



**Cercl'
Air**

Schweizerische Gesellschaft der Lufthygiene-Fachleute
Société suisse des responsables de l'hygiène de l'air
Società svizzera dei responsabili della protezione dell'aria
Swiss society of air protection officers

innet
Umweltmonitoring

CAMPAGNE D'INTERCOMPARAISON DE « HIGH VOLUME SAMPLERS »



Campagne suisse d'intercomparaison d'appareils de mesure des poussières fines réalisée à Sempach durant l'hiver 2017/2018

Version: 30.11.2018

Auteurs: Hannah Wey, inNET Monitoring AG
Renato Mauri, inNET Monitoring AG
Christian Ruckstuhl, inNET Monitoring AG

Accompagnement: groupe de travail Cercl'Air « Assurance de qualité des immissions »

inNET Monitoring AG

innet
Umweltmonitoring

Dätwylerstrasse 15 / CH-6460 Altdorf

T +41 41 500 50 40
info@innetag.ch
innetag.ch

Résumé

Sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) et des services techniques participants, une campagne nationale d'intercomparaison des mesures gravimétriques de poussières fines a eu lieu à Sempach durant l'hiver 2017-2018. Le but était de déterminer les incertitudes des mesures et d'améliorer la qualité des analyses des services participants afin d'obtenir un système de monitoring homogène. 12 services ont participé à la campagne avec leurs préleveurs séquentiels à haut volume - High Volume Sampler (HVS). Parmi ces services, 5 ont également mesuré les immissions de PM2.5. Simultanément aux mesures par HVS un analyseur Low Volume Sampler (LVS) et un analyseur en continu (Fidas 200S) étaient engagés.

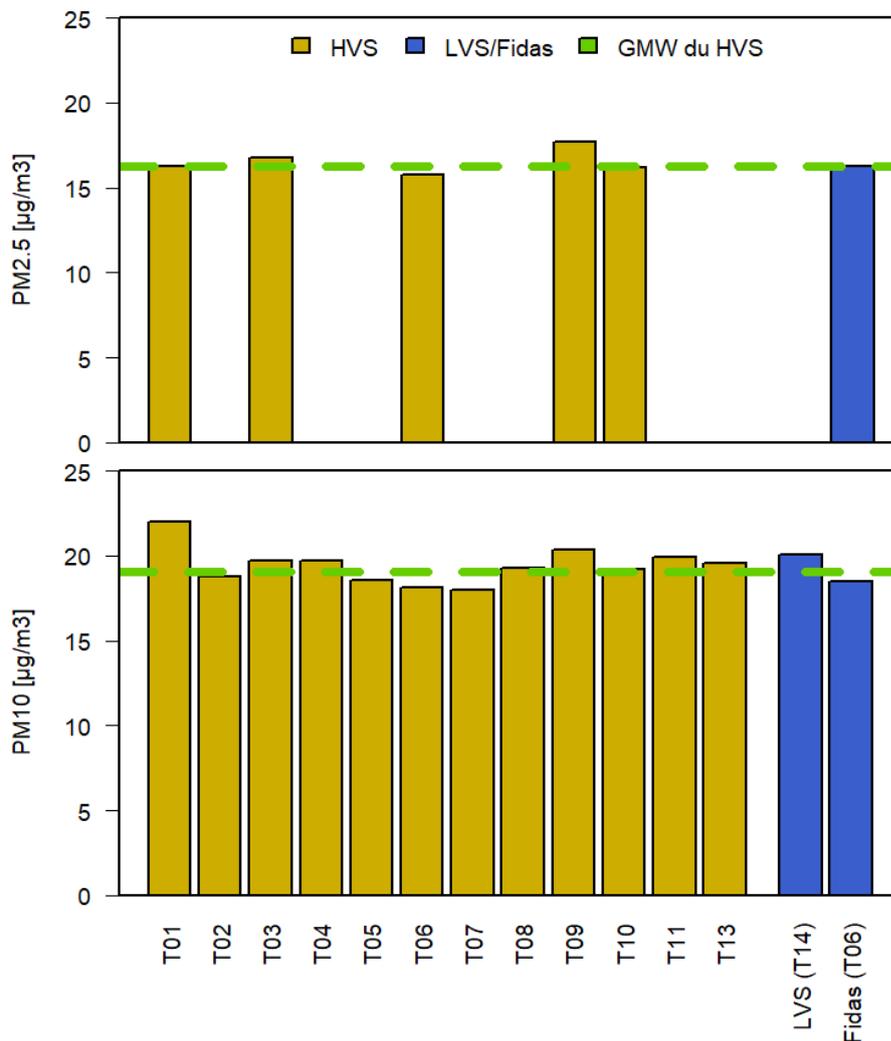


Figure 1: Résumé des résultats de mesure par participant (T). Les valeurs en jaune ont été mesurées avec des High Volume Samplers. Ces mesures ont permis de calculer la valeur moyenne générale (GMW, ligne en vert). En complément, des mesures ont été réalisées au moyen d'un Low Volume Sampler et d'un Fidas (en bleu). Quelques participants mesuraient en plus les PM2.5 (graphique du haut).

Les valeurs des HVS s'échelonnent entre 18.00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 21.97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10 et entre 15.74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 17.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2.5. Pour les PM10, l'incertitude de mesure de la valeur moyenne journalière de l'ensemble des participants, mesurée de manière empirique, est de 1.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ce qui représente une incertitude d'environ 2 % dans la zone de la valeur limite journalière. C'est une amélioration significative par rapport à la campagne de l'EMPA qui a eu lieu en 2001. En général l'incertitude diminue lorsque la concentration de poussières fines augmente mais ce n'est pas le cas pour tous les participants. Pour les valeurs $>25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ on observe une dispersion de -5.4 % à + 5.4 % de la déviation par rapport à la valeur journalière moyenne comparative. De ce fait les recommandations de mesures de l'OFEV (+/- 15 %) sont très bien suivies.

Il est cependant possible et opportun d'apporter des améliorations dans le contrôle du débit d'air, dans le conditionnement des filtres, ainsi que dans la production des données et leur validation. Concrètement, sur la base de la campagne de comparaison, les possibilités d'optimisation suivantes dans l'exploitation des HVS peuvent être apportées :

- Pesées à effectuer selon la norme EN 12341.
- Conditionnement des filtres à effectuer selon la norme EN 12341.
- Procédure pour les valeurs mesurées inférieures à 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$: la valeur effectivement mesurée sera utilisée pour éviter les erreurs systématiques.
- Procédure pour les valeurs mesurées de PM2.5 supérieures à celles de PM10: la valeur effectivement mesurée sera utilisée pour éviter les erreurs systématiques.

Table des matières

1	Introduction.....	- 4 -
2	Définitions	- 5 -
3	Méthode.....	- 6 -
3.1	Caractérisation du site d'intercomparaison et description de l'appareil de mesure HVS ..	- 6 -
3.2	Programme de mesure.....	- 9 -
3.3	Station météorologique	- 12 -
3.4	Contrôle du débit volumique	- 12 -
3.5	Traitement des données	- 13 -
4	Résultats.....	- 15 -
4.1	Situation météorologique durant la période d'essais.....	- 15 -
4.2	Contrôle du débit volumique	- 16 -
4.3	Evolution temporelle des mesures de poussières fines au moyen d'un High Volume Sampler - 17 -	
4.4	Évaluation des participants	- 20 -
4.4.1	Mesures des PM10.....	- 20 -
4.4.2	Mesures des PM2.5.....	- 22 -
4.5	Low Volume Sampler.....	- 23 -
4.6	Fidas.....	- 23 -
5	Discussion.....	- 24 -
6	Annexe.....	- 27 -
6.1	Low Volume Sampler.....	- 29 -
6.2	Fidas.....	- 30 -
6.3	Déviations D_s et $D_{s,rel}$	- 31 -
6.4	Roses des vents journalières	- 32 -

1 Introduction

L'ordonnance sur la protection de l'air (OPair) fixe notamment des valeurs limites relatives aux PM10 et aux PM2.5 ; ces valeurs limites sont encore dépassées régulièrement à certains endroits. Dès lors et pour en suivre l'évolution il est nécessaire de poursuivre la surveillance des concentrations en poussières fines dans l'air.

Afin d'obtenir des données fiables et comparables il est nécessaire que les analyses de l'air soient réalisées avec un haut standard de qualité. Pour obtenir ce standard les mesures doivent être effectuées selon les normes et les recommandations actuellement en vigueur. Dans ce but, une campagne nationale de comparaison a été mise sur pied pour vérifier si les standards de qualité étaient respectés et si les résultats des mesures de tous les participants étaient obtenus avec l'exactitude requise. Des essais analogues avaient déjà été réalisés dans le passé par exemple par le Joint Research Center¹, par l'EMPA², ou dans un cadre cantonal plus restreint³. Le rapport 2001 de l'EMPA calculait une incertitude de mesure de 3.4 µg/m³ pour la valeur moyenne journalière des mesures de PM10 par High Volume Sampler (HVS). De ce fait l'incertitude de mesure dans le domaine de la valeur limite d'immission était inférieure à 10 %. Cependant le même rapport mentionne que des déviations importantes et inattendues étaient apparues.

Sous le contrôle du groupe de travail Cercl'Air « Assurance qualité des mesures d'immissions », cette campagne de mesure a été organisée durant l'hiver 2018 par inNET Monitoring AG sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) et des services techniques participants. Les buts de cette campagne, réalisée dans des conditions réelles, étaient d'identifier les erreurs lors des analyses par HVS ainsi que de quantifier les incertitudes de mesure. Il s'agissait de couvrir la totalité de la chaîne de mesure depuis la mise en place des HVS, la manipulation et l'exposition des filtres, le transport, le conditionnement, la pesée et la livraison des données.

Les essais ont porté sur les PM10 et les PM2.5 et cette campagne s'est limitée à la méthode de mesure gravimétrique. À titre informatif un appareil Low Volume Sampler (LVS) et un analyseur en continu (Fidas 200S) fonctionnaient parallèlement aux mesures HVS.

¹ Evaluation of the Field Comparison Exercise for PM10 and PM2.5. Ispra. February 13th – April 9th, 2015. JRC Technical Report.

² Immissionsringversuch Feinstaub PM10 2001 in Dübendorf, Zusammenfassung der Resultate im Auftrag des Cercl'Air. EMPA. 2001.

³ Wägevergleich für HiVol-Glasfaser-Filter. Ostluft, ANU Graubünden, AfU Aargau und EMPA. 2016.

2 Définitions

OFEV	Office fédéral de l'environnement
OPair	Ordonnance sur la protection de l'air, RS 814.318.142.1
PM10	Particules de poussière d'un diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm. Selon l'Ordonnance sur la protection de l'air (OPair) la valeur limite journalière pour les PM10 est de 50 µg/m ³ . Cette valeur ne doit pas être dépassée plus de trois fois par année (mise à jour de l'OPair du 11 avril 2018, avec entrée en vigueur le 1 ^{er} juin 2018). La valeur limite annuelle est de 20 µg/m ³ .
PM2.5	Particules de poussière d'un diamètre aérodynamique inférieur à 2.5 µm. Par définition, la quantité de PM2.5 est une fraction de celle des PM10. La valeur limite annuelle de 10 µg/m ³ pour les PM2.5 est désormais fixée dans l'OPair (mise à jour du 11 avril 2018, avec entrée en vigueur le 1 ^{er} juin 2018).
Mesures gravimétriques des poussières fines	Ce procédé consiste à accumuler les poussières sur un filtre qui sera ensuite pesé. La Suisse dispose de deux documents relatifs à la mesure gravimétrique des poussières fines : <ul style="list-style-type: none">• La recommandation de l'OFEFP « Immissions de polluants atmosphériques, Recommandations pour le mesurage, OFEFP 2004 ».• La norme européenne EN 12341:2014 «Air ambient - Méthode normalisée de mesurage gravimétrique pour la détermination de la concentration massique MP10 ou MP2,5 de matière particulaire en suspension».
HVS	High Volume Sampler. En Suisse, c'est la méthode de référence pour la détermination de la concentration des poussières fines.
LVS	Low Volume Sampler. Contrairement au HVS, qui a un débit élevé de 500 l/min, le LVSI a un débit de 40 l/min.

3 Méthode

3.1 Caractérisation du site d'intercomparaison et description de l'appareil de mesure HVS

Tous les appareils de mesure ont été disposés sur la place de camping du TCS à Sempach (Figure 2). Cet emplacement remplit les conditions suivantes :

- En matière de topographie et d'utilisation des sols, il s'agit d'un site typique du Plateau suisse.
- L'autoroute A2 est située à 1.5 km de l'autre côté de la ville de Sempach et, de ce fait, suffisamment éloignée pour que ses émissions ne soient pas mesurables immédiatement mais apparaissent dans la pollution de fond.
- Il n'y a pas de gros émetteur dans le voisinage proche.
- Les installations sont protégées du vandalisme car la place de camping est hors service en hiver.
- Il n'y a pas de grands arbres dans le voisinage immédiat.



Figure 2: La place de camping du TCS de Sempach est un site bien adapté à la campagne d'intercomparaison de l'hiver 2018.

Les HVS ont été disposés sur deux rangs sur des palettes de bois espacées d'au moins deux mètres (Figure 4).

Le High Volume Sampler DIGITEL DHA-80 est un appareil complètement automatique pour la collecte des poussières et aérosols en vue d'une évaluation et d'une analyse ultérieure (procédés gravimétriques et analytiques). Le High Volume Sampler DIGITEL DHA-80 dispose d'une capacité d'exposition

de 15 filtres qui sont fixés dans un porte-filtres. À un intervalle programmé, un filtre vierge passe automatiquement à la position située dans le flux d'air. Les appareils peuvent être intégrés dans des réseaux de surveillance via différentes interfaces. Les collecteurs d'échantillons sont disposés dans un boîtier permettant de les exposer directement à l'air.

Les différentes parties du HVS sont décrites dans la Figure 3: le flux d'air est prélevé à une hauteur de 1.5 – 2.5 mètres. L'air est aspiré dans une chambre (2) contenant le filtre après avoir passé verticalement de haut en bas dans un pré-séparateur (1) PM10/PM2.5/PM1 équipé d'un tuyau de prélèvement. La partie supérieure de la chambre d'écoulement fonctionne comme un diffuseur de diamètre régulier et assure un dépôt régulier sur le filtre rond. En raison du diamètre relativement grand du filtre, la vitesse de passage de l'air à travers le filtre n'est que de 0.5 m/s (à 500 l/min). La chute de pression sur le filtre est limitée à 130 mbar afin d'éviter que des filtres trop chargés de poussières ou humides ne se déchirent. Le changement de filtre du High Volume Sampler DIGITEL DHA-80 est automatique. Après le filtre le débit d'air est mesuré à l'aide d'un débitmètre à flotteur (5). La position du flotteur est saisie par un système optique à double faisceau lumineux (5a). La valeur de consigne du débit d'aspiration est maintenue par l'électronique de régulation (5b, 5c) qui gère la vitesse de rotation de la pompe (6). La pression et la température (8) de l'air sont mesurées avant le débitmètre afin de calculer le volume total pompé. L'air quitte l'appareil à travers un atténuateur de bruit (7). Le protocole de mesure liste la durée de prélèvement, le volume effectif et le volume standardisé de l'air pompé à travers le filtre, les valeurs moyennes de la pression et de la température du système de mesure ainsi que les annonces de statut et de perturbation du système⁴.

