

QUALITÉ DE L'AIR ET PURIFICATEURS D'AIR DANS LES SALLES DE CLASSE :

RÉSULTATS DE L'EXPÉRIMENTATION MENÉE DANS L'ÉCOLE
ÉLÉMENTAIRE ANATOLE FRANCE DE SAINT-OUEN

Auteurs : Tony Renucci (Association Respire), Pierre Guitton (TEQOYA)

AOÛT 2022

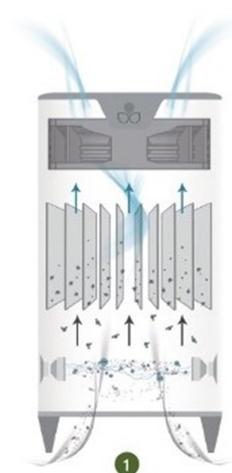
Sommaire

<u>Contexte</u>	2
<hr/>	
<u>Méthodologie</u>	3
<hr/>	
<u>Objectifs</u>	10
<hr/>	
<u>Résultats</u>	11
<hr/>	
<u>Synthèse des résultats</u>	18
<hr/>	
<u>Conclusion</u>	19
<hr/>	
<u>Recommandations</u>	20

1. CONTEXTE

Dans le cadre du budget participatif de la Région Ile-de-France voté en 2021, la municipalité de Saint-Ouen, l'association RESPIRE et l'entreprise TEQOYA, fabricant français de purificateurs, ont mené une expérimentation consistant à évaluer l'impact de purificateurs d'air sur la qualité de l'air dans deux salles de classe de l'école élémentaire Anatole France.

Cette expérimentation est réalisée avec un modèle de purificateur dénommé ALANA, co-développé par TEQOYA avec l'industriel de la qualité de l'air intérieur ALDES. Cet équipement utilise une technologie d'électrofiltration, peu consommatrice en énergie et qui ne nécessite pas de consommables (filtres à remplacer).



1. L'air chargé de particules polluantes est aspiré par l'appareil ALANATM.
2. Les particules polluantes sont chargées électriquement par les ions négatifs produits à l'intérieur de l'appareil.
3. Les particules sont attirées électrostatiquement sur les plaques polarisées et sont ainsi emprisonnées à l'intérieur de l'appareil.
4. L'air, épuré et débarrassé des particules polluantes, est diffusé hors de l'appareil par un ventilateur haute performance.

Le protocole de mesure mis en œuvre est aussi rigoureux que possible, dans un contexte d'expérimentation *terrain* sur plusieurs mois. L'expérimentation a été menée entre janvier et juin 2022.

Ce rapport présente l'expérimentation réalisée et ses résultats.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1 Interlocuteurs mobilisés pour l'expérimentation

- **Sabrina DECANTON** (1^{re} adjointe au Maire de Saint-Ouen, déléguée à la Transition écologique, aux Mobilités, à la Nature en ville et aux Relations avec la métropole)
- **Sophie PICOT** (direction de l'éducation et de l'enfance de la ville de Saint Ouen)
- **Kamel OUSSADANE et Stéphane ANANIAN** (services techniques de la ville de Saint Ouen)
- **Sophie PIQUEMAL et Camille SIMONET** (professeures de l'école élémentaire Anatole France)
- **Tony RENUCCI** (association RESPIRE)
- **Pierre GUITTON** (TEQOYA)

2.2 Lieu de l'expérimentation

L'expérimentation se déroule au sein de l'école élémentaire Anatole France au 7, rue Fernand Hainaut, 93400 Saint Ouen.



Figure 1 : photographie de l'établissement scolaire Anatole France

Le choix de l'établissement a été proposé par la municipalité de Saint-Ouen. En effet, l'école Anatole France se situe à proximité immédiate des travaux de construction du village olympique des Jeux Olympiques 2024, et se trouve à portée d'une pollution aux particules potentiellement plus élevée que la normale.

