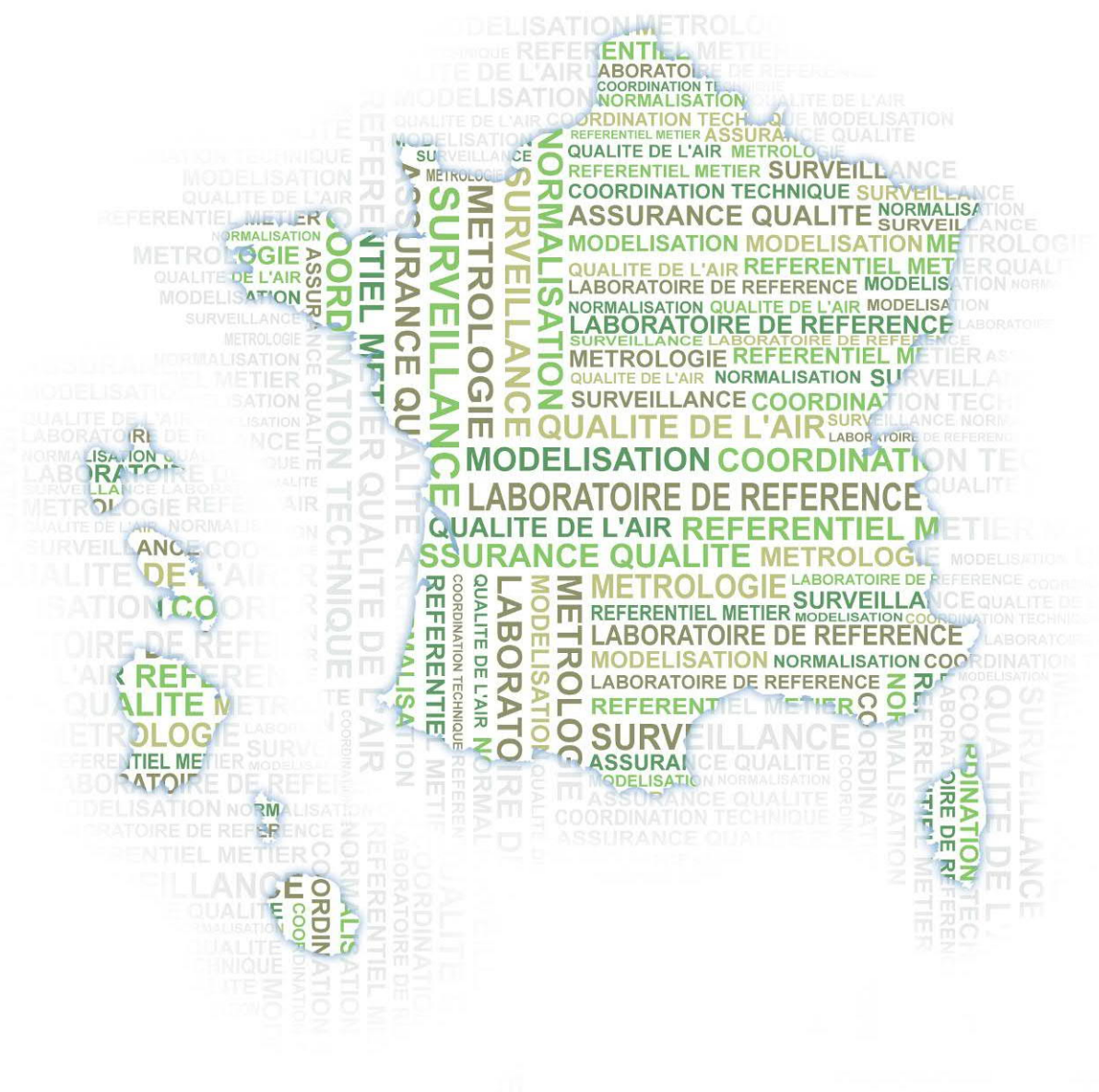




Evaluation de l'efficacité de la mesure de la concentration totale en nombre de l'UFP3031

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l’Air

EVALUATION DE L’EFFICACITE DE LA MESURE DE LA CONCENTRATION TOTALE EN NOMBRE DE L’UFP3031

**USTACHE Aurelien
Ineris
Septembre 2020**

Rédaction : Aurélien USTACHE (Ineris)

Vérification : Olivier FAVEZ (Ineris), le 09/09/2020

Approbation : Document approuvé par Marc DURIF., le 17/10/2020

LE LABORATOIRE CENTRAL DE SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DE L'AIR

Le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air est constitué des laboratoires de l'IMT Lille Douai, de l'INERIS et du LNE. Il mène depuis 1991 des études et des recherches à la demande du Ministère chargé de l'environnement, et en concertation avec les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air (AASQA). Ces travaux en matière de pollution atmosphérique ont été financés par la Direction Générale de l'Énergie et du Climat (bureau de la qualité de l'air) du Ministère chargé de l'Environnement. Ils 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 au ministère et 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.

TABLE DES MATIERES

RESUME.....	7
ABSTRACT.....	9
REMERCIEMENTS ET COLLABORATIONS	10
1. INTRODUCTION	11
2. DESCRIPTION DES SITES ET INSTRUMENTATION	12
3. DESCRIPTION DES JEUX DE DONNEES.....	13
4. ETUDE DES CORRELATIONS	17
4.1 Corrélations sur l'ensemble du jeu de données.....	17
4.2 Corrélations diurnes et nocturnes.....	18
4.3 Corrélations en fonction de la concentration	19
5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	20
6. REFERENCES	20
7. GLOSSAIRE.....	21
8. LISTE DES ANNEXES	23

RESUME

Depuis 2019, les travaux du comité européen de normalisation (CEN) ont abouti à la publication d'un document normatif pour la mesure du nombre total de particules (CEN/TS 16976). Ce document préconise l'utilisation d'un Compteur à Noyau de Condensation (CNC) permettant de mesurer les particules à partir de 7 nm de diamètre.

Depuis quelques années, plusieurs Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA) se sont équipées d'UFP 3031 afin de répondre à des demandes locales de mesures de la granulométrie des particules. Ainsi, il est apparu intéressant de confronter la mesure du nombre total issu de cet instrument à la mesure d'un CNC considéré comme mesure de référence, afin d'établir si la donnée du nombre total des UFP 3031 est exploitable.