⁴ Bedienungsanleitung Version Hxx.50. März 2014. DIGITEL Elektronik.

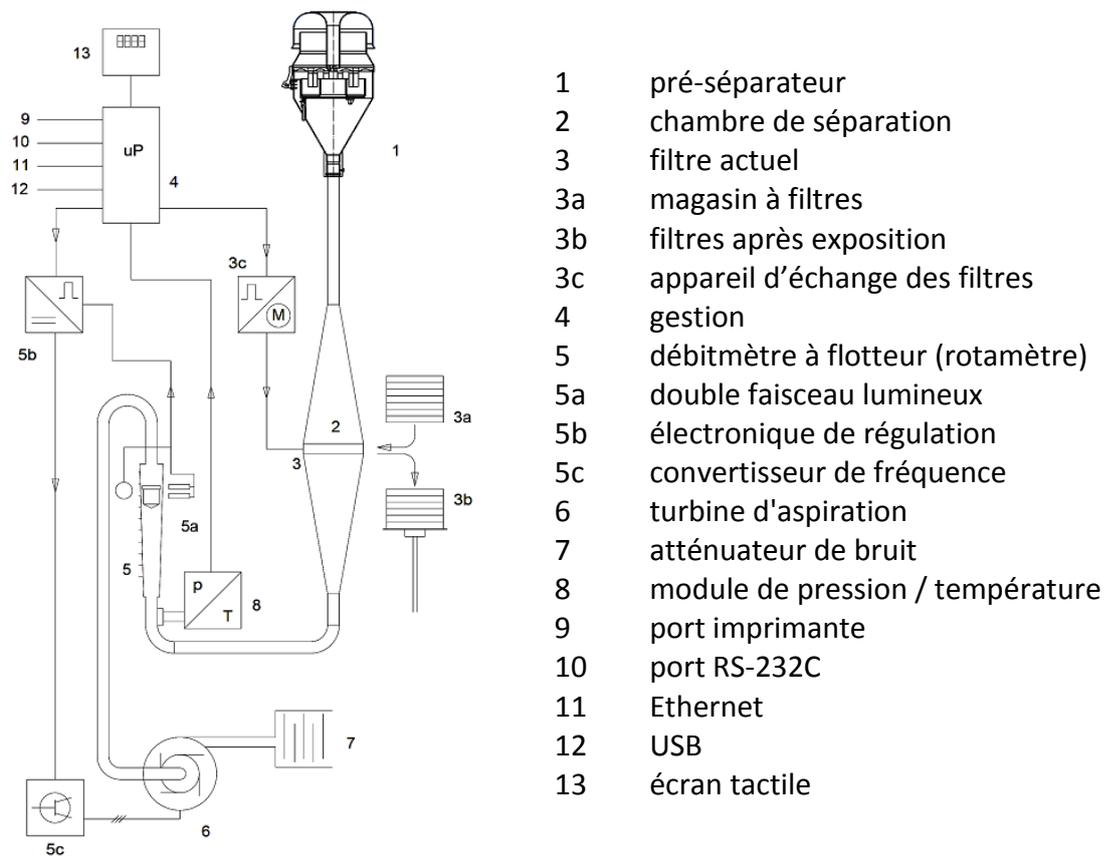


Figure 3: Représentation schématique des éléments d'un High Volume Sampler (HVS).



Figure 4: Aperçu du dispositif de la campagne de mesure.

3.2 Programme de mesure

Le programme a été coordonné par inNET Monitoring AG, qui par la suite est dénommé «organisateur». La campagne a duré six semaines, soit trois séries HVS de deux semaines.

- Début des mesures: Jeudi 18 janvier 2018
- Premier échange des filtres: Mercredi 31 janvier 2018
- Deuxième échange des filtres: Mercredi 14 février 2018
- Fin des mesures: Mercredi 28 février 2018

Initialement il était prévu une période de mesures de quatre semaines. Les conditions météorologiques de la première période ayant donné de très faibles valeurs d'immissions il a été décidé de prolonger la campagne d'une période.

Au total 13 services ont participé à la campagne. Ils sont désignés de « T01 » à « T14 » afin de préserver l'anonymat des participants. Le participant « T12 » s'est retiré durant les préparatifs, c'est pourquoi ses données ne sont pas disponibles. Ainsi, 19 séries de mesures ont été établies :

- 12 séries de mesures avec un High Volume Sampler pour PM10.
- 5 séries de mesures avec un High Volume Sampler pour PM2.5.
- 1 série de mesure avec un Low Volume Sampler pour PM10.
- 1 série de mesure avec un analyseur en continu (Fidas 200S).

Ces séries de mesures seront présentées et analysées séparément dans le chapitre 4. Étant donné que l'essai portait sur l'ensemble du procédé de mesure, chaque participant avait la responsabilité d'effectuer les tâches suivantes :

- Le transport, l'installation et la mise en service du HVS à l'emplacement de mesure.
- La fourniture d'un appareil prêt à l'emploi, calibré et ayant eu sa maintenance effectuée.
- Les deux échanges des filtres durant la campagne.
- Le conditionnement et la mesure gravimétrique des filtres du HVS.
- La résolution des perturbations éventuelles.
- La mesure d'un «filtre blanc» par série.
- Le démontage et le retour du HVS.
- La fourniture des concentrations calculées ainsi que les métadonnées.

L'organisateur était responsable :

- Du contrôle des volumes d'air aspirés au début et à la fin de la campagne d'intercomparaison.
- Du contrôle journalier du changement correct des filtres des appareils et de l'information aux participants en cas de perturbation.

Toutes les configurations des participants sont présentées dans le Tableau 1 et le Tableau 2.

Tableau 1: Configurations Partie 1: Filtre, Transport, HVS, conditions de référence.

Nr.	FILTRE		TRANSPORT		HVS				CONDITIONS DE CALBRATION DU VOLUME		
	Matériel	Fabricant	Mode	Conteneur	Type	Numéro de série	Année	Refroidissement	Température (1.7°C)	Pression (962.7 hPa)	Calcul de la concentration
1PM10	F. de verre	Munktell	Voiture	Portefiltre & Boîte	DHA-80	673	2001	Non	1.7 °C	962.7 hPa	Volume constant
1PM2.5	F. de verre	Munktell	Voiture	Portefiltre & Boîte	DHA-80	378-N	1995	Non	1.7 °C	962.7 hPa	Volume constant
2PM10	F. de verre	Munktell	Voiture	Portefiltre & Boîte	DHA-80	1174	Env. 2010	Non	1.7 °C	962.7 hPa	Volume constant
3PM10	F. de verre	Sartorius	Poste	Portefiltre & Boîte	DHA-80	1583	2011	Non	1.7 °C	962.7 hPa	Volume constant
3PM2.5	F. de verre	Sartorius	Poste	Portefiltre & Boîte	DHA-80	1634	2012	Non	1.7 °C	962.7 hPa	Volume constant
4PM10	F. de verre	Sartorius	Voiture	Portefiltre & Boîte	DHA-80	1210	2009	Non	1.7 °C	963 hPa	Volume journalier effectif
5PM10	F. de verre	Munktell	Voiture	Portefiltre & Boîte	DHA-80	5118	2018	Oui	1.7 °C	962.7 hPa	Volume constant
6PM10	F. de verre	Munktell	Voiture	Portefiltre & Boîte	DHA-80	747	2008	Non	1.7 °C	962.7 hPa	Volume constant
6PM2.5	F. de verre	Munktell	Voiture	Portefiltre & Boîte	DHA-80	1822	2018	Non	1.7 °C	962.7 hPa	Volume constant
7PM10	F. de verre	Munktell	Voiture	Portefiltre & Boîte	DHA-80	5110	2017	Oui	1.7 °C	962.7 hPa	Volume constant
8PM10	F. de verre	Sartorius	Poste	Sachet Pergamin	DHA-80	1755	2015	Non	1.7 °C	962.7 hPa	Volume journalier effectif
9PM10	F. de quartz	Pall (CH) AG	Voiture	Portefiltre & Boîte	DHA-80	1816	2017	Non	9.0 °C	950 hPa	Volume journalier effectif
9PM2.5	F. de quartz	Pall (CH) AG	Voiture	Portefiltre & Boîte	DHA-80	1817	2017	Non	9.0 °C	950 hPa	Volume journalier effectif
10PM10	F. de verre	Sartorius	Poste	Sachet Pergamin & carton	DHA-80	1701	2013	Non	1.7 °C	962.7 hPa	Volume journalier effectif
10PM2.5	F. de verre	Sartorius	Poste	Sachet Pergamin & carton	DHA-80	1790	2016	Non	1.7 °C	962.7 hPa	Volume journalier effectif
11PM10	F. de verre	Munktell	Voiture	Portefiltre & Boîte	DHA-80	1619	2009	Non	1.7 °C	962.7 hPa	Volume constant
13PM10	F. de verre	Munktell	Voiture	Portefiltre & Boîte	DHA-80	1767	2016	Non	1.7 °C	962.7 hPa	Volume constant
					LVS						
14PM10	F. de verre	Munktell	Voiture	Portefiltre & Boîte	PNS 18-DM-6.1	PNS18: 10509 LVS 6.1: 00834	2016	Oui	20.9 °C – 21.1 °C	950 hPa – 951 hPa	Volume journalier effectif

Tableau 2: Configurations partie 2 : conditionnement des filtres, balance et local de pesée.

N°	CONDITIONNEMENT DES FILTRES				BALANCE			LOCAL DE PESEE	
	Lieu	Température	Humidité	Durée	Type	Lisibilité (≤ 10 µg)	Reproductibilité	Température (19-21°C)	Humidité rel. (45-50%)
1PM10	Armoire climatisée	22 °C ± 2 °C	50 % ± 5 %	48 h	Mettler-Toledo XP 205DR	10 µg	15 µg	22 ± 2 °C	50 ± 5 %
1PM2.5	Armoire climatisée	22 °C ± 2 °C	50 % ± 5 %	48 h	Mettler-Toledo XP 205DR	10 µg	15 µg	22 ± 2 °C	50 ± 5 %
2PM10	Local climatisé	21 °C ± 1°C	50 %	48 h	Mettler Toledo XPE 105	10 µg	2 µg	21 °C	50 %
3PM10	Laboratoire non climatisé	20 °C ± 2 °C	0 % (Séchage en dessiccateur)	Au moins 96 h	Mettler Toledo XP 204	10 µg	15 µg	20 °C	50 %
3PM2.5	Laboratoire non climatisé	20 °C ± 2 °C	0 % (Séchage en dessiccateur)	Au moins 96 h	Mettler Toledo XP 204	10 µg	15 µg	20 °C	50 %
4PM10	Armoire climatisée	21 °C ± 1 °C	47 % ± 3 %	Au moins 48 h	Mettler Toledo XPE 205DR	10 µg	20 µg	20 – 22 °C	45 – 50 %
5PM10	Armoire climatisée	22 °C ± 2°C	90 % ± 5 % (précondit.) 50 % ± 5 % (Cond. de pesée)	96 h 48 h	Mettler Toledo XP 205DR	10 µg	15 µg	22 °C	50 %
6PM10	Local climatisé	21.6 °C – 21.8 °C	49.2 % - 51.7 %	Au moins 48 h	Mettler AT 200	100 µg	40 µg	22 °C	50 %
6PM2.5	Local climatisé	21.6 °C – 21.8 °C	49.2 % - 51.7 %	Au moins 48 h	Mettler AT 200	100 µg	40 µg	22 °C	50 %
7PM10	Armoire climatisée	21 °C	50 %	48 h	Mettler Toledo XPE 105	10 µg	2 µg	21 °C	50 %
8PM10	Local climatisé	20 °C ± 1°C	50 % ± 2.5 %	48 h	Mettler Toledo AT 21	1 µg	2 µg	20 °C ± 1 °C	50 % ± 2.5 %
9PM10	Local climatisé	20 °C ± 1°C	> 90 % 45 – 50 %	96 h 96 h	Mettler XP205	10 µg	15 µg	20 °C ± 1 °C	45 – 50 %
9PM2.5	Local climatisé	20 °C ± 1°C	> 90 % (Précondit.) 45 – 50 % (Cond. de pesée))	96 h 96 h	Mettler XP205	10 µg	15 µg	20 °C ± 1 °C	45 – 50 %
10PM10	Local climatisé	20 °C ± 2°C	50 % ± 5 %	48 h	Mettler AT 21 Comparator	1 µg	1.4 µg	20 °C ± 2°C	50 % ± 5 %
10PM2.5	Local climatisé	20 °C ± 2°C	50 % ± 5 %	48 h	Mettler AT 21 Comparator	1 µg	1.4 µg	20 °C ± 2°C	50 % ± 5 %
11PM10	Armoire climatisée	20 °C ± 1°C	50 % ± 1 %	48 h	Mettler Toledo XP 205	10 µg	15 µg	21 °C ± 0.7°C	50.7 % ± 4.5 %
13PM10	Chapelle de laboratoire à humidité constante	23 °C ± 2°C	50 % ± 3 %	Au moins 48 h	Mettler Toledo AT 261	10 µg	15 µg	23 °C	50 %
14PM10	Armoire climatisée	Non surveillée	Non surveillée	168 h + 240 h	Mettler Toledo XS 205 DR	10 µg	10 µg	20 °C – 21 °C	45 % - 55 %

3.3 Station météorologique

La campagne d'intercomparaison a été accompagnée de mesures météorologiques. Les mesures ont porté sur la pression atmosphérique, la température de l'air, l'humidité relative ainsi que sur la vitesse et la direction du vent sur le site. Les roses des vents ont été établies au moyen de valeurs moyennes sur 10 minutes de la vitesse scalaire du vent pondérée en fonction de la direction. La température, l'humidité relative et la pression sont représentées en moyennes journalières. Les données relatives aux précipitations proviennent d'une station de MétéoSuisse (LUZ) proche de Lucerne et sont également données en moyennes journalières.

