.lcsqa.fr
- Le Bihan O., Mathé F., Connaissance de la pollution par les particules submicroniques », Rapport LCSQA 2006, INERIS-DRC/AIRE-06-74752-Ole-N°0803-v4, décembre 2006. www.lcsqa.fr
- Le Guen M., 2001. La boîte à moustaches d Tukey. Un outil pour initier à la statistique. Le Guen M. (2001), La boîte à moustaches de Tukey, un outil pour initier à la Statistique, *Statistiquement Vôtre*, n° 4, 14 pages. <http://matisse.univ-paris1.fr/leguen/>.
- Lonati G., Giugliano M., Cernuschi S., 2006. The role of traffic emissions from weekends' and weekdays' fine PM data in Milan. *Atmospheric Environment*, 40, 5998-6011.
- Maynard, A. D., and Zimmer, A. T. (2002); Evaluation of grinding aerosols in terms of alveolar dose: The significance of using mass, surface-area and number metrics. *Ann. Occup. Hyg.* 46 (Suppl. 1), 320–322.

Moore K.F., Ning Z., Ntziachristos L., Schauer J.J.n Sioutas C., 2007. Daily variation in the properties of urban ultrafine aerosol – Part I: Physical characterisation and volatility. *Atmospheric Environment*, 41, 8633-8646.

Moshammer H. and Neuberger M. (2003); The active surface of suspended particles as a predictor of lung function and pulmonary symptoms in Austrian school children. *Atmospheric Environment*. 37, 1737-1744.

Oberdörster, (2001); Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles, *Int Arch Occup Environ Health.*

OMS (2003), Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide – Report of WHO Working group, Bonn, 13-15 January 2003.

Putaud J.P., et al. (2003); A European aerosol phenomenology : physical and chemical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe. http://ccu.jrc.it/Publications/putaud_JF1_pdfPM-draft_02Jul.pdf

Puustinen A., Hämeri K., et al., 2007. Spatial variation of particle number and mass over four European cities. *Atmospheric Environment*, 41, 6622-6636.

Thomson D.J., 2003. The met input model. http://www.numtech.fr/pdf/P05_01.pdf

UFIPOLNET : <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/umwelt/en/4890.htm>

Witschger & Fabriès, (2005), Particules ultrafines et santé au travail 2, Sources et caractérisation de l'exposition, HST ND 2228 – 199- 05, page 37, 2005, INRS.

Woo K-S, Chen D-R, Pui DYH, Wilson WE (2001). Use of continuous measurements of integral aerosol parameters to estimate particle surface area. *Aerosol Sci. Technol* 34:57–65.

7. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
Annexe I	Liste des variables des bases	6
Annexe II	Statistiques élémentaires des données de particules	16
Annexe III	Profils journaliers	8
Annexe IV	Profils hebdomadaires	3
Annexe V	Nuages de corrélation	17
Annexe VI	Principe de l'ACP	2
Annexe VII	Fiche descriptive de l'étude	2

ANNEXE 1

Liste des variables des bases

Le tableau suivant fournit la liste des variables contenues dans les bases. Pour chaque période de campagne et pour chaque variable, le symbole « x » signale la présence de données ; la mention « mq » indique que toutes les données sont manquantes.

Toutes les bases comportent néanmoins le même nombre de colonnes : 205. Si les données d'une variable viennent à manquer, la colonne correspondante est vide.

Nom_Variable	Unité	Description	GEN03	GEN04	GEN05_H	GEN05_E	GEN06	GEN07	DOUAI_04
Site	-	nom_du_site_de_mesure	x	x	x	x	x	x	x
Date	AAAAMJJ	année_mois_jour	x	x	x	x	x	x	x
HL	HH	heure_locale	x	x	x	x	x	x	x
10.6	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
10.9	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
11.3	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
11.8	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
12.2	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
12.6	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
13.1	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
13.6	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
14.1	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
14.6	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
15.1	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
15.7	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
16.3	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
16.8	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
17.5	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
18.1	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
18.8	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
19.5	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
20.2	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
20.9	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
21.7	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
22.5	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
23.3	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
24.1	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
25	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x
25.9	#/cm ³	smps	x	x	x	x	x	x	x

Nom_Va riable	Unité	Description	GEN03	GEN04	GEN05 H	GEN05 E	GEN06	GEN07	DOUAI 04
26.9	#/cm3	Smps	x	x	x	x	x	x	x
27.9	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
28.9	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
30	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
31.1	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
32.2	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
33.4	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
34.6	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
35.9	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
37.2	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
38.5	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
40	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
41.4	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
42.9	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
44.5	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
46.1	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
47.8	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
49.6	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
51.4	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
53.3	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
55.2	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
57.3	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
59.4	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
61.5	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
63.8	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
66.1	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
68.5	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
71	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
73.7	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
76.4	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
79.1	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
82	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
85.1	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
88.2	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
91.4	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
94.7	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
98.2	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
102	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
106	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x

Nom_Va riable	Unité	Description	GEN03	GEN04	GEN05 H	GEN05 E	GEN06	GEN07	DOUAI 04
109	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
113	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
118	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
122	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
126	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
131	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
136	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
141	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
146	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
151	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
157	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
163	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
168	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
175	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
181	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
188	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
195	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
202	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
209	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
217	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
225	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
233	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
241	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
250	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
259	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
269	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
279	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
289	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
300	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
311	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
322	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
334	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
346	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
359	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
372	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
385	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
400	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
414	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X
429	#/cm3	smps	X	X	X	X	X	X	X

Nom_Va riable	Unité	Description	GEN03	GEN04	GEN05 H	GEN05 E	GEN06	GEN07	DOUAI 04
445	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
461	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
478	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
496	#/cm3	smps	x	x	x	x	x	x	x
542	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
583	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
626	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
673	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
723	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
777	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
835	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
898	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
965	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
1037	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
1114	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
1197	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
1286	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
1382	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
1486	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
1596	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
1715	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
1843	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
1981	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
2129	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
2288	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
2458	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
2642	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
2839	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
3051	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
3278	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
3523	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
3786	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
4068	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
4371	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
4698	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
5048	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
5425	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
5829	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
6264	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x

Nom_Va riable	Unité	Description	GEN03	GEN04	GEN05 H	GEN05 E	GEN06	GEN07	DOUAI 04
6732	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
7234	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
7774	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
8354	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
8977	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
9647	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
10370	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
11140	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
11970	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
12860	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
13820	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
14860	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
15960	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
17150	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
18430	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
19810	#/cm3	aps	mq	x	x	x	x	x	x
N1	#/cm3	somme_smpls_1 0-100	x	x	x	x	x	x	x
N2	#/cm3	somme_smpls_1 00-500	x	x	x	x	x	x	x
N	#/cm3	somme_smpls_1 0-500	x	x	x	x	x	x	x
N3	#/cm3	somme_aps_500 -20000	mq	x	x	x	x	x	x
Nt	#/cm3	somme_smpls_a ps_10-20000	mq	x	x	x	x	x	x
PM10_5 0°	µg/m3	conc_pm10_teo m	x	x	x	x	x	x	mq
PM2.5_5 0°	µg/m3	conc_pm2.5_teo m	x	x	x	x	x	x	mq
PM10F	µg/m3	conc_pm10_fdm s	mq	x	mq	mq	mq	x	mq
PM10NF	µg/m3	conc_pm10_non _volatils_fdms	mq	x	mq	mq	mq	x	mq
PM10VF	µg/m3	conc_pm10_vola tils_fdms	mq	x	mq	mq	mq	x	mq
PM2.5F	µg/m3	conc_pm2.5_fdm s	mq	mq	mq	mq	mq	x	mq
PM2.5NF	µg/m3	conc_pm2.5_non _volatils_fdms	mq	mq	mq	mq	mq	x	mq
PM2.5VF	µg/m3	conc_pm2.5_vol atils_fdms	mq	mq	mq	mq	mq	x	mq
O3	µg/m3	conc_ozone	x	x	x	x	x	x	mq
NO	µg/m3	conc_no	x	x	x	x	x	x	x

Nom_Va riable	Unité	Description	GEN03	GEN04	GEN05 H	GEN05 E	GEN06	GEN07	DOUAI 04
NO2	µg/m3	conc_no2	x	x	x	x	x	x	x
SO2	µg/m3	conc_so2	x	mq	mq	mq	mq	mq	mq
T	°C	température	x	x	x	x	x	x	x
HR	%	humidité_relative	x	x	x	x	x	x	x
HRECI P	mm	hauteur_précipita tions_h-1	x	x	x	x	x	x	x
DRECI P	min	durée_précipitati ons_h-1	mq	mq	x	x	x	x	x
RAY	W/m2	rayonnement_sol aire	x	mq	mq	mq	mq	mq	mq
DINS	min	durée_insolation _h-1	mq	x	x	x	x	x	x
Ps	hpa	pression_station	x	x	x	x	x	x	x
Pm	hpa	pression_mer	x	x	x	x	x	x	x
DV	°N	direction_vent	x	x	x	x	x	x	x
VV	m/s	vitesse_vent	x	x	x	x	x	x	x
VIS	m	visibilité	x	x	x	x	x	x	x
VIS2	m	visibilité_Roissy	x	mq	mq	mq	mq	mq	mq
Neb	octas	nébulosité	x	x	x	x	x	x	x
1/LM0	m-1	inversion_longue ur_Monin_Obukh iv_estim	x	x	x	x	x	x	x
HCLA	m	hauteur_couche_ limite_atmosphér ique_estim	x	x	x	x	x	x	x
CHI2	-	modélisation	x	x	x	x	x	x	x
Ca	#/cm3	modélisation_nb _mode_a	x	x	x	x	x	x	x
Cb	#/cm3	modélisation_nb _mode_b	x	x	x	x	x	x	x
Cc	#/cm3	modélisation_nb _mode_c	x	x	x	x	x	x	x
somme_ Ci	#/cm3	modélisation_nb _somme	x	x	x	x	x	x	x
log_siga	-	modélisation	x	x	x	x	x	x	x
log_sigb	-	modélisation	x	x	x	x	x	x	x
log_sigc	-	modélisation	x	x	x	x	x	x	x
Da	nm	modélisation_dia m_mode_a	x	x	x	x	x	x	x
Db	nm	modélisation_dia m_mode_b	x	x	x	x	x	x	x
Dc	nm	modélisation_dia m_mode_c	x	x	x	x	x	x	x

Annexe 2

Statistiques élémentaires des données de particules

MESURES APS-SMPS

Concentration en nombre (#/cm³)

GENNEVILLIERS

Var	année	n	min	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P99	max	moy	etyp
N1	2003	895	1223.3	3787.9	4888.3	7423.5	10426.5	15430.4	20785.0	27296.5	37460.2	72382.5	12304.6	7836.4
N2	2003	895	183.2	571.0	748.7	1252.6	1955.9	3137.4	4682.0	6941.5	9959.3	19415.6	2528.6	2138.9
N	2003	897	1513.2	4716.9	5926.4	8866.2	12666.7	17937.8	25951.9	32696.0	44942.2	81889.2	14868.5	9613.3
N3	2003	0	Inf	NA	#NOM?	NaN	NA							
Nt	2003	0	Inf	NA	#NOM?	NaN	NA							
N1	2004	706	774.4	1690.3	2415.1	3696.6	5865.6	9357.8	13902.6	17381.0	30290.7	36048.3	7339.6	5443.2
N2	2004	706	79.0	211.2	320.5	558.7	1167.7	1899.6	2856.5	3877.0	8963.6	13574.5	1533.8	1584.5
N	2004	805	853.3	2086.1	2919.5	4514.0	7217.7	11213.3	16888.9	20763.4	35361.4	49622.8	8908.9	6621.6
N3	2004	708	0.6	1.9	2.8	4.5	8.9	34.6	62.3	76.8	126.3	138.1	22.7	27.4
Nt	2004	706	860.4	1897.5	2714.1	4320.6	7240.2	11185.3	16809.5	22530.7	36221.9	49696.6	8896.0	6847.9
N1	2005E	553	5363.0	9757.5	12909.9	17380.9	24518.5	33880.2	44965.8	52995.8	73130.6	118790.4	27404.8	14486.4
N2	2005E	553	829.5	1504.3	1898.6	2654.6	3994.3	5937.7	8449.9	10222.9	16303.0	29909.1	4725.8	3219.5
N	2005E	553	6192.5	11327.3	15463.5	21074.5	28343.6	39191.9	52670.5	62578.3	85440.1	148699.4	32130.7	17047.6
N3	2005E	554	1.1	2.2	2.9	4.3	6.7	11.8	33.8	56.8	88.3	98.0	13.5	18.1
Nt	2005E	553	6199.2	11353.3	15477.7	21090.2	28348.4	39274.1	52679.2	62584.8	85469.6	148760.5	32144.1	17049.1
N1	2005H	1070	1345.0	3429.2	4203.7	5893.3	8502.0	12722.2	20762.7	26369.2	44630.7	61521.6	10888.2	8220.7

Var	année	n	min	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P99	max	moy	etype
N2	2005H	1070	242.7	584.8	773.1	1197.5	1875.6	3201.4	5281.3	7553.3	12949.9	15373.4	2643.4	2406.6
N	2005H	1070	1589.8	4348.6	5360.6	7215.6	10397.1	15996.1	26088.3	33685.8	54849.4	75432.6	13531.6	10338.9
N3	2005H	1080	0.8	1.9	2.6	4.5	9.0	22.1	50.4	80.9	126.3	200.2	19.6	26.0
Nt	2005H	1070	1592.6	4357.4	5368.1	7223.0	10415.2	16079.3	26272.8	33715.5	54864.0	75446.4	13551.3	10347.2
N1	2006	837	1907.4	5031.3	6072.5	8457.6	11916.9	17341.2	23968.6	27516.7	38093.7	53668.3	13666.6	7375.0
N2	2006	837	214.7	578.4	804.1	1423.3	2349.3	3754.3	5294.2	6589.6	9994.0	11580.4	2844.4	1966.7
N	2006	837	2140.1	5993.1	7422.6	10323.9	14541.7	20913.4	28424.5	33090.4	45675.9	59854.1	16511.0	8821.7
N3	2006	837	0.5	1.8	3.0	5.2	10.6	25.4	41.5	61.2	86.1	94.1	18.1	18.9
Nt	2006	837	2140.9	5998.9	7427.1	10329.0	14553.6	20926.2	28444.1	33132.1	45689.4	59859.0	16529.1	8824.9
N1	2007	856	1254.4	2722.7	4008.6	6588.6	10386.9	15498.5	22685.2	27703.1	39584.7	51416.0	12111.3	7951.9
N2	2007	856	125.5	403.4	559.8	1000.1	1865.9	3736.5	6187.6	8593.0	12496.5	14314.1	2824.1	2653.5
N	2007	856	1429.3	3246.4	4659.8	7864.2	12514.9	18815.1	28423.2	36536.2	51676.8	64147.0	14935.4	10223.1
N3	2007	947	0.4	2.3	3.4	4.8	7.6	12.2	21.7	36.9	71.3	111.0	11.4	13.1
Nt	2007	856	1431.6	3249.1	4665.0	7870.7	12520.1	18823.2	28446.9	36550.4	51703.3	64164.5	14947.0	10226.0

DOUAI

Var	année	n	min	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P99	max	moy	etype
N1	2004	763	1459.9	4375.0	5884.7	9195.9	14782.7	23076.2	36588.7	45514.9	68673.6	108119.6	18531.7	13792.8
N2	2004	763	176.8	709.7	970.2	2153.3	3309.4	4503.2	6619.6	8638.8	14512.1	19539.0	3768.7	2674.9
N	2004	763	1897.7	6031.8	7505.0	11722.4	18450.4	27574.3	42240.3	53099.5	80816.4	123369.8	22300.5	15858.4
N3	2004	763	0.5	3.9	5.0	7.9	15.6	45.6	70.6	83.0	123.3	146.6	29.0	28.0
Nt	2004	763	1905.8	6054.3	7514.2	11743.3	18494.3	27616.8	42253.9	53154.2	80857.8	123391.0	22329.4	15863.2

Concentration en nombre relative (%)