L'expérimentation concerne deux salles de classe. Ces salles sont contiguës et très semblables en dimensions, exposition et ouvrants. En voici leur situation approximative (pavés bleus en bas à gauche de l'image), au premier étage du bâtiment :

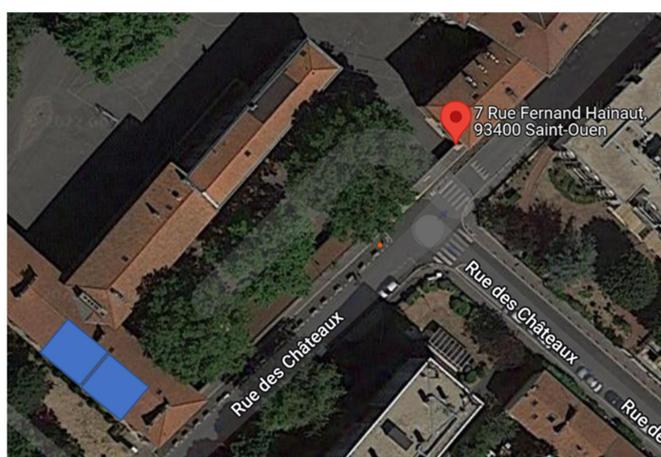


Figure 2 : photographie Google Maps de l'établissement scolaire Anatole France en vue aérienne

2.3 Description et utilisation des locaux

Voici les dimensions et configurations des deux salles de classe contiguës :

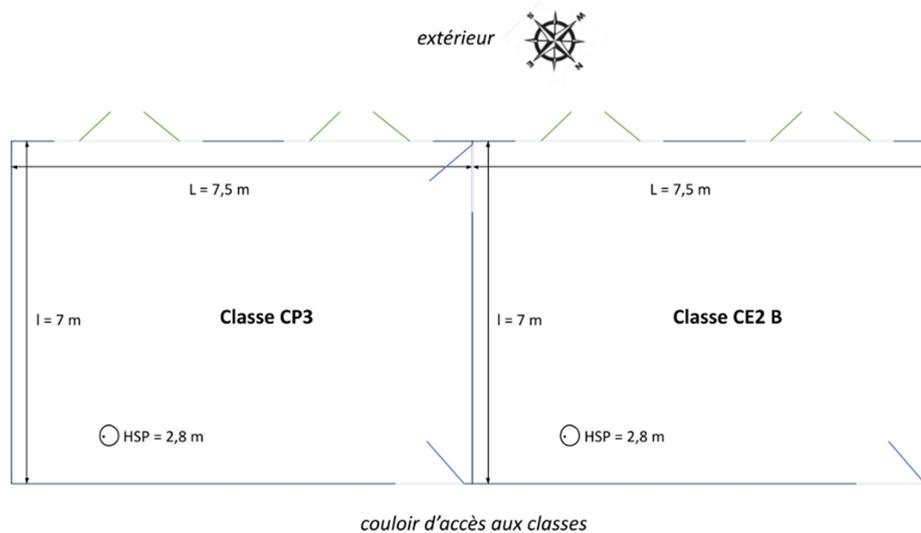


Figure 3 : schéma représentatif des deux salles de classe de l'expérimentation

Il est à noter que ces salles ne disposent pas de ventilation mécanique : seule l'ouverture des ouvrants permet de les ventiler.

Pour chaque, le nombre d'élèves est le suivant :

- CP 3 : 14
- CE2 B : 18

Les horaires de présence des élèves en classe sont les suivants :

- 8h30 – 10h
- 10h15 – 11h45
- 13h30 – 14h30
- 14h45 – 16h15

2.4 Dispositif dans les salles

Les deux salles de classe utilisées pour cette expérimentation sont appelées CP 3 et CE2 B.

