



Évaluation de l'impact des systèmes de filtration des ombrières du village olympique sur leur environnement proche





EVALUATION DE L'IMPACT DES SYSTEMES DE FILTRATION DES OMBRIERES DU VILLAGE OLYMPIQUE SUR LEUR ENVIRONNEMENT PROCHE

Novembre 2024

SOMMAIRE

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU PROJET	6
2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL.....	6
2.1. PLAN D'ECHANTILLONNAGE	6
2.2. MATERIEL DE MESURES	7
2.3. PROTOCOLE DE MESURE	8
4. RESULTATS DES MESURES	9
4.1 CONDITIONS METEOROLOGIQUES.....	9
4.1. TAUX DE FONCTIONNEMENT	11
4.2. VARIABILITE TEMPORELLE	11
4.3. PLAGE DE CONCENTRATION MESUREE	12
4.4. ESTIMATION DE L'IMPACT DE LA FILTRATION.....	13
4.4.1. Directement sous l'ombrière : observation d'un abattement lorsque le dispositif est en mode actif	13
4.4.2. Niveaux observés selon le mode de fonctionnement.....	13
4.4.2.1 Mode normal (système de filtration non activé)	14
4.4.2.2 Mode actif (système de filtration activé)	14
4.4.3. Evaluation de l'influence des ombrières sur les niveaux de pollution de la place des athlètes	15
4.4.4. Impact de la ventilation	17
6. CONCLUSION	18
ANNEXE 1 CAPTEUR KUNAK	19
ANNEXE 2.....	20

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS DU PROJET

La Solideo a installé un ensemble de 7 ombrières de la société Aérophile, dont 5 équipées d'épurateurs d'air. Ces ombrières ont été installées dans le village olympique de Paris 2024, au niveau de la Place des athlètes et la Solideo souhaite connaître le bénéfice apporté par ce système en termes d'amélioration de la qualité de l'air pour les particules PM_{10} et $PM_{2.5}$.

L'objectif de l'expérimentation menée par Airparif consiste à estimer l'abattement des niveaux de particules PM_{10} et $PM_{2.5}$ dans leur voisinage immédiat engendrés par cette configuration de groupement d'ombrières. Pour ce faire, **une campagne de mesure de 12 semaines (après l'installation des ombrières et avant les JOP) a été mise en place, après avoir préalablement testé et validé les équipements de mesure permettant de faire cette évaluation**. L'objectif d'une campagne de mesure aussi longue était de pouvoir évaluer l'impact des ombrières sur la qualité avec différentes conditions météorologiques et différents niveaux de pollution.

2. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

2.1. Plan d'échantillonnage

La position des systèmes-capteurs ¹a été choisie de manière à évaluer l'impact potentiel du système de filtration des ombrières sur les niveaux de particules fines (PM_{10} et $PM_{2.5}$) au voisinage du dispositif.

Pour cela, deux ombrières équipées de dispositifs de filtration ont été instrumentées, avec un capteur installé au-dessus du parasol, en amont du système de filtration et un autre sous l'ombrière, en aval du système de filtration. Un capteur supplémentaire a été installé à proximité des ombrières, dans l'alignement des bancs, pour estimer si l'impact du système est perceptible à une distance de 4 mètres des ombrières. Enfin, un système-capteur a été implanté à une dizaine de mètres des ombrières pour mesurer les niveaux de référence sur la place des athlètes.

La campagne de mesures a été réalisée du 25 mars au 23 juin 2024.

La Figure 1 représente le plan d'implantation des six capteurs sur le dispositif mis en œuvre place des athlètes.

¹ Systèmes-capteurs : nom normalisé, aussi couramment appelés micro-capteurs

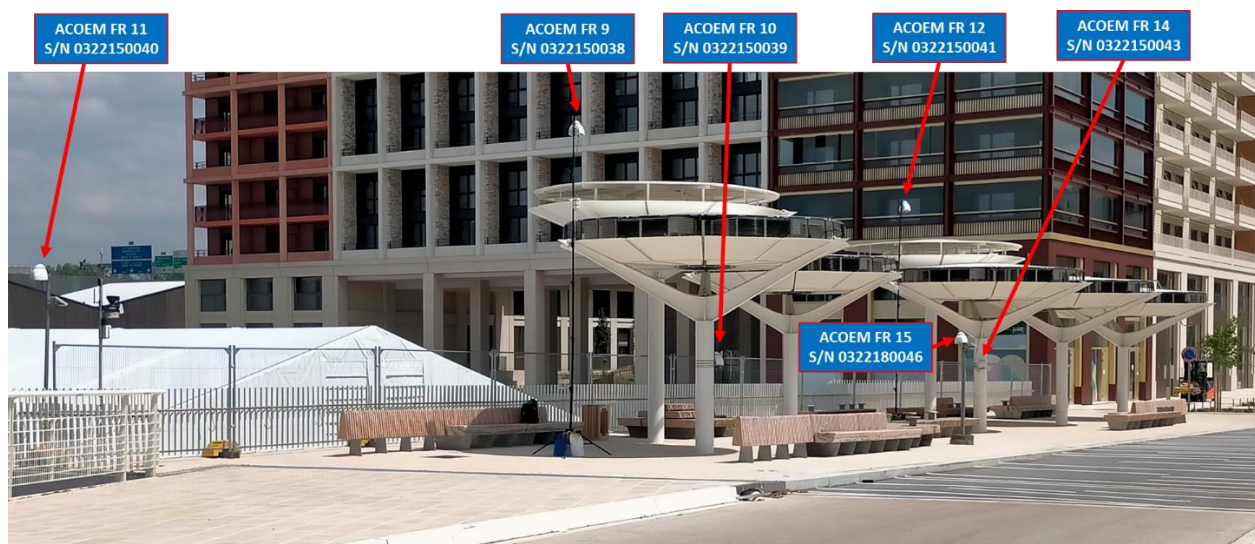


Figure 1 : Plan d'échantillonnage global des 6 capteurs placées dans sur la place des athlètes

2.2. Matériel de mesures

Les systèmes-capteurs (marque : Kunak), équipés de cellules mesurant les particules fines PM_{10} et $PM_{2.5}$, ont été acquis par la Solideo en 2022 et ont fonctionné durant plus d'un an avant l'expérimentation menée par Airparif pour caractériser la qualité de l'air pendant la phase de construction du village olympique. Le détail du matériel utilisé et leur fonctionnement est détaillé en annexe 1.

Compte-tenu des incertitudes de mesures importantes que présentent ce type de capteurs, une procédure complète d'évaluation de la qualité des données mesurées a été mise en place. Les systèmes-capteurs ont été installés en parallèle d'une méthode de référence, avant leur déploiement sur le terrain. Afin de tester les systèmes-capteurs dans des conditions les plus proches possibles de l'expérimentation, ces tests ont été réalisés sur la station de mesure Airparif implantée dans le quartier Pleyel, rue Anatole France. La mise en place de cette station de mesure Airparif s'inscrit dans le cadre d'un suivi pluriannuel de la qualité de l'air durant les phases « travaux et après travaux » dans le secteur notamment ceux du réaménagement de l'échangeur Pleyel.