GENNEVILLIERS

Var	année	n	min	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P99	max	moy	etyp	
N1	2004	706	63.0	72.0	75.1	80.4	85.0	88.0	90.3	91.6	93.3	94.4	83.7	6.0	
N2	2004	706	5.4	8.2	9.5	11.8	14.8	19.3	24.4	27.5	33.7	36.8	16.0	5.9	
N	2004	706	97.9	99.2	99.4	99.7	99.8	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	99.7	0.3	
N3	2004	706	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.6	0.8	1.3	2.1	0.3	0.3	
Nt	2004	706	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	
N1	2005E	553	66.7	76.2	78.8	82.2	85.4	88.7	91.4	92.6	94.9	96.1	85.1	5.1	
N2	2005E	553	3.9	7.3	8.5	11.2	14.5	17.7	21.1	23.8	30.0	33.1	14.8	5.1	
N	2005E	553	98.9	99.8	99.9	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.9	0.1	
N3	2005E	553	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.7	1.1	0.1	0.1	
Nt	2005E	553	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	
N1	2005H	1070	49.7	67.8	71.8	77.0	81.5	86.1	88.8	90.0	91.8	95.9	80.9	6.9	
N2	2005H	1070	4.1	9.9	11.2	13.9	18.4	22.8	27.9	31.9	40.1	48.2	19.0	6.8	
N	2005H	1070	97.9	99.5	99.6	99.8	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.8	0.2
N3	2005H	1070	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.5	0.9	2.1	0.2	0.2	
Nt	2005H	1070	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	
N1	2006	837	53.0	69.9	72.5	78.4	84.4	88.9	91.0	92.0	93.0	94.2	83.0	7.2	
N2	2006	837	5.7	8.0	8.9	11.0	15.6	21.3	27.3	29.8	35.8	46.7	16.9	7.1	
N	2006	837	98.9	99.6	99.7	99.8	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.9	0.1	
N3	2006	837	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.7	1.1	0.1	0.1	
Nt	2006	837	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0	

Var	année	n	min	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P99	max	moy	etype
N1	2007	856	53.9	67.0	70.9	78.5	85.2	88.2	89.9	91.0	92.5	93.6	82.7	7.5
N2	2007	856	6.4	9.0	10.0	11.7	14.7	21.3	29.0	32.8	39.2	45.7	17.2	7.5
N	2007	856	98.7	99.7	99.8	99.9	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.9	0.1
N3	2007	856	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.6	1.3	0.1	0.1
Nt	2007	856	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0

DOUAI

Var	année	n	min	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P99	max	moy	etype
N1	2004	763	48.5	66.3	70.1	76.5	83.2	87.6	90.9	92.3	94.5	95.9	81.6	8.2
N2	2004	763	4.0	7.6	9.1	12.4	16.7	23.2	29.7	33.3	42.8	50.8	18.3	8.1
N	2004	763	98.4	99.4	99.6	99.8	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.2
N3	2004	763	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.9	1.6	0.2	0.2
Nt	2004	763	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0

RECONSTITUTION PAR L'ALGORITHME GA3

Concentration en nombre (#/cm³)

GENNEVILLIERS

Var	année	n	min	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P99	max	moy	etyp
Ca	2004	837	0.2	34.1	91.8	254.5	575.6	1014.9	1710.0	2229.1	3565.1	4768.0	766.5	734.4
Cb	2004	857	9.8	1268.8	1765.3	2638.5	4430.9	6723.7	10198.5	12680.8	19509.7	22695.3	5303.7	3744.0
Cc	2004	903	96.0	416.7	634.5	1337.6	2617.5	4128.0	6760.7	9960.8	19244.6	31491.5	3504.6	3633.7
Σ_{Ci}	2004	805	881.7	2275.1	3273.2	5181.7	7976.5	11982.1	17552.4	22298.8	37840.7	51141.1	9574.8	6823.6
Ca	2005E	553	0.0	212.4	519.9	1174.8	2560.3	4644.6	7099.4	9290.0	14644.7	42313.1	3467.9	3620.3
Cb	2005E	1070	0.0	3866.3	5645.5	8911.8	14448.5	21038.5	29489.6	36293.9	47949.9	79846.1	16410.7	10378.5
Cc	2005E	837	983.1	2850.1	3817.3	6144.8	11239.1	17758.5	23764.0	28195.9	42320.1	111234.6	13034.4	9550.0
Σ_{Ci}	2005E	857	6329.8	12440.9	16230.8	21989.8	29112.0	40241.0	54224.7	62148.0	87524.5	152877.2	32913.0	17172.3
Ca	2005H	897	0.0	40.0	123.5	364.9	762.4	1443.7	2284.5	2788.6	4167.1	15534.9	1046.1	1060.1
Cb	2005H	805	292.7	2011.5	2501.2	3672.5	5633.8	8385.6	13678.3	17629.8	28035.6	42921.5	7126.1	5434.1
Cc	2005H	553	83.5	1115.2	1569.0	2573.5	4512.5	7369.0	12229.9	17605.7	30872.7	44912.7	6139.7	5760.4
Σ_{Ci}	2005H	1070	1629.7	4767.0	5903.6	8015.1	11247.1	16810.1	26565.2	34770.4	56127.7	75499.0	14311.8	10417.8
Ca	2006	837	0.3	102.3	246.6	629.3	1257.3	2176.4	3331.5	4103.5	6661.3	9906.9	1593.0	1345.4
Cb	2006	857	3.5	2522.0	3377.8	5211.0	7321.4	11454.8	16032.1	20119.5	28869.6	42886.3	8930.4	5771.2
Cc	2006	897	352.2	1165.2	1713.7	3155.9	5968.8	9038.9	13103.4	15610.3	21726.9	32182.3	6761.1	4754.5
Σ_{Ci}	2006	805	2233.5	6250.6	8040.5	11087.1	15204.5	21895.2	29157.7	34328.6	46089.8	60381.8	17284.5	8935.8
Ca	2007	553	0.0	84.1	185.5	478.5	991.7	1769.0	2846.9	3519.6	5451.0	7146.0	1290.0	1137.2
Cb	2007	1070	0.0	1541.5	2271.5	3863.1	6304.9	10195.3	14849.1	18448.0	25732.1	38243.3	7679.6	5419.4
Cc	2007	837	234.0	809.9	1177.2	2563.9	5199.3	8814.3	13772.8	18884.7	28635.6	41322.6	6748.2	6008.9

Var	année	n	min	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P99	max	moy	etype
Σ_{Ci}	2007	857	1509.7	3625.0	5109.6	8457.1	13209.1	19635.1	29751.0	37433.7	51949.9	64836.9	15717.8	10374.3

DOUAI

Var	année	n	min	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P99	max	moy	etype
Ca	2004	763	0.0	72.1	171.3	489.4	1146.0	2271.2	4077.7	5797.7	8606.5	23317.2	1735.1	1961.1
Cb	2004	763	1.5	1943.7	2767.4	4768.1	8643.0	15044.1	23615.3	29434.9	43685.1	81891.3	11522.5	9848.0
Cc	2004	763	250.5	1969.1	2944.3	5263.3	8007.6	11942.5	17609.8	24144.1	39992.0	58492.8	9825.5	7640.8
Σ_{Ci}	2004	763	2351.2	6642.9	8218.4	12498.8	19324.6	28384.5	42933.5	54225.6	82959.2	123633.2	23083.1	15855.8

Diamètre (nm)

GENNEVILLIERS

Var	année	n	min	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P99	max	moy	etype
Da	2004	805	2.8	4.2	4.5	5.2	6.2	7.5	9.0	10.3	11.8	12.3	6.5	1.8
Db	2004	805	2.0	17.3	19.9	23.6	28.2	33.4	37.4	39.9	53.7	91.3	28.7	8.3
Dc	2004	805	12.5	63.8	73.0	87.2	104.9	129.3	156.1	183.7	261.0	328.9	112.2	39.8
Da	2005E	553	0.2	4.0	4.4	5.2	6.0	7.0	8.3	8.9	10.9	12.5	6.2	1.6
Db	2005E	553	1.5	8.5	12.0	18.9	26.1	32.0	37.3	40.7	54.0	75.1	25.7	10.2
Dc	2005E	553	17.6	55.5	60.5	73.0	86.1	100.2	116.4	131.4	161.0	196.9	88.2	23.9
Da	2005H	1071	0.0	4.1	4.4	5.3	6.2	7.3	8.5	9.7	11.2	12.6	6.4	1.7
Db	2005H	1071	0.0	15.6	19.6	24.5	29.5	34.4	38.5	43.3	58.4	81.7	29.5	8.8
Dc	2005H	1071	0.0	63.0	71.4	83.5	97.3	114.9	136.2	154.6	214.1	341.1	101.6	31.9
Da	2006	837	2.0	4.2	4.5	5.3	6.2	7.2	8.4	9.5	11.4	12.6	6.4	1.6
Db	2006	837	1.3	14.2	17.1	22.6	27.6	32.7	37.1	41.3	56.2	106.8	27.8	9.5

Var	année	n	min	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P99	max	moy	etype
Dc	2006	837	26.0	58.4	68.5	80.8	93.1	111.0	134.9	154.9	225.0	411.1	99.4	34.8
Da	2007	857	2.2	4.2	4.6	5.3	6.2	7.3	8.5	9.4	11.2	12.2	6.4	1.6
Db	2007	857	4.5	11.7	18.0	23.7	28.5	33.4	37.2	41.7	53.8	99.2	28.5	9.5
Dc	2007	857	24.9	55.9	64.1	77.1	90.8	108.9	130.4	147.9	199.7	335.8	95.7	30.9

DOUAI

Var	année	n	min	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P99	max	moy	etype
Da	2004	763	1.4	4.0	4.4	5.2	6.1	7.2	8.6	9.6	12.2	21.7	6.4	1.9
Db	2004	763	2.1	11.5	17.7	22.6	27.8	33.2	37.4	42.4	59.0	128.3	28.2	10.6
Dc	2004	763	29.6	48.1	61.8	75.7	88.9	103.0	116.6	127.2	172.3	208.1	90.1	24.7

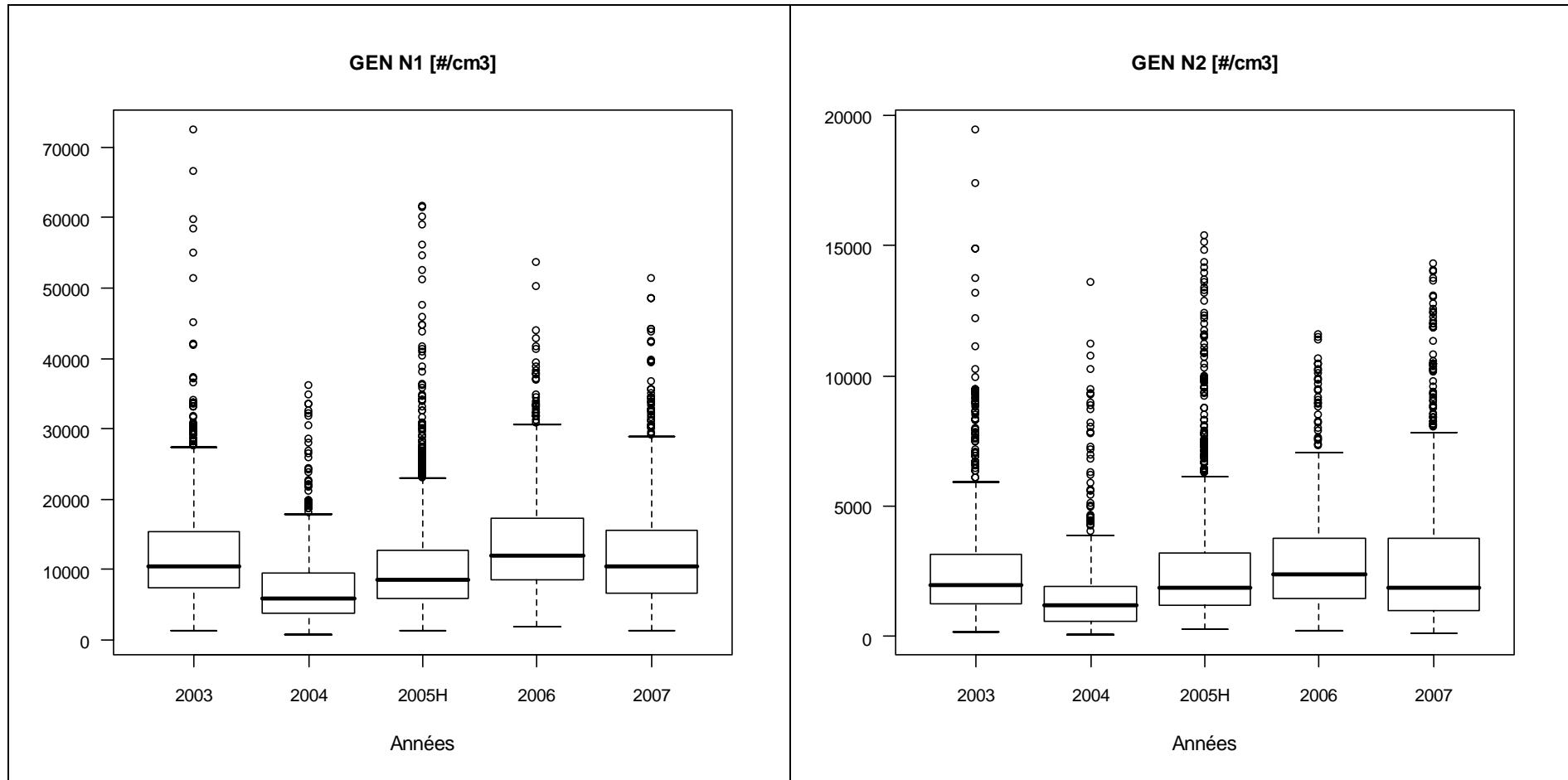
Concentration en nombre relative (%)

GENNEVILLIERS

Var	année	n	min	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P99	max	moy	etyp
Ca	2004	805	0.0	0.5	1.3	3.5	7.1	13.0	20.2	24.7	35.3	47.0	9.3	7.9
Cb	2004	805	0.1	34.5	38.7	46.8	57.3	66.9	74.2	77.6	82.7	92.8	56.7	13.8
Cc	2004	805	4.5	13.6	15.7	22.4	31.4	44.8	53.1	59.1	72.1	98.2	33.9	15.0
Σ_{Ci}	2004	805	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0
Ca	2005E	553	0.0	0.6	1.8	4.4	8.7	15.0	24.1	29.4	44.4	89.1	11.3	10.2
Cb	2005E	553	0.0	21.3	29.7	39.8	50.1	60.8	71.2	75.9	82.7	88.2	49.7	16.7
Cc	2005E	553	2.8	13.6	18.1	25.6	37.9	49.5	62.6	70.2	84.1	88.3	39.0	17.3
Σ_{Ci}	2005E	553	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0
Ca	2005H	1070	0.0	0.4	1.0	3.1	6.7	12.2	18.9	24.5	35.6	47.8	8.7	7.7
Cb	2005H	1070	4.1	27.5	32.5	39.7	50.4	61.5	70.1	74.9	81.9	87.6	50.7	14.6
Cc	2005H	1070	0.5	17.3	20.2	28.1	40.3	51.9	62.4	67.1	76.5	91.7	40.6	15.7
Σ_{Ci}	2005H	1070	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0
Ca	2006	837	0.0	0.7	1.7	4.4	8.3	14.4	23.1	27.4	39.1	54.1	10.5	8.6
Cb	2006	837	0.0	26.5	31.9	40.7	51.8	62.2	71.7	75.1	82.1	87.9	51.4	15.3
Cc	2006	837	6.6	14.5	17.1	24.2	37.1	49.7	61.9	66.9	79.6	93.7	38.1	17.0
Σ_{Ci}	2006	837	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0
Ca	2007	857	0.0	0.6	1.5	3.8	7.8	14.3	22.7	27.8	41.0	67.1	10.3	9.3
Cb	2007	857	0.0	25.9	32.3	40.5	50.5	61.2	67.8	72.1	79.9	92.0	50.1	14.7
Cc	2007	857	4.1	15.5	19.5	26.0	38.9	50.8	60.6	65.9	77.3	94.1	39.5	16.1
Σ_{Ci}	2007	857	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0

DOUAI

Var	année	n	min	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P99	max	moy	etype
Ca	2004	763	0.0	0.4	1.1	2.8	6.3	11.1	16.5	21.3	38.9	62.9	8.1	7.5
Cb	2004	763	0.0	20.3	25.0	35.6	47.8	59.7	69.1	73.3	82.7	87.6	47.6	16.9
Cc	2004	763	7.6	16.4	22.3	29.9	43.5	56.5	69.1	75.1	85.2	92.5	44.3	17.8
$\Sigma_{-} Ci$	2004	763	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0