3.4 Contrôle du débit volumique

Au début et à la fin de la campagne d'intercomparaison, l'organisateur a procédé au contrôle du débit volumique de tous les appareils HVS. Le contrôle de l'appareil LVS n'a pas été possible. La mesure a été réalisée à l'aide du compteur à gaz à turbines radiales (développement du service «Umwelt- und Gesundheitsschutz» (UGZ) de la Ville de Zurich⁵) selon la directive de travail standard qui le concerne⁶. Les conditions de température et de pression au début et à la fin de la campagne d'intercomparaison sont données dans le Tableau 3. Le débit volumique des HVS a été fixé à 500 l/min aux conditions de référence.

Tableau 3: Conditions météorologiques lors des deux jours de contrôle des débits volumiques.

	Température	Pression atmosphérique [hPa]
Début des mesures	T1 = 4.81°C = 277.96 K	P1 = 952.74
Fin des mesures	T2 = -7.53 °C = 265.62 K	P2 = 959.50
Conditions de référence	T _{ref} = 1.7 °C = 274.85 K	P _{ref} = 962.7

Lors de la normalisation aux conditions de référence (Tableau 3) il faut tenir compte du fait que le système de réglage du HVS est lui-même dépendant de la température et de la pression atmosphérique (communication personnelle de Thomas von Allmen, service « Umwelt- und Gesundheitsschutz » de la Ville de Zurich) car il s'agit d'un rotamètre. La formule pour la normalisation est :

$$V_{ref} = V_{mesuré} * \text{facteur de correction} = V_{mesuré} * \sqrt{T_{mesuré}/P_{mesuré} * P_{ref}/T_{ref}}$$

⁵ Kalibrierzertifikat Nr. 135-12816. Turbinenradialrad-Gaszähler. Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS. 2017.

⁶ Ostluft. Probenahmeflusskalibration des Digital DHA 80 HiVol-Sammlers für PM10 - Messungen mit einem Turbinenradialradgaszähler. OL-BSOP23 V.1.3. Verfasser: Thomas von Allmen. 2015.

3.5 Traitement des données

Les concentrations de poussières fines en moyennes journalières de PM10 et de PM2.5 sont données en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les données de PM10 et celles de PM2.5 ont été traitées séparément à l'aide du programme informatique R puis comparées entre elles dans un deuxième temps. De plus, les données du Low Volume Sampler (T14) n'ont pas été incluses dans le traitement des PM10 mais analysées dans un processus séparé. Il en va de même du Fidas 200S.

Unification des données livrées

Les lots de données n'étaient pas tous complets. Parfois il s'agissait de problèmes techniques lors du changement de filtre. Ces données n'ont pas été prises en compte lors du traitement mais considérées comme manquantes.

La boîte à moustaches et l'élimination des valeurs aberrantes

Grâce à une analyse au moyen de boîte à moustache (box plot, Figure 5) des valeurs journalières (x) on a déterminé la médiane (M), les quartiles inférieur et supérieur (Q1 et Q3), les moustaches inférieure et supérieure (W1 et W3)⁷, ainsi que les valeurs aberrantes (A). Les valeurs aberrantes sont définies de la manière suivante :

$$A = x < W1 \mid x > W3$$

$$W1 = Q1 - 1.5 \cdot IQA$$

$$W3 = Q3 + 1.5 \cdot IQA$$

$$IQA = Q3 - Q1$$

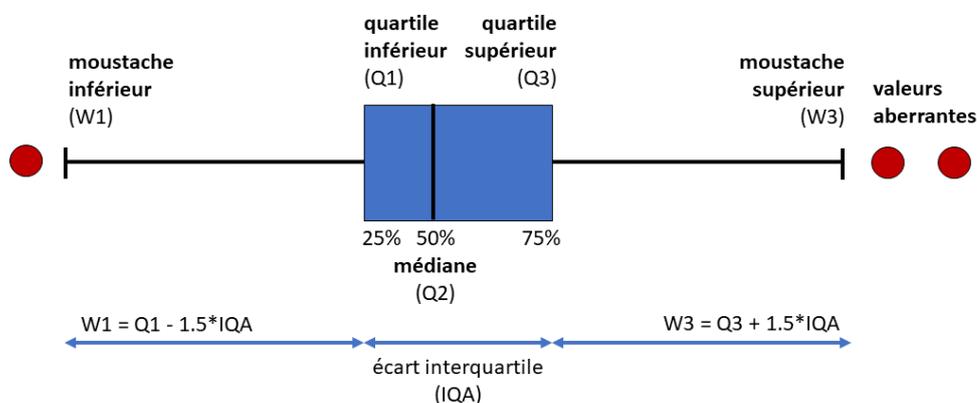


Figure 5: Explication graphique d'une analyse de boîte à moustaches et de l'élimination des valeurs aberrantes.

Valeur moyenne d'un appareil G_n (Figure 6)

La valeur moyenne G_n de l'appareil d'un participant est la moyenne des concentrations en poussières fines mesurées durant toute la période de mesure. Cette valeur n'a pas de signification physique mais elle sert à comparer les participants entre eux. Dans le cas où il manque beaucoup de données la comparaison n'est cependant pas significative. Il est à noter que les valeurs aberrantes n'ont pas été éliminées pour effectuer ce calcul (Figure 6Figure 5). Par la suite « n » indique le nombre de participants

⁷ https://fr.wikipedia.org/wiki/Boîte_à_moustaches

(n=12 pour les PM10, respectivement n=5 pour les PM2.5) et « t » indique le nombre de jours de mesure (t=42).

$$G_n = \frac{\sum_{t=1}^t x(t,n)}{t}$$

Valeurs moyennes journalières comparatives R_t

On a calculé les valeurs moyennes journalières comparatives R_t à l'aide de toutes les valeurs individuelles (x) des participants par jour (t). Pour ce calcul les valeurs aberrantes ont été éliminées.

$$R_t = \frac{\sum_{n=1}^n x(t,n)}{n}$$

Ces valeurs moyennes journalières comparatives représentent les valeurs journalières conventionnelles des poussières fines en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Valeur moyenne générale (GMW)

La valeur moyenne générale (GWM) est la moyenne des valeurs moyennes journalières comparatives R_t (Figure 6). Cette valeur n'est pas identique à la valeur moyenne de toutes les moyennes des appareils (G_n). La différence entre les deux méthodes de calcul réside dans l'absence des valeurs individuelles manquantes (« NA ») et dans l'élimination des valeurs aberrantes.

Déviaton d'un participant par rapport à la valeur moyenne journalière comparative

La déviaton moyenne D_n par participant a été calculée en valeur absolue et en pourcentage. On a d'abord calculé la différence entre chaque valeur individuelle $x(n,t)$ et la valeur moyenne journalière comparative (R_t) afin de déterminer la valeur moyenne des différences.

$$\text{Déviaton absolue: } D_{n, \text{abs}} [\mu\text{g}/\text{m}^3] = \frac{1}{t} * \sum_{t=1}^t x(n, t) - R_t$$

$$\text{Déviaton relative: } D_{n, \text{rel}} [\%] = \frac{1}{t} * \sum_{t=1}^t \frac{[x(n,t) - R_t]}{R_t} * 100$$

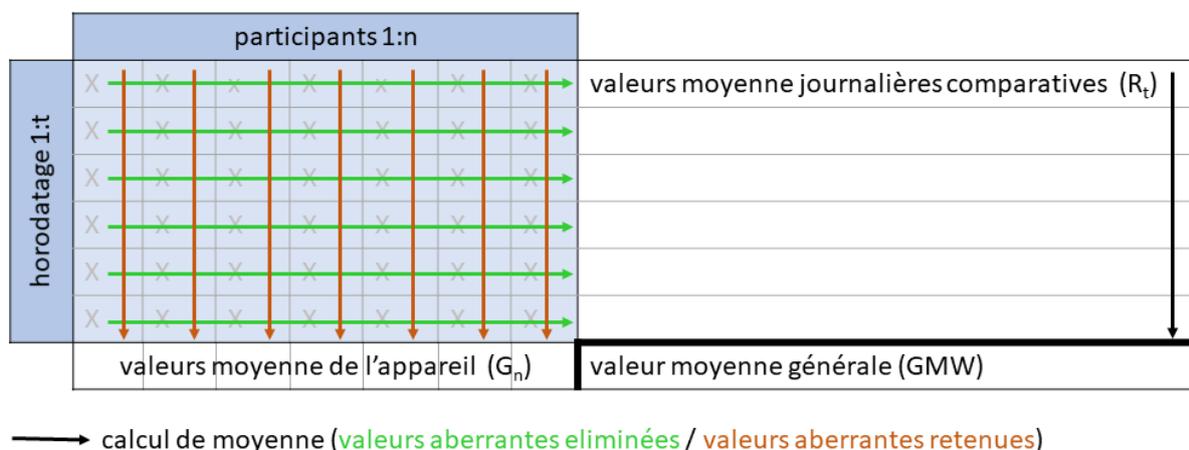


Figure 6: Illustration des calculs.

4 Résultats

4.1 Situation météorologique durant la période d'essais

Au début de l'intercomparaison, le 18 janvier 2018, la température moyenne était d'environ 5 degrés Celsius. Une faible brise du Nord-Ouest faisait suite à la tempête « Evi » qui avait sévi deux jours avant. Ensuite, des précipitations ont été enregistrées plusieurs jours durant. Début février la pression atmosphérique a fortement diminué amenant la température au point de congélation et s'accompagnant d'un nouvel épisode de précipitations. Après deux jours plus chauds à la mi-février, à nouveau accompagnés d'épisodes de pluie et d'une forte humidité de l'air, la température est descendue jusqu'à -10 degrés. Ces basses températures se sont accompagnées d'un vent du Nord-Est (Bise) à 15 km/h et d'une diminution de l'humidité de l'air.

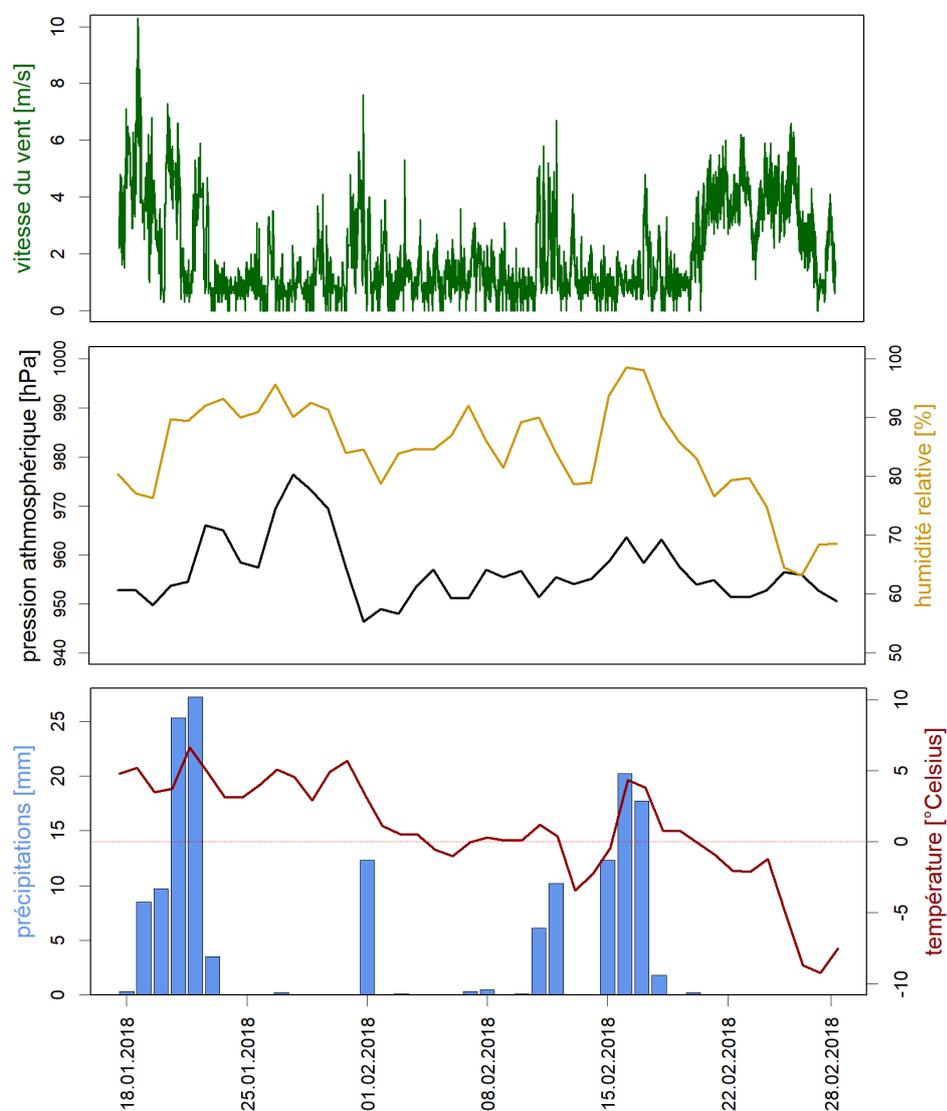


Figure 7: Le vent (vert), la pression atmosphérique (noir), l'humidité relative de l'air (jaune) et les mesures de la température (rouge) durant la période de l'intercomparaison à Sempach, ainsi que les mesures des précipitations (colonnes bleues) durant la même période à Lucerne. Les mesures de vent sont des valeurs sur 10 minutes alors que pour les autres données ce sont des valeurs journalières.

La rose des vents sur l'ensemble de la période d'intercomparaison indique que les vents les plus forts venaient principalement du Nord-Ouest et du Nord-Est. Par vent faible on observait également des vents du Sud-Est. Les graphiques des roses des vents journalières sont présentés en annexe.

