



SOLUTIONS
POUR
**NOTRE
AIR**

**Expérimentations -
Innovons pour l'air
de nos bâtiments
publics - Synthèse
et avis d'AIRLAB**

EXPERIMENTATIONS « INNOVONS POUR L’AIR DE NOS BÂTIMENTS PUBLICS » SYNTHESE ET AVIS D’AIRLAB

Évaluation de l’efficacité de systèmes de dépollution de l’air intérieur.

Mai 2026

*Porteur du projet : Conseil Régional d’Île-de-France
Avec le soutien de*



« Le bon geste environnemental : N'imprimez ce document que si nécessaire et pensez au recto-verso ! »

Airparif est l'Observatoire indépendant de la qualité de l'air (association loi 1901) en Île-de-France. Conformément à la Loi sur l'Air et l'utilisation rationnelle de l'Energie, Airparif rassemble les différents acteurs impliqués dans les enjeux atmosphériques et susceptibles d'agir pour son amélioration. Les quatre collèges qui la composent (Etat, collectivités, acteurs économiques, milieu associatif et personnalités qualifiées) assurent son interaction avec les attentes de la société et lui garantissent indépendance et transparence dans ses orientations et ses activités. Airparif est agréée par le Ministère en charge de l'Environnement.

Ses activités sont déclinées suivant 4 axes :

- **Surveiller** la qualité de l'air grâce à un dispositif de mesure et à des outils de modélisation et contribuer ainsi à l'évaluation des risques sanitaires et des effets sur l'environnement. Prévoir la qualité de l'air au jour le jour et les épisodes de pollution ;
- **Comprendre** les phénomènes de pollution et évaluer, grâce à l'utilisation d'outils de modélisation, l'efficacité conjointe des stratégies proposées pour lutter contre la pollution atmosphérique et le changement climatique ;
- **Accompagner** les territoires pour des politiques publiques efficaces intégrant les enjeux air, santé, climat et énergie. Informer les citoyens, les médias, les autorités et les décideurs ;
- **Favoriser l'innovation** en facilitant l'émergence de nouvelles solutions pour améliorer la qualité de l'air, notamment via AIRLAB, l'accélérateur de solutions innovantes pour la qualité de l'air. Lancé par Airparif et ses partenaires, AIRLAB rassemble une communauté (grandes entreprises, PME, start-up, instituts de recherche, collectivités, citoyens) qui s'engage pour améliorer la qualité de l'air

En 2023, ces axes ont été confirmés lors de l'élaboration du plan stratégique d'Airparif à horizon 2030, à cette occasion Airparif s'est dotée d'une raison d'être, à savoir « Agir pour un air sain dans un monde plus durable ».

AIRLAB, le laboratoire d'innovation d'Airparif et ses partenaires, promeut un modèle d'innovation ouverte et coordonne un écosystème facilitant les rencontres et les collaborations entre des acteurs d'horizons variés. AIRLAB vise à débloquer l'ensemble des points décisifs d'une innovation pour la qualité de l'air. En particulier : mobiliser des financements ; apporter des territoires d'expérimentation afin d'organiser les tests opérationnels ; organiser et faciliter l'accès aux données ; mettre en place **des processus d'évaluation des projets**, informer et faire adopter les solutions par le plus grand nombre (cf. annexe 1).