Cette étape préalable, appelée recettage, permet d'identifier les capteurs défectueux et de vérifier les performances des systèmes-capteurs en termes de justesse² et de reproductibilité³. Ces protocoles ont été mis en place compte tenu des retours d'expérience d'Airparif depuis plus de 10 ans sur l'utilisation de systèmes-capteurs, des enseignements des challenges micro-capteurs d'AirLab et de ceux des partenaires d'Airparif et du jury des challenges.

Le recettage des systèmes-capteurs a été réalisé en deux temps. Un premier recettage a été réalisé du 6 novembre au 18 décembre 2023, sur les 6 capteurs destinés à l'expérimentation des ombrières. Ces premiers tests ont permis d'identifier des capteurs défectueux et la nécessité de procéder à des changements de cellules sur certains capteurs. À la suite de ces changements, un deuxième recettage a été réalisé du 19 au 26 février 2024, en même temps que celui de nouveaux capteurs destinés à caractériser la variabilité fine des niveaux de pollution au sein du village olympique. Ces recettages ont permis d'identifier que les systèmes-capteurs présentaient des problèmes de justesse. Cela s'est confirmé

²Justesse : capacité des systèmes-capteurs à s'approcher au plus près des valeurs de l'analyseur de référence

³Reproductibilité : Capacité des systèmes capteurs à donner des résultats proches entre eux.

à l'installation des capteurs sur le terrain, avec un biais observé entre les systèmes-capteurs placés au-dessus et en-dessous des ombrières, même en l'absence d'activation du système de filtration. Néanmoins, leur très bonne reproductibilité a permis d'envisager une correction pour pallier ces problèmes de justesse. **En sortie de recettage, la qualité des systèmes-capteurs est jugée suffisante pour réaliser l'évaluation de l'impact des ombrières.**

Enfin, à la fin de l'expérimentation, les 4 systèmes-capteurs implantés sur les ombrières ont été installés au même niveau, c'est-à-dire que les capteurs installés au-dessus de chaque ombrière ont été déplacés sous l'ombrière, à côté du second capteur, sur une période de 6 jours (du 18 au 23 juin 2024) afin de détecter des écarts ou dérives de la mesure. Ces tests ont permis de voir après l'expérimentation que les écarts relevés lors du recettage, étaient toujours comparables lorsqu'ils étaient côte à côte.

Un post-traitement des données a été réalisé afin de linéariser les résultats de l'ensemble des systèmes-capteurs (Annexe 2). Ce sont ces résultats linéarisés qui sont présentés dans ce rapport.

2.3. Protocole de mesure

Les 7 ombrières implantées sur le village olympique sont équipées d'un système de ventilation. Le dispositif testé repose sur 5 de ces ombrières, munies d'un système de filtration en plus du mode ventilation. Ces deux modes sont activés suivant une programmation automatique ou manuelle. Le mode ventilation seul n'a vocation à être activé que pendant l'été ou lors de forte chaleur, sur des périodes peu ou non polluées. Le mode filtration est ajouté à la ventilation lorsque l'air est pollué. La programmation repose sur différents critères paramétrables : horaires de fonctionnement souhaités, paramètres météorologiques (humidité, pluie) et éventuellement niveaux de $PM_{2.5}$.

Afin d'évaluer l'efficacité du dispositif, il est nécessaire de pouvoir comparer les tests de filtration à une situation sans dispositif d'épuration (situation de référence). Pour cela, Airparif a élaboré un protocole de cycle on/off sur les systèmes de filtration à appliquer sur l'ensemble des 5 ombrières, afin de se placer dans les conditions réelles d'utilisation du dispositif, les ombrières n'ayant pas vocation à fonctionner séparément.

Le protocole mis en place a dû prendre en compte les différentes caractéristiques de fonctionnement des ombrières, les conditions optimales de fonctionnement, notamment selon les conditions météorologiques (humidité, pluie, vitesse...) et les niveaux de particules PM_{10} et $PM_{2.5}$ attendus dans cette zone. En effet, les systèmes de filtration des ombrières sont configurés pour ne pas se mettre en route lorsque l'humidité de l'air est trop importante afin de préserver les systèmes filtres. De plus, l'utilisation des systèmes de filtration est plus pertinente dans des situations météorologiques stables, propices à l'accumulation des émissions locales de polluants (notamment vent faible) qu'en cas de conditions perturbées qui favorisent le brassage des masses d'air et la dispersion de la pollution. Pour cela, un planning de mise en fonctionnement des ombrières était établi chaque fin de semaine par Airparif, après consultation des prévisions météorologiques et des niveaux de pollution prévus pour la semaine à venir. Le planning visait à étudier l'impact du fonctionnement des ombrières sur des plages plus ou moins longues, réparties à différents moments de la journée (sur une plage de 24 h). Le planning a été envoyé chaque semaine à Aérophile pour programmation des systèmes de filtration. Pour pouvoir analyser les résultats, Aérophile renvoyait a posteriori, pour chaque semaine, le planning avec les plages de fonctionnement réellement effectuées.

A titre d'exemple, une semaine de planning est présentée en Figure 2. Les périodes prévisionnelles de fonctionnement sont indiquées en rouge, les périodes réelles de fonctionnement en orange et les périodes où l'ensemble est en stand-by en vert. De plus, les modes d'utilisation spécifiques y sont indiqués.

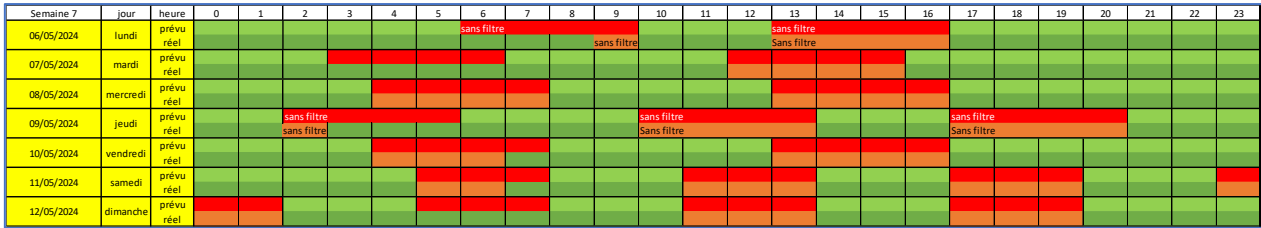


Figure 2 : semaine de planning du 6 au 12 mai 2024

En mode actif, les tests ont été réalisés à une vitesse de ventilation constante préconisée par le constructeur (il est possible de modifier la vitesse de ventilation, mais ce mode n'a pas été testé). Quelques tests ont également été réalisés en ventilation simple, sans le système de filtration, afin de vérifier l'influence de la ventilation sur les mesures issues des systèmes-capteurs situés sous ce flux.

4. RESULTATS DES MESURES

4.1 Conditions météorologiques

Les variations des niveaux de pollution d'un jour à l'autre sont liées d'une part à l'évolution des émissions de polluants par les sources locales, mais également aux conditions météorologiques, qui ont une influence sur la dispersion de ces polluants. Ainsi, lorsque les conditions météorologiques sont favorables à la dispersion des polluants (vent soutenu, pluie, etc.), les niveaux de pollution sont généralement plus faibles. A l'inverse, les conditions anticycloniques, avec un vent faible, peuvent entraîner une accumulation des émissions polluantes au niveau du sol.