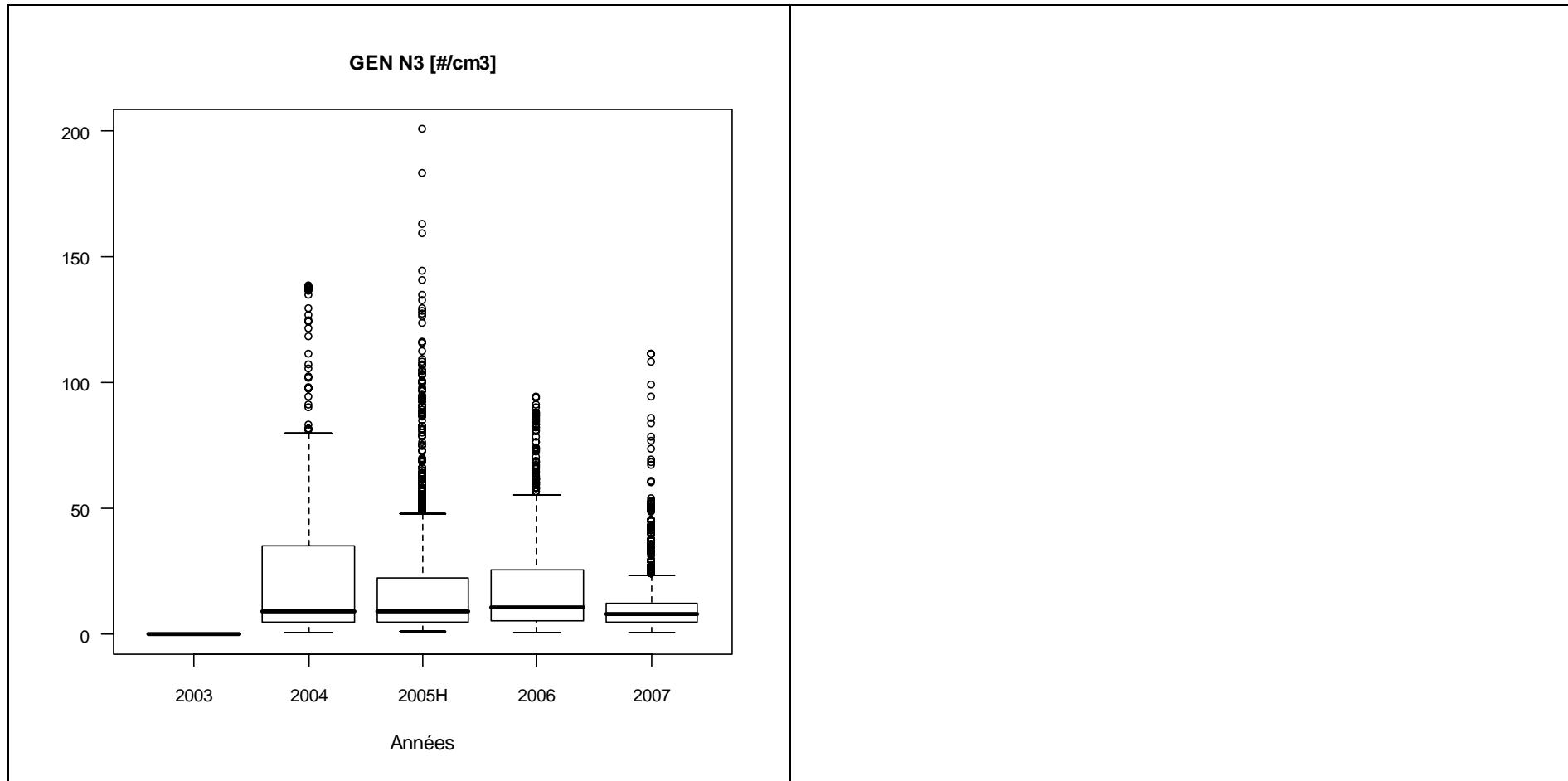


Figure 22 – Boîtes à moustaches des concentrations numériques de particules des classes 10 à 100 nm (N1), 100 à 500 nm (N2) et 500 nm à 20 µm (N3, pas de mesure en 2003). Campagnes hivernales de 2004 à 2007 à Gennevilliers.

MESURES PAR TEOM 50°C ET PAR TEOM-FDMS

Concentration en masse ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

GENNEVILLIERS

Var	année	n	min	P5	P10	P25	P50	P75	P90	P95	P99	max	moy	etyp
PM10_50°	2003	865	0.7	8.7	11.6	18.5	26.4	38.6	56.2	66.1	99.8	157.3	30.9	19.6
PM2.5_50°	2003	847	0.7	5.0	6.7	10.0	15.3	25.5	35.5	44.5	62.6	77.4	19.1	12.9
PM10F	2003	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM10NF	2003	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM10VF	2003	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM2.5F	2003	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM2.5NF	2003	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM2.5VF	2003	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM10_50°	2004	750	1.6	6.7	9.4	12.5	18.3	28.2	39.3	52.8	78.4	132.7	22.5	15.7
PM2.5_50°	2004	701	0.2	3.2	4.6	7.2	11.3	18.3	28.5	35.1	52.9	77.4	14.3	10.4
PM10F	2004	239	2.8	5.6	7.5	10.0	21.6	36.0	53.9	61.0	73.0	75.6	25.4	18.1
PM10NF	2004	239	0.6	5.3	6.7	10.6	21.3	46.1	61.7	70.4	83.3	86.0	29.7	22.0
PM10VF	2004	239	-29.0	-20.2	-17.3	-9.9	-1.4	0.5	2.8	9.1	12.3	14.5	-4.4	8.4
PM2.5F	2004	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM2.5NF	2004	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM2.5VF	2004	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM10_50°	2005E	533	1.6	7.2	8.9	13.0	18.2	24.8	34.3	41.6	59.9	96.1	20.3	11.1
PM2.5_50°	2005E	553	0.7	3.5	4.5	6.4	8.5	12.5	17.7	20.0	29.8	47.8	10.0	5.7
PM10F	2005E	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

PM10NF	2005E	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM10VF	2005E	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM2.5F	2005E	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM2.5NF	2005E	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM2.5VF	2005E	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM10_50°	2005H	958	0.9	6.2	7.7	11.1	17.0	28.7	40.5	53.9	76.8	139.1	21.7	15.8	
PM2.5_50°	2005H	992	0.5	4.0	4.8	7.2	11.7	18.8	27.6	34.9	52.9	59.9	14.5	10.3	
PM10F	2005H	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM10NF	2005H	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM10VF	2005H	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM2.5F	2005H	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM2.5NF	2005H	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM2.5VF	2005H	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM10_50°	2006	702	1.1	6.0	8.4	12.3	19.4	27.0	42.1	57.9	90.8	105.5	23.0	16.7	
PM2.5_50°	2006	701	0.0	2.5	3.8	6.7	11.7	17.8	24.8	29.5	47.3	99.3	13.4	10.1	
PM10F	2006	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM10NF	2006	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM10VF	2006	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM2.5F	2006	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM2.5NF	2006	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM2.5VF	2006	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM10_50°	2007	935	-0.6	5.1	8.4	12.7	18.0	26.4	37.5	46.7	67.8	120.3	21.0	13.4	
PM2.5_50°	2007	939	0.1	3.1	4.7	6.9	10.0	15.1	23.4	30.3	40.3	46.1	12.3	8.2	

PM10F	2007	937	3.6	7.6	10.6	15.3	22.3	35.3	59.8	71.7	90.9	153.2	28.5	20.0
PM10NF	2007	940	0.1	5.6	8.3	12.7	18.9	30.0	47.8	61.3	80.2	137.9	24.0	17.4
PM10VF	2007	940	-20.1	-13.5	-9.8	-5.9	-3.4	-1.7	-0.6	-0.1	1.3	3.4	-4.4	4.0
PM2.5F	2007	627	0.0	2.9	4.6	6.8	10.4	20.2	44.5	54.8	65.5	76.0	17.1	15.9
PM2.5NF	2007	627	-0.9	1.8	3.1	5.6	8.4	15.9	33.3	43.9	53.9	61.5	13.4	12.5
PM2.5VF	2007	627	-18.9	-14.6	-9.4	-5.1	-2.4	-0.8	0.4	1.0	1.7	2.7	-3.6	4.3

DOUAI

Pas de données.

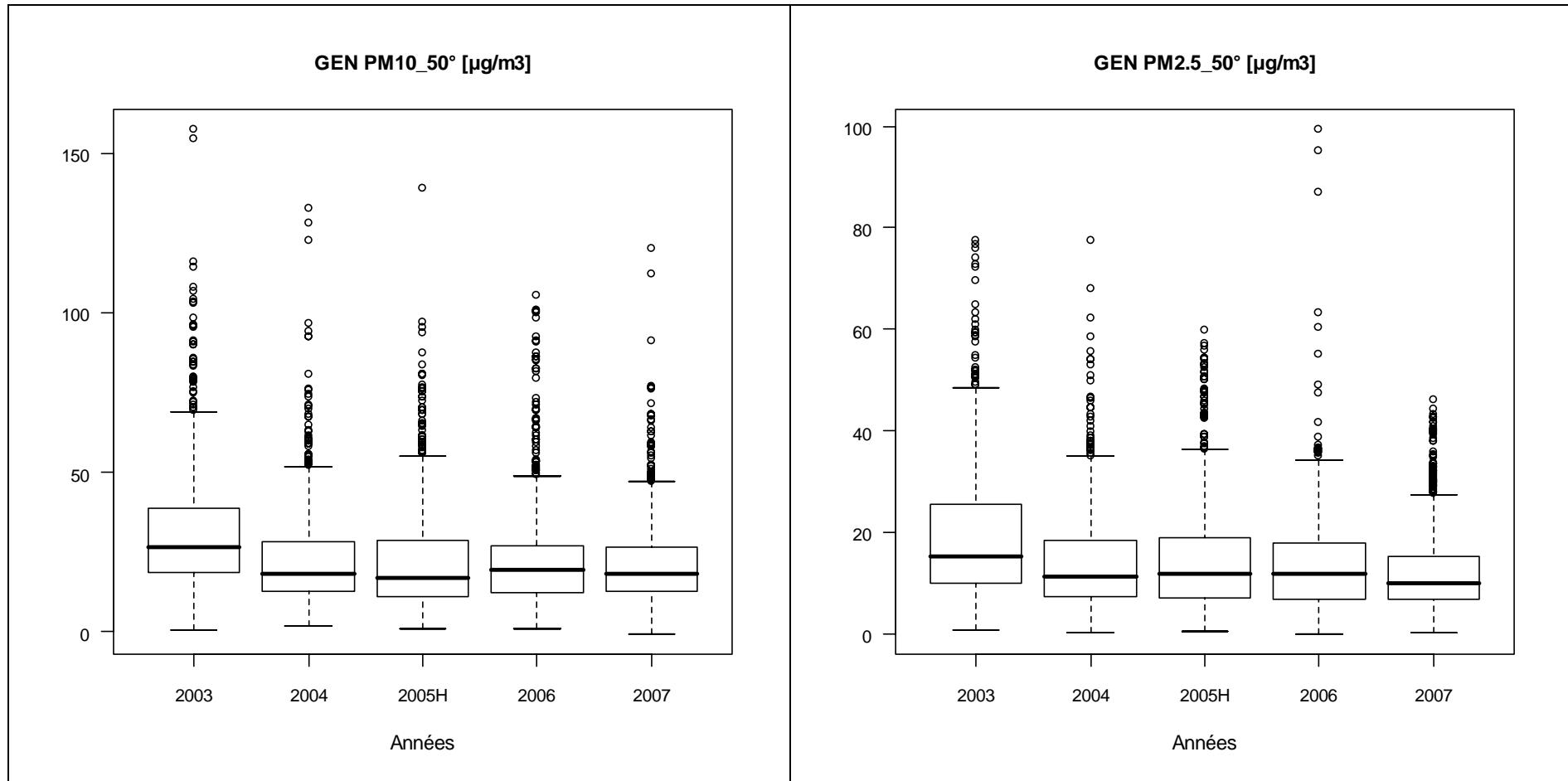


Figure 23 – Boîtes à moustaches des concentrations massiques de PM_{10} et de $PM_{2.5}$ mesurées par TEOM 50°C. Campagnes hivernales de 2004 à 2007 à Gennevilliers.

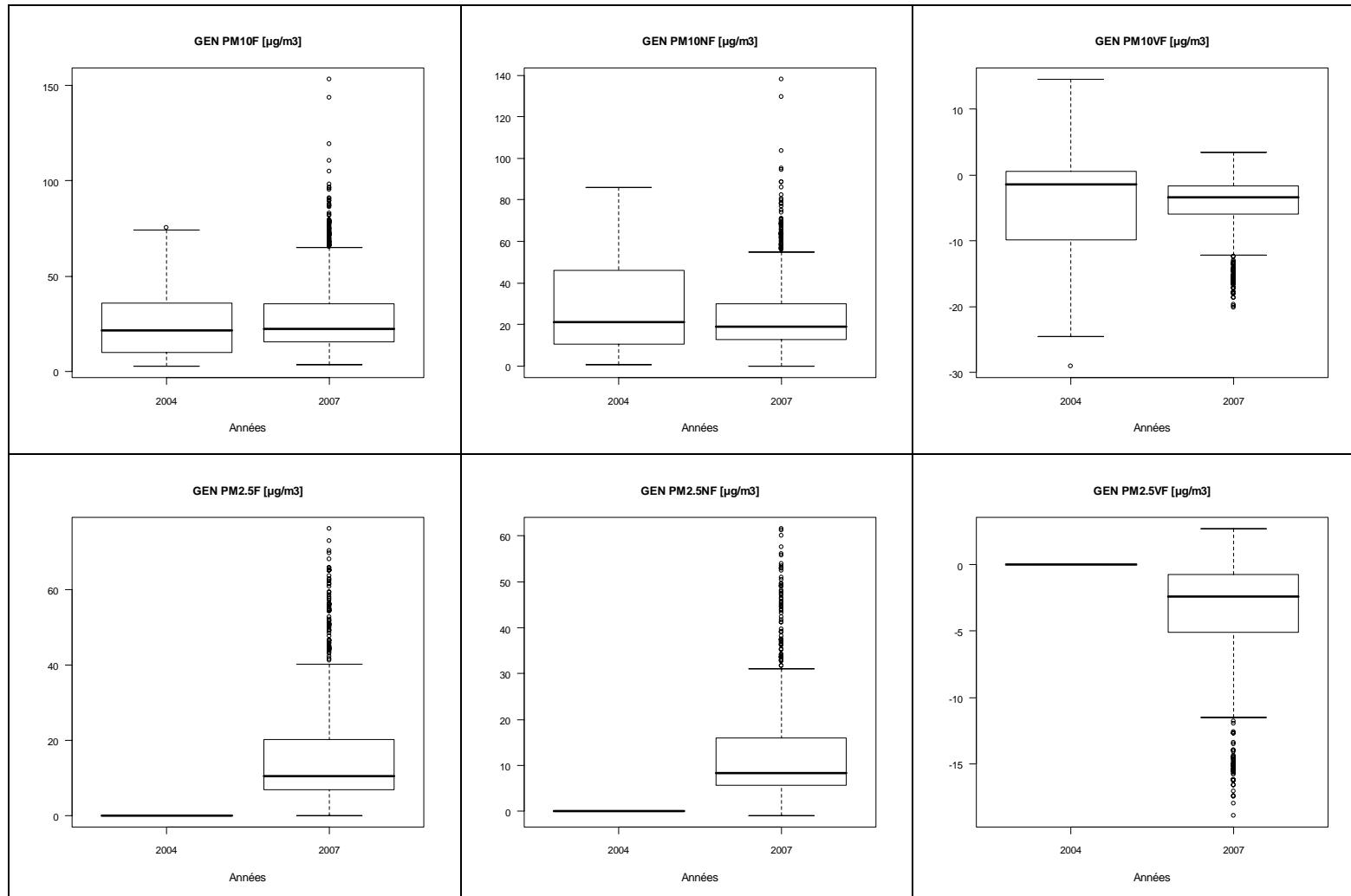


Figure 24 – Boîtes à moustaches des concentrations massiques de PM₁₀ et de PM_{2.5} mesurées par TEOM FDMS (N : fraction non volatile, V : fraction volatile). Campagnes hivernales de 2004 et 2007 à Gennevilliers.