SOMMAIRE

SOMMAIRE	8
1. CONTEXTE ET OBJECTIFS	10
2. LAUREATS DE L'EXPERIMENTATION.....	11
3. MISSION D'EVALUATION D'AIRLAB	12
3.1. PROTOCOLE D'EVALUATION DES MESURES DANS L'AIR.....	12
3.1.1. Recommandations concernant la métrologie	13
3.1.2. Choix des emplacements et nombre de mesures.....	13
3.1.3. Qualification métrologique des systèmes-capteurs	14
3.1.4. Suivi de l'expérimentation	14
3.1.5. Evaluation du procédé.....	15
3.1.6. Points de vigilance sur les interprétations des mesures	15
3.2. AVIS D'AIRLAB SUR LES CONCLUSIONS	16
4. RESULTATS DES EXPERIMENTATIONS	17
4.1. EXPERIMENTATION CAMFIL – PARIS 5EME.....	17
4.1.1. DISPOSITIF D'EPURATION TESTE.....	17
4.1.2. DISPOSITIF D'EVALUATION MIS EN PLACE PAR CAMFIL.....	17
4.1.3. RESULTATS ET CONCLUSIONS PRESENTES PAR CAMFIL	18
4.1.4. AVIS D'AIRLAB RELATIF A LA QUALITE DE L'EVALUATION DE L'IMPACT DE L'EXPERIMENTATION CAMFIL	19
4.2. EXPERIMENTATION ENGIE SOLUTION – COUR - ECOLE MATERNELLE EXELMANS – VELIZY- VILLACOUBLAY	21
4.2.1. DISPOSITIF D'EPURATION TESTE – Filter Cube	21
4.2.2. DISPOSITIF D'EVALUATION MIS EN PLACE PAR ENGIE solutions.....	23
4.2.3. RESULTATS ET CONCLUSIONS PRESENTES PAR ENGIE solutions	24
4.2.4. AVIS D'AIRLAB RELATIF A LA QUALITE DE L'EVALUATION DE L'IMPACT DE L'EXPERIMENTATION ENGIE solutions	26
4.3. EXPERIMENTATION SUEZ – COUR ECOLE -COURBEVOIE.....	28
4.3.1. DISPOSITIF D'EPURATION TESTE (Combin'Air)	28
4.3.2. DISPOSITIF D'EVALUATION MIS EN PLACE SUEZ	29
4.3.3. RESULTATS ET CONCLUSIONS PRESENTES PAR SUEZ	31
4.3.4. AVIS D'AIRLAB RELATIF A LA QUALITE DE L'EVALUATION DE L'IMPACT DE L'EXPERIMENTATION SUEZ.....	32
4.4. EXPERIMENTATION TEKO – MAIRIE	35
4.4.1. DISPOSITIF D'EPURATION TESTE.....	35
4.4.2. DISPOSITIF D'EVALUATION MIS EN PLACE PAR TEKO	35
4.4.3. RESULTATS ET CONCLUSIONS PRESENTES PAR TEKO	36
4.4.4. AVIS D'AIRLAB RELATIF A LA QUALITE DE L'EVALUATION DE L'IMPACT DE L'EXPERIMENTATION TEKO.....	37
4.5. EXPERIMENTATION VMI – IVRY-SUR-SEINE.....	39
4.5.1. DISPOSITIF D'EPURATION TESTE.....	39

4.5.2.	DISPOSITIF D'EVALUATION MIS EN PLACE PAR VMI®	40
4.5.3.	RESULTATS ET CONCLUSIONS PRESENTES PAR VMI®.....	41
4.5.4.	AVIS D'AIRLAB RELATIF A LA QUALITE DE L'EVALUATION DE L'IMPACT DE L'EXPERIMENTATION VMI.....	43
4.6.	EXPERIMENTATION VLOPES CLIM – VITRY-SUR-SEINE.....	45
4.6.1.	DISPOSITIF D'EPURATION TESTE.....	45
4.6.2.	DISPOSITIF D'EVALUATION MIS EN PLACE PAR VLOPES CLIM.....	47
4.6.3.	RESULTATS ET CONCLUSIONS PRESENTES PAR VLOPES CLIM	50
4.6.4.	AVIS D'AIRLAB RELATIF A LA QUALITE DE L'EVALUATION DE L'IMPACT DE L'EXPERIMENTATION VLOPES CLIM	52
4.7.	SUEZ - RUEIL-MALMAISON.....	54
4.7.1.	DISPOSITIF D'EPURATION TESTE.....	54
4.7.2.	DISPOSITIF D'EVALUATION MIS EN PLACE PAR SUEZ	56
4.7.3.	RESULTATS ET CONCLUSIONS PRESENTES PAR SUEZ	58
4.7.4.	AVIS D'AIRLAB RELATIF A LA QUALITE DE L'EVALUATION DE L'IMPACT DE L'EXPERIMENTATION SUEZ.....	59
5.	PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS	61
	DES NIVEAUX EN AIR INTERIEUR EN LIEN DIRECT AVEC LE TAUX DE RENOUVELLEMENT D'AIR	62
	COMMENT EVALUER L'EFFICACITE DE SYSTEMES DE DEPOLLUTION	62
	ANNEXE 1 : PRESENTATION D'AIRLAB	65
	ANNEXE 2 : LISTE DES DOCUMENTS ANALYSES	66