Chaque salle a été équipée comme suit :

- 2 micro-capteurs RESPIRE de particules de modèle Plantower PMS 7003 (la mesure de l'indice PM2.5¹ est l'indicateur de qualité de l'air utilisé pour cette expérimentation)
- 1 détecteur de CO₂ et de bruit (fourni par ALDES, qui permet de détecter le niveau de présence dans les classes et fiabiliser les résultats)
- 3 purificateurs d'air ALANA

Leur disposition est identique dans chaque salle :

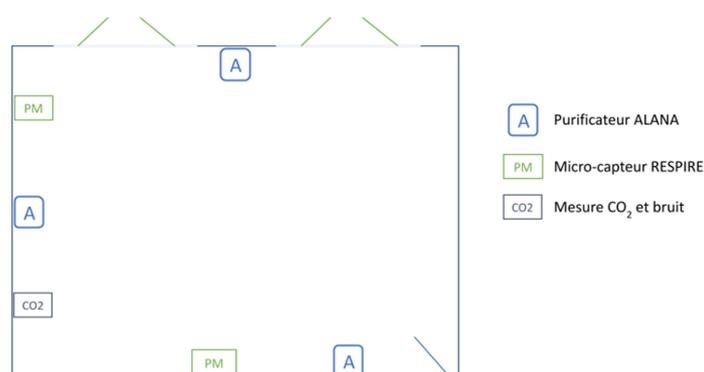


Figure 4 : schéma représentatif du dispositif de renouvellement de l'air et de mesure de la pollution dans chaque salle de classe

Des prises murales ont été posées pour l'alimentation électrique de l'ensemble des dispositifs. L'ensemble des équipements sont installés à une hauteur comprise entre 1,7 et 2 mètres, afin de ne pas être à portée de main des enfants et laisser libres les espaces muraux pour les supports pédagogiques (cf. photographies infra).

¹ PM2.5 représente la concentration massique de particules de rayon aérodynamique inférieur à 2,5 micromètres.



Figure 5 : photographie de l'intérieur de la classe CE2 B



Figure 6 : photographie de l'intérieur de la classe CP 3



Figure 7 : photographie de l'intérieur de la classe CP 3

2.5 Déroulement de la campagne de mesures

L'expérimentation s'est déroulée en 4 phases :

Phase	Durée	Classe CP 3	Classe CE2 B
1	3 janvier au 5 avril 2022	Purificateurs ALANA éteints	Purificateurs ALANA éteints
2	7 avril au 31 mai 2022	Purificateurs ALANA en fonctionnement	Purificateurs ALANA éteints
3	2 juin au 14 juin 2022	Purificateurs ALANA éteints	Purificateurs ALANA en fonctionnement
4	16 juin au 1 ^{er} juillet 2022	Purificateurs ALANA en fonctionnement	Purificateurs ALANA en fonctionnement

La première phase a servi à observer l'état initial afin d'obtenir des mesures neutres de pollution en conditions réelles auxquelles se référer pour l'expérimentation.

Les capteurs RESPIRE sont en fonctionnement pendant toute la durée de l'expérimentation.

L'interprétation des mesures effectuées doit être réalisée en prenant en compte certaines précautions liées à l'aération des salles de classe :

- Les fenêtres des classes sont ouvertes pendant une partie importante du temps en journée ;
- Pendant chaque interclasse, les deux fenêtres de chaque classe sont ouvertes (y compris pendant la première période hivernale de l'expérimentation, du fait du protocole sanitaire contre le Covid-19) ;

- Pendant les périodes relativement chaudes (à partir de fin avril), au moins une des deux fenêtres reste ouverte pendant la classe, voire les deux comme dans la classe CP 3 ;
- Les élèves sont parfois en déplacement (donc n'occupent pas leur salle), il est donc souhaitable d'identifier les jours de présence dans la classe car la présence ou l'absence des élèves et leur professeure influe sensiblement sur la qualité de l'air intérieur (apport de particules de l'extérieur par les fenêtres ouvertes ou dû à l'activité anthropique).

3. OBJECTIFS

La présente étude vise à remplir plusieurs objectifs :

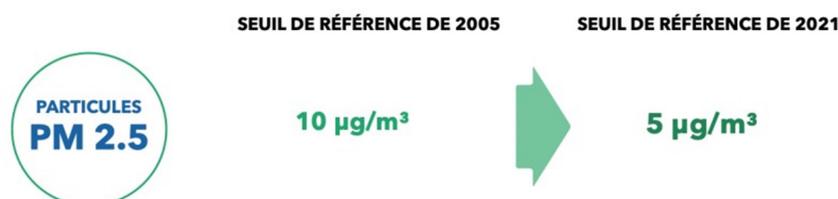
- Mettre en évidence la valeur ajoutée des purificateurs d'air par électrofiltration sur la qualité de l'air intérieure via une campagne de tests d'efficacité dans les écoles en conditions réelles ;
- Élaborer des recommandations à destination des acteurs publics et du grand public afin de préfigurer un futur cadre juridique national pour l'installation et l'utilisation de purificateurs d'air par électrofiltration dans les écoles.