Annexe 3

Profils journaliers

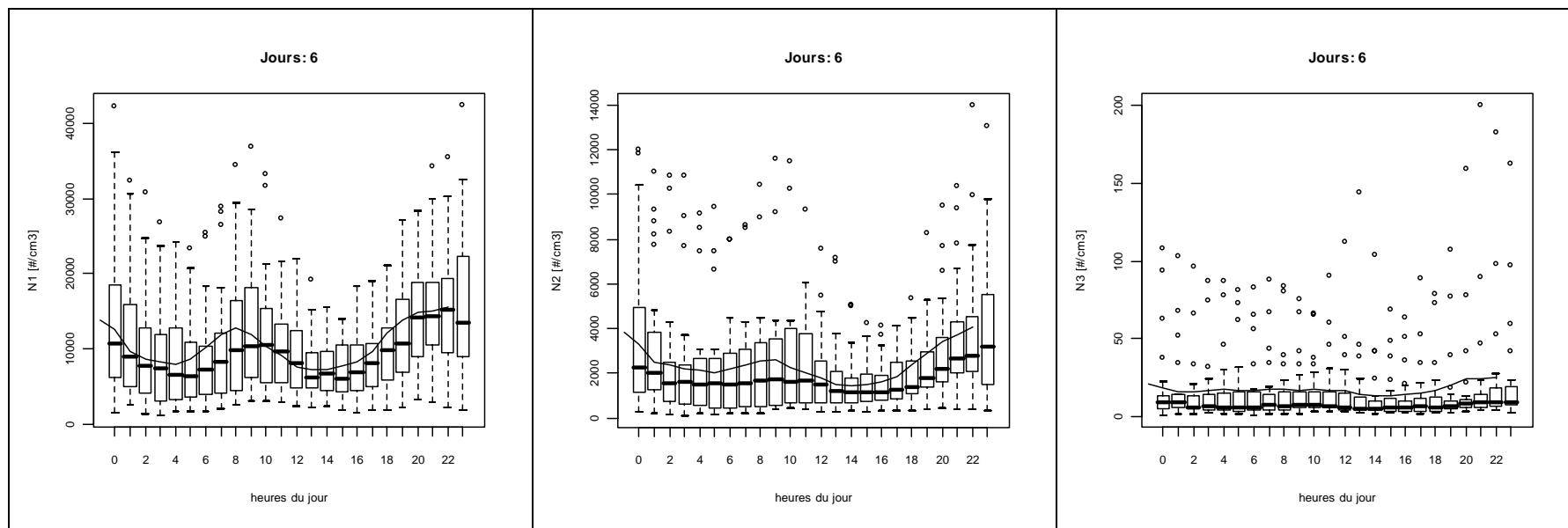


Figure 25 – Profil journalier des concentrations en nombre de particules. De haut en bas et de gauche à droite : classe 10-100 nm ; classe 100-500 nm ; classe 500 nm – 20 µm ; les trois classes. **Samedi.** Moyenne des hivers 2003 à 2007 à Gennevilliers.

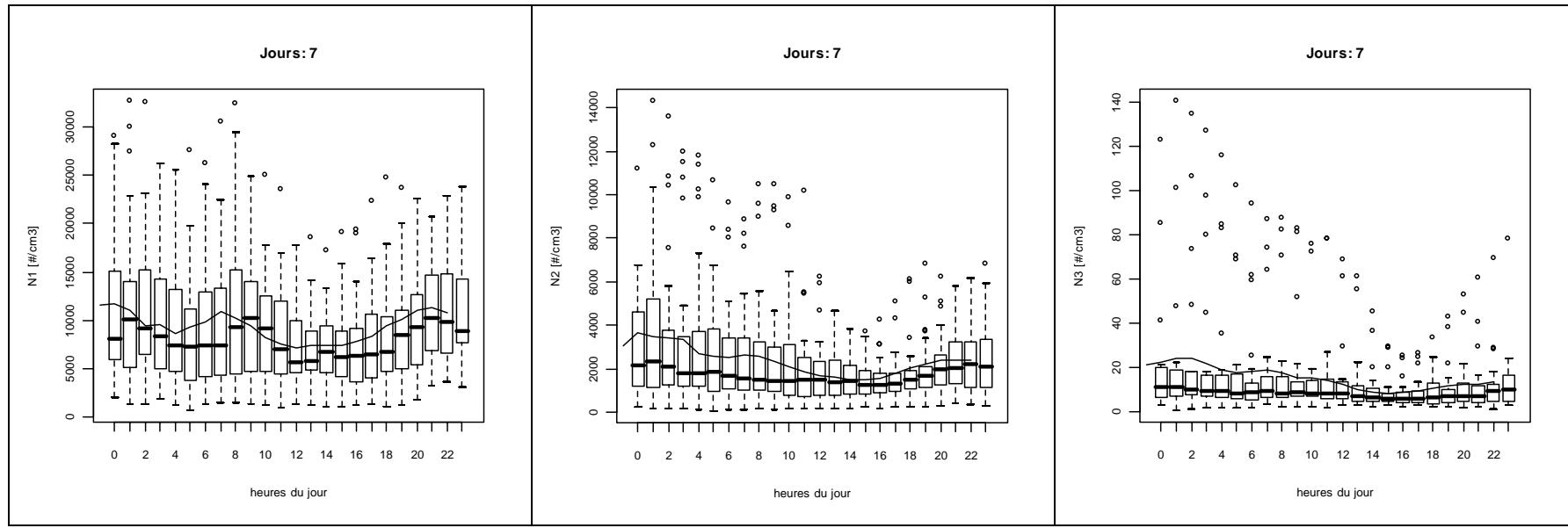


Figure 26 – Profil journalier des concentrations en nombre de particules. De haut en bas et de gauche à droite : classe 10-100 nm ; classe 100-500 nm ; classe 500 nm – 20 µm ; les trois classes. Dimanche. Moyenne des hivers 2003 à 2007 à Gennevilliers.

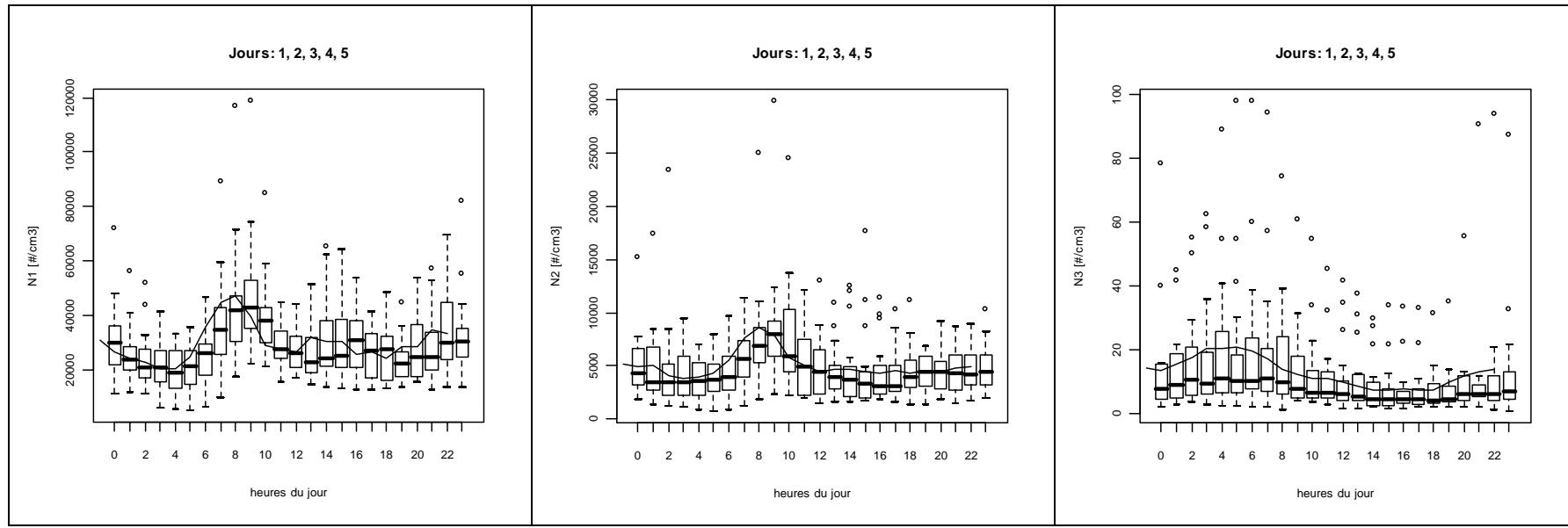


Figure 27 – Profil journalier des concentrations en nombre de particules. De haut en bas et de gauche à droite : classe 10-100 nm ; classe 100-500 nm ; classe 500 nm – 20 µm ; les trois classes. **Jours ouvrés**. Eté 2005 à Gennevilliers.

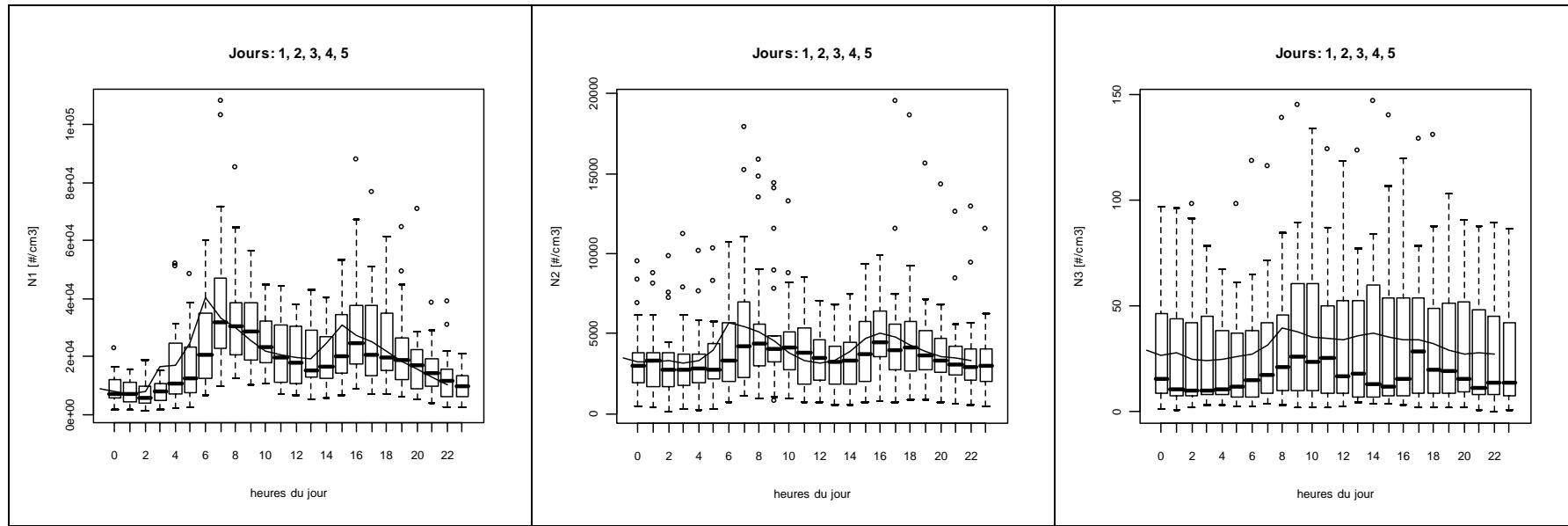


Figure 28 – Profil journalier des concentrations en nombre de particules. De haut en bas et de gauche à droite : classe 10-100 nm ; classe 100-500 nm ; classe 500 nm – 20 μm ; les trois classes et la hauteur de couche limite atmosphérique (variables normalisées). Jours ouvrés. Automne 2004 à Douai.

Etant donné le petit nombre de données disponibles pour ce calcul, les profils journaliers du samedi et du dimanche ne sont pas représentés pour la campagne estivale de Gennevilliers et la campagne automnale de Douai.

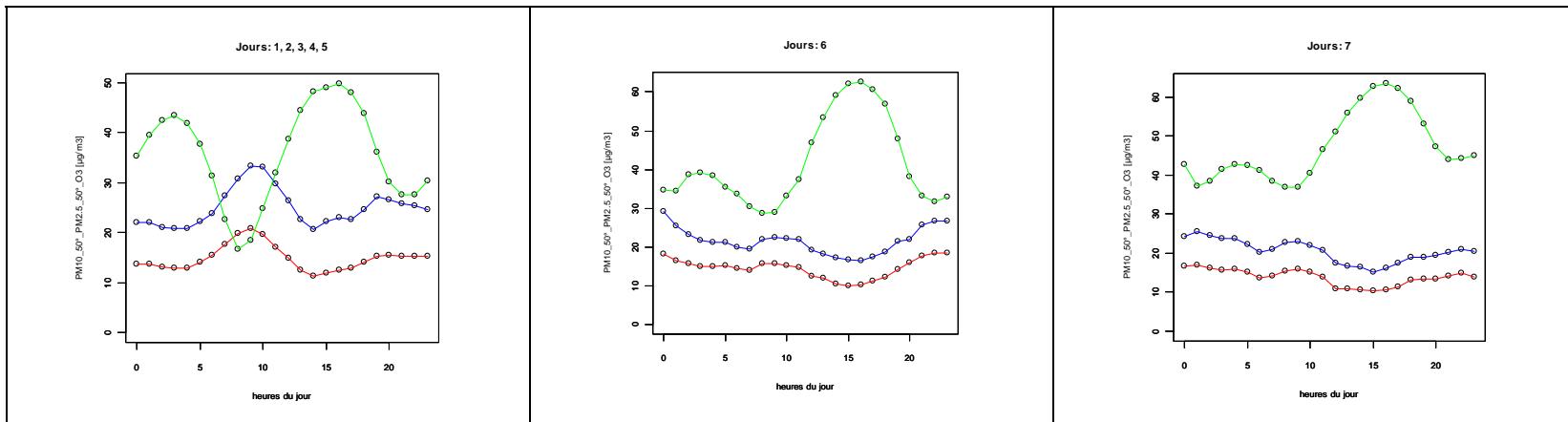


Figure 29 - Profil journalier des concentrations massiques de PM₁₀, PM_{2.5} et ozone. Moyenne des hivers 2004 à 2007 à Gennevilliers. De gauche à droite : jours ouvrés, samedi, dimanche.

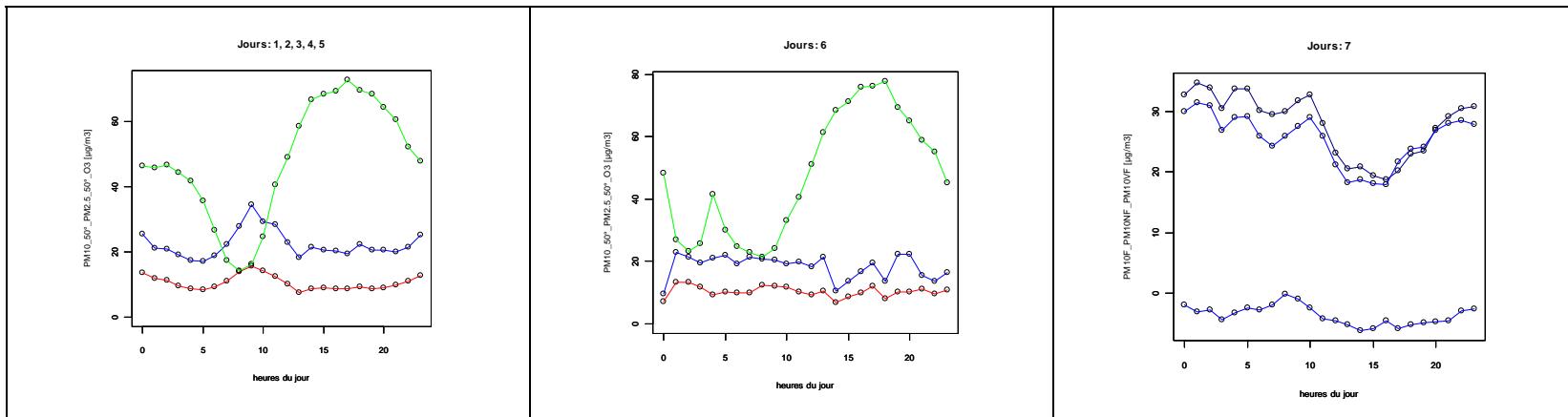


Figure 30 - Profil journalier des concentrations massiques de PM₁₀, PM_{2.5} et d'ozone. Eté 2005 à Gennevilliers. De gauche à droite : jours ouvrés, samedi, dimanche.