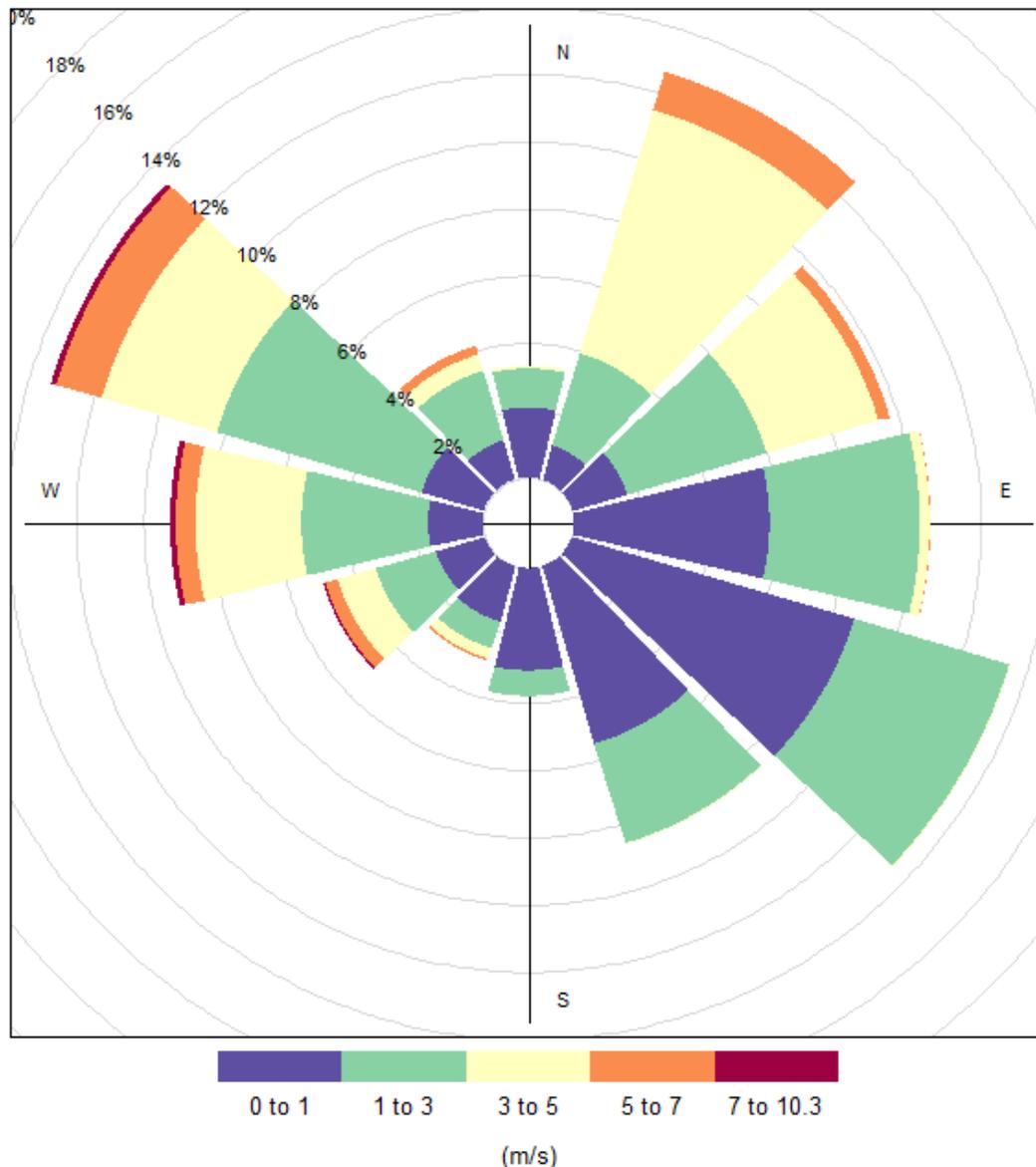


Figure 8: Rose des vents à l'aide des valeurs sur 10 minutes pour toute la période des mesures. Les roses des vents journalières sont présentés en annexe. Les roses des vents indiquent la direction d'où vient le vent. En complément la vitesse du vent (m/s) est indiquée par des couleurs et la fréquence des valeurs (%) par la longueur des secteurs.

4.2 Contrôle du débit volumique

Les résultats des contrôles du débit volumique au début et à la fin de la période d'intercomparaison sont présentés dans le Tableau 4. Trois mesures ont été réalisées pour chaque participant. Le tableau comporte la moyenne de ces trois mesures ou, dans le cas où une mesure n'est pas valable, la moyenne des deux mesures restantes. Par manque de temps le participant 09 n'a pas participé à la mesure finale.

Tableau 4: Données moyennes des mesures de débit volumique en l/min respectivement au début et à la fin de la campagne d'intercomparaison. Les valeurs de référence pour la normalisation figurent dans le tableau 3.

	Mesure initiale		Mesure finale	
	mesuré	normalisé	mesuré	normalisé
01 PM2.5	493.45	498.8	506.77	499.0
01 PM10	494.58	500.0	510.80	503.0
02 PM10	497.36	502.8	513.16	505.3
03 PM2.5	510.05	515.6	522.72	514.7
03 PM10	509.29	514.8	521.12	513.1
04 PM10	498.91	504.3	513.67	505.8
05 PM10	498.47	503.9	511.91	504.1
06 PM2.5	494.09	499.5	508.72	500.9
06 PM10	494.20	499.6	508.85	501.1
07 PM10	500.45	505.9	509.31	501.5
08 PM10	501.08	506.5	513.67	505.8
09 PM2.5	496.01	501.4	-	-
09 PM10	494.62	500.0	-	-
10 PM2.5	501.07	506.5	511.72	503.9
10 PM10	499.51	504.9	512.93	505.1
11 PM10	489.02	494.3	503.54	495.8
13 PM10	496.80	502.2	508.57	500.8
Valeur moyenne	498.17	503.6	511.83	504.0
Déviat ion standard	5.36	5.42	4.97	4.89

Les valeurs mesurées ont été normalisées pour tenir compte des températures et pressions différentes au début et à la fin de la campagne d'intercomparaison (Tableau 3 et Tableau 4). Avec une déviation standard d'environ 1 % (aussi bien avec les valeurs brutes qu'avec les valeurs normalisées) la dispersion des résultats entre les participants est faible.

4.3 Evolution temporelle des mesures de poussières fines au moyen d'un High Volume Sampler

Les évolutions des concentrations de PM10 et de PM2.5 présentent en général le même comportement au cours du temps (Figure 9). La valeur moyenne journalière minimale (R_t) des PM10 était de $2.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et le maximum de $42.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avec une valeur moyenne générale (GMW) de $19.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cette valeur représente la moyenne conventionnelle de la charge en poussières fines. De ce fait la valeur limite journalière pour le PM10 de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ n'a jamais été dépassée durant les jours de mesure. Les valeurs moyennes journalières comparatives (R_t) des PM2.5 s'échelonnent entre $1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $38.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ avec une GMW de $16.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Durant les 30 premiers jours de mesure, la concentration des PM a diminué avec l'augmentation du vent et des précipitations. Durant les derniers jours de mesure, alors que la température était très basse et qu'il ne pleuvait pas, les concentrations étaient hautes bien que la bise souffle et qu'il n'y ait

pas de précipitations. Il est probable que durant cette période le vent du Nord-Est amenait de l'air pollué du Plateau suisse.

On ne voit pas de relation entre la direction du vent et la concentration de poussières fines.

En moyenne sur la période de mesure la proportion de PM2.5 est de 83 %. Ce qui frappe cependant c'est que, pour certains participants et certaines moyennes journalières, le rapport PM2.5/PM10 est plus grand que 1.0, ce qui est physiquement impossible. La Figure 10 présente les différences absolues et relatives des deux fractions. Cette figure ne présente que les résultats des participants qui ont mesuré les PM10 et les PM2.5. Les valeurs aberrantes n'ont pas été éliminées dans cette représentation. On ne peut pas tirer de modèle entre les différences et les mesures absolues.

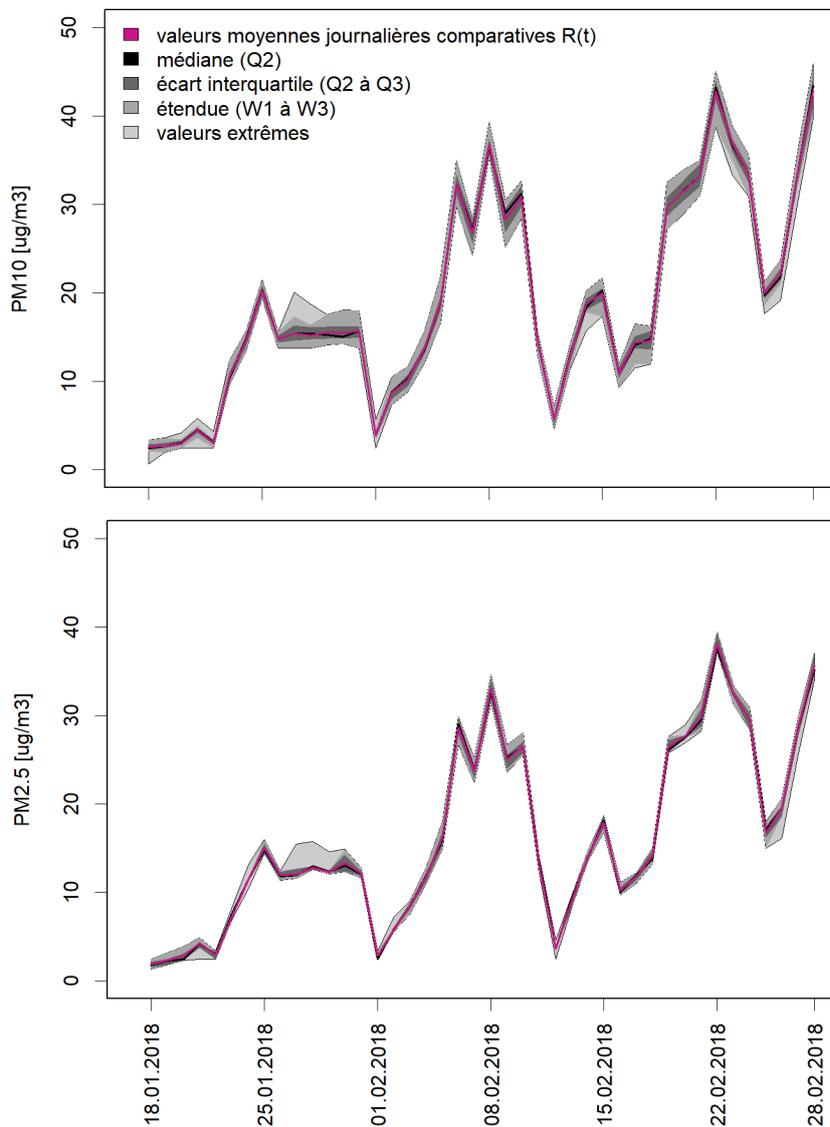


Figure 9: Évolution de la concentration des PM10 (en haut) et celle des PM2.5 (en bas). La valeur moyenne journalière comparative (R_t) est représentée en rouge, la médiane en noir et les mesures divergentes en niveaux de gris. Dans le graphique ci-dessous la proportion de PM2.5 des PM10 est indiquées sur l'axe des Y de droite.

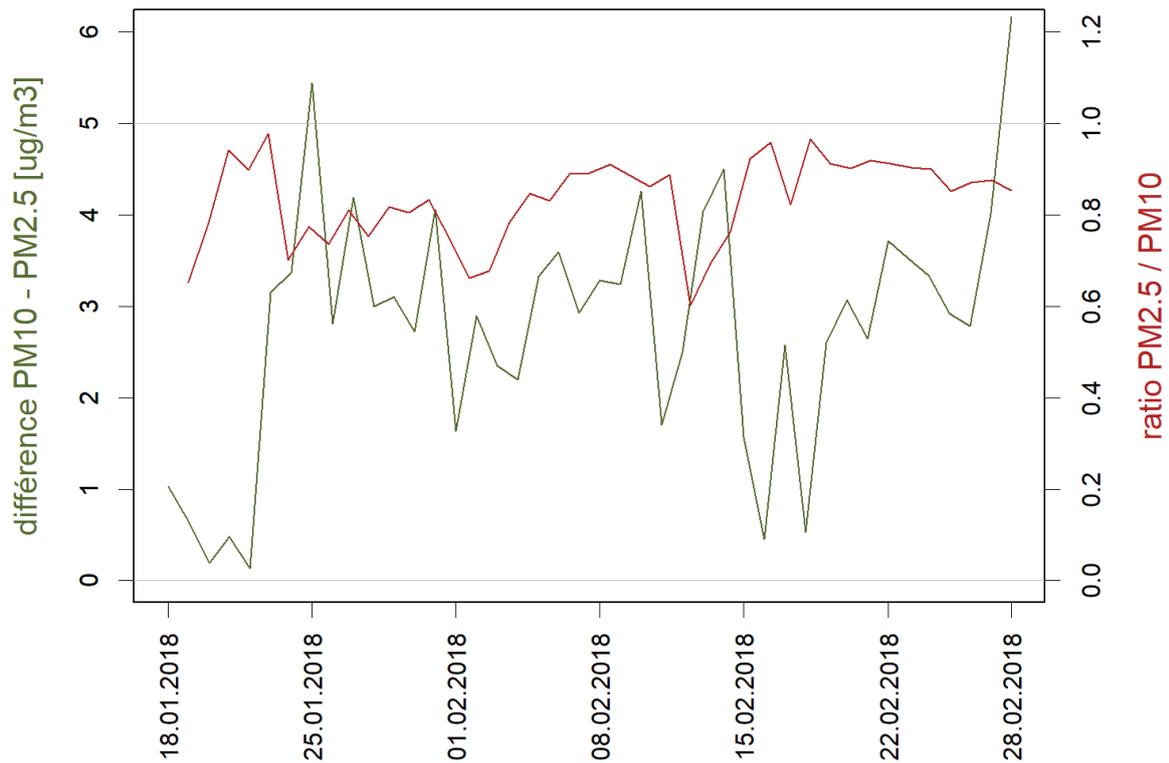


Figure 10: Représentation en fonction du temps de la différence absolue (axe des Y gauche) et du quotient (axe des Y droite) entre PM10 et PM2.5 pour les participants ayant mesuré les deux fractions de poussières fines. Les valeurs aberrantes n'ont pas été éliminées.

4.4 Évaluation des participants

À l'exception du participant T12, tous les participants ont réalisés 42 jours complets de mesures. Le nombre de valeurs journalières valables est cependant variable (Tableau 5). Dans certains cas les problèmes techniques sont apparus au début de l'intercomparaison et lors des changements de filtre, ce qui a conduit à des valeurs invalides (« NA ») que les participants ont immédiatement annoncées.

4.4.1 Mesures des PM10

L'analyse au moyen de boîte à moustaches a permis d'éliminer les valeurs aberrantes (Figure 5 et chapitre 0). Entre 0 et 5 mesures journalières par participant ont été éliminées des 42 mesures journalières (Tableau 5). Les valeurs moyennes journalières par appareil (G_n) – calculées sans éliminer les valeurs aberrantes – s'échelonnent entre $18.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (T07) et $21.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (T01). La valeur moyenne générale (GMW) – calculée après élimination des valeurs aberrantes – est située à $19.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ceci signifie que la valeur moyenne par appareil (G_n) de certains participants s'éloigne de plus de 5 % de la valeur moyenne générale (GMW) (Tableau 5). Ceci concerne plus particulièrement les T01 (+15 %), T06 (-5 %), T07 (-6 %) et T09 (+6 %). La comparaison est cependant faussée en raison de nombreux manques de données de mesure.