Dans ce but, trois AASQA, Atmo Auvergne - Rhône-Alpes, Atmo Grand-Est et Atmo Nouvelle-Aquitaine, ont partagé des données de comparaison d'un CNC et d'un UFP3031, générées dans leur station urbaine de fond de Lyon centre, Strasbourg Clémenceau et Talence.

Les résultats de comparaison de l'UFP3031 par rapport au CNC ont mis en avant une sous-estimation, attribuée principalement à la différence des gammes de mesure des deux instruments. De plus, les coefficients de corrélations présentent une forte variabilité d'un jeu de données à l'autre.

Ainsi, il est recommandé de renforcer prioritairement l'utilisation de CNC, selon les modalités actuelles de mise en œuvre définies par la TS 16976 pour la mesure de la concentration en nombre des particules fines (PNC).

ABSTRACT

Since 2019, the work of the European Committee for Standardization (CEN) has resulted in the drafting of a normative document for the measurement of the particles total number concentration (CEN / TS 16976). This document recommends the use of a Condensation Particle Counter (CPC) to measure the number concentration of particles with diameter bigger than 7 nm.

In recent years, several AASQA have been equipped with UFP 3031 in order to meet local demands for particle size measurements. Thus, it appeared interesting to compare the measurement of the total number resulting from this instrument with the measurement of a CPC considered as a reference instrument, in order to establish whether the data of the total number of UFP3031 can be used.

To this end, three AASQA, Atmo Auvergne - Rhône-Alpes, ATMO Grand Est and Atmo Nouvelle-Aquitaine, shared comparison data from a CPC and a UFP3031, generated in their background urban station in Lyon center, Strasbourg Clémenceau and Talence.

The comparison results of the UFP3031 against the CNC showed an underestimation, certainly due to the difference in the measurement ranges between the two instruments. In addition, the correlation coefficients show variability depending on the data sets used. Thus, it is recommended to strengthen the use of CNC as a priority, according to the current implementation methods defined by TS 16976 for the measurement of the number concentration of fine particles (PNC).

REMERCIEMENTS ET COLLABORATIONS

Nous adressons nos remerciements à Atmo Auvergne - Rhône-Alpes, Atmo Grand Est et Atmo Nouvelle-Aquitaine pour leur agréable collaboration et le partage de leurs données.

1. INTRODUCTION

Un nombre croissant de publications et de rapports scientifiques souligne que la concentration en nombre des particules atmosphériques semble être une métrique sanitaire plus pertinente que leur concentration massique.¹⁻² Le suivi de ce paramètre apparaît donc aujourd'hui comme un enjeu majeur de l'optimisation des dispositifs de surveillance de la qualité de l'air.

Depuis la fin des années 90, la communauté scientifique européenne a développé des actions consacrées à la mesure des particules submicroniques (de diamètre inférieur à 1 μm), et notamment les particules ultrafines (PUF), dont le diamètre est inférieur à 100 nm (0,1 μm). En France, les travaux du LCSQA ont inclus la mise en œuvre de techniques de comptage et de caractérisation de la distribution en taille des particules submicroniques dès 2003, en collaboration avec les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA).

Ces dernières années, plusieurs AASQA ont également développé différentes actions pour documenter, dans leurs régions, les niveaux de concentrations, et leur granulométrie associée, en fond urbain ou sous influence de sources d'émissions anthropiques (trafic ou environnements industriels). Afin de répondre à ce besoin, les AASQA se sont principalement orientées vers une granulomètre TSI UFP3031. Ce granulomètre permet d'obtenir la granulométrie selon 6 canaux par décades compris entre 20 et 800 nm. La somme de ces 6 canaux pourrait être assimilée à la mesure du nombre total, appelé Particles Number Concentration (PNC).

En parallèle, les travaux du comité européen de normalisation (CEN) ont récemment abouti à la publication d'un document normatif pour la mesure du nombre total de particules (CEN/TS 16976). Ce document préconise l'utilisation d'un Compteur à Noyau de Condensation (CNC) permettant de mesurer les particules à partir de 7 nm.

Les UFP 3031 ayant aujourd'hui une place relativement importante dans le dispositif de surveillance national, il est intéressant de confronter la mesure du nombre total issu de cet instrument à la mesure d'un CNC considéré comme mesure de référence, malgré la différence de gamme de mesure, afin d'établir si la donnée du nombre total des UFP3031 est exploitable.

Dans ce but, trois AASQA, Atmo Auvergne - Rhône-Alpes, ATMO Grand Est et Atmo Nouvelle-Aquitaine, ont généré des données de comparaison d'un CNC et d'un UFP 3031 dans l'une de leur station respective.

¹ <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231014000211>

² https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749120302025?dgcid=rss_sd_all

2. DESCRIPTION DES SITES ET INSTRUMENTATION

Les jeux de données présentés au chapitre suivant sont issus de trois stations différentes, Lyon Centre, Strasbourg Clémenceau et Talence. Chacune des stations est équipée d'un UFP 3031 et d'un CNC. Le modèle de CNC utilisé diffère d'une station à l'autre, détaillé dans le Tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 : Modèles de CNC en fonction des sites

Station	Type de CNC
Lyon centre	PALAS EnvyCPC
Strasbourg	TSI 3785
Talence	PALAS EnvyCPC

- Station Lyon centre :

La station Lyon centre est référencée en tant que station de fond urbain. Elle se situe dans le quartier Part-dieu, qui détient la plus forte densité de population de l'agglomération lyonnaise.

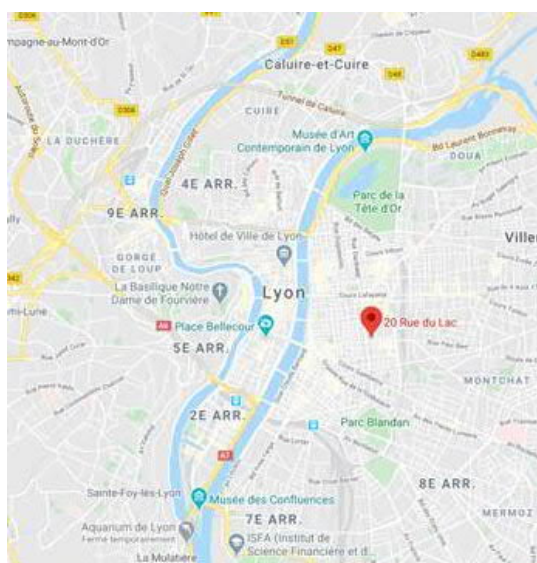


Figure 1 : Vue satellite de la station Lyon centre

- Station Strasbourg Clémenceau :

La station urbaine de Strasbourg Clémenceau est située sous l'influence directe des émissions du trafic routier générées par un carrefour situé à 25 mètres de la station.