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Les impacts sur la santé de la pollution de l'air extérieur comme intérieur sont avérés. Or, 90 % du temps est passé en moyenne dans des environnements intérieurs dont la qualité de l'air est généralement plus dégradée qu'à l'extérieur. Les polluants y sont principalement les composés organiques volatils, le formaldéhyde ainsi que les particules et les oxydes d'azote. Les raisons de niveaux élevés peuvent provenir de sources intérieures (issues du mobilier, des produits d'entretien, ...) associées à un système de ventilation absent ou inadapté ainsi que de sources extérieures spécifiques telles qu'un axe routier important en immédiate proximité,

Si la nature des polluants diffère notablement d'un milieu à l'autre notamment entre les milieux intérieurs et extérieurs confinés, les concentrations des polluants peuvent être largement supérieures à celles observées en air ambiant. **L'amélioration de la situation dans les espaces intérieurs des bâtiments publics et les espaces extérieurs confinés accueillant du public francilien représente ainsi un enjeu important, notamment quand ils accueillent des enfants.**

C'est pourquoi, la Région Île-de-France a décidé de soutenir des projets pilotes visant à expérimenter des dispositifs permettant d'améliorer de manière ambitieuse la qualité de l'air dans ces espaces. Dans le cadre de la mise en œuvre de son plan « Changeons d'air en Île-de-France » (2016-2021), elle a lancé deux appels à projet le premier en 2019 (IABP-1) et le second en 2020 (IABP-2), consistant à expérimenter des solutions de dépollution innovantes pour améliorer la qualité de l'air dans les bâtiments et les espaces extérieurs confinés recevant du public de la région francilienne. A l'issue de l'appel à projets de 2019, 4 expérimentations ont été retenues (dont une a été abandonnée en cours d'expérimentation suite à la liquidation judiciaire de l'entreprise lauréate), et 4 autres à l'issue de celui de 2020. La pandémie de COVID19 et ses conséquences ont notablement retardé certaines de ces expérimentations.

Les lauréats de l'appel à projet de la Région ont eu l'opportunité de tester leur solution dans des lieux publics qu'ils ont choisis et que la Région a validé (salle de classe ou crèches principalement, **cour d'école**) et de bénéficier de l'accompagnement d'AIRLAB, le laboratoire d'innovation ouverte d'Airparif. Les évaluations de leur impact sur la qualité de l'air ont été menées par les lauréats, leurs experts avec un appui direct d'AIRLAB.

Pour Les lauréats du premier appel à projet, AIRLAB a apporté un appui à chacun pour la construction du dispositif d'évaluation et validé le protocole retenu de suivi de l'efficacité sur la qualité de du système de dépollution testé l'air. Dans le cadre du second appel à projet, AIRLAB a élaboré et formalisé en amont un protocole de mesure à mettre en place pour suivre les niveaux des polluants traités par les dispositifs d'épuration. Il reprend les préconisations discutées lors du premier appel à projet. Ce protocole a été mis à disposition des candidats.