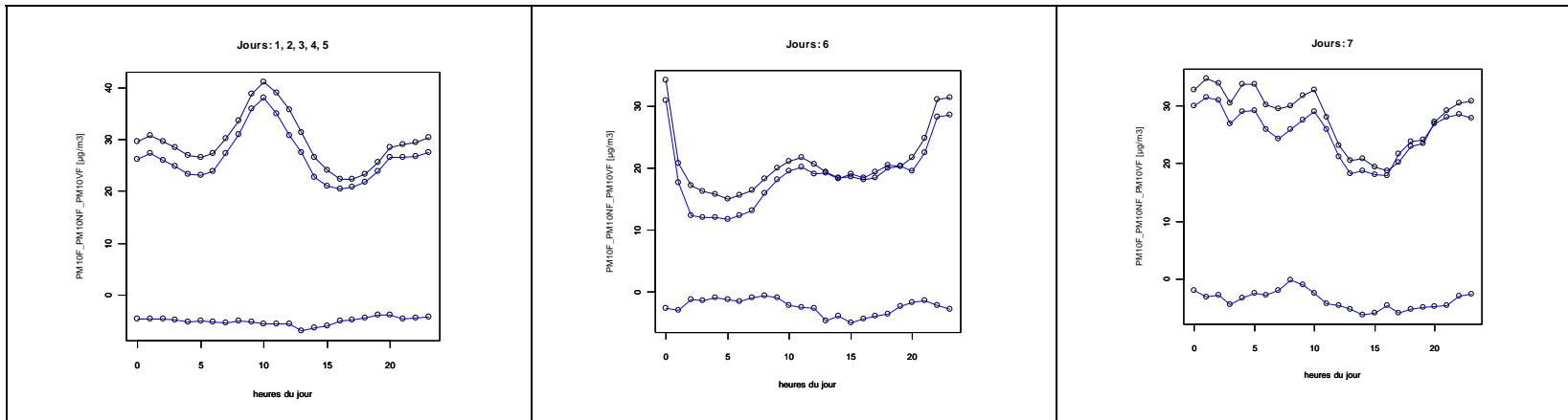


Figure 31 - Profil journalier des concentrations massiques de PM_{10} mesurées par TEOM-FDMS (total, fraction non volatile et fraction volatile). Moyenne des deux hivers 2004 et 2007 à Gennevilliers. De gauche à droite : jours ouvrés, samedi, dimanche.

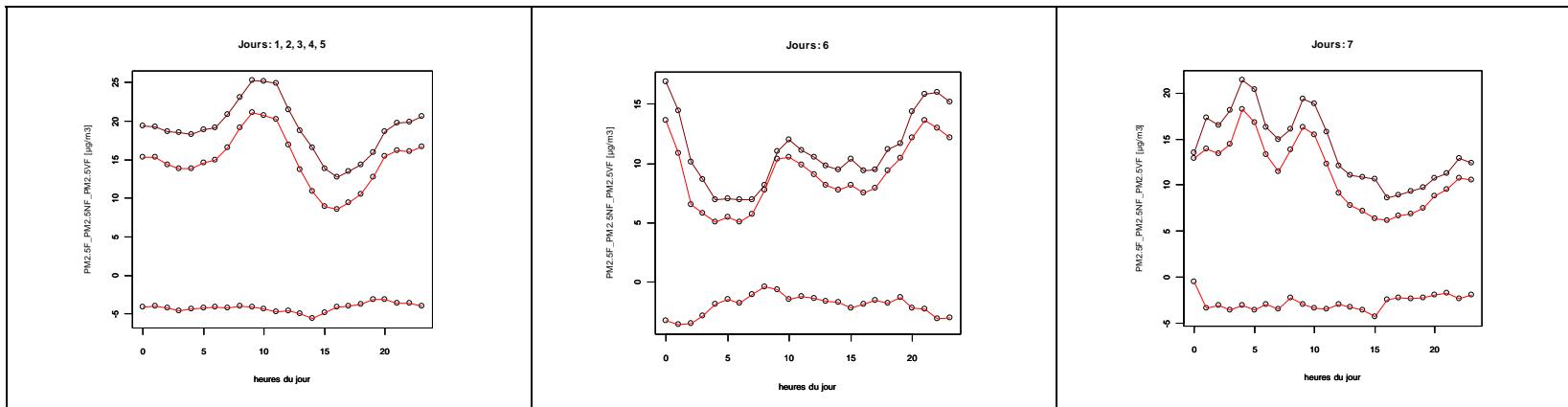


Figure 32 - Profil journalier des concentrations massiques de $PM_{2.5}$ mesurées par TEOM-FDMS (total, fraction non volatile et fraction volatile). Hiver 2007 à Gennevilliers. De gauche à droite : jours ouvrés, samedi, dimanche.

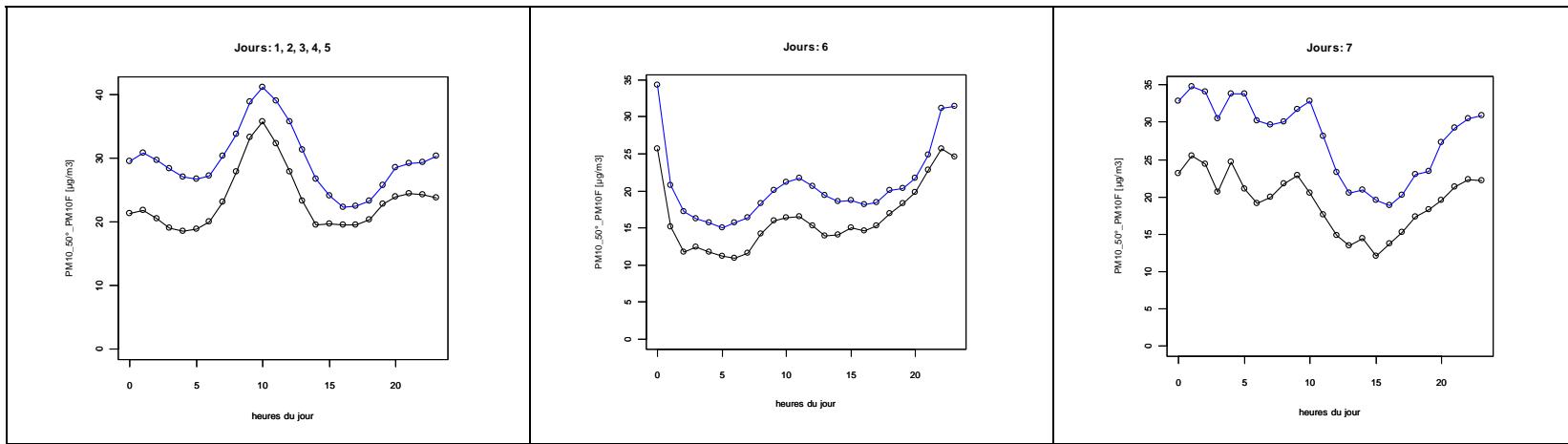
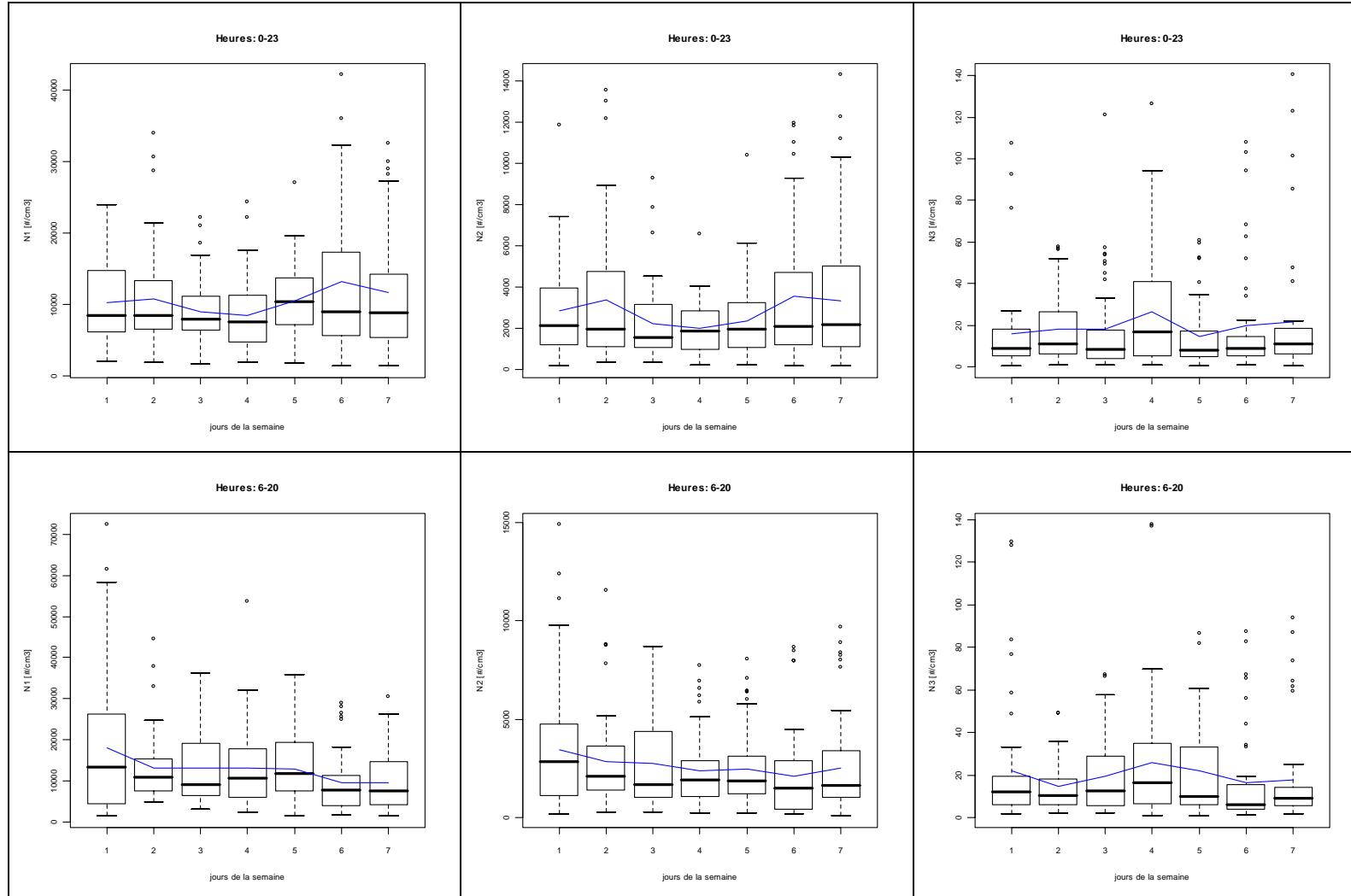


Figure 33 - Profil journalier des concentrations massiques de PM_{10} mesurées par TEOM_50°C (noir) et par TEOM-FDMS (total, en bleu). Moyenne des deux hivers 2004 et 2007 à Gennevilliers. De gauche à droite : jours ouvrés, samedi, dimanche

Annexe 4
Profils hebdomadaires



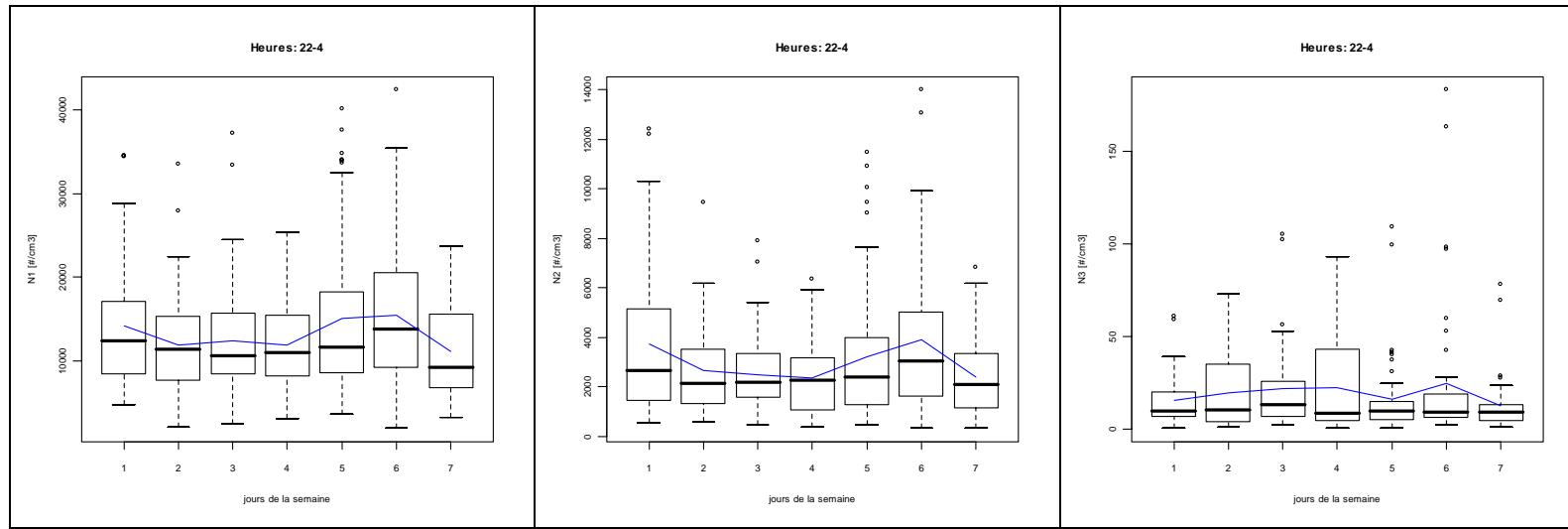
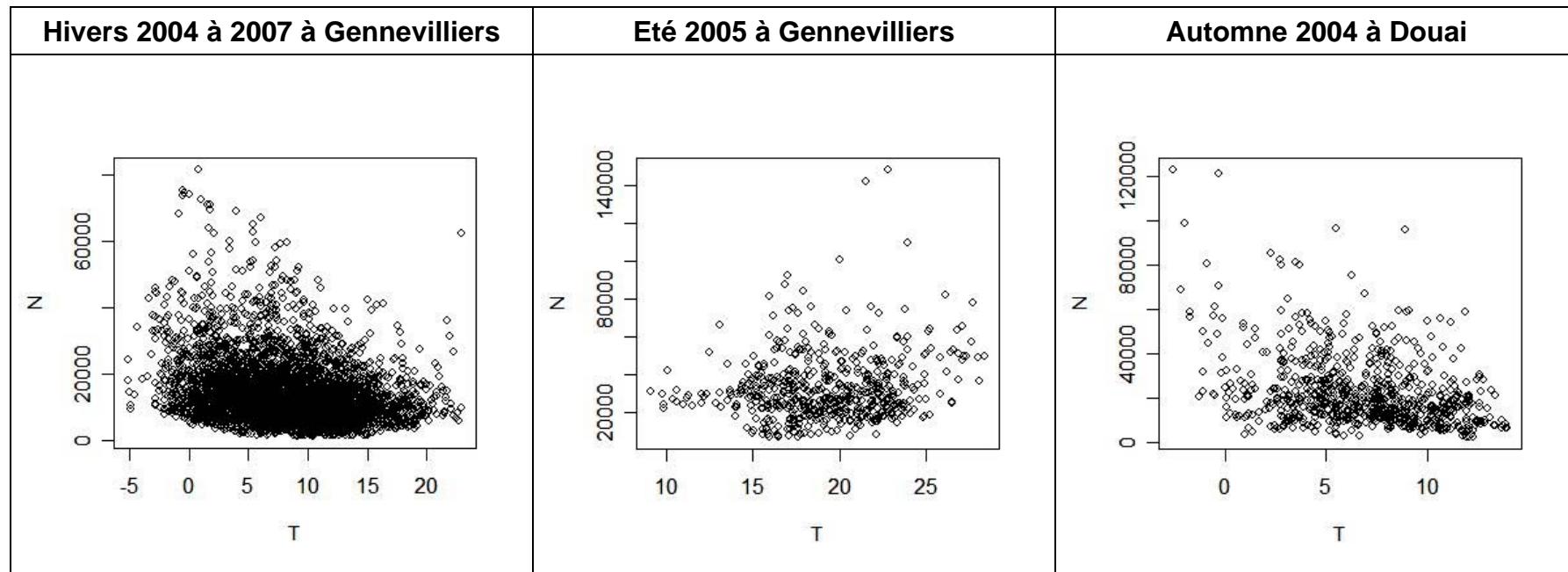
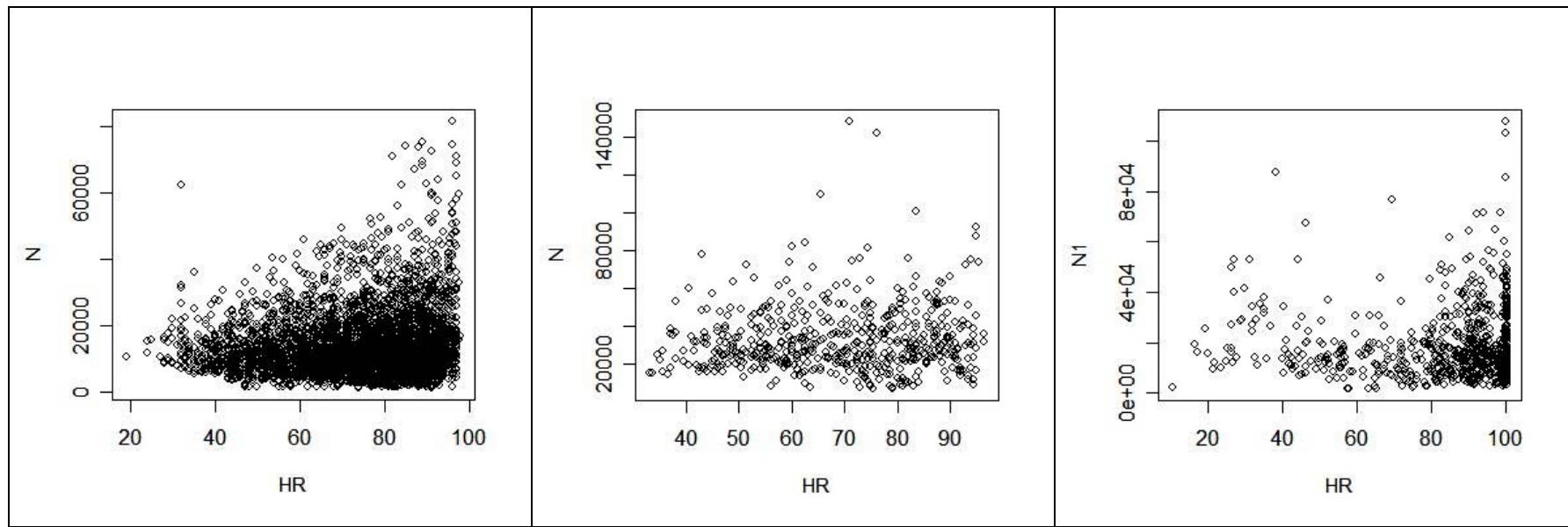