La Figure 3 illustre la quantité journalière de précipitations ainsi que le taux d'humidité observés lors de la période d'expérimentation, ainsi que les températures enregistrées durant la période de mesure.

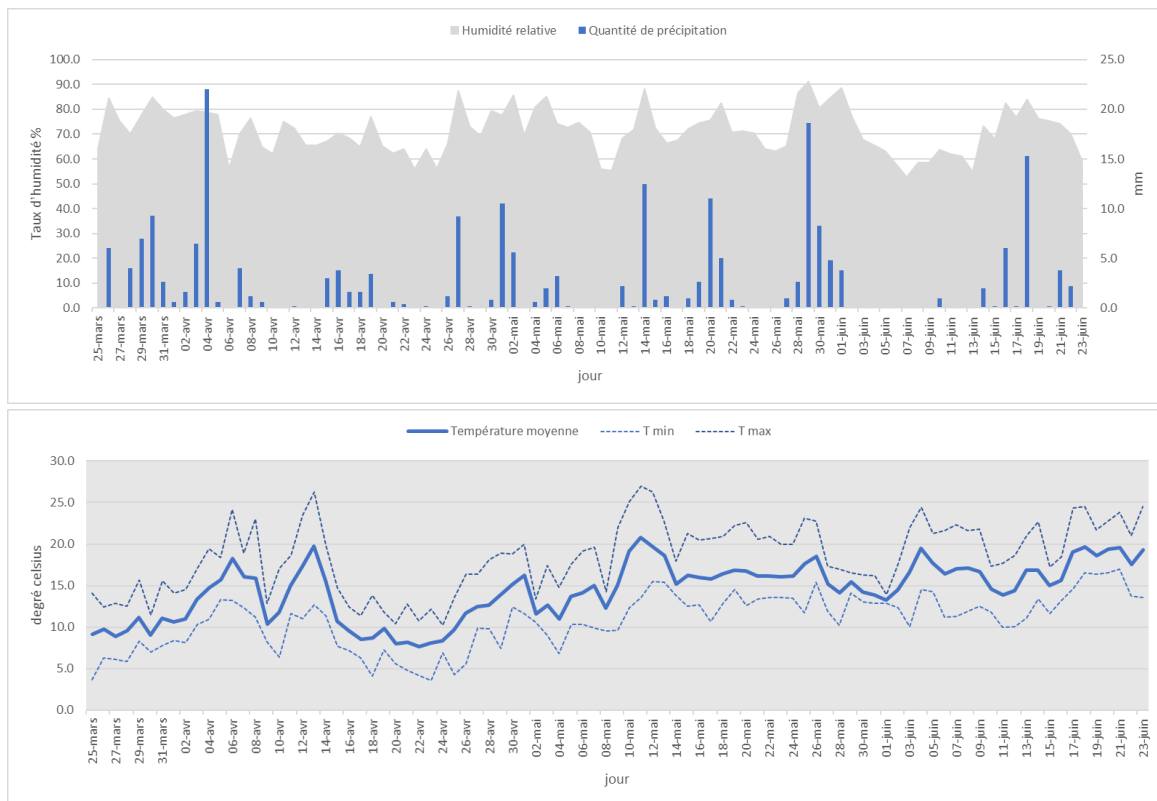
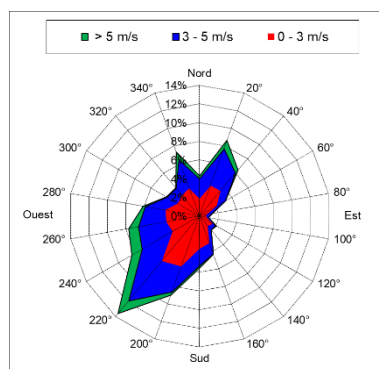


Figure 3 : taux d'humidité relative, précipitations journalières et température observés du 25 mars au 23 juin 2024 (Source : Météo-France)

Les conditions rencontrées sur l'ensemble de l'expérimentation ont été plutôt douces et pluvieuses. 2/3 des journées ont connu des précipitations. La période n'a pas connu de vagues de chaleur.

La Figure 4 illustre la fréquence des secteurs de vent au cours de la campagne de mesure, en comparaison avec la rose de vent moyenne sur l'Ile-de-France (période 1991-2010). Les secteurs de vent observés pendant la campagne sont globalement proches de la normale des vents sur la station météo de référence de Paris-Montsouris (Météo France), et représentatifs des vents dominants (Sud-Ouest / Nord-Est). Néanmoins, la fréquence des vents de secteur sud-ouest est beaucoup plus importante que la normale, et les vents de secteur Nord très peu représentés. Les vents de Sud-Ouest sont généralement associés à des conditions dispersives et des arrivées de masses d'air peu polluées.

Campagne de mesure



Normale (moyenne 1991-2010)

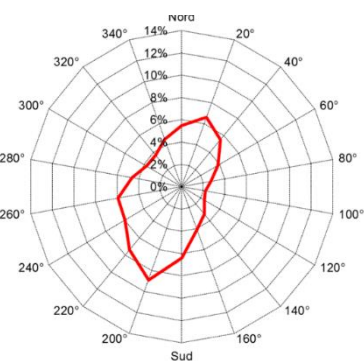


Figure 4: Roses des vents à Paris-Montsouris durant la campagne de mesure (du 25/03/24 au 23/06/24) (à gauche) et la normale sur la période 1991-2010 (à droite) (Source : Météo-France)

Malgré la durée de la campagne de mesure, les concentrations en particules ont été relativement faibles sur l'ensemble de l'Ile-de-France sur la période d'expérimentation compte tenu de ces conditions

météorologiques. Aucun dépassement du seuil d'information pour les particules PM₁₀, fixé à 50 µg/m³ en moyenne journalière, n'a été enregistré.

4.1. Taux de fonctionnement

Sur l'ensemble de la période d'expérimentation, les systèmes de filtration ont fonctionné 27% du temps, en raison de nombreuses périodes où les conditions météorologiques n'étaient pas propices au fonctionnement de la filtration, du fait d'une humidité supérieure à 80 %, de pluies fréquentes et d'une vitesse de vent trop importante. La répartition des phases de fonctionnement est présentée en Figure 5.

répartition de fonctionnement

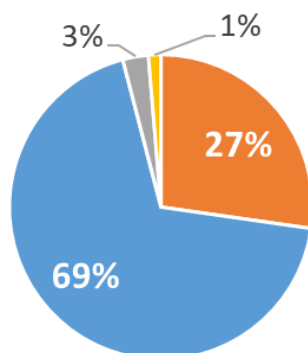
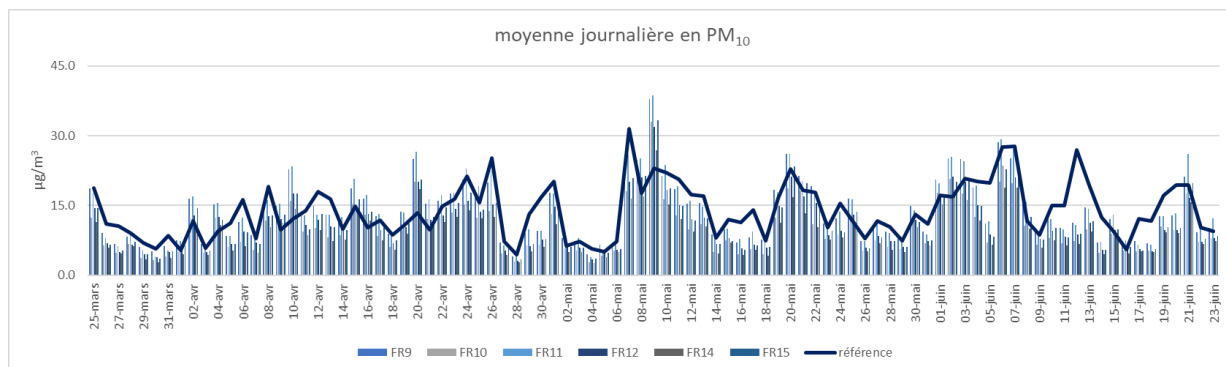