Le participant 1 surévalue les petites valeurs moyennes journalières comparatives (R_t) et sous-évalue les grandes ce qui provoque une pente négative de la droite dans la Figure 14. Cependant à partir des valeurs autour de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ l'incertitude reste stable et petite. Par ailleurs des problèmes techniques ont eu lieu au début des mesures, ce qui fait qu'il manque quelques valeurs journalières basses. Ceci entraîne une valeur moyenne par appareil sensiblement trop haute. Le participant 06 présente un cas contraire : les données aberrantes de la fin de la période de mesure de cet institut ont dû être éliminées. En outre le participant sous-évalue généralement la «réalité», ce qui fait que l'erreur augmente avec la valeur moyenne journalière comparative (R_t) (Figure 14).

Le participant 07 sous-évalue également de manière générale la valeur moyenne journalière comparative (R_t). Contrairement au participant 06 son incertitude (relative et absolue) diminue avec l'augmentation des valeurs moyennes journalières comparatives (R_t). Cela signifie que les petites valeurs moyennes journalières comparatives ont été plus mal évaluées que les grandes. Ce participant présente la plus grande déviation moyenne des données valables par rapport à la valeur moyenne journalière comparative ($D_{s,rel} = -7.4 \%$ dans le Tableau 5). Toutefois cette déviation concerne principalement les petites valeurs mesurées. Si l'on ne considère que les mesures de la valeur moyenne journalière comparative supérieures à $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la déviation descend à -3 %. Ceci est également valable pour le participant 09 qui surévalue légèrement la valeur moyenne journalière comparative, principalement dans le domaine inférieur et moyen.

Les participants 02 et 13 présentent certes une très petite déviation par rapport à GMW ($-1.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivement $+2.64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans le Tableau 5) mais cependant une pente positive de la droite de la Figure 14. De ce fait les petites valeurs moyennes journalières comparatives (R_t) sont sous-évaluées et les grosses surévaluées, ce qui se compense bien dans la valeur moyenne. Ceci est également valable pour les participants 10 et 11. Dans ces cas les droites présentent cependant une pente négative. De ce fait T10 surévalue les petites valeurs de référence et sous-évalue les grandes.

En plus de séries de mesures sans faille ni valeurs aberrantes, les participants 03, 04 et 08 présentent également une très faible surévaluation de GMW et des valeurs moyennes journalières comparatives (R_t), et de ce fait un petit offset positif q . Le participant 05 sous-évalue légèrement la GMW ainsi que les valeurs moyennes journalières comparatives élevées.

En général les déviations de tous les participants par rapport aux valeurs moyennes journalières comparatives (R_t) sont faibles et la qualité de la mesure peut être considérée comme bonne : $D_{n,rel}$ se situe entre -7.72 % et +6.94 %. De plus, si l'on ne considère que les plus grandes valeurs, c'est-à-dire toutes les mesures temporelles plus hautes que la valeur de référence de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, les incertitudes s'échelonnent entre -5.38 % bis +5.36 %.

De la même manière que dans le rapport de l'EMPA (2001)⁸ on a calculé l'incertitude de mesure d'une valeur journalière à partir de la déviation standard des différences de tous les participants par rapport à la médiane journalière (sans éliminer les valeurs aberrantes). Dans cette campagne, cette valeur est de $1.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tableau 5: résumé de la qualité des mesures des participants à la campagne de comparaison.

		HVS											LVS ^A	Fidas ^A	
		T01	T02	T03	T04	T05	T06	T07	T08	T09	T10	T11	T13	T14	T06
PM10	Nombre de mesures	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42
	dont NA	9	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	1	1	0
	Dont valeurs aberrantes	1	1	0	0	2	5	1	0	2	0	3	0	4	14
	Valeur moyenne par appareil	21.97 ^E	18.73	19.67	19.70	18.53	18.11	18.00	19.27	20.32	19.19	19.94	19.59	20.08	18.49
	Déviations par rapport à GMW [%]	+15.11 ^E	-1.85	+3.05	+3.21	-2.92	-5.11	-5.67	+0.97	+6.45	+0.52	+4.46	+2.64	+5.19	-3.12
	Offset q ^B	+17.98	-21.26	+3.49	+2.72	-4.74	-1.64	-13.63	+4.77	+9.96	+6.04	+14.06	-8.08	+7.28	-11.80
	Pente des erreurs m ^C	-0.68	+0.75	-0.02	+0.02	+0.07	-0.13	+0.31	-0.15	-0.21	-0.30	-0.37	+0.33	-0.08	+0.34
	$D(n,rel)$ [%] ^D	+2.90	-6.87	+3.17	+3.08	-3.39	-4.21	-7.72	+1.96	+5.79	+0.11	+6.94	-1.58	+5.71	-5.37
$D(n,rel)$ avec $x > 25$ [%]	-4.27	+2.63	+2.98	+2.76	-5.38	-4.64	-2.96	+0.14	+0.54	-2.81	+5.36	+4.11	+4.19	-2.58	
PM2.5	Nombre de mesures	42		42		42		42	42					42	
	dont NA	1		0		0		5	2					0	
	dont valeurs aberrantes	4		1		3		6	0					28	
	Valeur moyenne par appareil	16.29		16.78		15.74		17.71	16.20					16.27	
	Déviations par rapport à GMW [%]	+0.10		+3.15		-3.25		+8.86	-0.41					0.00	
	Offset q ^B	-1.11		-0.07		-8.70		+20.91	-6.38					-17.46	
	Pente des erreurs m ^C	+0.03		+0.14		+0.24		-0.71	+0.15					+0.77	
	$D(n,rel)$ [%] ^D	-0.56		+2.25		-4.77		+8.85	-3.93					-4.88	
$D(n,rel)$ bei $x > 25$ [%] ^D	-1.56		+4.66		-1.60		+0.45	-2.66					-2.58		

^A) Les mesures du LVS et du Fidas n'ont pas été prises en compte pour le calcul de la GMW.

^B) et ^C) Les données (q und m) se rapportent à la déviation relative de la Figure 14.

^D) $D(n,rel)$ décrit la déviation moyenne relative des mesures individuelles de la valeur moyenne journalière comparative (Chapitre 0)

^E) T01 a eu des problèmes techniques au début des mesures c'est pourquoi il manque plusieurs valeurs (basses), ce qui entraîne une valeur moyenne de l'appareil trop haute.

⁸ Immissionsringversuch Feinstaub PM10 2001 in Dübendorf, Zusammenfassung der Resultate im Auftrag des Cercl'Air. EMPA. 2001.

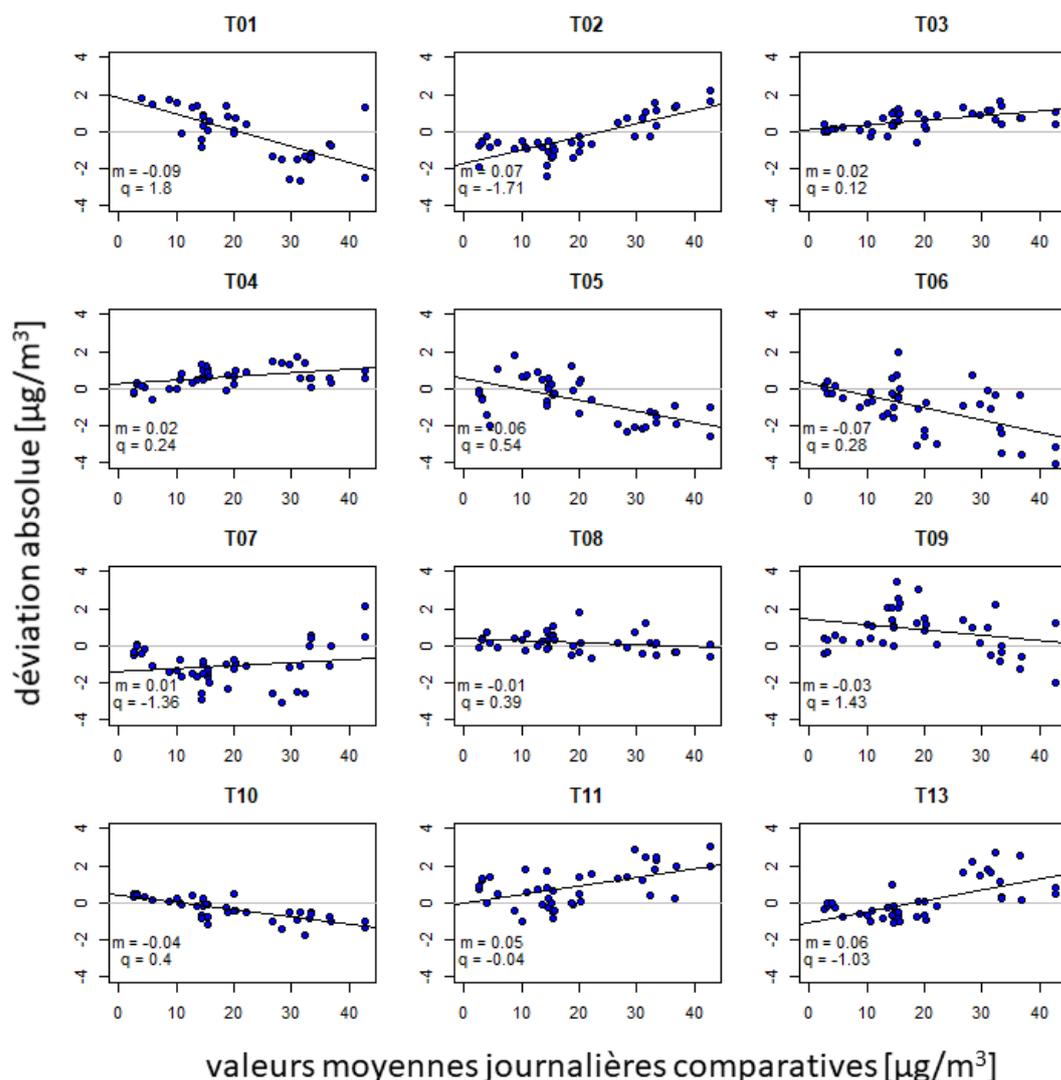


Figure 11: Déviation absolue des mesures HVS de PM10 des participants par rapport à la valeur moyenne journalière comparative. La droite passe entre les points de mesure. La pente de la droite est donnée par m , l'intersection avec l'axe des X par q .

4.4.2 Mesures des PM2.5

Cinq participants parmi les 12 ont également mesuré les PM2.5. Compte-tenu du faible nombre de participants, le traitement statistique et la détermination de GMW sont moins significatifs.

Les participants ont eux-mêmes éliminé jusqu'à 5 valeurs parmi les 42 mesurées en raison de problèmes techniques. Comme pour les mesures de PM10 une analyse au moyen de boîte à moustaches a permis d'éliminer les valeurs aberrantes, ce qui représente entre 0 et 6 valeurs. La valeur moyenne par appareil (G_n) se situe entre $15.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (T06) et $17.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (T09) (Tableau 5) et la GMW vers $16.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Par ailleurs la performance individuelle des participants est semblable à celle relative à la mesure des PM10. Le participant 01 a de meilleurs résultats que pour les PM10 car il a moins de valeurs manquantes. Les déviations sont indiquées dans le Tableau 5 et la Figure 12.

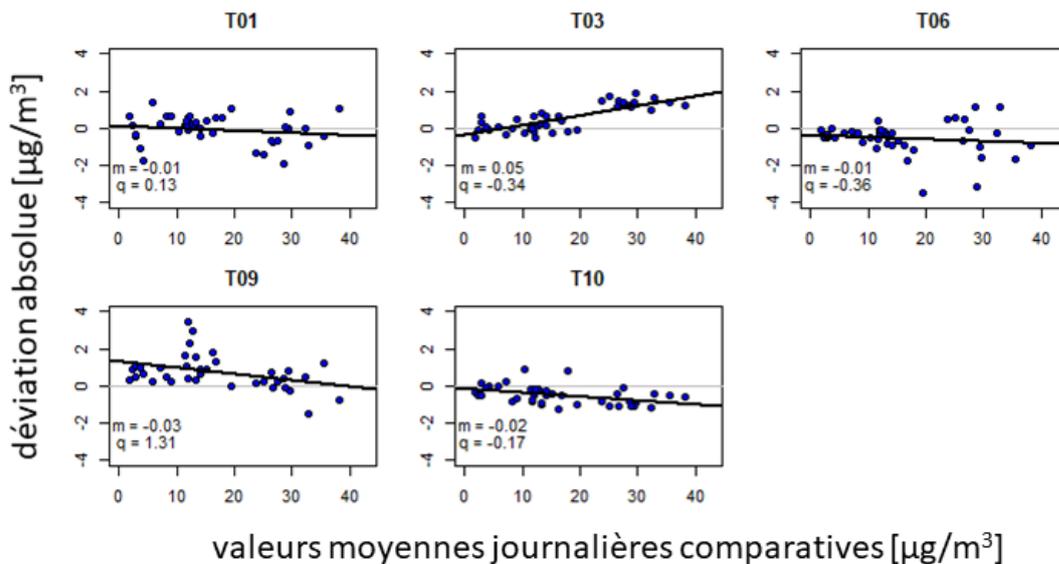


Figure 12: Déviation absolue des mesures HVS de PM2.5 des participants par rapport à la valeur moyenne journalière comparative. La droite passe entre les points de mesure. La pente de la droite est donnée par m, l'intersection avec l'axe des X par q.

4.5 Low Volume Sampler

Les mesures par LVS ne présentent qu'une valeur manquante et quatre valeurs aberrantes dont une particulièrement marquée (Figure 15, jour 10). En général les mesures LVS et les mesures HVS vont de pair. Les valeurs moyennes journalières comparatives des HVS sont en général légèrement surévaluées (Offset de +7.28, Tableau 5). La valeur moyenne par appareil (Gn) est environ 5 % plus élevée que la valeur moyenne générale (GMW). La déviation absolue augmente avec les valeurs de référence alors que la déviation relative diminue légèrement (Figure 18).

4.6 Fidas

Les mesures réalisées avec le Fidas 200S présentent, aussi bien pour les PM10 que pour les PM2.5, une série de données fiable, c'est-à-dire sans perte de données et avec des valeurs moyennes journalières valables. Les mesures du Fidas sont des valeurs brutes qui n'ont pas été corrigées par rapport aux mesures de références HVS. Il y a cependant beaucoup de valeurs aberrantes en comparaison avec les valeurs moyennes journalières comparatives (R_t) des HVS (Tableau 5). Cela ne signifie pas nécessairement que les mesures Fidas sont moins bonnes mais que les deux méthodes ne se recouvrent pas encore complètement. Il est intéressant de constater que les déviations par rapport à la valeur moyenne générale de -3.1 % pour les PM10 et 0.0 % pour les PM2.5 sont malgré tout très petites.