Figure 2 : Vue satellite de la station Strasbourg Clémenceau

- Station Talence :

La station de Talence est référencée comme station urbaine de fond. Elle est située au croisement de deux rues, en retrait des axes de circulation importants.

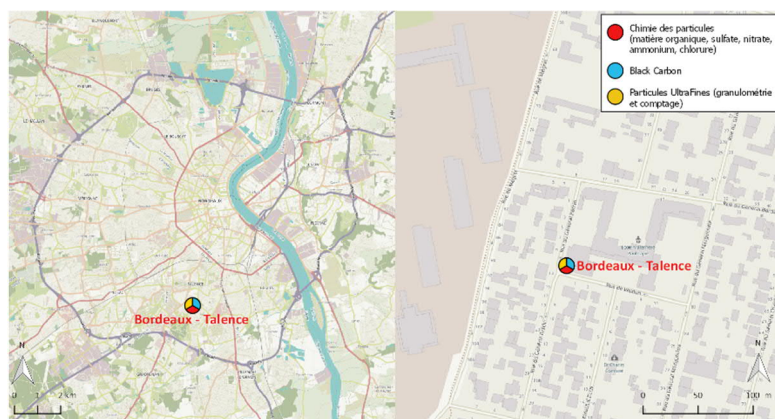


Figure 3 : Vue satellite de la station de Talence

3. DESCRIPTION DES JEUX DE DONNEES

Les données de comparaisons entre le CNC et l'UFP 3031 de Lyon commencent le 24/09/2019 et s'arrêtent le 01/01/2020, soit une durée d'un peu plus de trois mois. Ces données sont représentées en Figure 4. Le pas de temps de mesure considéré ici est de 1 heure. Deux interruptions de mesures sont constatées du 27/10/2019 au 04/11/2019 et du 22/12/2019 au 30/12/2019. En première approche, les variations de concentrations sont cohérentes entre les deux instruments. Les valeurs issues de l'UFP 3031 semblent très souvent inférieures à celle du CNC.

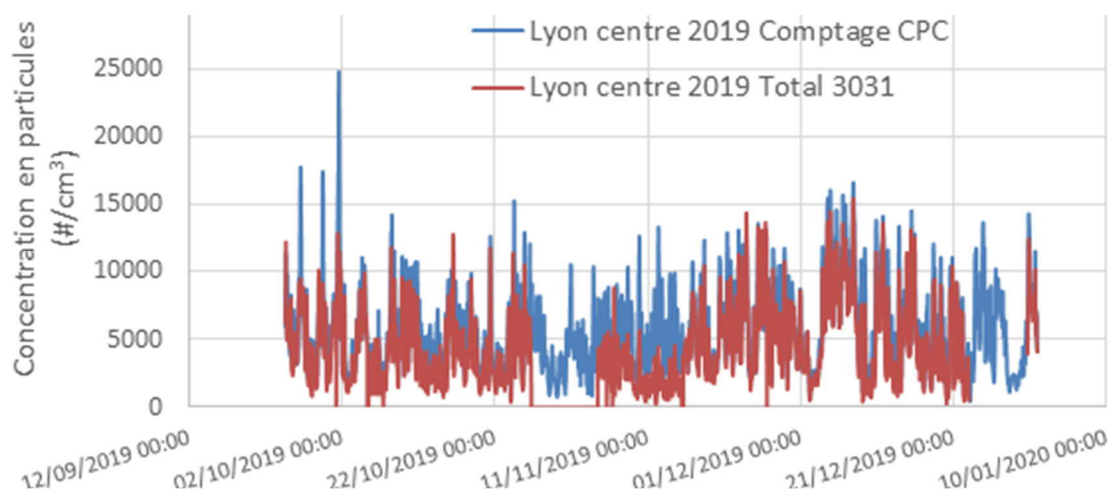


Figure 4 : Suivi temporel des données CNC et UFP 3031 de Lyon centre

La Figure 5 représente les données du CNC et de l'UFP 3031 de la station de Strasbourg. Ces données commencent le 15/11/2019 et s'achèvent le 06/02/2020. Les données sont en ¼ horaire. De façon comparable au suivi temporel de la station de Lyon, les variations de concentrations semblent cohérentes entre les deux instruments avec une sous-estimation visible du 3031 sur la majorité des données. L'amplitude des concentrations enregistrées est très importante avec plusieurs pics dépassant 60 000 #/cm³ et 80 000 #/cm³. Il est à noter que cette dernière valeur n'est jamais atteinte par le 3031.

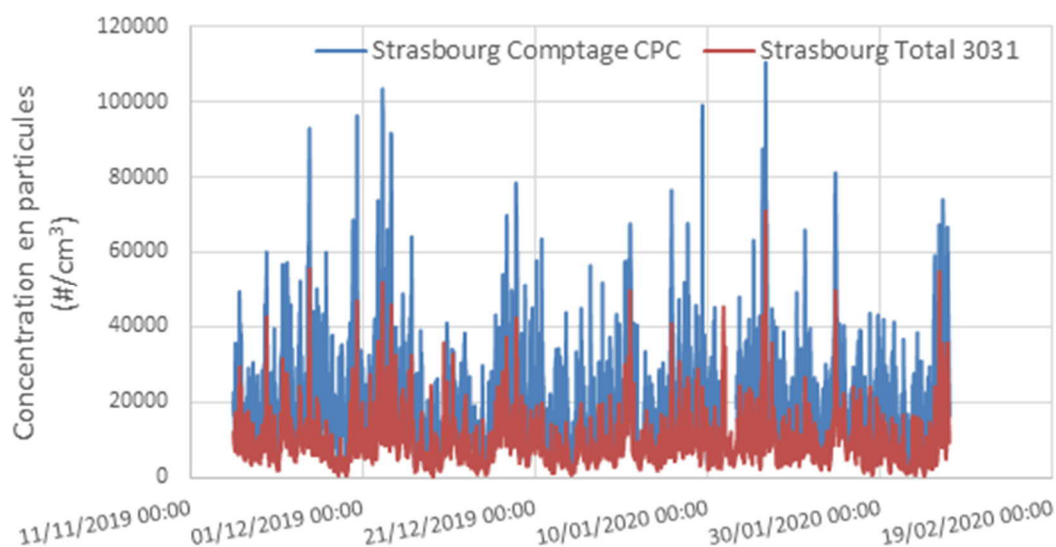


Figure 5 : Suivi temporel des données CNC et UFP 3031 de Strasbourg

La période de comparaison du CNC et de l'UFP 3031 dans la station de Talence représentée en Figure 6 s'étale du 20/11/2019 au 27/02/2020.