Figure 5 : répartition des phases de fonctionnement. En bleu : système de filtration à l'arrêt. En orange : système de filtration en fonctionnement. En gris : système en ventilation simple et en jaune : en maintenance et autres.

4.2. Variabilité temporelle

La Figure 6 illustre les concentrations journalières en PM₁₀ et PM_{2.5} mesurées pendant l'expérimentation, en comparaison de la station de référence située dans le quartier de Pleyel.



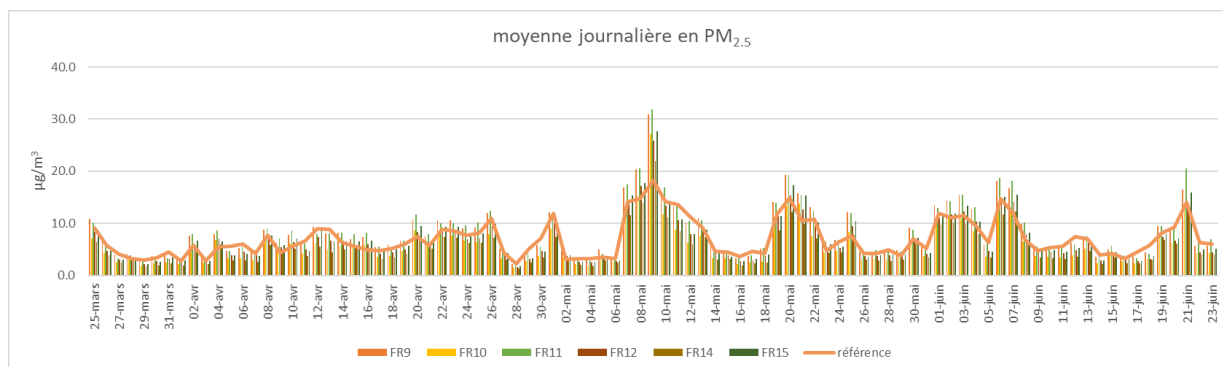


Figure 6 : évolution temporelle des concentrations journalières en PM₁₀ (en haut) et PM_{2.5} (en bas) mesurées par les 6 systèmes-capteurs sur la place des athlètes et par la station de référence.

La variabilité temporelle est globalement bien reproduite. **Les 6 systèmes-capteurs de la place des athlètes montrent la même dynamique, très proche de celle observée sur la station de référence du quartier Pleyel.** Les niveaux mesurés sont globalement homogènes, avec néanmoins, pour certaines journées, des différences significatives entre le site de référence du quartier Pleyel et le village olympique pouvant être liées aux travaux en cours sur le site olympique.

4.3. Plage de concentration mesurée

Sur toute la période de cette expérimentation, les concentrations en particules PM₁₀ et PM_{2.5} mesurées par les 6 systèmes-capteurs sont globalement homogènes avec des concentrations moyennes comprises entre 11 et 13 µg/m³ pour les particules PM₁₀ et entre 7 et 8 µg/m³ pour les particules PM_{2.5}. La plage de concentration est réduite, très peu de valeurs horaires ont dépassé 50 µg/m³ (Figure 7).

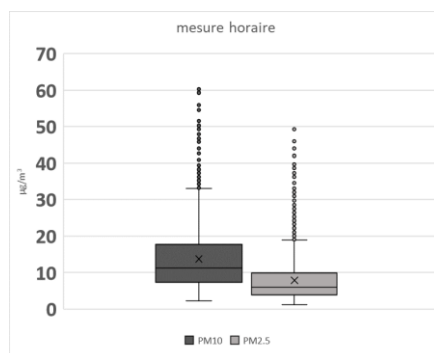


Figure 7 : distribution des concentrations moyennes horaires en PM₁₀ (gris foncé) et PM_{2.5} (gris clair) sur l'ensemble de l'expérimentation

L'évaluation des systèmes de filtration des ombrières s'est déroulée dans des conditions météo dispersives qui ont conduit à des niveaux de pollution peu élevés.

4.4. Estimation de l'impact de la filtration

4.4.1. Directement sous l'ombrière : observation d'un abattement lorsque le dispositif est en mode actif

La Figure 8 représente un exemple de relevés issus des systèmes-capteurs installés sur les ombrières 1 et 2 au-dessus du système de filtration, respectivement FR9 et FR12 (en bleu) et en dessous, respectivement FR10 et FR14 (en orange).



Figure 8: concentration en PM_{2.5} relevées le 8 mai 2024 sur les deux ombrières. En bleu, niveaux mesurés au-dessus du système de filtration. En orange, niveaux mesurés sous le système de filtration

La Figure 8 montre que les niveaux mesurés sur les systèmes capteurs sont similaires lorsque le système de filtration n'est pas activé. **Dès lors que le système de filtration est en fonctionnement, une diminution des concentrations est observée sur les capteurs situés juste en-dessous du système de filtration. Ce phénomène est reproductible et observé lors de chaque phase d'activation du système de filtration. En revanche, l'abattement observé est variable selon les jours et les moments de la journée.**

4.4.2. Niveaux observés selon le mode de fonctionnement

Afin de quantifier l'abattement des concentrations lorsque le système de filtration est activé, les résultats ont été étudiés en séparant les données issues des systèmes-capteurs selon le mode d'activation du système de filtration.

Pour rappel :

- Réf = station rue Anatole France
- FR11 : site de référence de la place des athlètes à 10 m de distance
- FR15 = système-capteur implanté sur le banc à 4 m de distance
- Le capteur FR9 est placé au-dessus et le capteur FR10 est placé en-dessous de l'ombrière 1
- Le capteur FR12 est placé au-dessus et le capteur FR14 est placé en-dessous de l'ombrière 2.

4.4.2.1 Mode normal (système de filtration non activé)

La Figure 9 présente les résultats de mesure issus des systèmes-capteurs implantés sur la place des athlètes, dans le mode où le système de filtration n'est pas activé sur l'ensemble des ombrières.