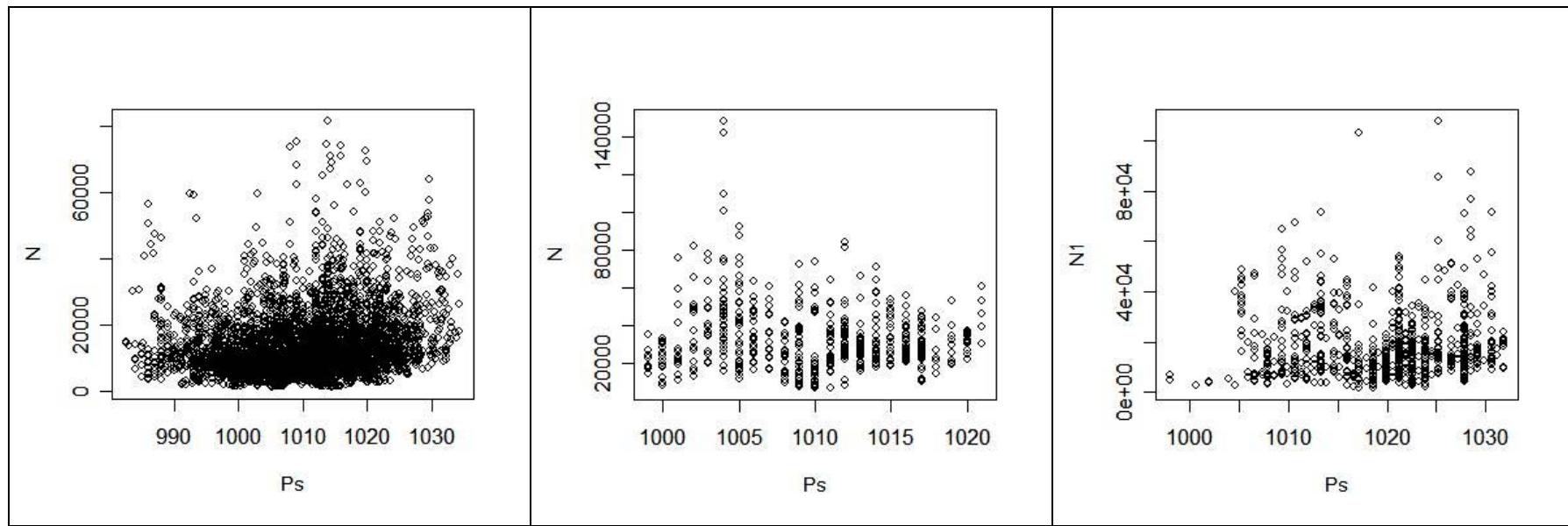
Figure 34 - Profil hebdomadaire des concentrations en nombre de particules. Boîtes à moustaches et valeur moyenne (ligne bleue).
De haut en bas : toutes heures confondues ; tranche 6h-20h ; tranche 22h-4h. De gauche à droite : classe 10-100 nm ; classe 100-500 nm ; classe 500 nm – 20 µm. Moyenne des hivers 2003 à 2007 à Gennevilliers.