AIRLAB a ensuite vérifié la validité des données mesurées et de leur interprétation, échangé avec les lauréats pour qu'ils puissent compléter le cas échéant leurs analyses et donné un avis sur la robustesse des conclusions établies par les porteurs des projets sur l'efficacité des dispositifs testés.

Le présent document présente **l'avis d'AIRLAB sur la qualité de l'évaluation de l'impact des solutions testées sur la qualité de l'air pour chaque expérimentation.** Cet avis est précédé d'une description du principe de traitement de la solution testée, du dispositif d'évaluation mis en place et des résultats affichés par l'opérateur et le lauréat. **Cet avis ne représente en aucun cas une certification des solutions ayant fait l'objet de ces expérimentations.**

Ce rapport présente également **une synthèse des enseignements des expérimentations.**

2. LAUREATS DE L'EXPERIMENTATION

Les **6 lauréats et 7 expérimentations** suivies et menées à leur terme sont les suivantes (les 4 premières concernent le premier appel à projet) :

- **CAMFIL** : mise en œuvre d'Épurateur d'air CC800 de cette société, reposant sur la filtration des particules (et l'adsorption moléculaire des COV. Ce système a été expérimenté dans une salle de classe d'une école primaire à Paris.
- **ENGIE solutions** : mise en œuvre de la solution Filter Cube de la société Mann Hummel, technologie reposant sur la filtration des particules et l'adsorption sur charbon actif. Ce système a été expérimenté sous le préau d'une cour d'école maternelle à Vélizy-Villacoublay.
- **SUEZ** : mise en œuvre la solution appelée Combin'Air proposée par cette société qui repose sur plusieurs dispositifs en cascade avec de la filtration des particules par une technologie électrostatique à ionisation positive suivi d'un traitement par charbon actif. Ce dispositif a été expérimenté dans la cour d'une école maternelle de Courbevoie.
- **TEKO** : mise en œuvre d'électrofiltres TEK0 AIR SYSTEM APACHE. Ce dispositif a été expérimenté dans le hall et dans le parking souterrain de Garges-lès-Gonesse.
- **VMI** : mise en œuvre de la solution de filtration des particules de l'air extérieur VMI® PRO1000 avant insufflation dans la salle expérimentée. Ce système a été expérimenté dans une salle d'une crèche d'Ivry-sur-Seine.
- **VLOPES CLIM** : mise en œuvre de deux solutions de traitement de l'air de cette société : le NPS OPTIMAL basé sur la filtration des particules associée à un traitement UV et une plaque en oxyde de titane et le NPS Plus avec un rayonnement UV et de l'ionisation catalytique de l'air. Ces systèmes ont été expérimentés dans des salles de classe d'une école primaire de Vitry-sur-Seine.
- **SUEZ** : mise en œuvre d'épurateurs d'air CC6000 de la société CAMFIL équipés de filtres à particules associés à du charbon actif. Ce système a été expérimenté dans une salle multisport de Rueil-Malmaison.

3. MISSION D'EVALUATION D'AIRLAB

La mission d'AIRLAB a consisté à garantir la qualité des évaluations de l'impact sur la qualité de l'air des dispositifs testés et non à évaluer l'efficacité des systèmes d'épuration expérimentés.

Dans ces appels à projets et pour le compte d'AIRLAB, les experts d'Airparif ont apporté leur soutien technique dans le cadre de l'évaluation de l'impact des solutions retenues sur la qualité de l'air intérieur des bâtiments publics et des espaces publics, menée par les lauréats :

- Co-construction, avec chaque lauréat, du protocole de mesure de suivi des niveaux de pollution dans les milieux recevant le dispositif de dépollution (IABP-1)
- Elaboration d'un protocole de mesure à mettre en place pour suivre les niveaux de pollution dans les milieux recevant les dispositifs de dépollution (IABP-2), échanges et validation du dispositif de mesure retenu,
- Visite de terrain au cours de l'expérimentation,
- Vérification de la validité des données mesurées et de leur interprétation et échanges,
- Avis sur les conclusions de chaque expérimentation et échanges.