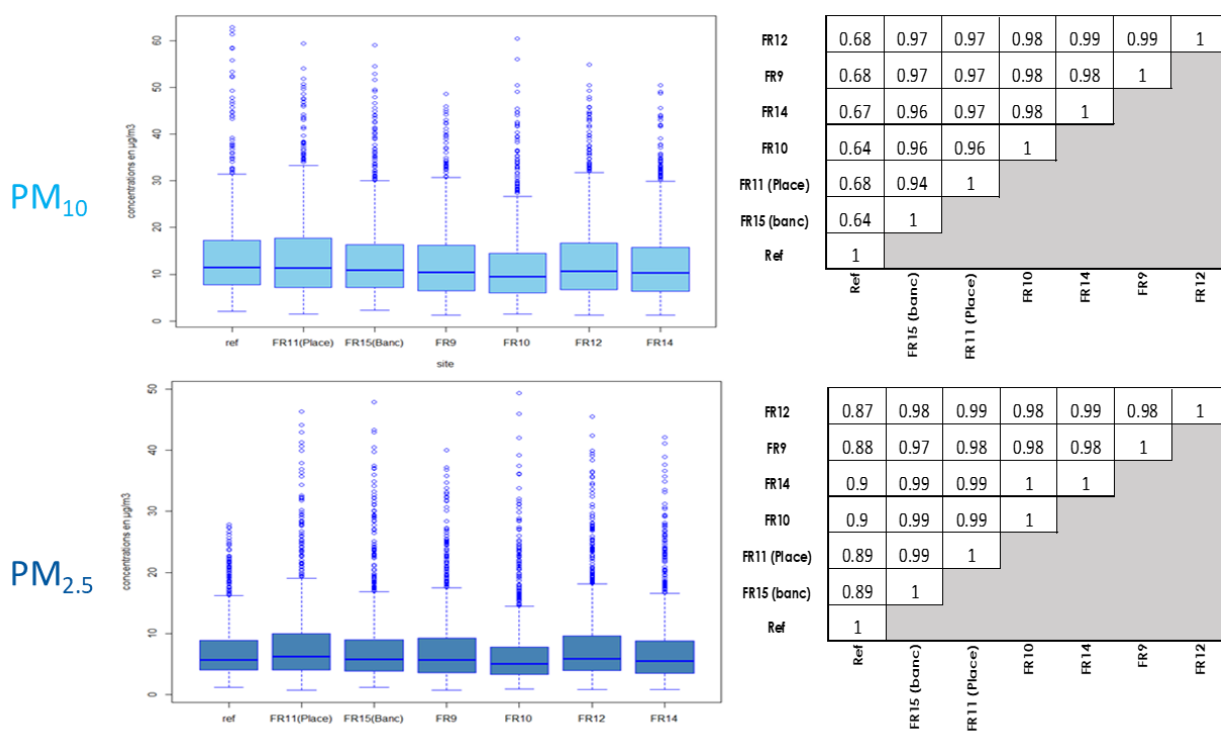


Figure 9: répartition des mesures en PM₁₀ (en bleu ciel) et PM_{2.5} (en bleu) relevées sur l'ensemble des capteurs installés sur la place des athlètes (à gauche) et le tableau de corrélation de l'ensemble des Systèmes-capteurs (à droite).

Les résultats montrent de très bonnes corrélations entre les systèmes-capteurs, tant pour les PM₁₀ que les PM_{2.5}. Elles sont supérieures à 0,94. Cependant, la corrélation avec l'analyseur de référence notamment en particules PM₁₀ est moins bonne, de l'ordre de 0,68 (Figure 9). Cela peut s'expliquer d'une part, par la différence de qualité de mesure entre la mesure de référence et celle des systèmes-capteurs, et d'autre part par des phénomènes ponctuels très locaux de remise en suspension comme les travaux autour de la place des athlètes ou sur le site de référence, liés aux activités dans la cour d'école, notamment du soufflage de feuilles. Ces activités génèrent plus de PM₁₀ que de PM_{2.5}⁴. Les niveaux moyens restent comparables. Les systèmes-capteurs ont mesuré en moyenne 13 µg/m³ en PM₁₀ et 7 µg/m³ en PM_{2.5}. Ces résultats montrent que les niveaux de particules PM₁₀ et PM_{2.5} sont globalement homogènes sur la place des athlètes.

4.4.2.2 Mode actif (système de filtration activé)

La Figure 10 présente les résultats de mesure issus des systèmes-capteurs dans le mode où le système filtration de l'ensemble des ombrières est activé.

⁴ <https://www.airparif.fr/sitewidesearch?keys=plevel>

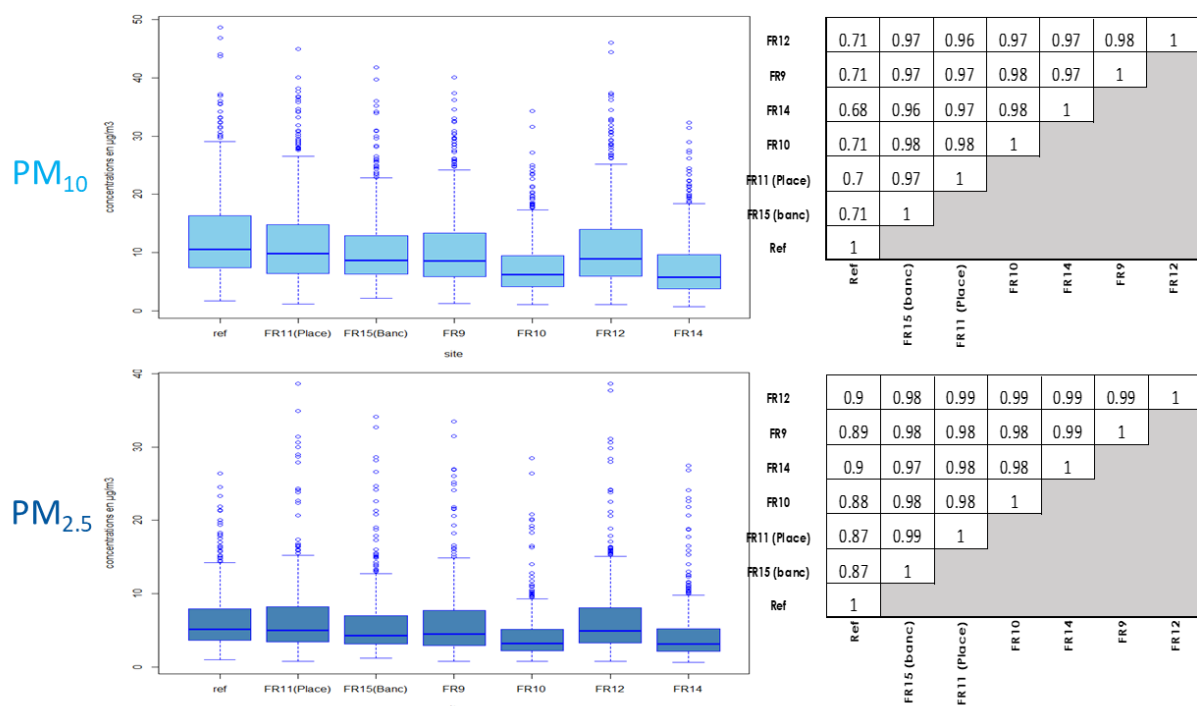


Figure 10 : répartition des mesures en PM_{10} (en bleu ciel) et $PM_{2.5}$ (en bleu) relevée sur l'ensemble des capteurs installés sur la place des athlètes (à droite) et le tableau de corrélation de l'ensemble des Systèmes-capteurs (à gauche).