4. RÉSULTATS

4.1 Phase initiale : bilan de la qualité de l'air dans les classes avant l'installation des purificateurs

Comme indiqué plus haut, l'indice **PM2.5** est le critère de qualité de l'air utilisé dans cette étude. Nous rappelons que l'OMS recommande de ne pas dépasser $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne, et $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur une journée :

RECOMMANDATIONS OMS (ANNÉE)



Afin de construire une estimation fiable de l'indice $\text{PM}_{2.5}$ extérieur dans la zone de l'école, nous avons calculé la moyenne des concentrations de cet indice fournies par les deux stations AIRPARIF les plus proches de l'école :



Le graphique ci-dessous montre la corrélation entre la moyenne journalière² de l'indice PM_{2,5} extérieur (mesures des concentrations des stations AIRPARIF) et celui à l'intérieur de chaque classe (mesures des capteurs RESPIRE) :

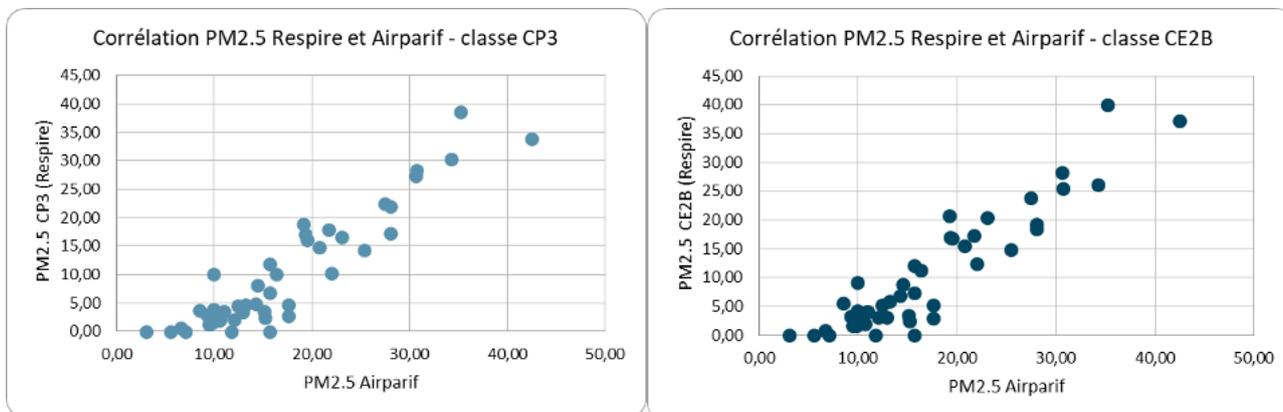


Figure 8 : graphiques représentant la corrélation entre les mesures de Respire et d'Airparif dans chaque classe

Ces données nous permettent de mesurer un ratio entre la pollution intérieure et la pollution extérieure³ moyenne des classes à la pollution extérieure. On mesure qu'elle est d'environ 50 % (50 % pour CP 3, 54 % pour CE2 B), c'est-à-dire que l'on retrouve à l'intérieur des classes environ la moitié de la pollution extérieure, en journée, avant l'installation des purificateurs d'air.

1^{er} résultat : En moyenne journalière, la qualité de l'air dans les classes est fortement corrélée à la qualité de l'air extérieur.

Nous étudions ensuite les niveaux de pollution aux particules, comparés aux seuils d'exposition recommandés par l'OMS.

On constate que l'indice PM_{2,5} mesuré dépasse le seuil OMS recommandé (5 µg/m³) quasiment tous les jours à l'extérieur et autour de 50 % des jours dans chaque classe durant l'expérimentation (cf. graphique et tableau infra).