3.1. PROTOCOLE D'EVALUATION DES MESURES DANS L'AIR

En l'absence de protocole d'évaluation de référence pour des dispositifs de dépollution, permettant de maîtriser la qualité de l'évaluation, AIRLAB a aidé chaque lauréat du premier appel à projet pour construire un protocole de mesure permettant l'évaluation de l'efficacité de sa solution de dépollution. Des échanges successifs avec les experts d'AIRLAB ont permis que leurs recommandations (matériels de mesure, pas de temps, appareils de mesures, etc.) soient intégrés dans le dispositif opérationnel.

Les lauréats du second appel à projet, en 2020, ont bénéficié en amont de leur candidature d'un document de référence élaboré par AIRLAB sur la base des échanges du premier appel à projet. Une fois le dispositif expérimental rédigé par le lauréat, d'éventuelles recommandations ont été émises par les experts d'AIRLAB.

Les principales dispositions de ce protocole sont précisées ci-après. Le protocole complet est disponible à l'adresse suivante [\(ajouter lien\)](#).

L'efficacité des systèmes de dépollution ne peut être évaluée que par une expérimentation en conditions réelles ; l'évaluation en laboratoire, nécessaire en amont, est insuffisante pour estimer les performances en conditions réelles d'utilisation.

En premier lieu, la portée de l'expérimentation est à définir en stipulant le milieu où sera mise en place l'expérimentation (air extérieur ou air intérieur), les caractéristiques du procédé de dépollution de l'air et l'objectif recherché pour chacun des polluants concernés.

Le protocole d'évaluation est à définir avec beaucoup d'attention. La durée d'expérimentation minimale est fonction des niveaux du polluant considéré dans l'espace de l'expérimentation, de l'abattement escompté pour ce polluant et de l'incertitude sur la mesure de sa concentration. **La durée de l'expérimentation doit être d'autant plus longue que l'abattement escompté est faible ;**

de plus, plus l'incertitude sur sa mesure est grande, plus longue doit être la durée de l'expérimentation. La durée de l'expérimentation est à définir en fonction des incertitudes de mesures des capteurs/ dispositifs de mesure retenus au regard des abattements escomptés des procédés de dépollution, et ce, pour chacun des polluants étudiés.

Plus la durée de l'expérimentation est grande, meilleure sera l'évaluation de l'efficacité du procédé proposé en la séparant au mieux des variations de niveaux liées aux nombreux facteurs environnementaux. Il est préconisé d'implanter des dispositifs de mesure fixes (aux mêmes emplacements) sur une durée longue de plusieurs mois à une année.

Ce temps long permettra également de vérifier dans le temps les performances du procédé et ses coûts d'exploitation et environnementaux.

Afin d'évaluer l'efficacité du dispositif, il est nécessaire de pouvoir comparer à une situation sans dispositif de traitement (mesure de référence). Pour ce faire, Airparif recommande **d'alterner des périodes de mesures avec le système à évaluer en fonctionnement et des périodes de référence** (ex : alternance d'une semaine avec le procédé en fonctionnement et d'une semaine à l'arrêt).

Les différents polluants doivent être mesurés simultanément, ce qui permet entre autres d'analyser les données mesurées en air intérieur et en air extérieur et les différents polluants et paramètres (T°, hygrométrie...) entre eux.

3.1.1. Recommandations concernant la métrologie

Dans le cas d'utilisation de systèmes-capteurs (appelés aussi micro-capteurs), il est recommandé :

- L'utilisation de systèmes-capteurs avec des temps d'intégration adaptés à l'objectif de l'expérimentation (ex : à la **minute**).
- Pour l'évaluation du procédé de dépollution, une **qualification des systèmes-capteurs** est fortement recommandée (reproductibilité et justesse). Pour cela, il est nécessaire d'évaluer l'ensemble des systèmes-capteurs entre eux en les plaçant à proximité les uns des autres (dans un même endroit). La représentativité statistique des écarts entre les systèmes-capteurs pourra ainsi être évaluée. Voir le chapitre « Qualification métrologique des capteurs ».