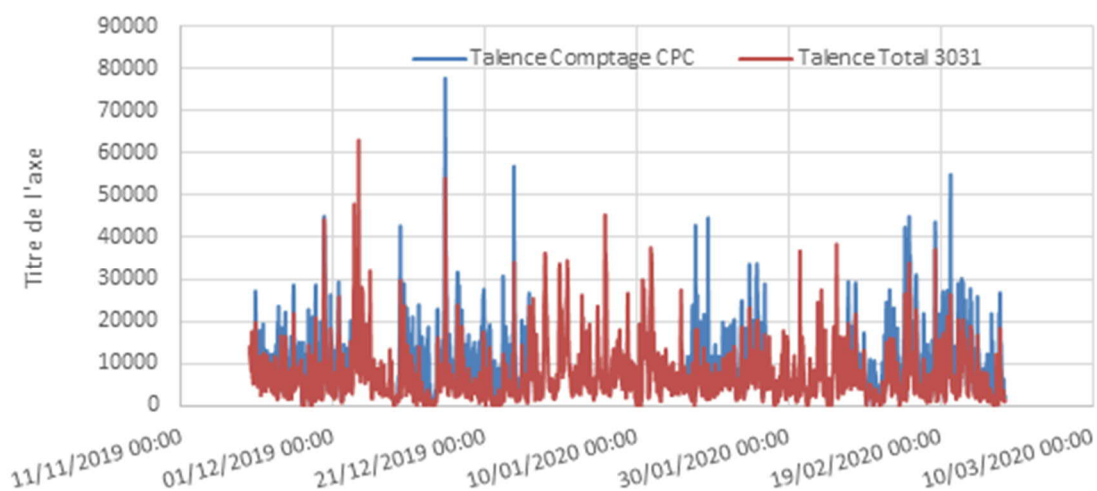


Figure 6 : Suivi temporel des données CNC et UFP 3031 de Talence

Deux périodes d'interruption du CNC pour des actions de réparations et de maintenance sont notables sur les périodes du 03/12/2019 au 09/12/2019 et du 27/12/2019 au 16/01/2020. Les données sont en ¼ horaire.

La Figure 7 ci-dessous est une représentation sous forme de boîtes à moustaches des données des trois sites décrits précédemment. La base de chaque boîte représente le 25^{ème} percentile, le sommet le 75^{ème}. Le segment à l'intérieur de la boîte marque la médiane. Les valeurs extrêmes sont symbolisées par des points. Un schéma en annexe décrit plus précisément les données remarquables.

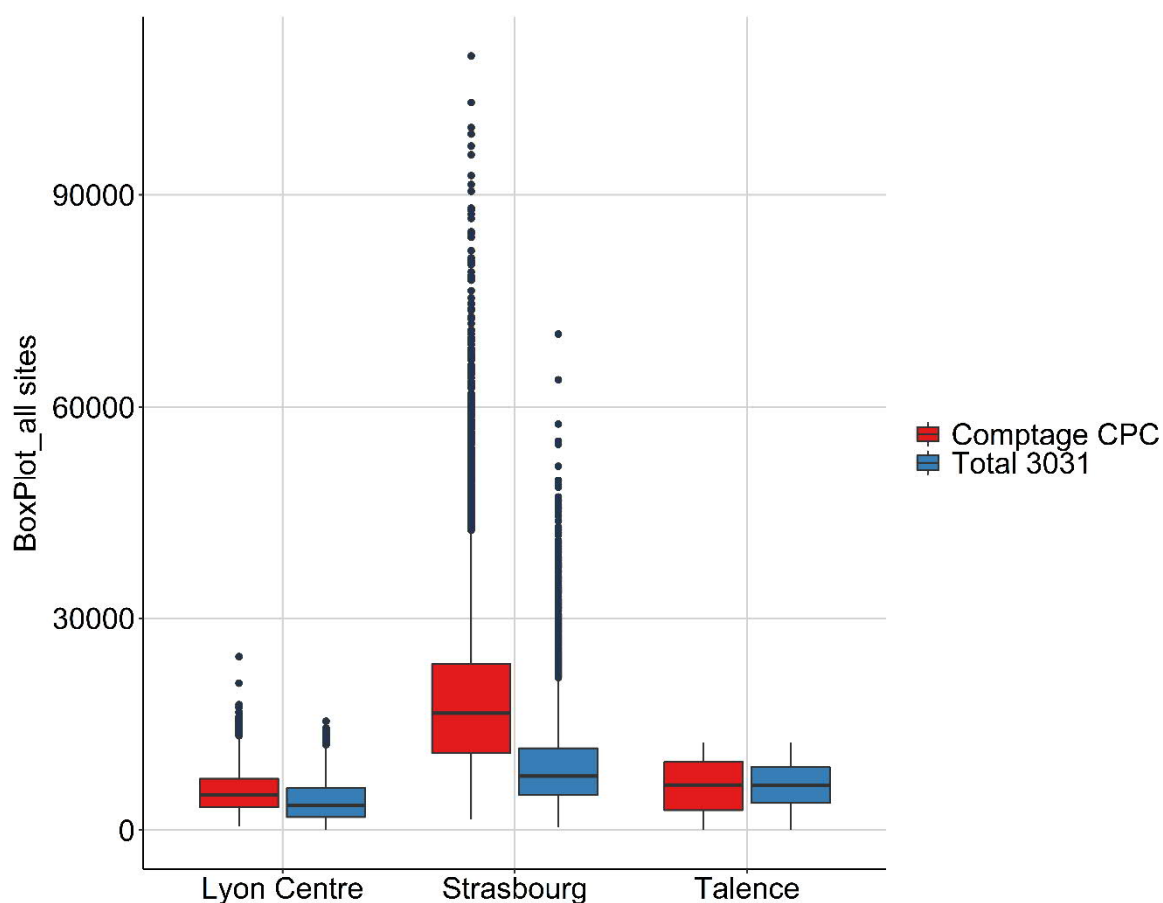


Figure 7 : Boîtes à moustaches

Les valeurs représentées dans la Figure 7 sont retranscrites dans le Tableau 2 ci-dessous. Des écarts importants concernant ces valeurs sont observables sur les trois stations. En effet, une sous-estimation des données de l’UFP 3031 est constatée, principalement sur la valeur des médianes où une différence d’un facteur supérieur à deux est observée sur la station de Strasbourg avec une concentration de 16 558 $\text{\#/cm}^3$ mesurée par le CNC contre 7 651 $\text{\#/cm}^3$ enregistré par l’UFP 3031. Il est à noter que les concentrations mesurées durant cette période sur cette dernière station sont particulièrement importantes. La valeur maximum mesurée par le CNC est de 109 634 $\text{\#/cm}^3$.