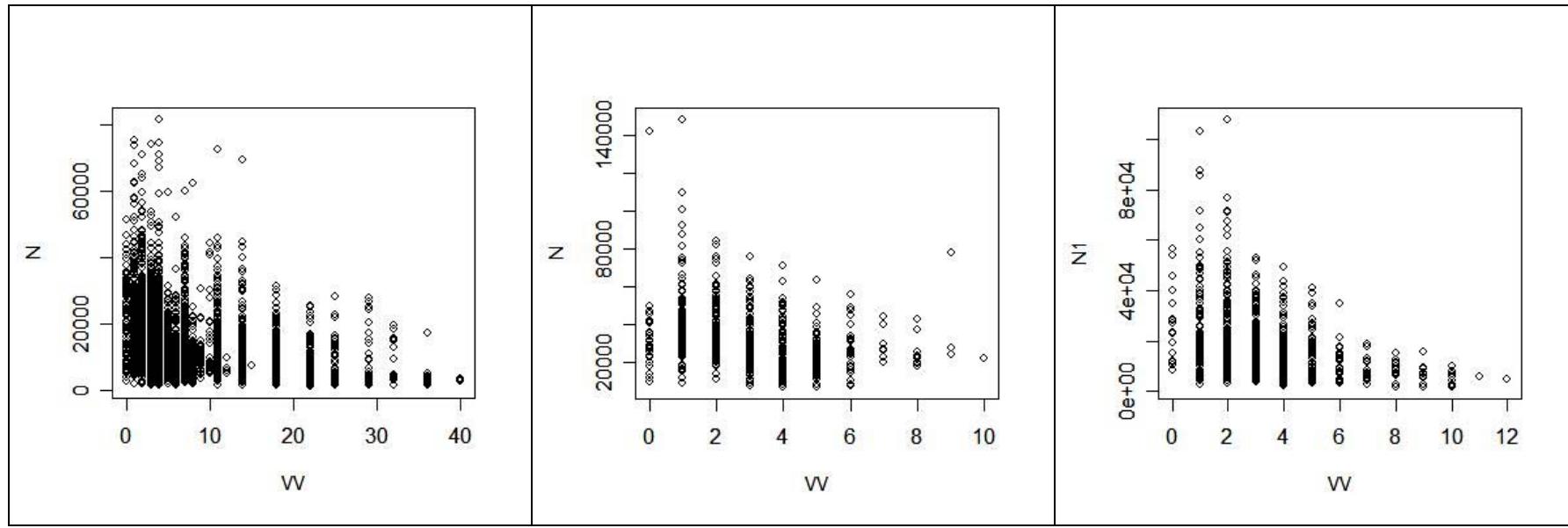
Annexe 5

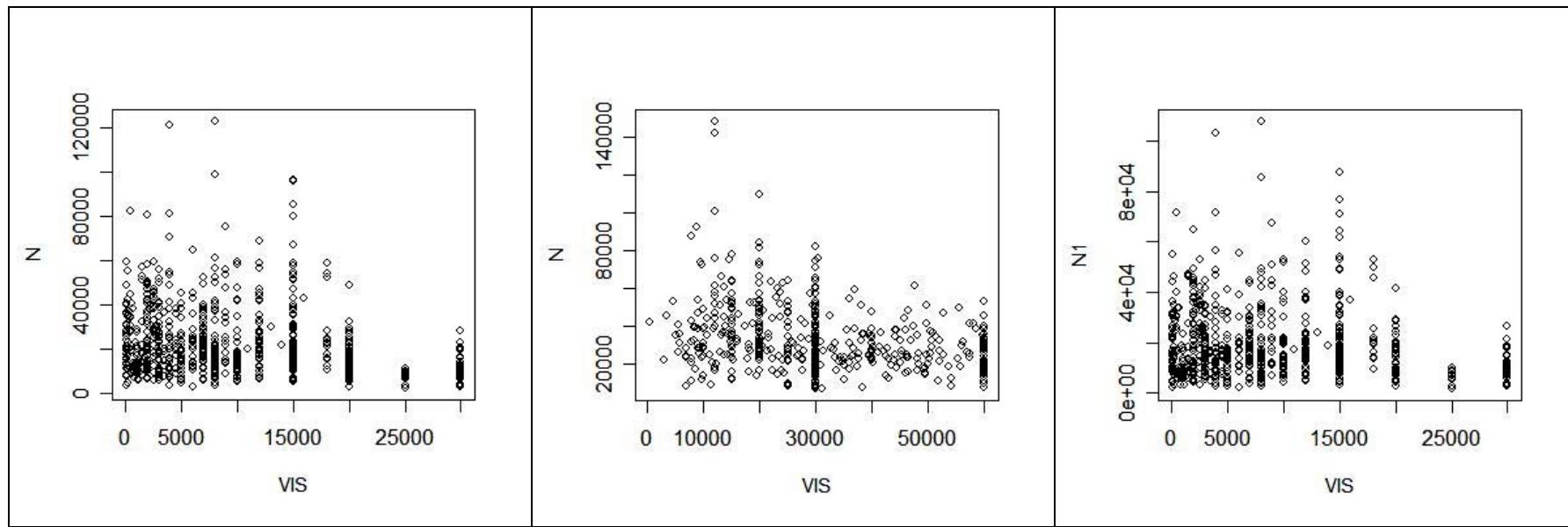
Nuages de corrélation

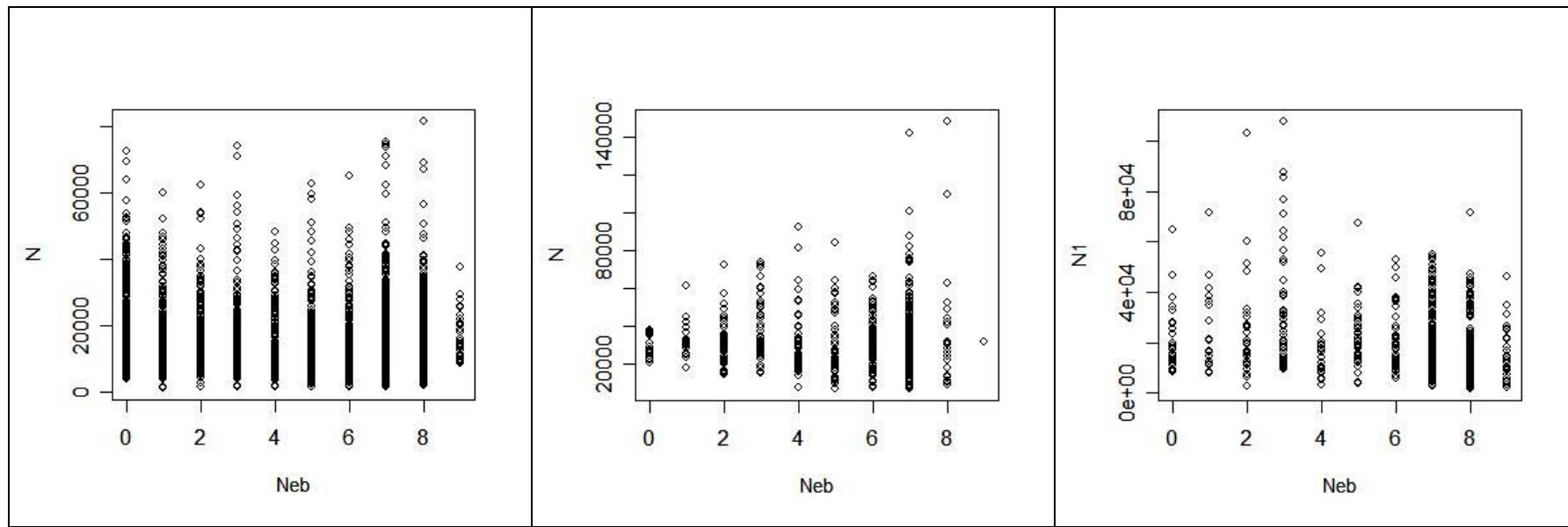












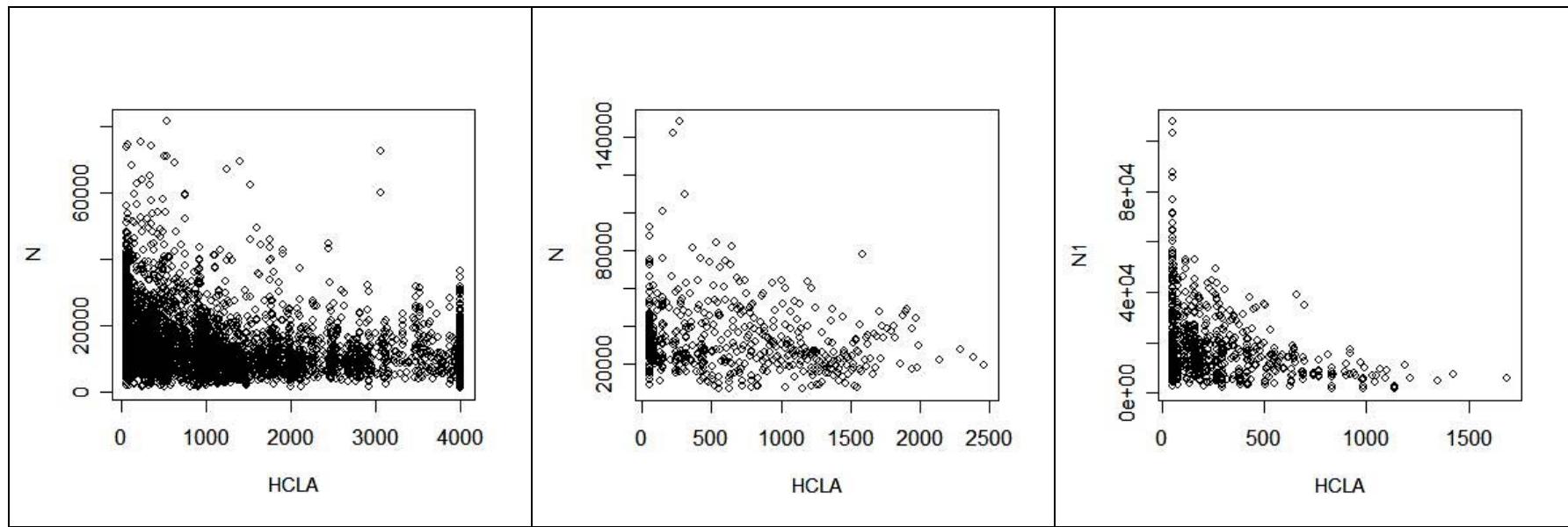
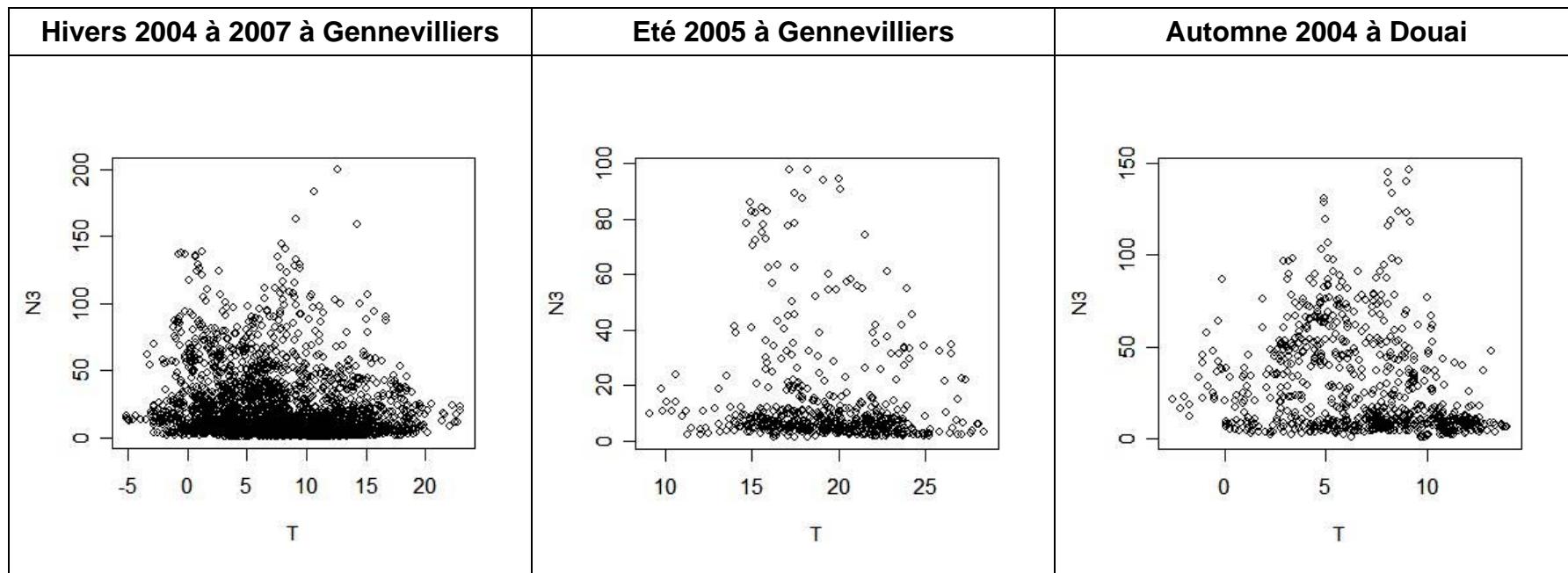
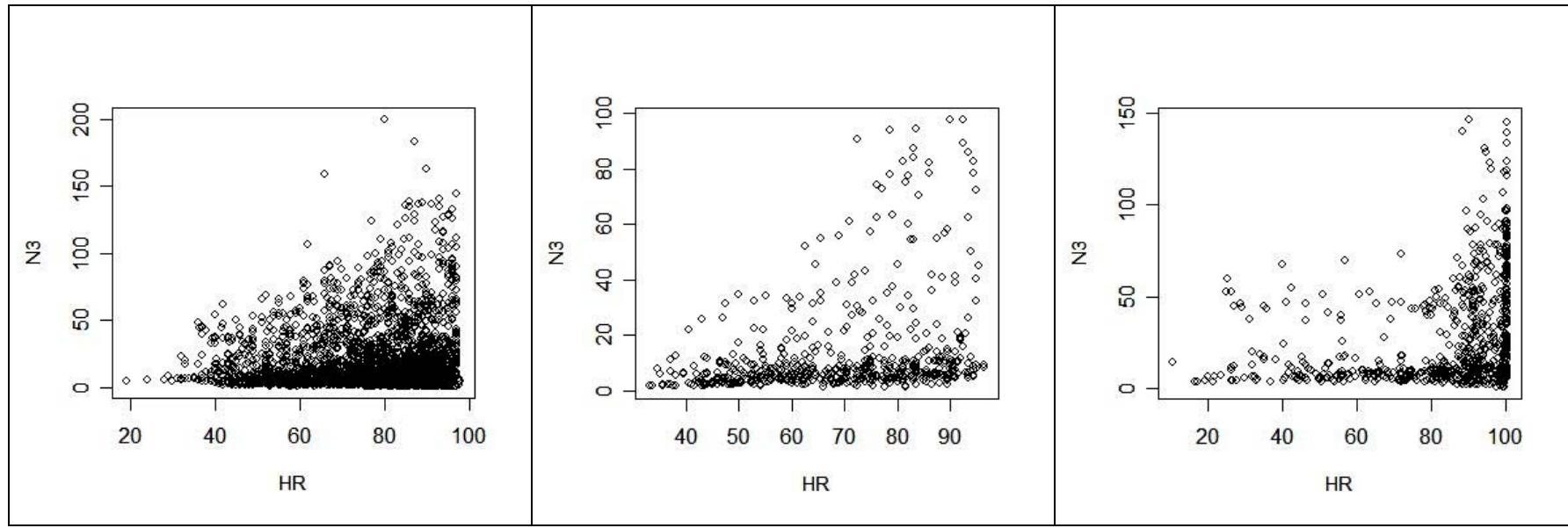
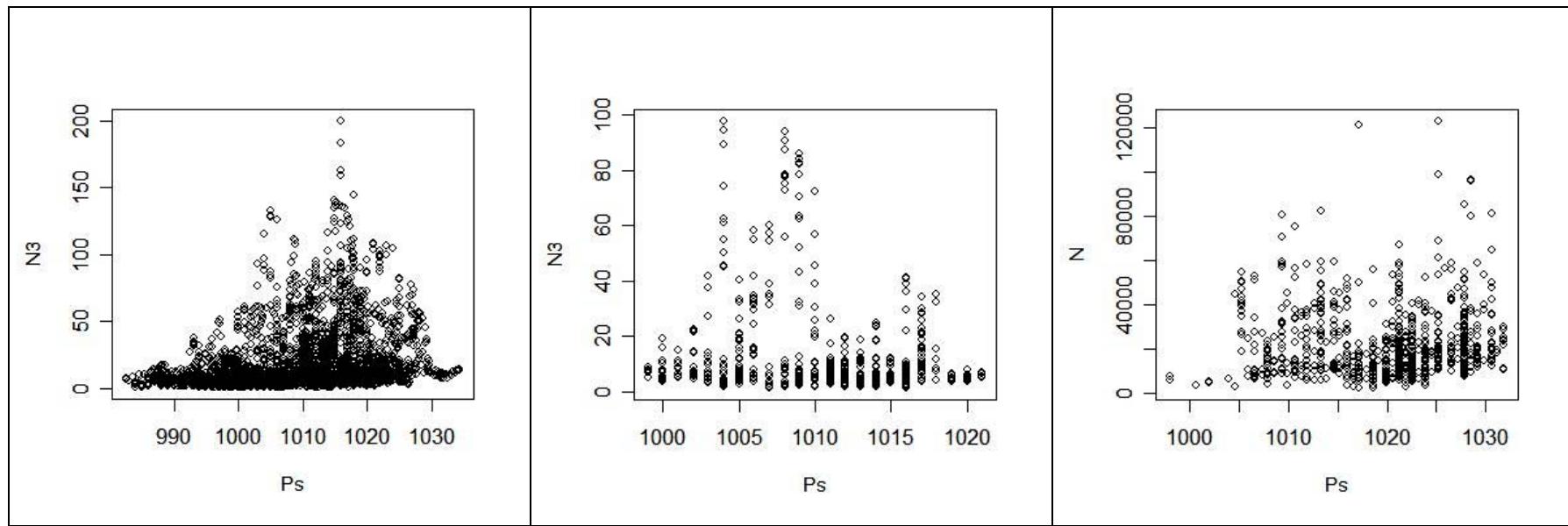
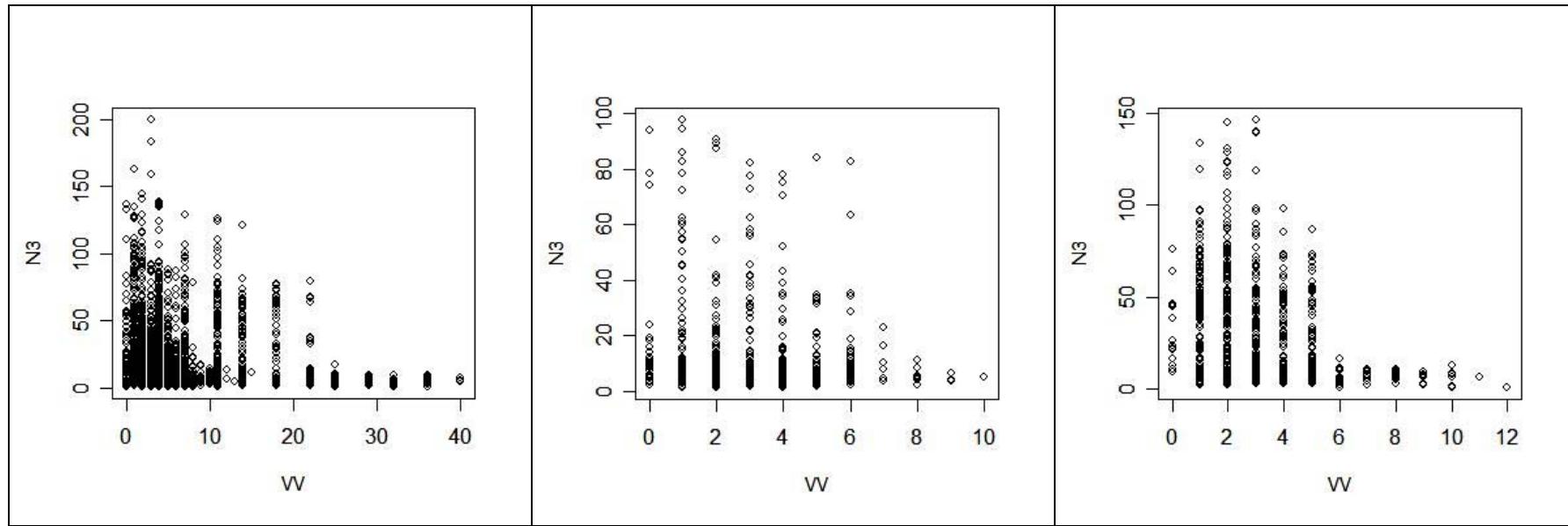


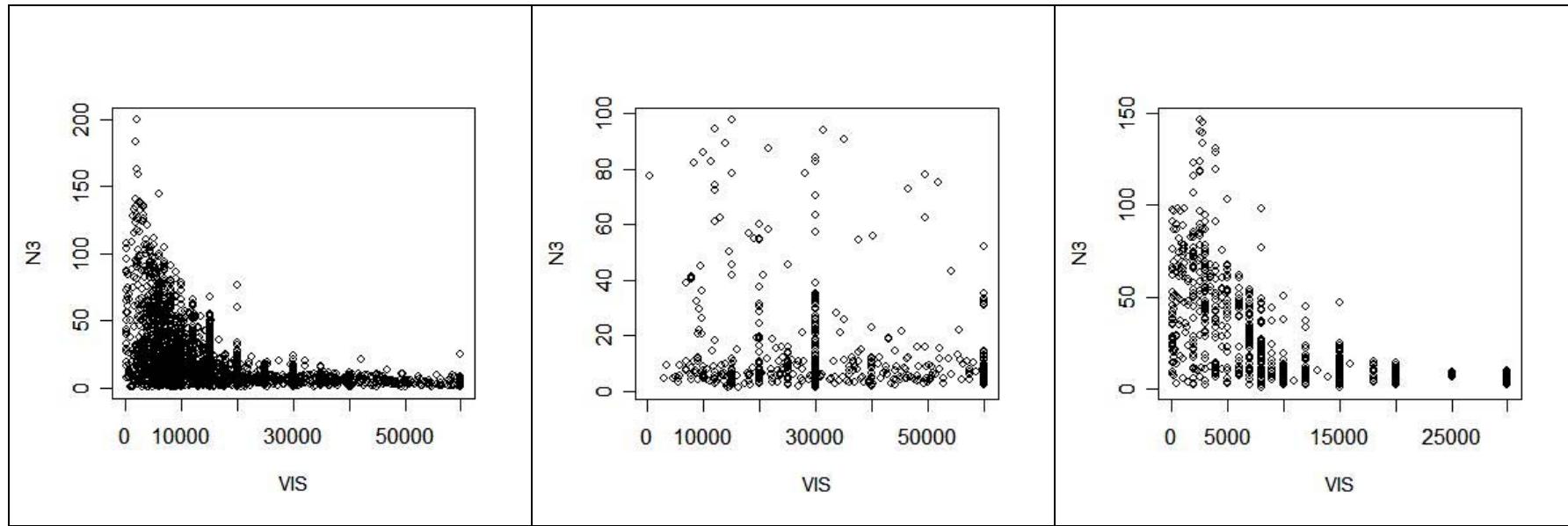
Figure 35 – Corrélation entre les concentrations en nombre de particules de la classe 10-500 nm (N) et les variables météorologiques. Tous types de jours et toutes heures confondues.