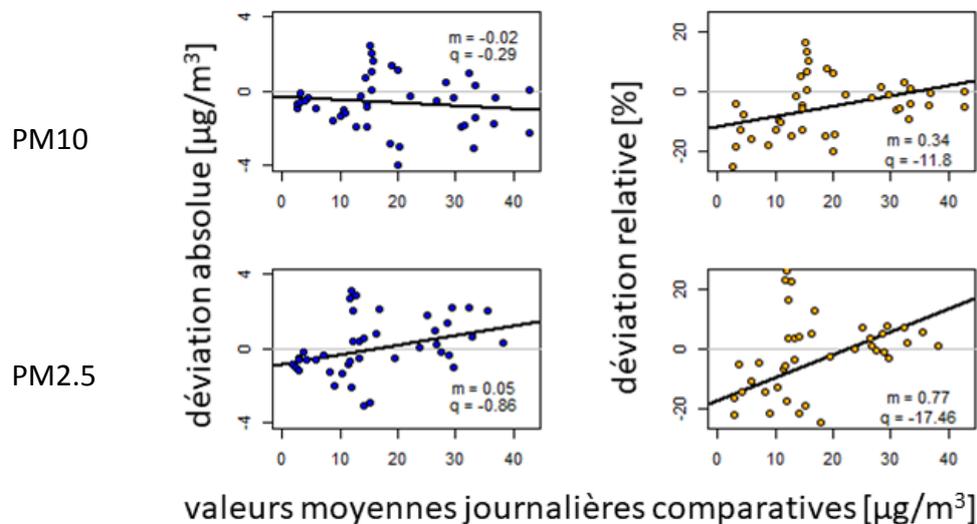


Figure 13: Déviations absolues et relatives (D_n und $D_{n,rel}$) des mesures Fidas pour les PM10 (en haut) et les PM2.5 (en bas) par rapport à la valeur de référence HVS. La droite passe entre les points de mesure. La pente de la droite est donnée par m et l'intersection avec l'axe des X par q . Ces données figurent également dans le Tableau 5

5 Discussion

Les mesures de PM10 et de PM2.5 sont en général de bonne qualité pour tous les participants. Il y a cependant quelques points qui doivent être améliorés et quelques pratiques qui doivent être unifiées afin de garantir un programme de mesure homogène à l'échelle de la Suisse.

On s'attend à ce que le transport, la manutention et la manipulation en laboratoire des filtres provoquent de petites déviations individuelles. Celles-ci pourraient éventuellement expliquer la position de la droite (p. ex. Figure 14). L'incertitude de la pesée, de la température et de l'humidité relative dans le local de pesée sont définis par une norme européenne⁹. Le participant 06 disposait d'une balance trop imprécise. Pour certains participants la température était un petit peu trop haute (Tableau 2). Les prescriptions concernant l'humidité relative dans la salle de pesée a été respectées par la majorité des participants. Le participant 03 a utilisé une autre procédure de conditionnement des filtres que les autres participants (séchage à 0 % en dessiccateur). Les participants 05 et 09 utilisent un procédé en deux étapes pour conditionner les filtres vierges, d'abord avec une humidité relative à plus de 90 % puis une humidité entre 45-50 %.

Le contrôle du débit volumique a été réalisé avant et après la campagne. Avec une déviation standard d'environ 1 %, les débits ramenés aux conditions standards peuvent être qualifiés d'excellente qualité.

⁹ Air ambiant - Méthode normalisée de mesurage gravimétrique pour la détermination de la concentration massique MP10 ou MP2,5 de matière particulaire en suspension EN 12341:2014.

Dans la présentation des données, il faut définir une procédure unifiée dans le traitement des basses concentrations. Actuellement trois procédures sont utilisées :

- Pour les valeurs $<5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aucune valeur n'est donnée (NA), car l'incertitude est plus grande que la valeur mesurée.
- La valeur mesurée est donnée malgré tout.
- Pour les valeurs $<5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ la demi-valeur est donnée, soit $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Pour des raisons inhérentes à la fourniture de l'intégralité des données et d'exactitude, il convient de privilégier la deuxième version (valeur effectivement mesurée) sinon il peut y avoir une erreur systématique dans le calcul de la valeur moyenne annuelle.

En ce qui concerne la validation des données, il faut également définir une procédure unifiée à propos des valeurs de PM_{2.5} qui sont supérieures aux valeurs de PM₁₀. Il est recommandé de conserver ces valeurs afin qu'il n'y ait pas d'erreur systématique dans le calcul des moyennes temporelles.

Selon les recommandations de l'OFEV relatives aux immissions, l'incertitude de mesure dans le domaine des valeurs limites journalières, soit $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM₁₀, ne doit pas dépasser 15%. Lors de cette campagne de comparaison les mesures HVS $>25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ présentaient une dispersion de -5.4 % à +5.4 % par rapport à la valeur moyenne journalière (Tableau 5). Les recommandations sont donc très bien respectées.

Dans une campagne similaire réalisée en 2001, l'incertitude de mesure pour des valeurs HVS de PM₁₀ a été déterminée en calculant la déviation standard des différences de tous les participants par rapport à la médiane journalière¹⁰. La valeur était de $3.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Si l'on effectue le même calcul pour la présente campagne la valeur est de $1.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Au cours de ces dernières années l'incertitude de mesure s'est encore réduite et se situe à environ 2 % dans le domaine de la valeur limite des PM₁₀.

De manière générale on peut retenir qu'en Suisse la qualité des mesures HVS de poussières fines se situe à un bon niveau. Cette campagne a révélé quelques possibilités d'amélioration qui seront incorporées dans les recommandations relatives au mesurage des immissions de l'OFEV dont la mise à jour est en cours d'élaboration par le groupe de travail Cercl'Air « Assurance qualité des mesures d'immissions ». Un potentiel supplémentaire d'amélioration existe dans le conditionnement des filtres. Pour cela les laboratoires devraient se référer à la norme européenne existante¹¹.

Les mesures d'accompagnement réalisées avec l'analyseur en continu Fidas 200S indiquent qu'il peut y avoir de grandes différences entre les deux procédés de mesure et qu'il est indiqué de relier les analyseurs à la méthode de référence.

Il est utile de répéter périodiquement ces campagnes d'intercomparaison afin de maintenir une haute qualité dans la mesure des poussières fines. Ceci est d'autant plus important qu'avec la nouvelle valeur

¹⁰ Immissionsringversuch Feinstaub PM₁₀ 2001 in Dübendorf, Zusammenfassung der Resultate im Auftrag des Cercl'Air. EMPA. 2001.

¹¹ Air ambiant - Méthode normalisée de mesurage gravimétrique pour la détermination de la concentration massique MP₁₀ ou MP_{2,5} de matière particulaire en suspension EN 12341:2014.

limite relative aux PM2.5 les exigences de qualité augmentent pour les exploitants des réseaux de mesure. À l'issue de la campagne de comparaison, les recommandations suivantes pour la mesure des HVS peuvent être résumées ainsi :

- Pesées à effectuer selon la norme EN 12341.
- Conditionnement des filtres à effectuer selon la norme EN 12341.
- Procédure pour les valeurs mesurées plus petites que $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$: utiliser la valeur effectivement mesurée afin d'éviter des erreurs systématiques .
- Procédure pour les valeurs mesurées de PM2.5 supérieures aux valeurs de PM10 : utiliser la valeur effectivement mesurée afin d'éviter des erreurs systématiques.

6 Annexe

Valeurs moyennes journalières comparatives pour PM10 et PM2.5 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les valeurs sont représentées de manière graphique dans la Figure 9.

Jour	PM10	PM2.5
1	2.62	1.88
2	2.73	2.31
3	3.01	2.86
4	4.47	4.26
5	3.07	2.95
6	10.58	7.23
7	14.61	11.47
8	20.34	15.08
9	14.74	11.94
10	15.40	12.03
11	15.22	12.81
12	15.57	12.30
13	15.52	13.32
14	15.71	12.18
15	3.91	2.81
16	8.75	5.79
17	10.17	8.34
18	13.67	11.82
19	18.88	16.19
20	32.32	28.61
21	26.77	23.72

Jour	PM10	PM2.5
22	36.75	33.00
23	28.30	25.03
24	30.92	26.59
25	14.60	13.22
26	5.77	3.63
27	12.87	9.06
28	18.78	14.03
29	19.95	17.95
30	10.92	10.25
31	14.43	11.81
32	14.53	14.09
33	29.69	26.51
34	31.54	27.60
35	33.16	29.77
36	42.81	38.15
37	36.88	32.32
38	33.39	29.52
39	19.92	16.73
40	22.13	19.62
41	33.33	28.87
42	42.89	35.66

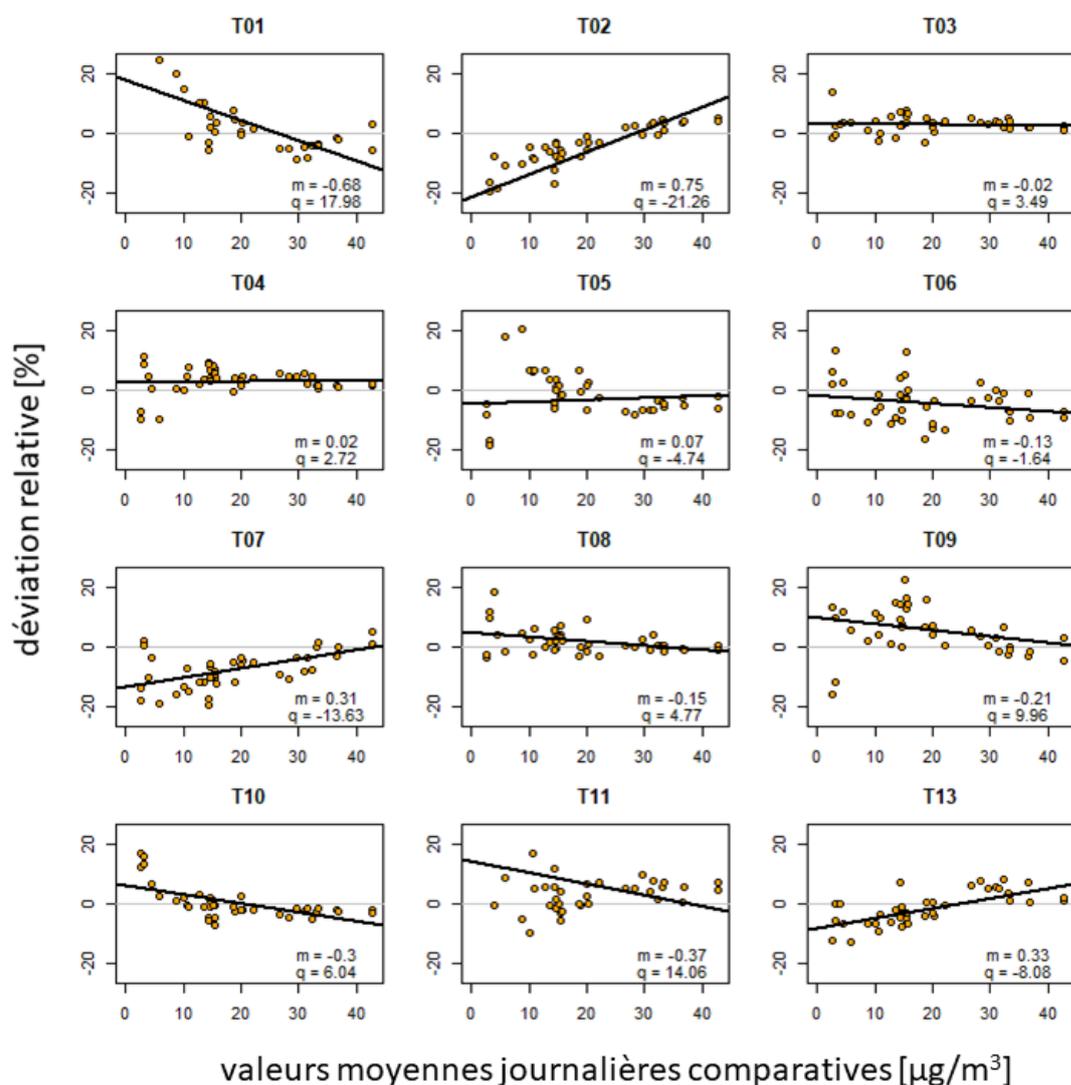


Figure 14: Déviations relatives $D_{n,rel}$ des valeurs de PM10 de chaque participant par rapport à la valeur moyenne journalière comparative. La droite passe entre les points de mesure. La pente de la droite est donnée par m et l'intersection avec l'axe des x par q . Ces données figurent également dans le Tableau 5.

6.1 Low Volume Sampler

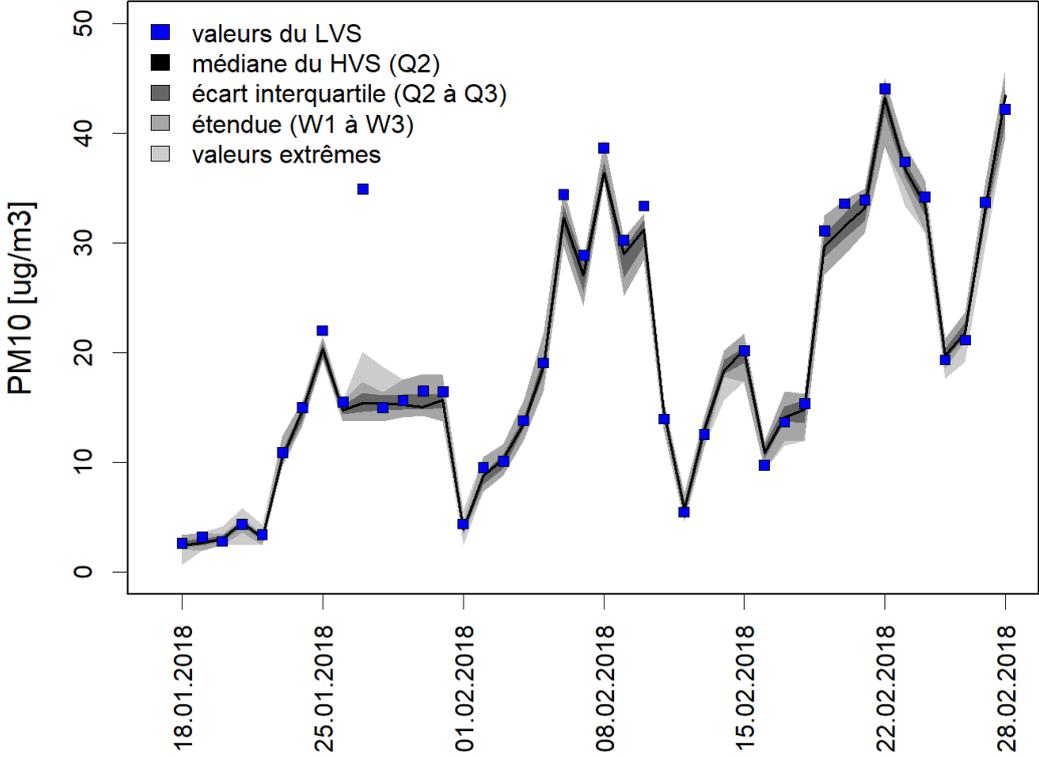


Figure 15: Valeurs des PM10 mesurées par LVS en bleu par rapport aux mesures HVS (gris).