Tableau 2 : Données statistiques (en $\text{\#/cm}^3$)

Station	Valeur minimum		Percentile 25		Médiane		Percentile 75		Valeur maximum	
	CNC	3031	CNC	3031	CNC	3031	CNC	3031	CNC	3031
Lyon Centre	501	0	3 225	1 842	5 010	3 529	7 277	5 936	24 570	15 424
Strasbourg	1 485	416	10 882	4 962	16 558	7 651	23 570	11 596	109 634	70 332
Talence	3	1	2 830	3 824	8 108	5 320	9 646	8 910	12 425	12 423

4. ETUDE DES CORRELATIONS

4.1 Corrélations sur l'ensemble du jeu de données

La Figure 8 ci-dessous compile l'ensemble des jeux de données des trois stations, avec les données mesurées par le CNC en abscisse et celles de l'UFP3031 en ordonnée.

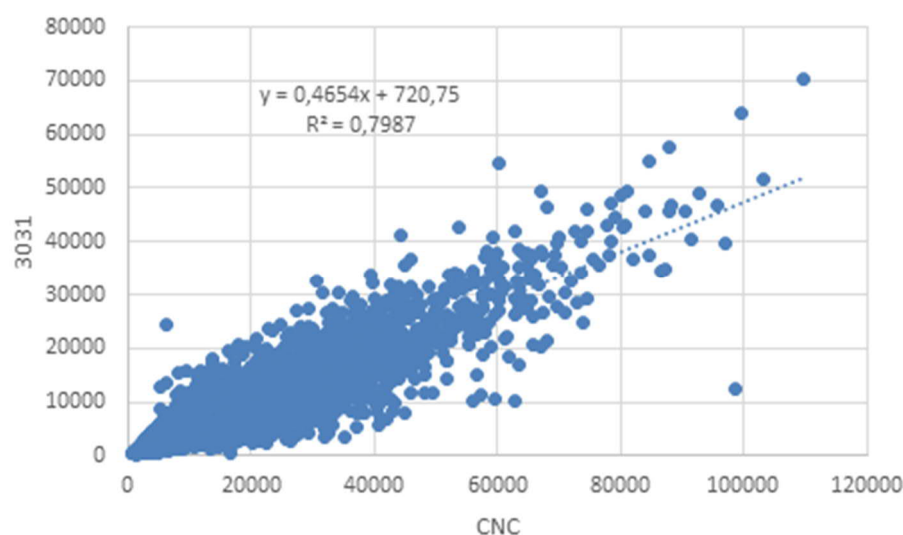


Figure 8 : Corrélation de l'ensemble de sites

Le nuage de points ainsi représenté, la valeur du coefficient de détermination R^2 calculée est d'environ 0,8 ce qui indique une relation linéaire correcte entre les deux instruments. L'équation de la droite de corrélation présente un coefficient directeur de 0,46. Cette valeur est en cohérence avec l'observation de la sous-estimation des UFP3031 vis-à-vis des CNC faite au chapitre précédent.

De plus, les corrélations ont été étudiées indépendamment pour chaque site. Les équations des droites de corrélation ainsi que les valeurs des coefficients de détermination (R^2) associés sont reportés dans le Tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3 : Equations des droites de corrélation des trois sites

Station	Coefficient directeur	Ordonnée à l'origine	R^2
Lyon	0,82	-196	0,80
Strasbourg	0,49	31	0,80
Talence	0,65	-231	0,79

Sur les trois stations, les valeurs du coefficient de détermination (R^2) sont proches de 0,8. Les valeurs des coefficients directeurs varient selon les stations. En effet, le coefficient directeur calculé sur le jeu de données provenant de la station de Lyon est de 0,82. Les valeurs de ce coefficient pour les stations de Talence et de Strasbourg sont respectivement de 0,65 et 0,49. Dans le cadre de la présente étude, ces différences ne peuvent être expliquées précisément. Cependant, la nature de l'aérosol peut avoir une influence sur la divergence des résultats. Une étude de la sensibilité des instruments en fonction de l'heure de la journée est proposée au chapitre suivant.

4.2 Corrélations diurnes et nocturnes

Les activités humaines et les processus physico-chimiques varient au cours d'un cycle journalier³. En effet, et de manière non-exhaustive, des facteurs comme la circulation automobile, les activités industrielles, le chauffage domestique, ou les radiations UV peuvent avoir une forte influence sur la composition des particules ainsi que sur leur concentration en nombre, et évoluent au cours de la journée. La Figure 9 fait apparaître les nuages de points des UFP 3031 en fonction des CNC des trois sites selon un code couleur représentant les heures de la journée.