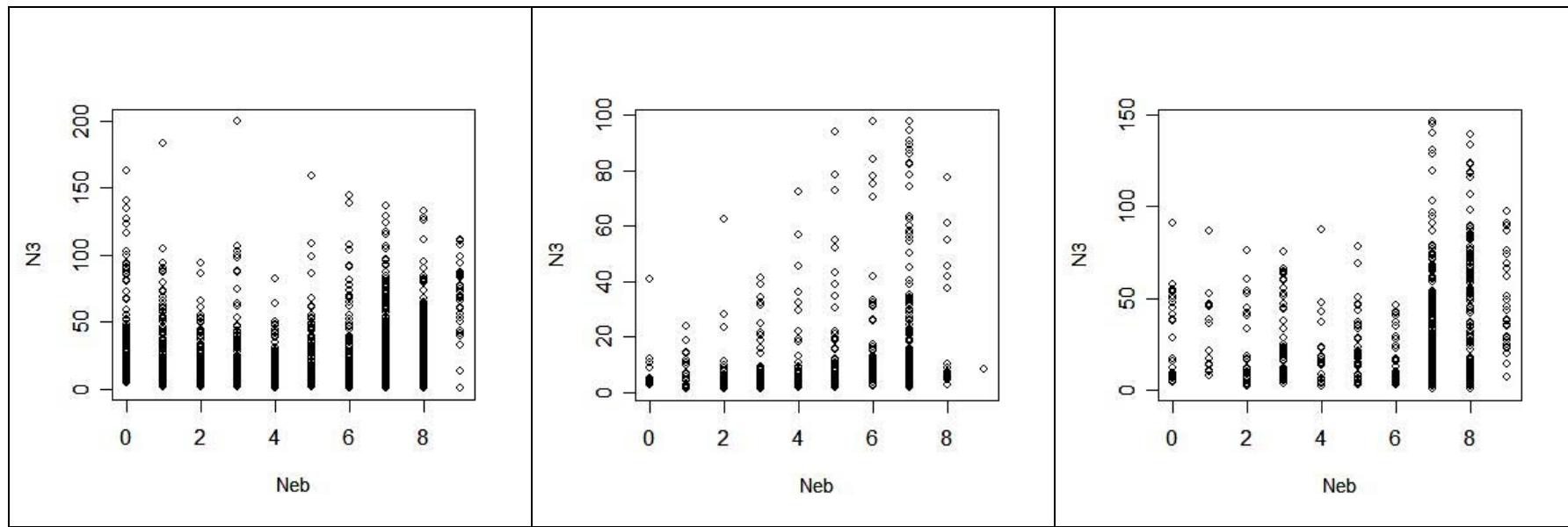












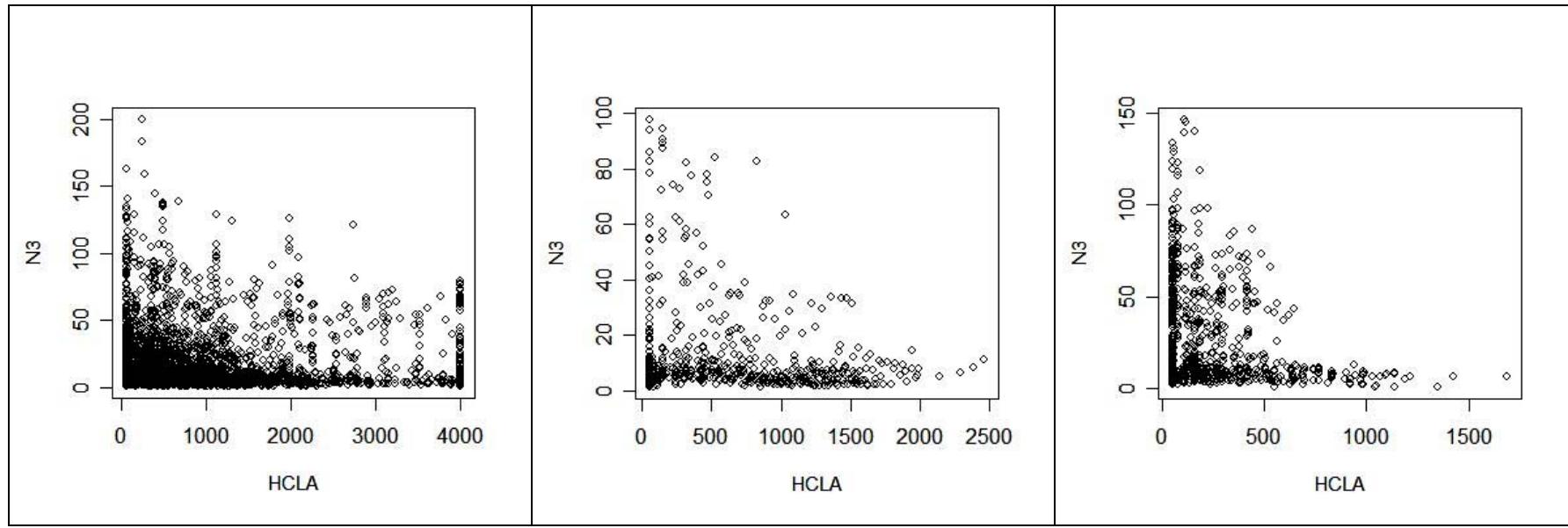
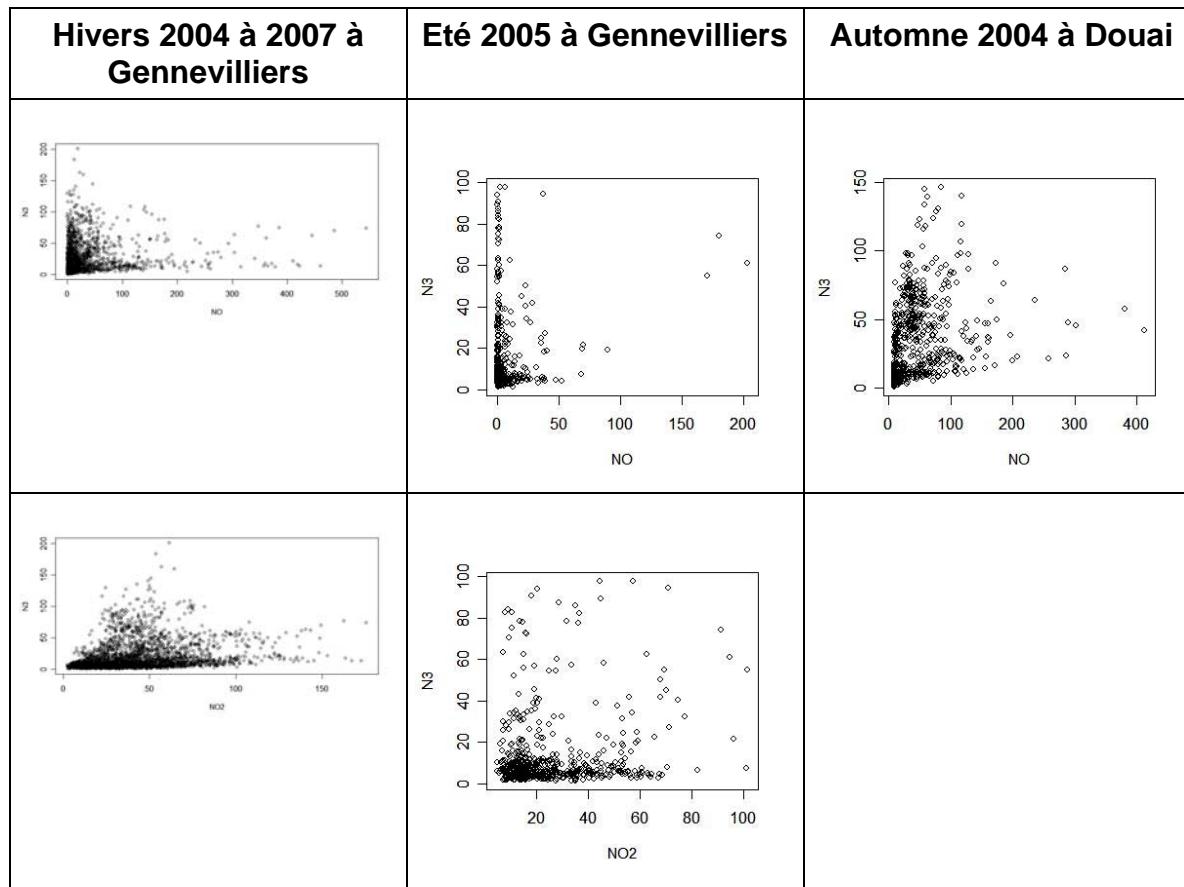
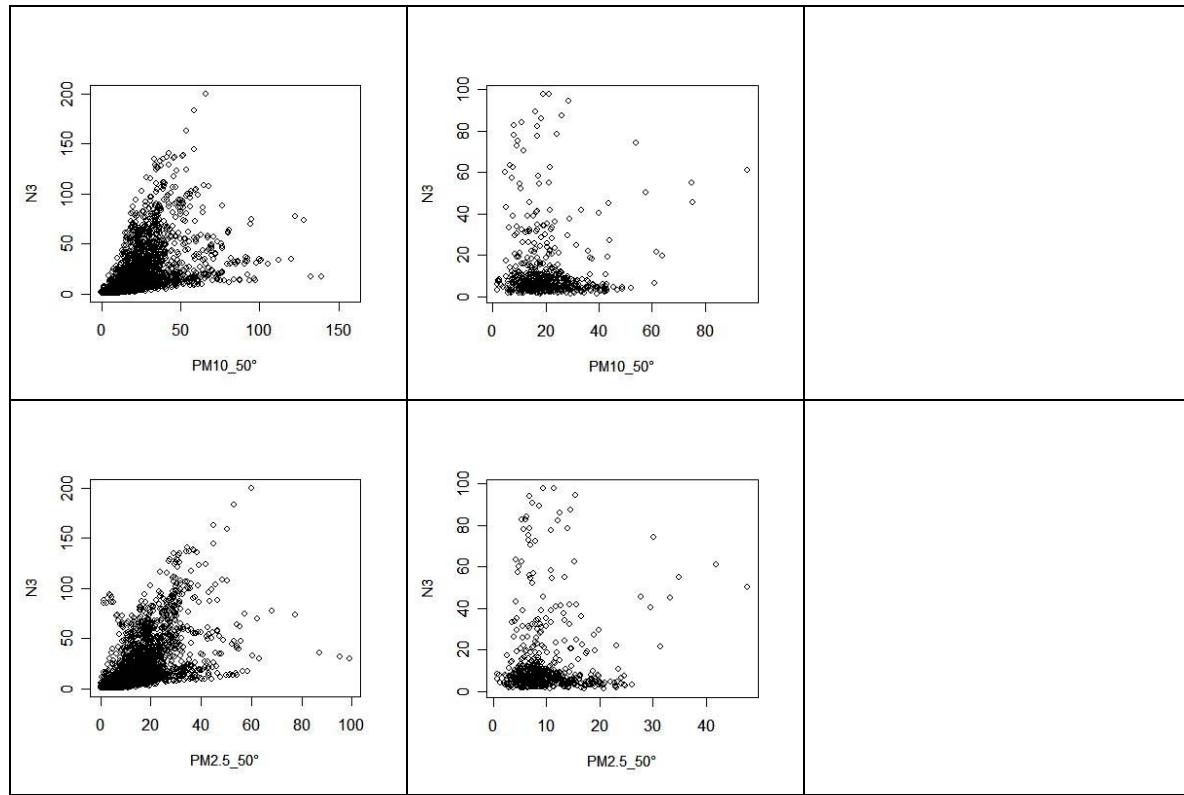


Figure 36 – Corrélation entre les concentrations en nombre de particules de la classe 500 nm - 20 µm (N3) et les variables météorologiques. Tous types de jours et toutes heures confondues.





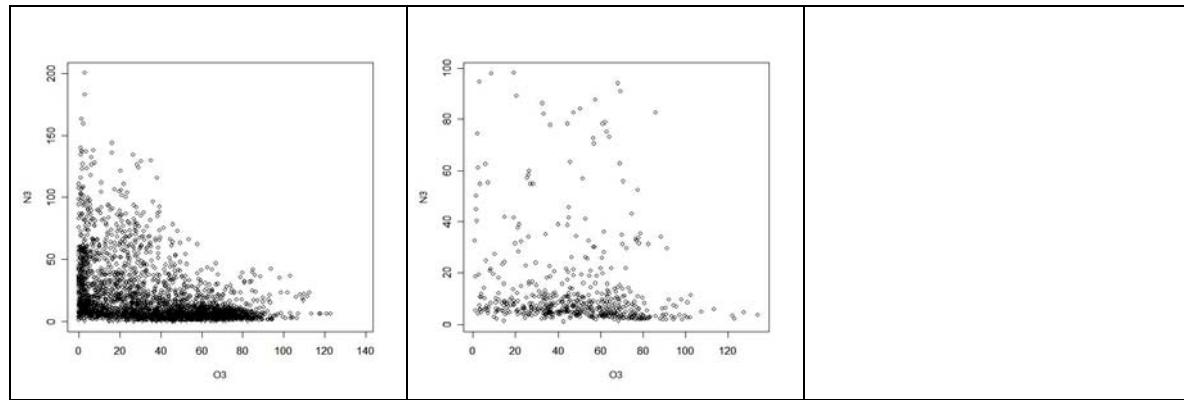


Figure 37 – Corrélation entre les concentrations en nombre de particules de la classe 500 nm - 20 µm (N3) et les concentrations massiques de NOx, de PM(TEOM_50°C) et d'ozone. Tous types de jours et toutes heures confondues.

ANNEXE 6

Principe de l'ACP

L'ACP est une technique d'analyse de données multidimensionnelle permettant le traitement de **variables quantitatives**.

L'objet de l'ACP est la **mise en évidence**, par un changement de base, **de directions privilégiées de variabilité** des données considérées.

Celles-ci se présentent sous la forme d'un **tableau individus – variables** de dimension N x P. Dans cette étude, **un individu est un enregistrement de plusieurs paramètres** (ex : variables de concentration intérieures et extérieures, paramètres climatiques, nombre de trains, etc.) **effectué à une date donnée**.

L'ACP conduit au calcul de **P nouveaux axes, dits « factoriels », sur lesquels la variance totale des données étudiées³ est progressivement restituée** – et cela, de plus en plus faiblement au fur et à mesure qu'on considère des axes de rang plus élevé.

On appelle **inertie du nuage** des individus/variables, la dispersion de ce nuage par rapport à son barycentre. C'est une mesure de la variance dans un espace à plusieurs dimensions. L'inertie d'un axe est l'inertie du nuage projeté sur cet axe.

Etant donné un axe factoriel, il est possible de calculer quels individus / quelles variables **contribuent** de façon prédominante à sa définition. On peut également calculer la **qualité de la représentation** d'un individu / d'une variable sur cet axe.

Les représentations graphiques associées à une ACP sont de deux types :

- **Plans factoriels**, sur lesquels sont projetés les individus ;
- **Cercles de corrélations**, sur lesquels sont projetées les variables.

Dans cette seconde représentation, la proximité plus ou moins grande des projections des variables traduit leur caractère plus ou moins corrélé. Deux variables qui se projettent en des points diamétralement opposés sont anticorrelées ; deux variables dont les projections vectorielles forment un angle droit sont sans corrélation linéaire. Enfin, la proximité de la projection d'une variable par rapport au cercle des corrélations rend compte de la qualité de la représentation de cette variable sur le plan factoriel correspondant (plus elle est proche du cercle, mieux elle est représentée).

D'un point de vue pratique, l'ACP s'effectue en général sur des variables de natures très différentes. Une étape préliminaire consiste à **homogénéiser les données, en les centrant et en les normalisant**: ainsi, on travaille sur des variables transformées, qui sont toutes de moyenne nulle et d'écart type égal à un.

Etant donné P le nombre de variables, si chacun des axes factoriels conservait une part identique de la variance totale des données, le pourcentage de variance porté par chaque axe serait de 100/P%. Dans l'ACP, on s'intéresse à des directions privilégiées de variabilité des données, c'est à dire aux axes factoriels

³ variance au sens vectoriel, définie par la somme des distances quadratiques par rapport au barycentre

sur lesquels la variance restituée est supérieure à cette valeur moyenne. **L'ACP permet donc de réduire, sans grande perte d'information, la dimension de l'espace de représentation des données.** Notons qu'il n'existe pas de règle stricte sur le nombre d'axes à retenir ; différents critères de choix sont proposés dans la littérature.

Il est possible d'exclure des variables/individus de l'analyse tout en les projetant *a posteriori* sur les plans factoriels. On parle **de variables ou d'individus supplémentaires**.

ANNEXE 7

THEME GENERAL : METROLOGIE DES PARTICULES

Etude n° 13 : Connaissance de la pollution par les particules submicroniques

Responsable de l'étude : INERIS

Objectif

L'objectif de cette étude est de documenter la situation française sur le thème de la pollution par les particules submicroniques, et tout particulièrement ultrafines.

Contexte et travaux antérieurs

La communauté européenne de la surveillance de la qualité de l'air est désormais engagée dans des actions prospectives, dédiées aux particules submicroniques.

Cette décision a pour origine la mise en évidence, par les toxicologues, de l'impact sanitaire particulièrement important de cette fraction, et notamment de la fraction ultrafine ($< 0,1 \text{ } \mu\text{m}$). Il est à noter que cette thématique a de plus en plus recours à la terminologie de « nanoparticules ».

Cette décision est également le résultat d'une prise de position en ce sens par les différentes instances (CAFE, Convention sur la pollution transfrontalière, EMEP et le PNSE).

L'étude proposée ici s'inscrit dans ce cadre. Elle a pour objectif de documenter la situation française, à travers la mise en œuvre de techniques de comptage et de caractérisation de la distribution en taille. Cette détermination sera faite à la fois dans l'espace, et dans le temps :

- campagne de mesure sur un site de référence, reconduite annuellement, afin de permettre le suivi sur plusieurs années de l'impact de l'évolution des sources ;
- détermination des caractéristiques de l'aérosol submicronique dans différentes conditions "Air ambiant" françaises (typologie).

L'activité de veille, et de valorisation des travaux effectuée sur cette thématique par le LCSQA est, par ailleurs, poursuivie, en particulier au travers de nombreux contacts au sein de la communauté française (métrologie, connaissance des émissions, milieux de la santé...).

Suivi dans le temps

En collaboration avec AIRPARIF, et dans la suite des programmes 2003, 2004 et 2005, l'INERIS a assuré en 2006 la mesure de l'aérosol dans la gamme 10 nm – 500 nm durant 5 semaines (février-mars) sur le site de fond urbain de Gennevilliers. Un suivi de la gamme 0,5-20 µm a également été assuré (prêt LNE). Un analyseur de surface spécifique a été testé durant une semaine, lors de cette campagne.

Typologie

Une campagne de mesure a été réalisée sur le site de la station de la Mède (Etang de Berre), en collaboration avec AIRFOBEP. Ce site résidentiel est sous l'influence d'une infrastructure autoroutière, et d'un site industriel (raffinerie). Cette campagne fait suite à une campagne sur site trafic (ouvert) [Douai, 2004], et durant l'été sur le site de Gennevilliers [2005].

Travaux proposés pour 2007

Nous proposons la poursuite de ce programme, avec le contenu suivant :

- **Suivi dans le temps**

Il s'agit, en collaboration avec AIRPARIF, de reconduire **une campagne hivernale de 5 semaines** sur le site de référence.

- **Veille prospective**

Nous poursuivrons en 2007 une activité de veille scientifique sur cette thématique.

- **Analyse statistique**

Avec les campagnes de mesures réalisées dans le cadre de ce programme au cours des années précédentes nous disposons d'une base de données avec un niveau de description spatiale et temporelle, permettant d'entamer une **première analyse statistique**.

Celle-ci devrait mettre en évidence des propriétés générales, ainsi que l'influence de différentes sources (trafic, chauffage, ...) ou paramètres (ex. couche limite) : pour ce faire, nous chercherons à enrichir le descriptif en incluant des indicateurs existants par ailleurs (ex. comptage automobile).