² Par moyenne journalière, sauf mention contraire, nous entendons la moyenne sur la plage horaire 8h-17h, considérée comme la période d'intérêt car il s'agit de la période d'occupation des locaux par les élèves et/ou l'enseignante.

³ Plus précisément, ce ratio est calculé selon la formule $PM_{2,5} \text{intérieur} / PM_{2,5} \text{extérieur}$, en utilisant les mesures intérieures réalisées pendant la campagne et les mesures extérieures fournies par AirParif.

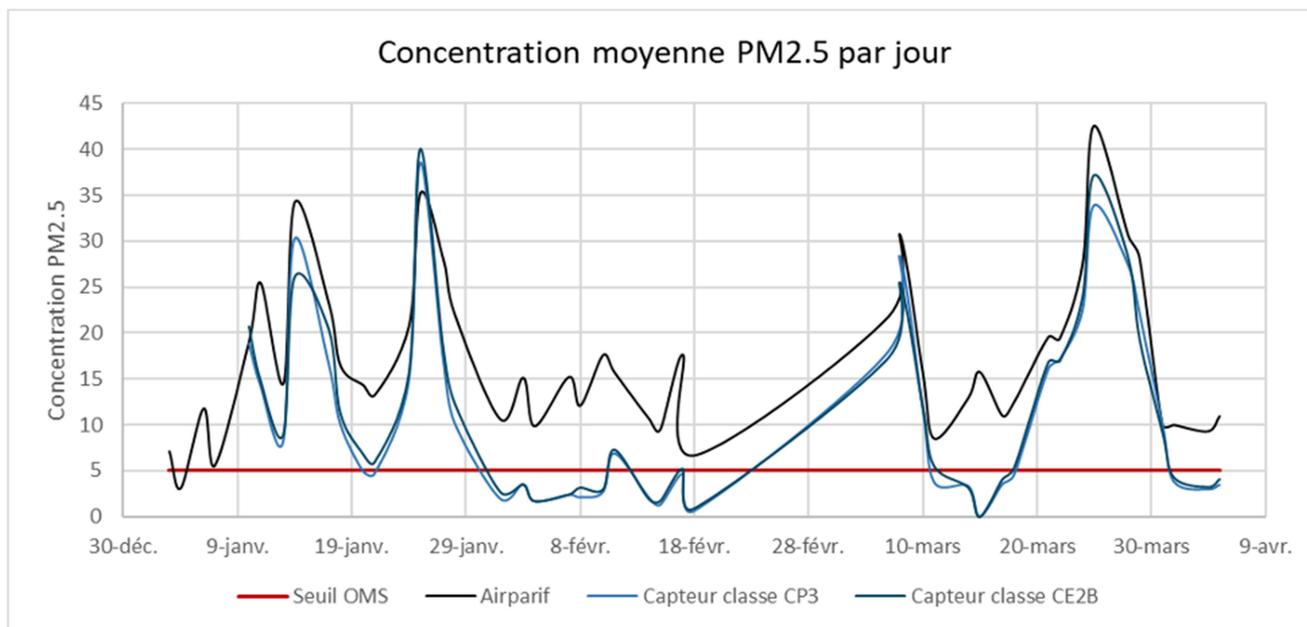


Figure 9 : graphique représentant l'évolution des concentrations moyennes de $PM_{2.5}$ par capteur en comparaison du seuil OMS et des mesures Airparif et en fonction du temps

Nombre de jours $PM_{2.5} > 5 \mu g/m^3$ sur une période de 45 jours de classe au premier trimestre 2022		
Airparif	CP 3	CE2 B
44	22	27

Figure 10 : tableau représentant le nombre de jours de dépassement du seuil OMS sur les concentrations de $PM_{2.5}$ selon le capteur pendant l'expérimentation

2nd résultat : Le niveau de pollution dans les deux classes dépasse régulièrement les valeurs recommandées par l'OMS.

Enfin, sur une journée, on constate une forte variabilité de la qualité de l'air en fonction des heures dans une journée et d'un jour sur l'autre (cf. graphique infra).