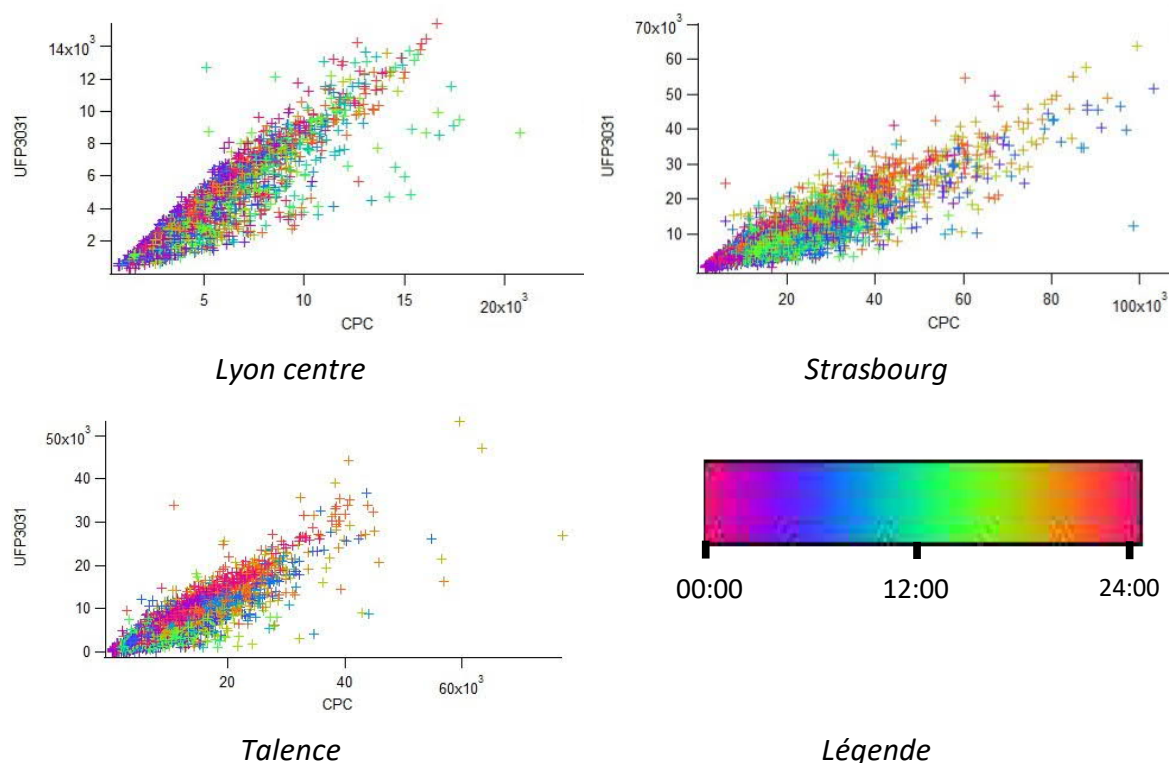


Figure 9 : Corrélations en fonction des heures de la journée

³ DRC-11-118212-13897A-Connaissance du nombre et de la distribution granulométrique des particules submicroniques ; Suivi dans le temps, métrologie : bilan des travaux 2003 - 2011

Ces représentations laissent apparaître que les données nocturnes de la station de Talence sont situées sur la partie haute du nuage de point, reflétant une corrélation sensiblement différente entre le jour et la nuit. Afin de déterminer ces différences, le Tableau 4 recense les équations des droites de corrélation ainsi que les coefficients de détermination des données diurnes (de 7h à 19h) et nocturnes (de 19h à 7h).

Tableau 4 : Equations des droites de corrélation des données diurnes (7h à 19h) et nocturnes (19h à 20h)

Station	Coefficient directeur		Ordonnée à l'origine		R ²	
	Diurne	Nocturne	Diurne	Nocturne	Diurne	Nocturne
Lyon	0,78	0,77	-183	-158	0,78	0,77
Strasbourg	0,47	0,46	-55	432	0,74	0,82
Talence	0,58	0,71	-29	-394	0,75	0,84

Ainsi, il apparaît que les données de la station de Lyon ne reflètent pas de différences significatives entre le jour et la nuit. Concernant la station de Strasbourg, si le coefficient directeur est équivalent, le coefficient de détermination (R²) est légèrement amélioré la nuit, passant de 0,74 pour les données diurnes à 0,82 pour les données nocturnes.

La corrélation des données de la station de Talence est quant à elle significativement modifiée entre le jour et la nuit. En effet, le coefficient directeur, d'une valeur de 0,58 pour les données diurnes, augmente pour atteindre 0,70 en données nocturnes. Ces données peuvent permettre d'émettre l'hypothèse que la distribution granulométrique de l'aérosol nocturne de Talence comporte moins de particules comprises entre 7 et 20 nm que l'aérosol diurne⁴.

4.3 Corrélations en fonction de la concentration

Afin d'évaluer la sensibilité des instruments à la concentration, les jeux de données ont été séparés en deux classes en fonction de la concentration. Ainsi, les corrélations ont été étudiées en ne retenant que les valeurs de concentration inférieures à 10 000 #/cm³ puis uniquement les valeurs supérieures à 10 000 #/cm³. Les résultats de ces corrélations sont compilés dans le Tableau 5 ci-dessous.

⁴ Pour rappel, le comptage de l'UFP 3031 débute à 20 nm contre 7 nm pour les CNC.

Tableau 5 : Equations des droites de corrélation en fonction des la concentration

Station	Coefficient directeur		Ordonnée à l'origine		R ²	
	< 10 ³ #/cm ³	> 10 ³ #/cm ³	< 10 ³ #/cm ³	> 10 ³ #/cm ³	< 10 ³ #/cm ³	> 10 ³ #/cm ³
Lyon	0,85	*	-376	*	0,74	*
Strasbourg	0,58	0,49	-446	-91	0,44	0,75
Talence	0,62	0,65	-115	-336	0,58	0,63

* Jeu de données insuffisant pour pouvoir être exploité

Pour la station de Lyon, le jeu de données disponible n'était pas suffisant pour étudier la corrélation entre les 2 instruments pour une concentration > 10 000 #/cm³. Les coefficients directeur des droites de corrélations des deux autres stations ne présentent pas de sensibilité particulière selon la gamme de concentration utilisée. En revanche, le coefficient de détermination concernant les données de la station de Strasbourg est significativement dégradé pour les données dont la concentration est inférieures à 10 000 #/cm³.

5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les résultats de comparaison de l'UFP3031 par rapport au CNC ont mis en avant une sous-estimation, certainement due à la différence des gammes de mesure des deux instruments. De plus, les coefficients de corrélations présentent une forte variabilité d'un jeu de données à l'autre.

Ainsi, il est recommandé de renforcer prioritairement l'utilisation de CNC, selon les modalités actuelles de mise en œuvre définies par le TS 16976 pour la mesure de la concentration en nombre des particules fines (PNC).

6. REFERENCES

- DRC-11-118212-13897A-Connaissance du nombre et de la distribution granulométrique des particules submicroniques ; Suivi dans le temps, métrologie : bilan des travaux 2003 – 2011, O. Le Bihan, L. Malherbe, A. Ustache
- New directions: The future of European urban air quality; Atmospheric Environment Vol 87; Kuhlbusch et al. 2014.
- Long-term trends in PM 2.5 mass and particle number concentration in urban air: The impacts of mitigation measures and extreme events due to changing climates; Environment Pollution Vol 263; Lorelei de Jesus et al. 2020.