La mise en œuvre d'une **base de données** permettant de coupler les données de mesures de qualité de l'air aux mesures associées au procédé de dépollution (T°, débit d'air, fonctionnement ou non du système de dépollution, contacteur d'ouverture de porte et de fenêtres, activité dans la salle, dans la cour...).

3.1.2. Choix des emplacements et nombre de mesures

Le choix des emplacements et le nombre de points de mesure est déterminant pour être en capacité d'évaluer l'efficacité du procédé de dépollution. Il n'est pas possible de spécifier au préalable l'emplacement précis et le nombre de mesures le plus approprié. En effet, ces derniers doivent être adaptés en fonction du lieu à investiguer, pour prendre en compte la variabilité des niveaux dans l'espace considéré et évaluer la variabilité spatiale de l'impact du procédé d'épuration sur les niveaux de polluants.

3.1.3. Qualification métrologique des systèmes-capteurs

Ce protocole de qualification tient compte 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 des membres du jury international des challenges.

Pour toute utilisation de systèmes-capteurs, il convient de s'assurer de ses qualités métrologiques tout au long de son utilisation. **Il est recommandé de réaliser une qualification métrologique au début et à la fin de l'expérimentation (avec le cas échéant la réalisation d'une qualification métrologique intermédiaire tous les 6 mois).**

Cette qualification a pour objectif d'écartier les systèmes-capteurs défectueux et de les ajuster dans la mesure du possible.

Chronologie de l'expérimentation :

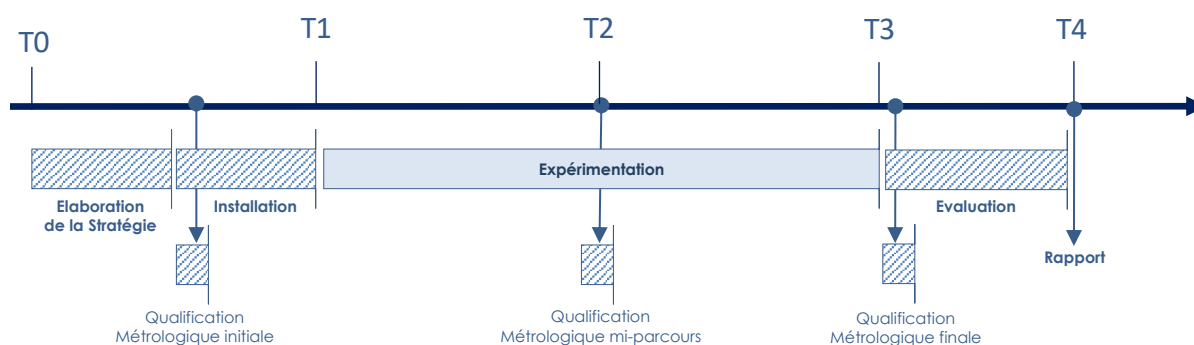


Figure 1 : Exemple de phasage d'une expérimentation d'une durée supérieure à 6 mois

La qualification métrologique consiste à contrôler à minima la **reproductibilité** et si possible la **justesse** des mesures des différents capteurs en les exposant à des niveaux de concentrations attendus lors de l'expérimentation (dans une chambre d'exposition adaptée et/ou en milieu ambiant identique à celui de l'expérimentation). Il convient de positionner les systèmes-capteurs à proximité les uns des autres pendant au moins 72 h.

L'évaluation de la justesse des systèmes-capteurs ne peut être réalisée qu'en comparaison avec une méthode de mesure de référence et/ou par la mesure d'une concentration étalon raccordée à une référence nationale.