Les résultats montrent, comme en mode normal, une très bonne corrélation entre les capteurs. L'ensemble des capteurs a mesuré en moyenne $13 \mu g/m^3$ en PM_{10} et $6 \mu g/m^3$ en $PM_{2.5}$.

Dans ce mode, il est à noter que pour les PM_{10} , comme pour les $PM_{2.5}$, les concentrations moyennes pour les capteurs FR11 (référence place), FR15 (référence banc), FR9 et FR12 (les deux étant situés au-dessus des ombrières) restent comparables, ce qui ne dénote pas d'influence du système de filtration sur la place et à une distance de 4 m (point de mesure sur le banc). Seuls les capteurs FR10 et FR14, situés juste en dessous des ombrières, c'est-à-dire directement sous l'influence des systèmes de filtration, ont enregistré une moyenne plus faible que l'ensemble des autres capteurs (voir § 4.4.3).

4.4.3. Evaluation de l'influence des ombrières sur les niveaux de pollution de la place des athlètes

Les nuages de points représentés en Figure 11 montrent la relation entre les concentrations horaires en PM_{10} et $PM_{2.5}$ mesurées par les systèmes-capteurs installés au-dessus (axe des X) et en-dessous (axe des Y) des ombrières 1 et 2, et les corrélations associées. En bleu, sont représentées les concentrations mesurées en mode normal (système de filtration non activé) et en orange les résultats en mode actif. La même comparaison a été réalisée entre les concentrations mesurées sur le banc, à 4 m du dispositif (axe des X) et sur le site de référence de la place des athlètes (axe des Y).

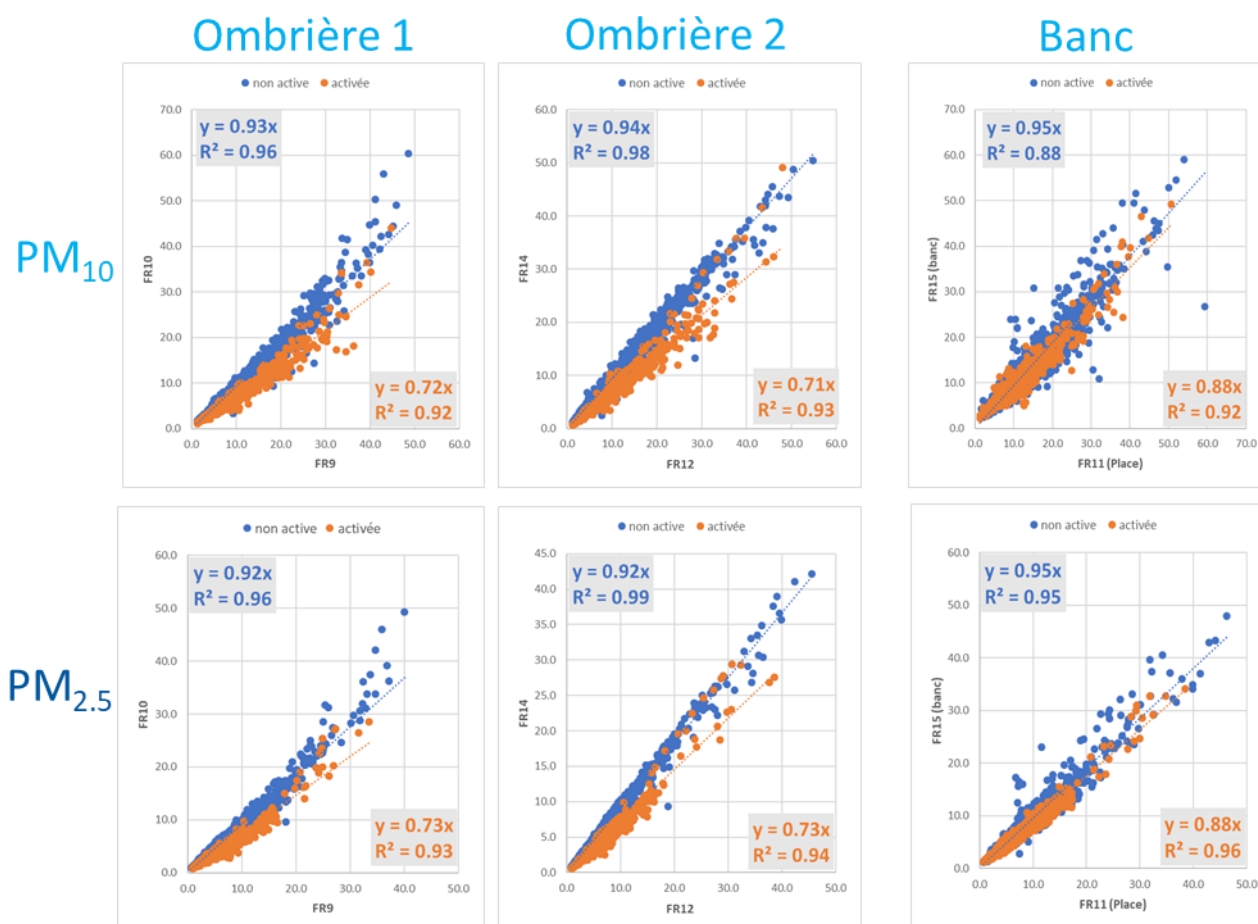


Figure 11: comparaison des mesures entre les capteurs (FR9 et FR12) situés au-dessus des ombrières et les capteurs (FR10 et FR14) situés en dessous des systèmes de filtrations ainsi que le capteur (FR15) situé à proximité immédiate des ombrières et le capteur FR11 servant de référence des niveaux sur la place des athlètes dans les deux modes de fonctionnement.

En mode de fonctionnement normal, sans le système de filtration, les concentrations mesurées au-dessus et en-dessous des ombrières sont très comparables, avec de très bonnes corrélations ($>0,95$) et une pente proche de 1, à la fois en PM_{10} et $PM_{2.5}$. Seul le site du banc et le site de référence présentent une corrélation un peu moins élevée en PM_{10} , qui peut s'expliquer par le fait que les 2 systèmes-capteurs correspondants sont distants de 15 mètres.

En mode actif, une diminution des concentrations mesurées juste en-dessous des ombrières est observée. Cette baisse est similaire quelle que soit l'ombrière instrumentée (1 et 2). Elle a été observée à chaque mise en route de l'ensemble du dispositif et cela tout au long de l'expérimentation. Compte tenu de la dispersion des résultats et des incertitudes de mesure, il est cependant difficile de quantifier précisément cette baisse. **Sous l'ombrière et dans les conditions de cette expérimentation, elle peut être estimée de l'ordre de 20 % par rapport au niveau de pollution particulaire de la place.** A noter que ces résultats correspondent aux conditions météorologiques très favorables à la dispersion des particules observées durant la campagne de mesure.

En revanche, aucune baisse notable n'est relevée sur les concentrations mesurées à 4 m du dispositif (capteur au niveau des bancs) lorsque le système de filtration est activé. Les niveaux sont conformes à ceux du site de référence de la place des athlètes. Dans le cadre de cette expérimentation, l'effet observé du dispositif se limite à la zone située sous l'ombrière.