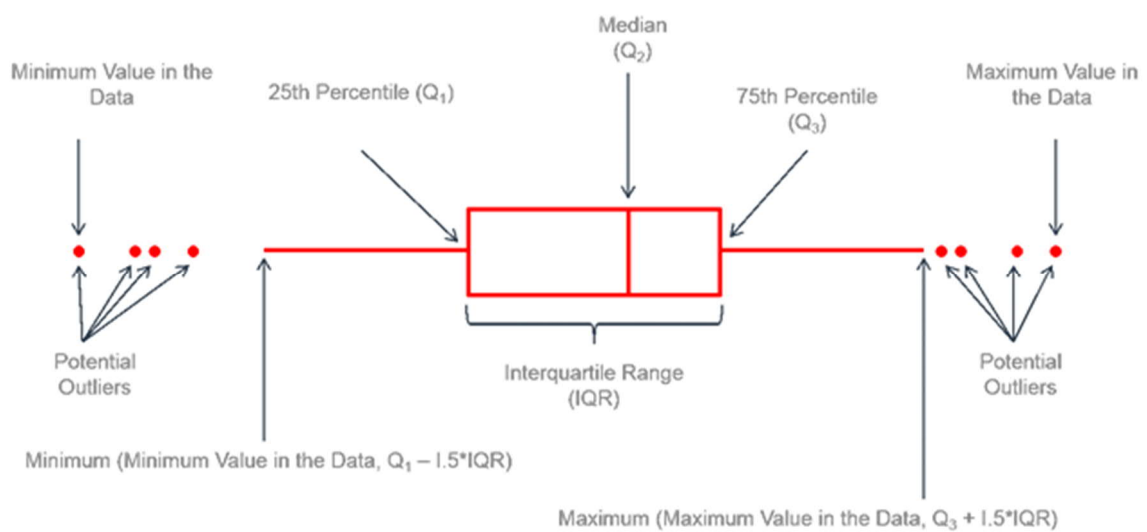
7. GLOSSAIRE

Abréviations	Libellés
CNC	Compteur à Noyaux de Condensation
PNC	Particles Number Concentration

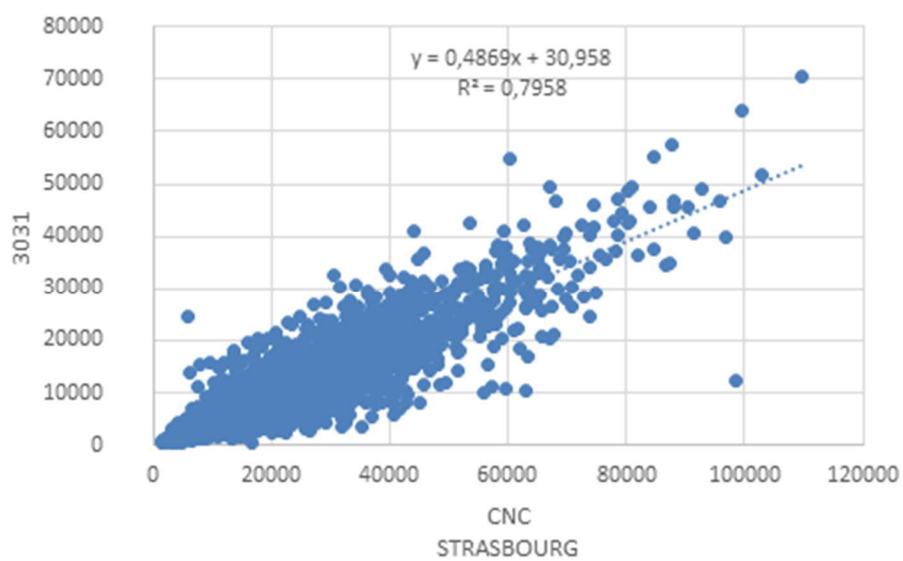
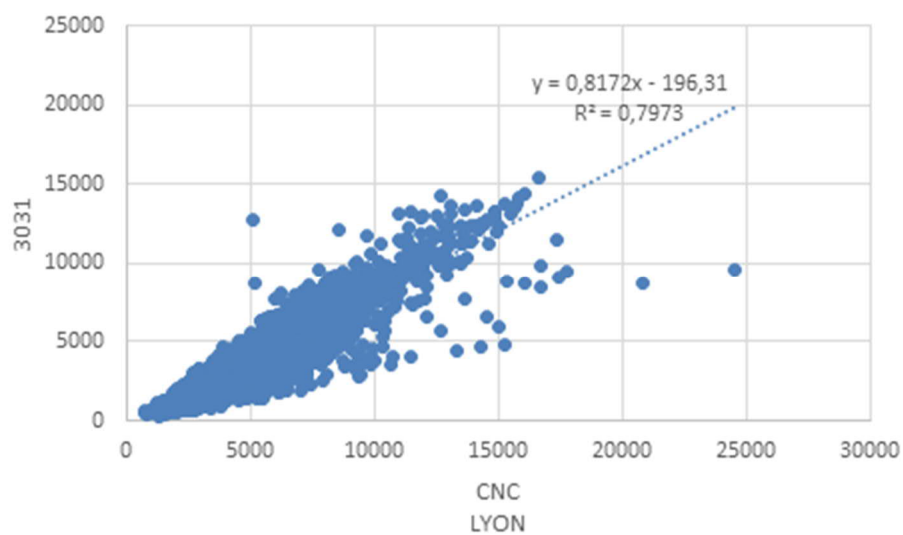
8. LISTE DES ANNEXES