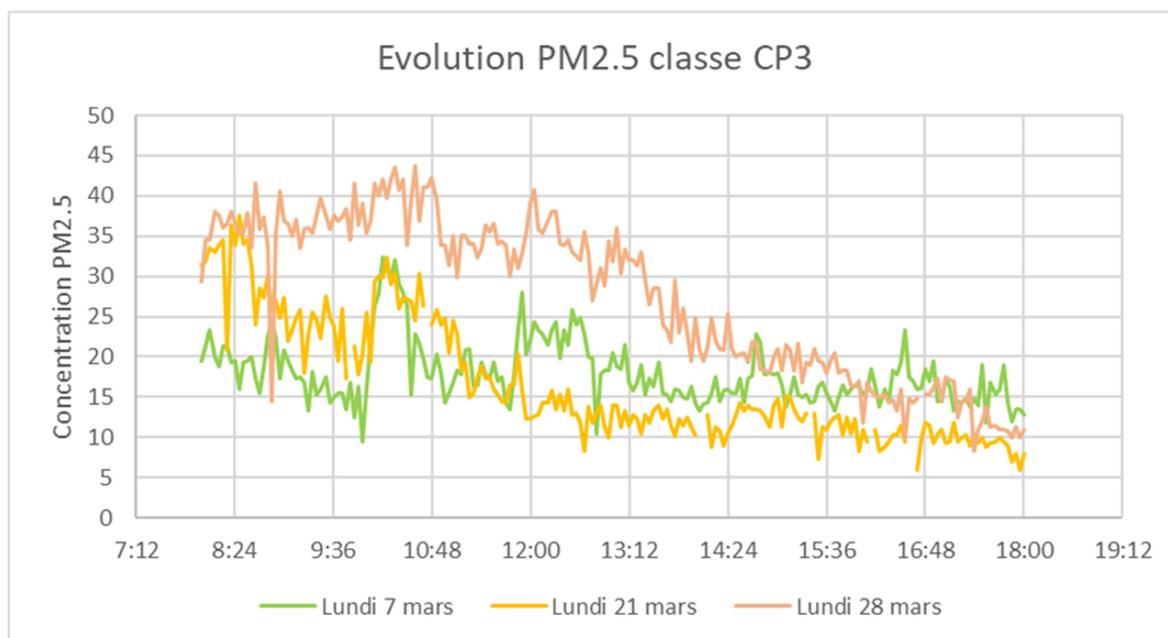


Figure 11 : graphique représentant les concentrations de PM2,5 en fonction des heures et des jours sur les lundis du 7, 21 et 28 mars 2022

3^e résultat : Il n'apparaît pas de profil journalier répliquable en raison de la forte variabilité des mesures de qualité de l'air par heure ou par journée.

4.2 Influence des purificateurs d'air sur la qualité de l'air dans les classes

Nous avons comparé la moyenne journalière des concentrations de $PM_{2.5}$ lors des différentes phases de l'expérimentation. Cette moyenne journalière a été mesurée sur la période d'occupation des salles (8h-17h).

Il ne nous a pas été possible de mener des mesures "avec / sans purificateur" sur des périodes courtes (1h à 2h) pour les raisons suivantes :

- forte variabilité des mesures et absence de profil régulier (cf. constats précédents sur la phase initiale);
- cycle journalier "rapide" d'activité des classes (les phases d'occupation durent 1h30);
- difficulté pour RESPIRE et TEQOYA d'être présents pendant la classe (perturbation) ou à solliciter les enseignants pour intervenir sur les appareils pour l'analyse de performance sur des cycles courts.

La campagne de mesures démontre trois résultats (cf. graphique infra) :

1. Lorsqu'aucun purificateur ne fonctionne, la classe CE2 B est plus polluée de 11 % que la classe de CP3 en écart relatif ⁴. Cela peut s'expliquer notamment par un plus grand nombre d'élèves en classe CE2 B ;
2. Après la mise en service des purificateurs en classe CP 3, l'écart augmente nettement : 56 % d'écart relatif, soit **45 points de variation par rapport à la phase sans purificateurs** ;
3. Après la mise en service des purificateurs en classe CE2B (et arrêt en CP 3), l'écart s'inverse : - 32 % d'écart relatif soit **43 points de variation par rapport à la phase sans purificateurs**.