La Figure 12 montre les écarts observés en pourcentage entre les systèmes-capteurs (FR9 et FR12) situés au-dessus des ombrières et les capteurs (FR10 et FR14) situés en dessous des systèmes de filtrations en fonction des gammes de concentrations enregistrées dans les deux modes de fonctionnement. Ainsi que le pourcentage de données par classe de mesure.

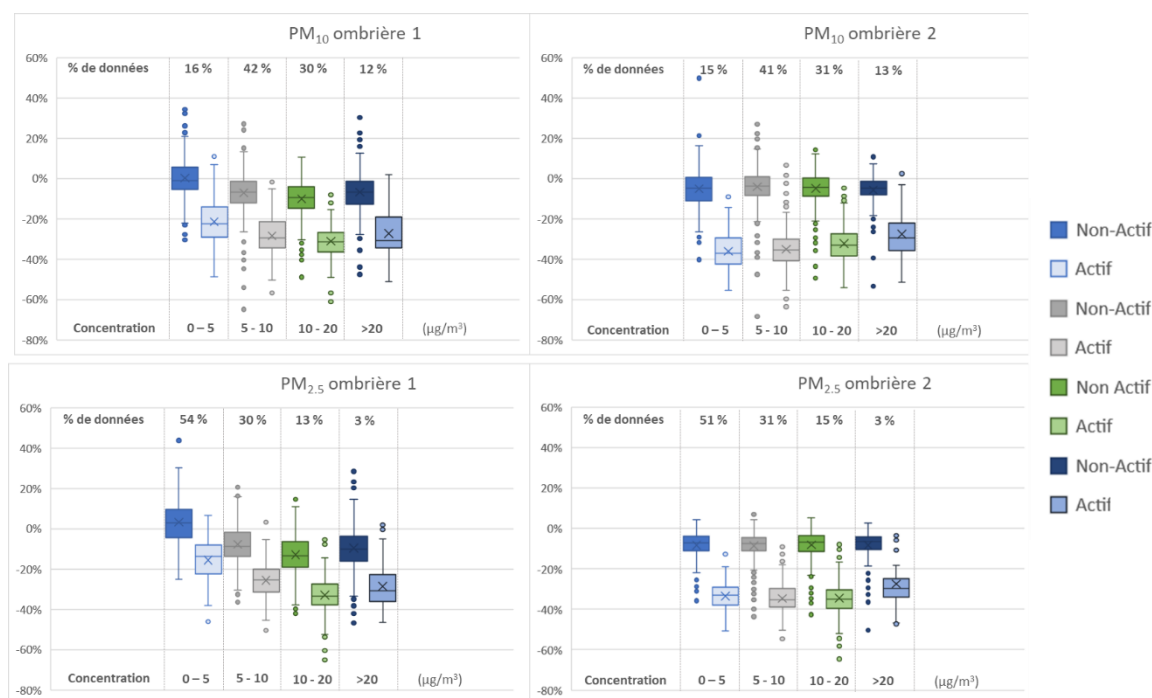


Figure 12 : variation des écarts observés en pourcentage entre les capteurs (FR9 et FR12) situés au-dessus des ombrières et les capteurs (FR10 et FR14) situés en dessous des systèmes de filtrations en fonction des gammes de concentrations enregistrées dans les deux modes de fonctionnement.

La Figure 12 ne semble pas montrer de tendance d'évolution des écarts en fonction des concentrations mesurées par les systèmes-capteurs sur la période d'expérimentation. **Elle ne montre en particulier pas d'écart plus important sur les fortes concentrations.** Néanmoins, il est à noter pour les PM_{2.5} que les écarts observés sur les gammes de concentrations supérieures à 20 µg/m³ sont peu représentatifs statistiquement, du fait du faible nombre de données (3 % de données pour les PM_{2.5}).

4.4.4. Impact de la ventilation seule

Lors de l'expérimentation, des mesures ont été effectuées en mode « ventilation simple sans activation de la filtration ». Cet essai a eu pour but de mesurer l'incidence de la ventilation sur les mesures enregistrées par les systèmes-capteurs. Sur les 53 heures enregistrées, 75 % des mesures sont inférieures ou égale à 5 µg/m³. L'ensemble de ces mesures n'ont pas permis de statuer sur l'impact ou pas de la ventilation seule.

6. CONCLUSION

La Solideo a installé un ensemble de 7 ombrières de la société Aérofile, dont 5 équipées d'épurateur d'air dans le village olympique de Paris 2024, au niveau de la place des athlètes. L'objectif de l'expérimentation menée par Airparif a estimé l'abattement du niveau de particules PM₁₀ et PM_{2.5} engendré par cette configuration de groupement d'ombrières dans leur voisinage immédiat.

Pour ce faire, une campagne de mesure de 12 semaines a été réalisée à l'aide de systèmes-capteurs fournis par la Solideo. L'estimation de l'impact des ombrières sur leur environnement proche a été réalisée par comparaison :

- entre les concentrations mesurées au-dessus (en amont du système de filtration) et juste en-dessous (en aval du système de filtration) du parasol des ombrières
- entre les niveaux généraux de pollution mesurés sur la place des athlètes, en dehors de l'influence des ombrières (avec une mesure de référence à une dizaine de mètres) et des mesures à 4 m, au niveau des bancs.

Ces différents points de mesure permettent d'évaluer l'impact du système de filtration juste sous les ombrières et d'identifier s'il est encore perceptible à 4 m du dispositif.

Au cours des 3 mois d'évaluation, le taux de fonctionnement du dispositif de filtration a été de 27 %. La campagne de mesure de 3 mois a été marquée par des conditions météorologiques très dispersives et des niveaux de pollution peu élevés. Cette expérimentation n'a permis de tester les performances des ombrières dans des conditions de pollution plus importante que dans 3 % des cas, avec des performances comparables aux conditions moins polluées.

En mode actif, une diminution des concentrations mesurées juste en-dessous des ombrières est observée. Sous l'ombrière et dans les conditions de cette expérimentation, cette baisse peut être estimée de l'ordre de 20 %, pour les deux ombrières et pour les PM₁₀ et PM_{2.5}, par rapport au niveau de pollution particulière de la place.

En revanche, aucune baisse notable n'est relevée sur les concentrations mesurées à 4 m du dispositif (capteur au niveau des bancs) lorsque le système de filtration est activé. Les niveaux sont conformes à ceux du site de référence de la place des athlètes. Dans le cadre de cette expérimentation, l'effet observé du dispositif se limite à la zone située sous l'ombrière.

Les résultats de cette évaluation correspondent à l'environnement et aux conditions météorologiques et de pollution dans lesquelles les systèmes ont été testés, et ne sont forcément extrapolables à d'autres conditions. A noter que cette étude n'avait pas vocation à proposer des recommandations d'utilisation optimale, notamment en termes de fréquence et mise en route du dispositif et de prise en compte de la consommation énergétique associée.

Annexe 1

Capteur Kunak

Les 6 capteurs utilisés pour l'expérimentation sont des systèmes-capteurs de type « Kunak Air Pro ». Quatre ont été alimentés en 220 volts et deux en panneau solaire.