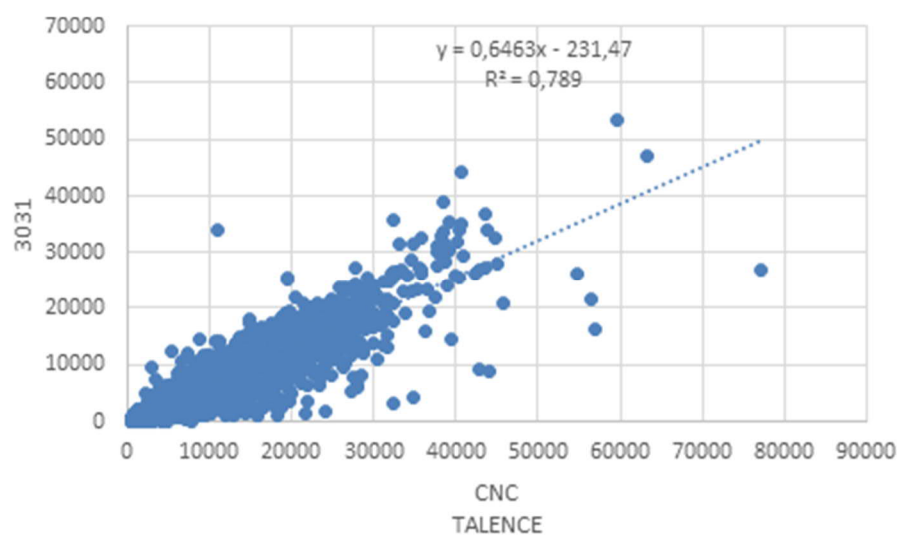
Annexes	Titres
Annexe 1	Schéma détaillé des valeurs remarquables des boîtes à moustaches
Annexe 2	Graphiques de corrélations des trois stations
Annexe 3	Graphiques de corrélations en fonction de la concentration

ANNEXES 1 : SCHEMA DETAILLE DES VALEURS REMARQUABLES DES BOITES A MOUSTACHES



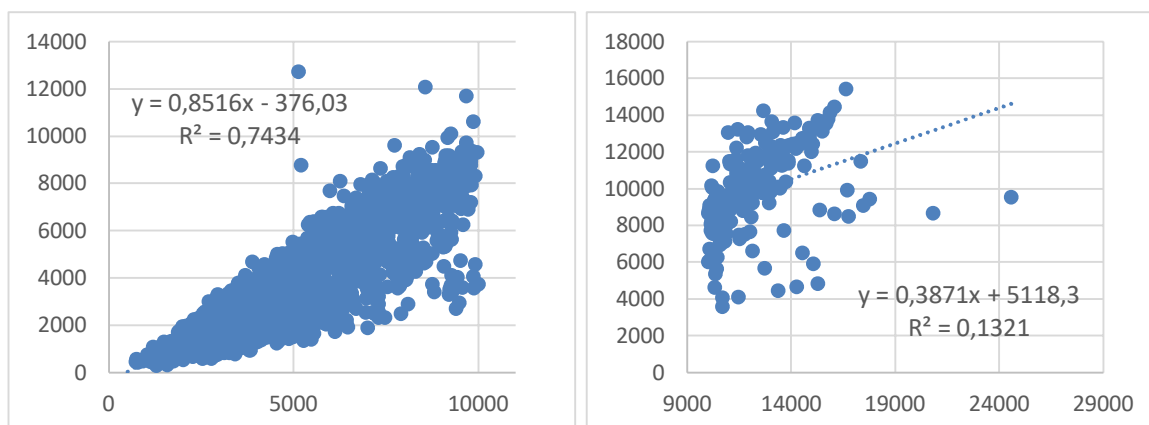
ANNEXES 2 : GRAPHIQUES DE CORRELATION DES TROIS STATIONS



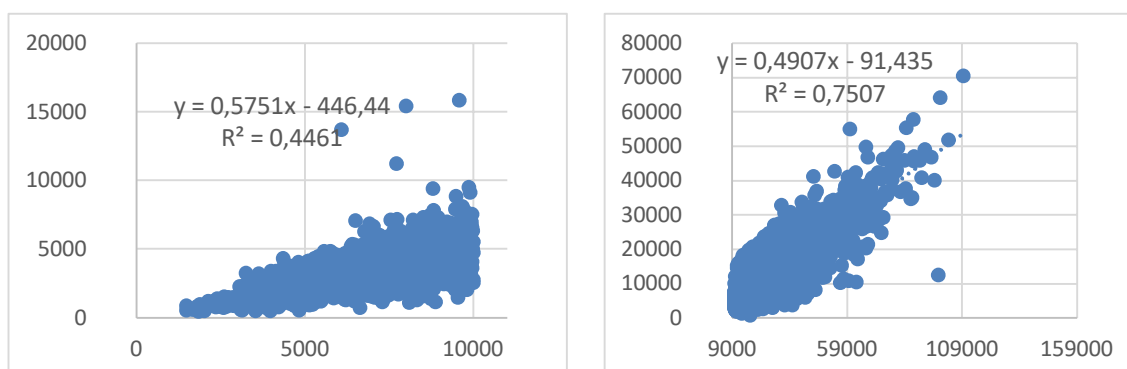


ANNEXES 3 : GRAPHIQUES DE CORRELATIONS EN FONCTION DE LA CONCENTRATION

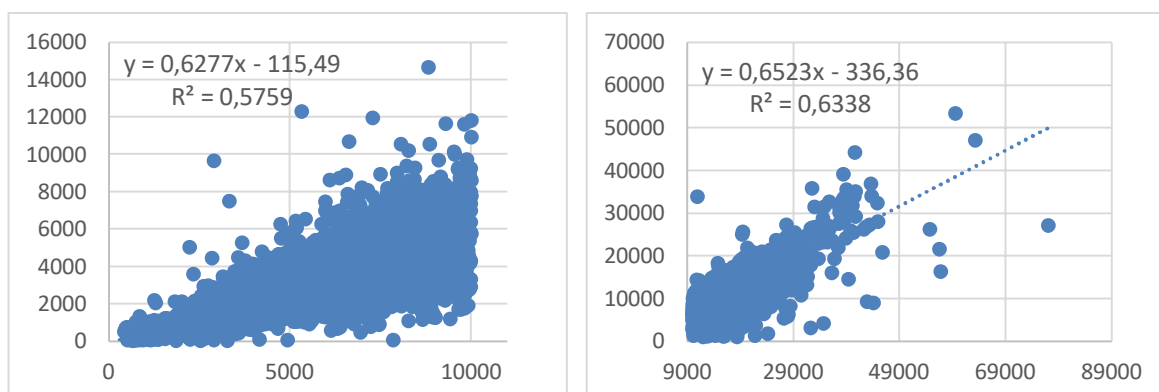
Lyon centre



Strasbourg Clémenceau



Talence



Concentrations inférieures à 10 000 #/cm³

Concentrations supérieures à 10 000 #/cm³



direction et secrétariat du LCSQA

INERIS - parc technologique Alata - BP 2 - F60550 Verneuil-en-Halatte
tél. 03 44 55 69 16 - www.lcsqa.org