⁴ L'écart relatif de qualité de l'air entre les deux classes est calculé par la formule $(PM_{2.5CE2B} - PM_{2.5CP3}) / PM_{2.5CP3}$

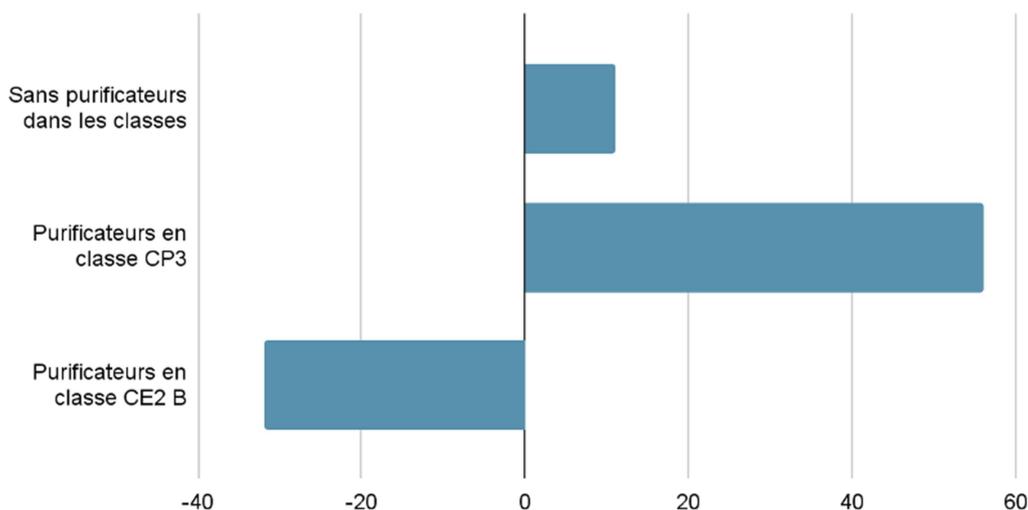


Figure 12 : graphique représentant la différence de concentration moyenne de PM_{2,5} entre les classes de CE2 B et CP 3 sur une journée avec et sans fonctionnement des purificateurs

On mesure donc une influence des purificateurs importante et similaire pendant les deux phases distinctes de mise en service des purificateurs dans les deux classes.

4^e résultat : Le niveau de concentrations de PM_{2,5} dans une classe avec des purificateurs en fonctionnement baisse de 44 % en moyenne par rapport à une classe sans purificateur en fonctionnement sur une journée de cours.

Nous avons également comparé la ratio pollution intérieure / pollution extérieure⁵ des classes avant et après mise en service des purificateurs d'air. On constate que ce ratio baisse de 30 % lorsque les classes sont purifiées. En effet, le ratio dans les deux classes dépasse 50 % avant la purification, et descend à 35 % lorsque les purificateurs sont allumés (cf. graphique infra).

⁵ ratio PM_{2.5}intérieur/PM_{2.5}extérieur

Perméabilité des classes à la pollution extérieure (plage horaire journalière 8h-17h)