Les capteurs utilisés sont :

- Réf S/N 0322150038
- Réf S/N 0322150039
- Réf S/N 0322150040
- Réf S/N 0322150041
- Réf S/N 0322150043
- Réf S/N 0322180046



Spécifications constructeur :

Spécifications techniques

Type A (uniquement pour Kunak AIR Pro)			
Type	Compteur optique de particules	Limite de détection (LOD) ⁽⁷⁾	0,5 µg/m ³ (PM1) 0,5 µg/m ³ (PM2,5) 0,5 µg/m ³ (PM4) 1 µg/m ³ (PM10) 1 µg/m ³ (TSP)
Unité de mesure	µg/m ³	Précision typique (EMA) ⁽¹⁰⁾	± 2 µg/m ³ (PM1) ± 3 µg/m ³ (PM2,5) ± 3 µg/m ³ (PM4) ± 4 µg/m ³ (PM10) ± 6 µg/m ³ (TSP)
Plage de mesure ⁽¹⁾	0 à 1 000 µg/m ³ (PM1) 0 à 2 000 µg/m ³ (PM2,5) 0 à 2 000 µg/m ³ (PM4) 0 à 10 000 µg/m ³ (PM10) 0 à 15 000 µg/m ³ (TSP) 0 à 8 000 points/cm ³ (TPC)	Précision typique R ² ⁽¹⁰⁾	> 0,9 (PM1) > 0,8 (PM2,5) > 0,8 (PM4) > 0,7 (PM10) > 0,7 (TSP) > 0,8 (TPC)
Résolution ⁽²⁾	1 µg/m ³ 1 compte/cm ³ (TPC)	Pente typique ⁽¹⁰⁾	0,85 à 1,18
Plage de température de fonctionnement ⁽³⁾	-10 à 50 °C	Interception typique (a) ⁽¹⁰⁾	-1,8 µg/m ³ ≤ a ≤ +1,8 µg/m ³ (PM1) -2 µg/m ³ ≤ a ≤ +2 µg/m ³ (PM2,5) -2 µg/m ³ ≤ a ≤ +2 µg/m ³ (PM4) -3 µg/m ³ ≤ a ≤ +3 µg/m ³ (PM10) -4 µg/m ³ ≤ a ≤ +4 µg/m ³ (TSP)
Plage d'humidité relative de fonctionnement ⁽⁴⁾	HR de 0 à 99 %	DCO - U(exp) typique ⁽¹¹⁾	< 50 %
Plage d'humidité relative recommandée ⁽⁴⁾	HR de 0 à 95 %	Variabilité intra-modèle typique ⁽¹²⁾	< 2 µg/m ³
Durée de vie ⁽⁵⁾	> 24 mois		
Répétabilité ⁽⁸⁾	2 µg/m ³ (PM1) 3 µg/m ³ (PM2,5) 3 µg/m ³ (PM4) 5 µg/m ³ (PM10) 6 µg/m ³ (TSP)		
Temps de réponse ⁽⁹⁾	< 10 s		

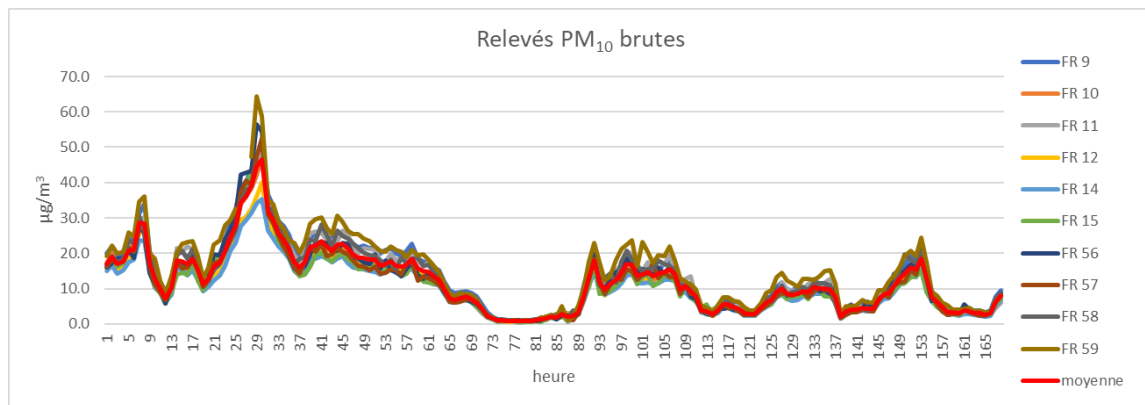


Annexe 2

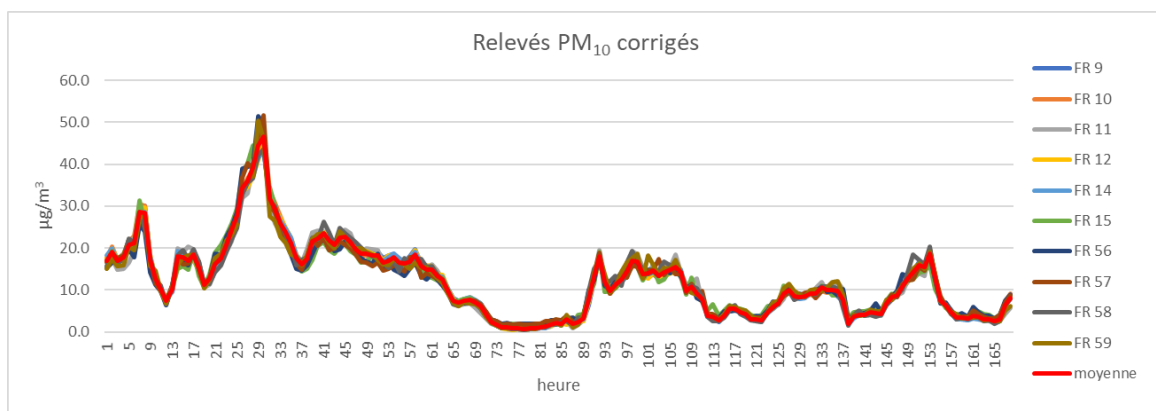
Le recettage a montré la bonne variabilité et la répétabilité des mesures en particules PM₁₀ et PM_{2.5} de l'ensemble des systèmes-capteurs. L'utilisation des systèmes-capteurs, dans le cas de cette étude, est la comparaison relative entre les systèmes-capteurs. Il est donc intéressant de corriger les écarts entre les systèmes-capteurs avant le traitement de l'ensemble des mesures enregistrées lors de l'expérimentation afin de corriger le biais qui existe entre les systèmes-capteurs quand ceux-ci mesurent au même endroit et dans les mêmes conditions.

Le principe a été de linéariser chaque système-capteur à la moyenne de l'ensemble des systèmes-capteurs en post traitement.

L'ensemble des mesures est présenté sous la forme d'un graphe avant et après l'application de la correction de linéarisation.



	coef a	coef b	R ²
FR 9	0.8905	-0.3354	0.9954
FR 10	0.9999	0.3539	0.9952
FR 11	0.9179	0.1923	0.9783
FR 12	1.1441	-0.2587	0.9948
FR 14	1.2254	-0.2591	0.9957
FR 15	0.9976	1.0719	0.9688



Cette linéarisation a été appliquée à l'ensemble des données produites lors de l'expérimentation.