6.2 Fidas

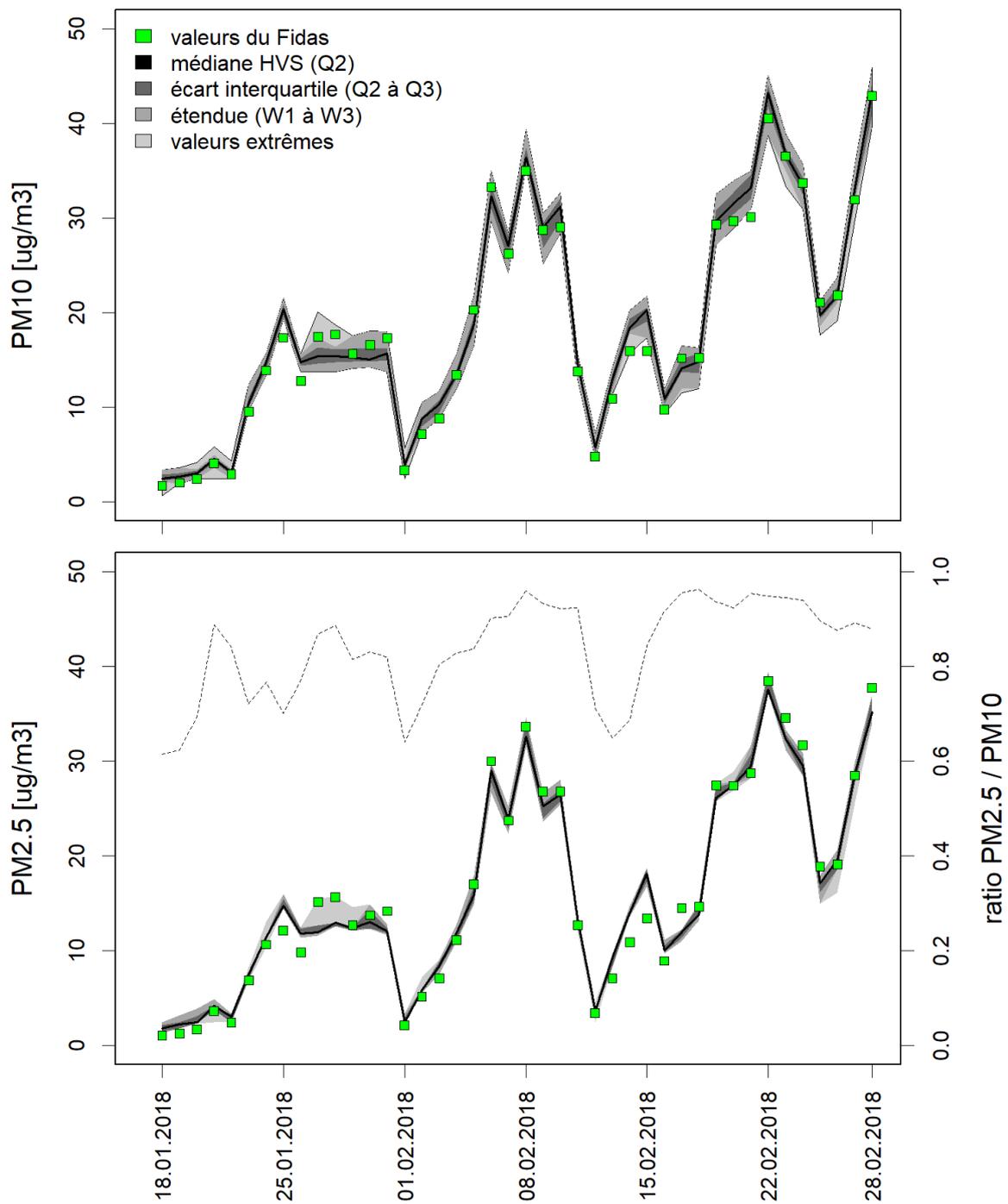


Figure 16: Valeurs mesurées par Fidas des PM10 (vert, en haut) et des PM2.5 (vert, en bas) comparées aux mesures HVS (gris).

6.3 Déviations D_s et $D_{s,rel}$

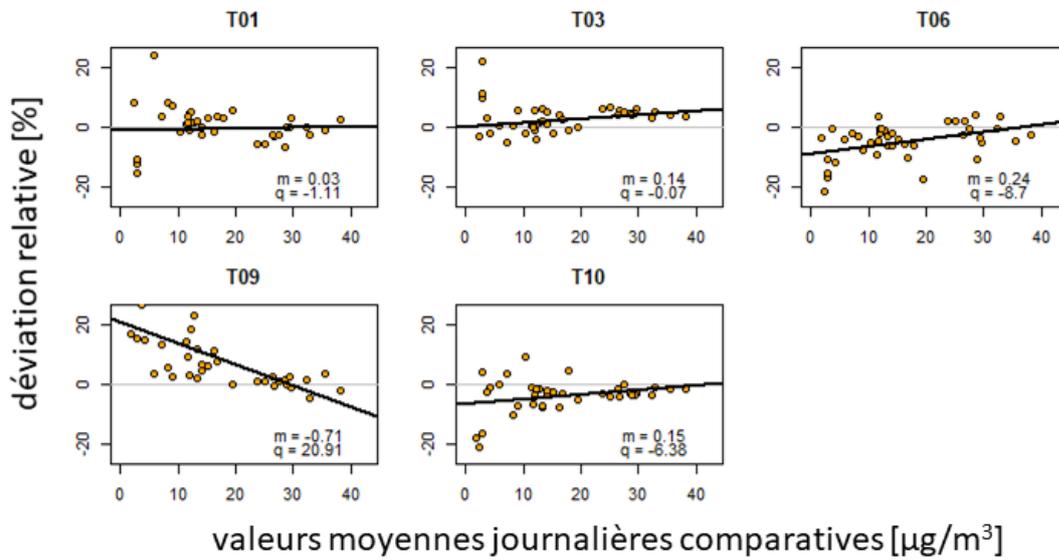


Figure 17: Déviations relatives des HVS PM2.5 des participants par rapport à la valeur moyenne journalière comparative. La droite passe entre les points de mesure. La pente de la droite est donnée par m et l'intersection avec l'axe des X par q .

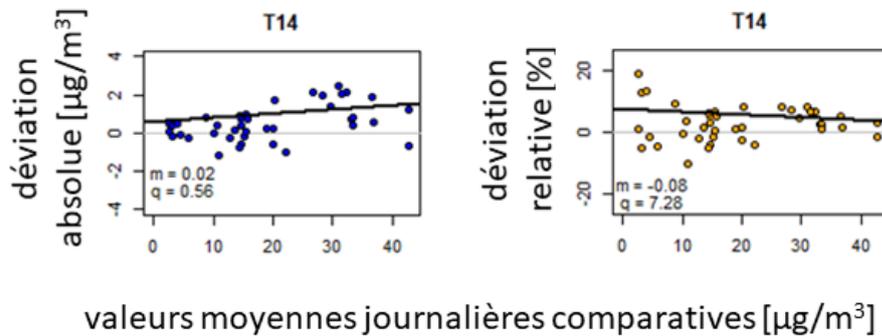
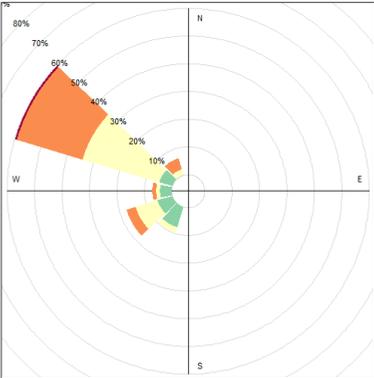


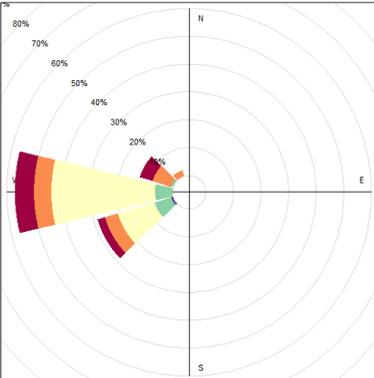
Figure 18: Déviations absolue (à gauche) et relative (à droite) des mesures LVS PM10 par rapport à la valeur moyenne journalière comparative pour le participant 14. La droite passe entre les points de mesure. La pente de la droite est donnée par m et l'intersection avec l'axe des X par q .