3.1.4. Suivi de l'expérimentation

Afin de faciliter l'analyse des résultats de mesure, il convient de noter les périodes et types des éventuels dysfonctionnements du procédé de dépollution et des différents systèmes-capteurs. Il est recommandé de mettre en œuvre une remontée automatique de l'état de fonctionnement du procédé de dépollution.

Les périodes d'entretien et de maintenance du procédé de dépollution sont également à renseigner précisément.

La position des capteurs en les référençant ainsi que leur période de fonctionnement sont à renseigner.

3.1.5. Evaluation du procédé

L'évaluation de l'efficacité du procédé s'appuyera sur les niveaux mesurés pendant les périodes de fonctionnement du dispositif de dépollution en regard des périodes de mesures de référence (procédé à l'arrêt).

Pour faciliter le traitement, il est fortement recommandé de mettre en œuvre une **base de données permettant de croiser toutes les données** (procédé de dépollution, capteurs, ventilation, activités) L'acquisition de données complémentaires comme par exemple le niveau de perceptions d'odeurs, de sensations de confort, de bien être, le niveau d'attention des élèves et l'absentéisme, serait un plus.

Le rapport de l'expérimentation devra être étayé par l'analyse conjointe de ces différents types de données.

Il convient de s'assurer de la validité métrologique des dispositifs de mesure sur la période d'expérimentation avant exploitation des données. Il est recommandé d'exploiter les données de mesure en moyennes quarts-horaire, permettant une analyse sur un nombre plus important de données qu'à l'échelle horaire.

Il convient de s'assurer que l'ensemble des données produites sont correctement horodatées.

3.1.6. Points de vigilance sur les interprétations des mesures

En complément de l'évaluation de l'efficacité du dispositif d'épuration pour les polluants traités, il convient de veiller à évaluer l'absence de danger du procédé de dépollution tel que l'apport d'humidité pouvant favoriser le développement de **moisissures**, de **moustiques**, ou l'absence de génération de **composés secondaires (ozone...)**, ...

Il conviendra également de vérifier l'influence du débit d'air sur la remise en suspension de particules.

En air intérieur :

En cas d'observation de valeurs élevées de concentrations en polluant le responsable de l'expérimentation devra informer, dans les plus brefs délais, le gestionnaire de l'établissement ou du bâtiment et la collectivité compétente. Une contre-expertise par un organisme accrédité pour les mesures du milieu étudié est fortement conseillée.

Le respect strict des recommandations de ce protocole ne vaut pas validation de l'expérimentation ni de l'efficacité du procédé de dépollution.

Au-delà de la mise en œuvre du protocole dans les règles de l'art définies dans ce protocole, il sera veillé à ce que l'interprétation des résultats soit rigoureuse et que l'analyse souligne les points pour lesquels aucune conclusion n'est possible suite à l'expérimentation. A l'issue de l'expérimentation, il pourrait s'avérer nécessaire que des mesures ou analyses des données complémentaires soit à réaliser.

3.2. AVIS D'AIRLAB SUR LES CONCLUSIONS

Chaque lauréat a interprété ses données de mesure.

Dans le cadre d'AIRLAB, Airparif s'est assurée de la validité des conclusions portées par les différents lauréats pour les expérimentations sur l'impact sur l'air dans l'espace expérimenté, compte-tenu des incertitudes des mesures et de la variabilité des niveaux mesurés. Les rapports réalisés par les lauréats ont été expertisés par Airparif pour le compte d'AIRLAB (liste disponible à l'annexe 2). L'avis donné par AIRLAB sur l'évaluation dans ce présent rapport est le résultat de cette expertise pour chaque expérimentation.

4. RESULTATS DES EXPERIMENTATIONS

Ce paragraphe présente, pour chaque expérimentation, les détails de l'expérimentation réalisée, les résultats et conclusions apportés par l'opérateur, les points forts et de vigilance identifiés par AIRLAB ainsi que son avis sur la qualité de l'évaluation de l'impact de l'expérimentation.