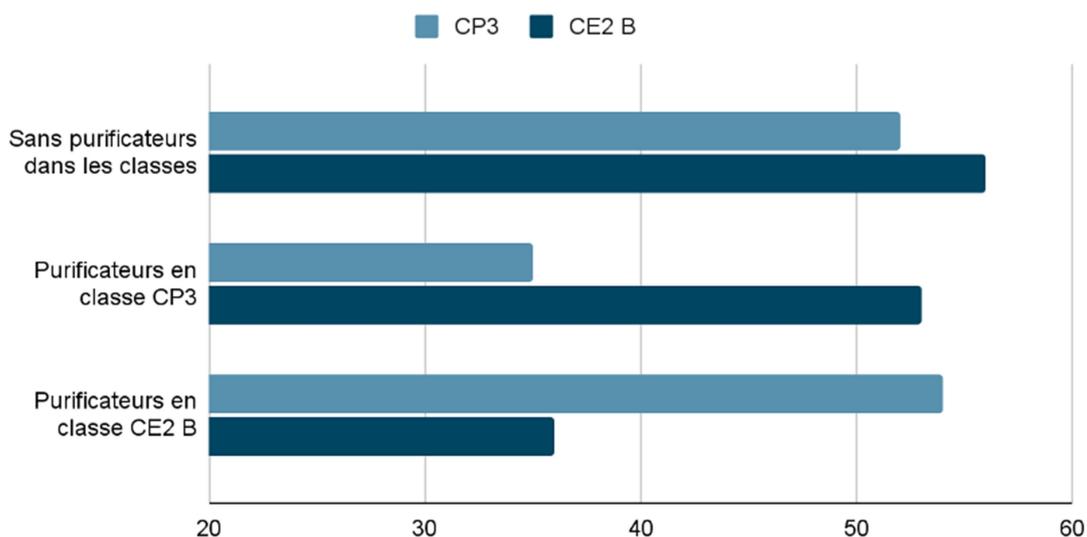


Figure 13 : graphique représentant le ratio $PM_{2.5} \text{intérieur} / PM_{2.5} \text{extérieur}$ (en %) dans chaque classe, pour chaque période de test

5^e résultat : Le ratio pollution intérieure dans une classe / pollution de l'air extérieur diminue de 30 % lorsque les purificateurs sont en fonctionnement.

5. SYNTHÈSE DES RÉSULTATS

- En moyenne journalière, la qualité de l'air dans les classes est fortement corrélée à la qualité de l'air extérieur.
- Le niveau de pollution dans les deux classes dépasse régulièrement les valeurs recommandées par l'OMS.
- Il n'apparaît pas de profil journalier répliquable en raison de la forte variabilité des mesures de qualité de l'air par heure ou par journée.
- Le niveau de concentrations de $PM_{2.5}$ dans une classe avec des purificateurs en fonctionnement baisse de 44 % en moyenne par rapport à une classe sans purificateur en fonctionnement sur une journée de cours.
- Le ratio pollution intérieure d'une classe / pollution de l'air extérieur diminue de 30 % lorsque les purificateurs sont en fonctionnement.

6. CONCLUSION

La campagne de mesures réalisée permet de démontrer une réelle efficacité des purificateurs d'air par électrofiltration dans les salles de classe de l'école.

Nous constatons que **la concentration de particules PM2.5 diminue de 44 % en moyenne dans une classe avec un purificateur d'air par électrofiltration par rapport à une classe sans purificateur.**

Ce résultat est d'autant plus intéressant qu'il est obtenu pendant **un semestre où les fenêtres de classes sont souvent ouvertes** (mois d'hiver, protocole sanitaire, pauses inter-classes), notamment au printemps quand les purificateurs ont été mis en service, favorisant l'entrée de polluants extérieurs.

Par ailleurs, les retours sur le terrain des professeures sont également satisfaisants. Elles soulignent que le confort acoustique, malgré le bruit du purificateur en fonctionnement, est acceptable pendant les cours et jugent l'utilisation et l'entretien de l'appareil très simples.

7. RECOMMANDATIONS

Nous formulons 5 recommandations qui visent à proposer une stratégie de déploiement des purificateurs d'air au service de la qualité de l'air dans les milieux confinés :

1	Mener une campagne nationale de tests d'efficacité des purificateurs d'air dans les ERP (écoles, résidences pour seniors, lieux sportifs et culturels etc.), en observant plusieurs technologies (filtres HEPA, électrofiltration etc.) et en démontrant leur valeur ajoutée pour améliorer la qualité de l'air intérieur
2	Généraliser l'installation et l'usage des purificateurs d'air dans les ERP, notamment par la loi
3	Créer un fonds national dédié au financement de l'achat de purificateurs d'air pour les collectivités
4	Encourager la mise en place d'études épidémiologiques de cohorte afin d'améliorer la connaissance des effets des purificateurs d'air sur la prévention des épidémies saisonnières et respiratoires (grippe, bronchiolite), voire du Covid-19
5	Établir un protocole d'utilisation et de bonnes pratiques des purificateurs d'air, expliquant l'utilisation et l'entretien de ces dispositifs au grand public et aux personnels éducatifs