6.4 Roses des vents journalières

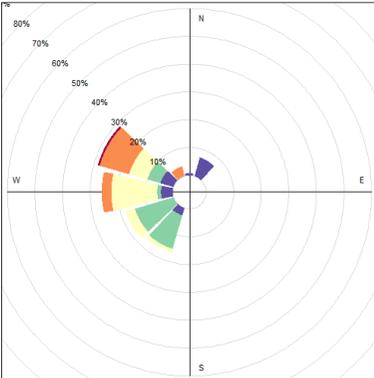
Jeudi 18.1.2018



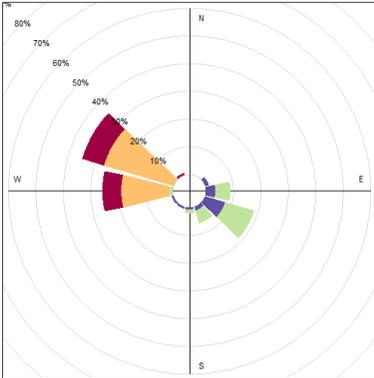
Vendredi 19.1.2018



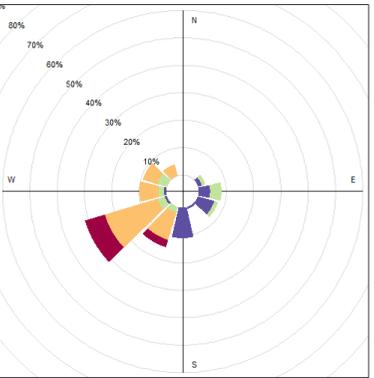
Samedi 20.1.2018



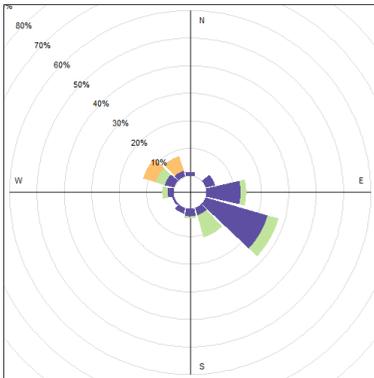
Dimanche 21.1.2018



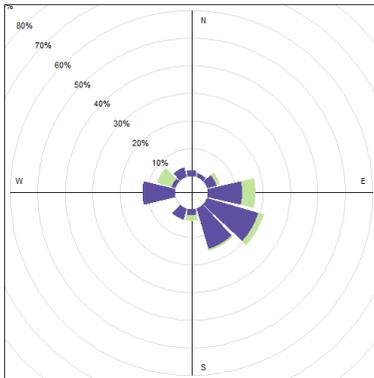
Lundi 22.1.2018



Mardi 23.1.2018

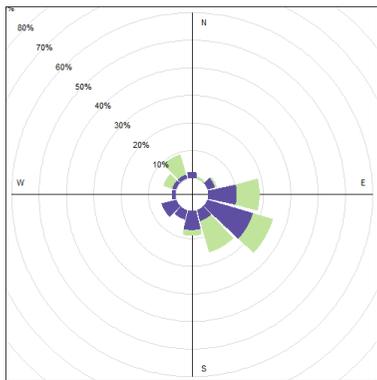


Mercredi 24.1.2018

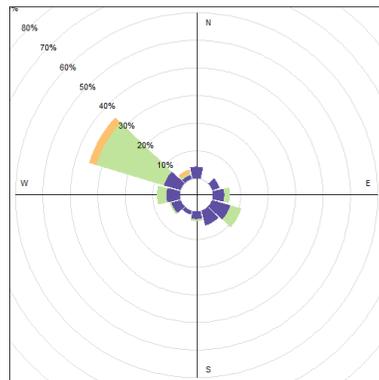


Semaine 1

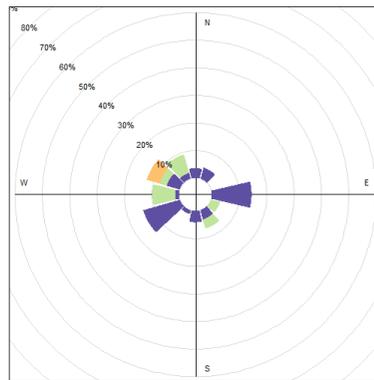
Jeudi 25.1.2018



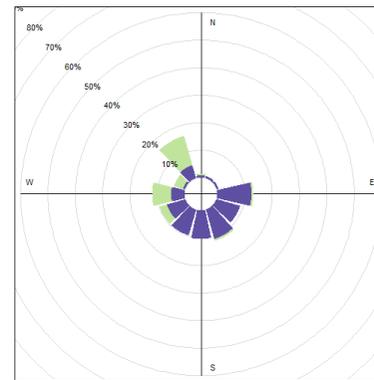
Vendredi 26.1.2018



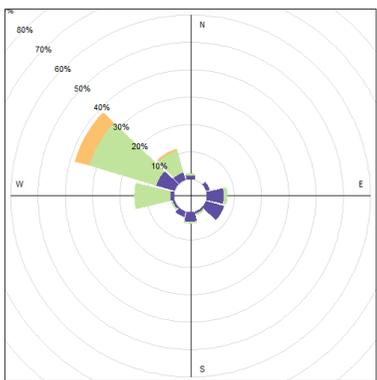
Samedi 27.1.2018



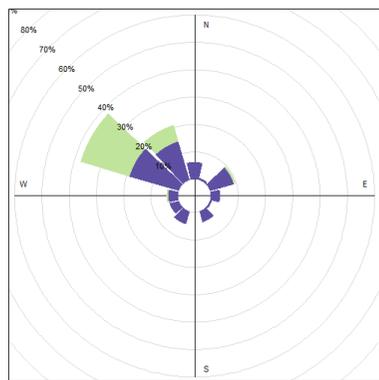
Dimanche 28.1.2018



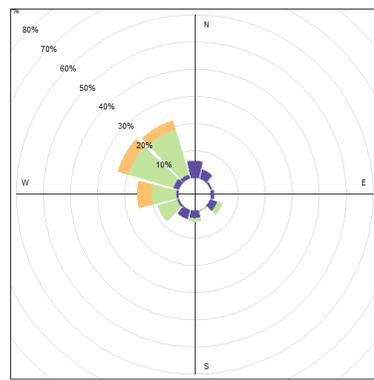
Lundi 29.1.2018



Mardi 30.1.2018

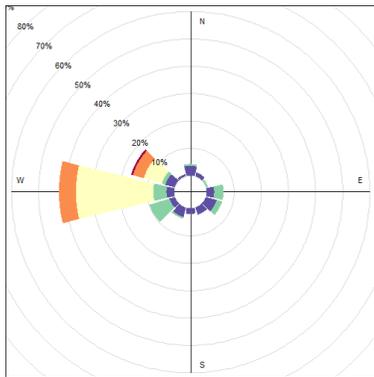


Mercredi 31.1.2018

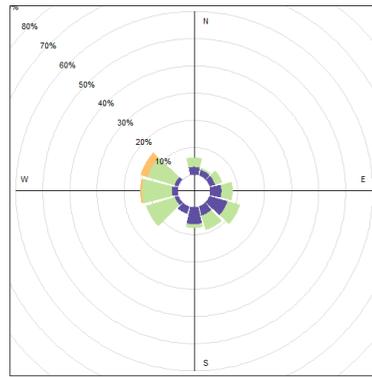


Semaine 2

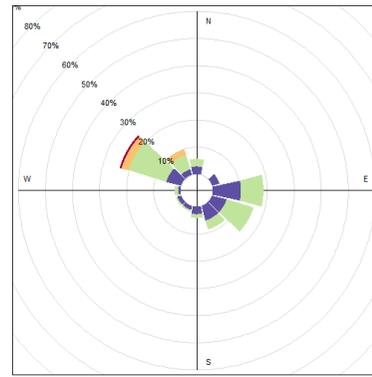
Jeudi 1.2.2018



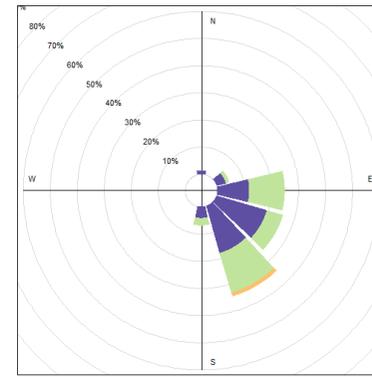
Vendredi 2.2.2018



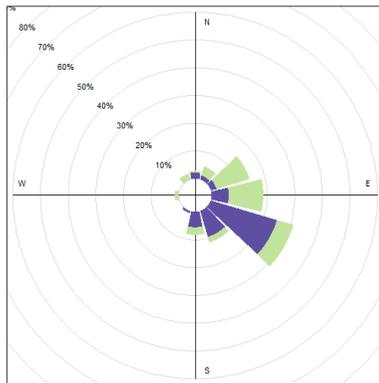
Samedi 3.2.2018



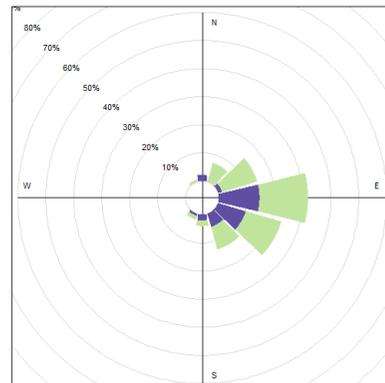
Dimanche 4.2.2018



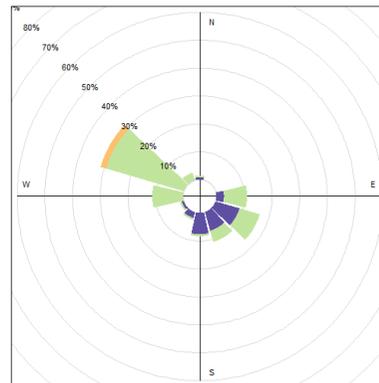
Lundi 5.2.2018



Mardi 6.2.2018

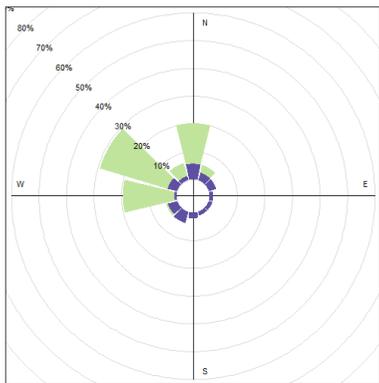


Mercredi 7.2.2018

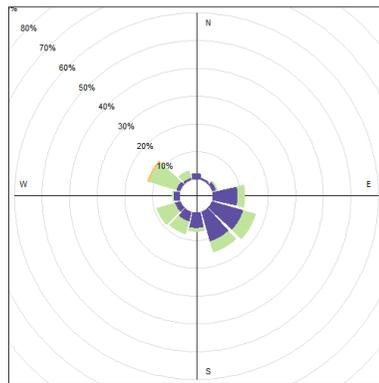


Semaine 3

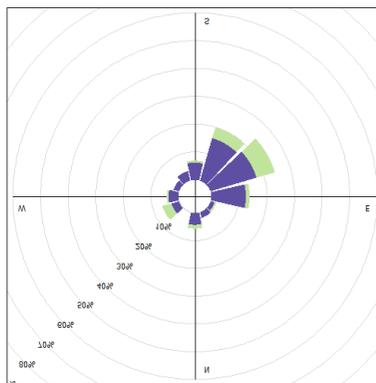
Jeudi 8.2.2018



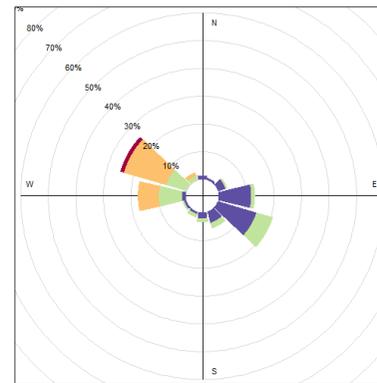
Vendredi 9.2.2018



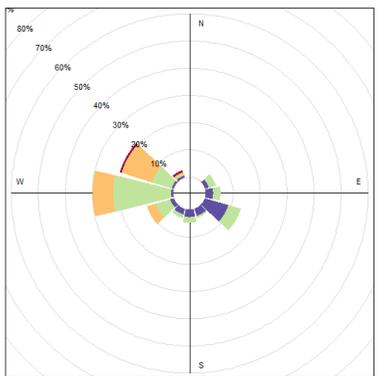
Samedi 10.2.2018



Dimanche 11.2.2018



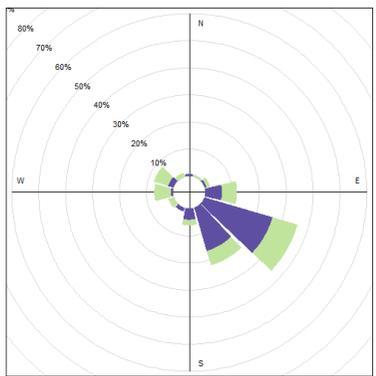
Lundi 12.2.2018



Mardi 13.2.2018

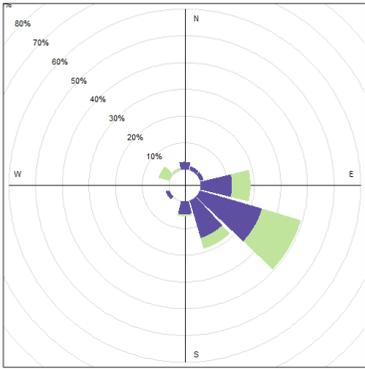


Mercredi 14.2.2018

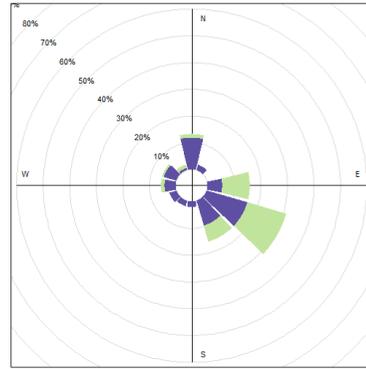


Semaine 4

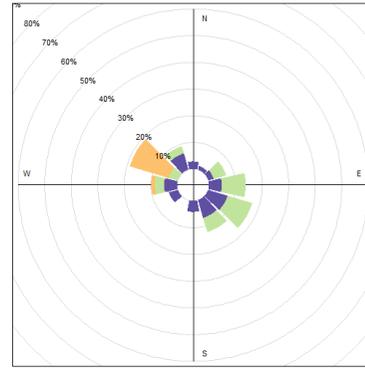
Jeudi 15.2.2018



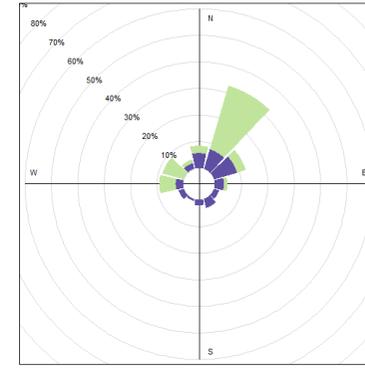
Vendredi 16.2.2018



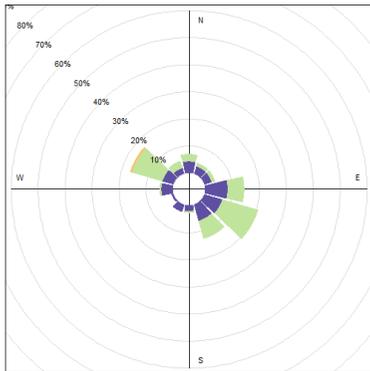
Samedi 17.2.2018



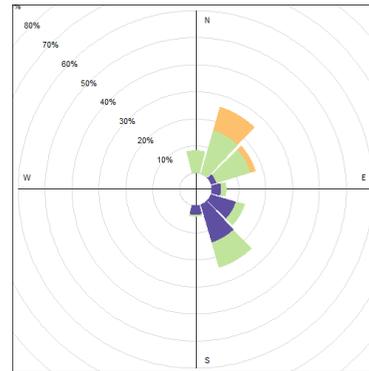
Dimanche 18.2.2018



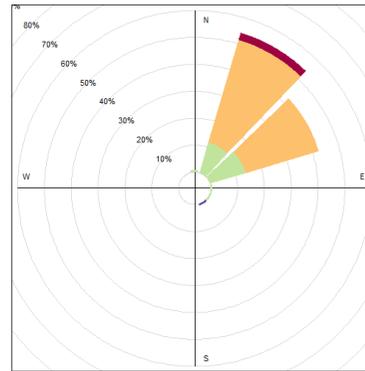
Lundi 19.2.2018



Mardi 20.2.2018

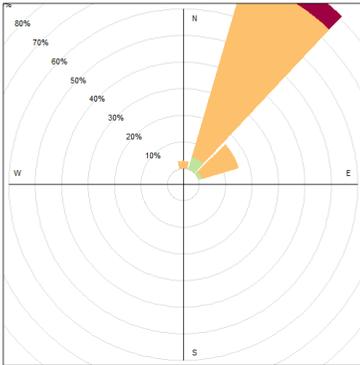


Mercredi 21.2.2018

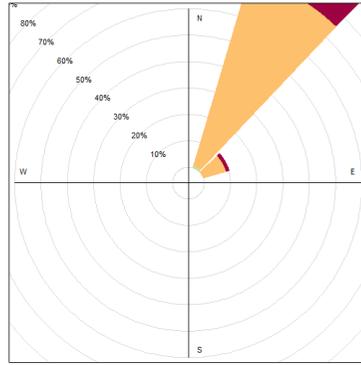


Semaine 5

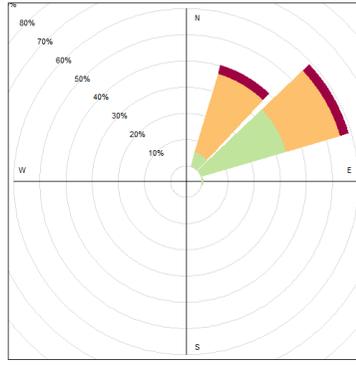
Jeudi 22.2.2018



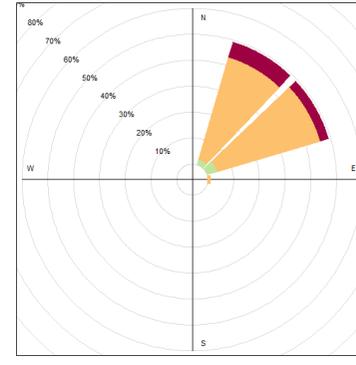
Vendredi 23.2.2018



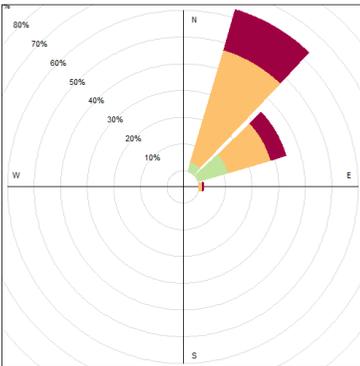
Samedi 24.2.2018



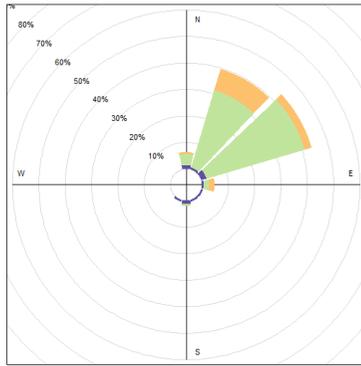
Dimanche 25.2.2018



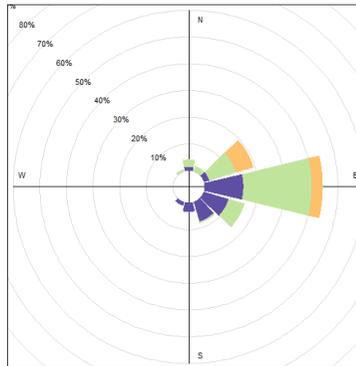
Lundi 26.2.2018



Mardi 27.2.2018



Mercredi 28.2.2018



Semaine 6