4.1. EXPERIMENTATION CAMFIL – PARIS 5ème

L'expérimentation CAMFIL a été réalisée dans une salle de classe de l'école située au 250 bis rue Saint Jacques à Paris dans le 5ème arrondissement. La salle de classe instrumentée se trouve au 1er étage de l'école.

4.1.1. DISPOSITIF D'EPURATION TESTE

Le système mis en place est appelé Epurateur d'air CC800. C'est une technologie reposant sur la filtration des particules (filtre H13) et l'adsorption moléculaire des COV.



Figure 2 : EPURATEUR CC800r – vu de l'installation (source CAMFIL)

Deux épurateurs CC800e ont été installés de septembre 2020 à septembre 2021 dans une salle de classe, selon la configuration présentée Figure 3 (flèches jaunes).

4.1.2. DISPOSITIF D'EVALUATION MIS EN PLACE PAR CAMFIL

Des micro-capteurs RUBIX ont été installés pour suivre l'évolution des polluants en air intérieur et en extérieur au niveau de la cour de l'école (voir emplacements Figure 3, flèches bleues). Les paramètres mesurés sont les particules fines (PM₁₀, PM_{2,5} et PM₁), le benzène, le formaldéhyde, le dioxyde d'azote (NO₂), le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO₂) et les Composés Organiques Volatiles Totaux (COVT).



Figure 3 : positionnement des micro-capteurs (flèches bleues) et des deux épurateurs CC800 (flèches jaune)

4.1.3. RESULTATS ET CONCLUSIONS PRESENTES PAR CAMFIL

Comme le stipule le protocole expérimental défini par Airparif, les micro-capteurs ont été comparés entre eux dans la salle de classe, bien que pas en colocalisation. Deux inter comparaisons ont été réalisées, l'une en début d'expérimentation et une seconde en fin. L'objectif était de s'assurer que la mesure des capteurs était fiable tout au long de l'expérimentation

Initiale : du 8 janvier 2021 18h30 au 11 janvier 7h00

Finale : du 25 juin 2021 18h30 au 28 juin 2021 6h30

Afin d'évaluer l'efficacité de l'épurateur celui-ci a été alternativement éteint puis allumé une semaine sur deux pendant une année. L'abattement journalier a été calculé en comparant le profil moyen journalier mesuré en air intérieur avec celui mesuré dans la cour de l'école.

Une amélioration notable de la qualité de l'air, avec utilisation des purificateurs, est identifiée sur les particules PM₁₀, PM_{2.5} et COVT avec une amélioration de la qualité de l'air dans la classe dont l'intensité est précisée dans les rendus de CAMFIL. CAMFIL précise un impact négligeable des purificateurs sur les niveaux de formaldéhyde. Compte tenu des niveaux faibles de NO₂ en air intérieur observés, il est impossible de vérifier l'efficacité des purificateurs sur ce polluant en particulier.

4.1.4. AVIS D'AIRLAB RELATIF A LA QUALITE DE L'EVALUATION DE L'IMPACT DE L'EXPERIMENTATION CAMFIL

AIRLAB tient à souligner que le positionnement des épurateurs a été judicieusement choisi.

L'évaluation de l'impact sur la qualité de l'air de l'expérimentation a été menée avec un dispositif de mesure de la qualité de l'air partiellement conforme aux préconisations du protocole défini par CAMFIL en collaboration avec AIRLAB.

Les systèmes-capteurs étaient en quantité suffisante. Le positionnement des systèmes-capteurs en air intérieur est correct pour 2 des 3 systèmes-capteurs (2 capteurs ayant été positionnés côte à côte rendant l'un des deux inutile pour estimer la variabilité des niveaux dans la salle de classe et l'ampleur de l'impact du procédé de dépollution).

Le système de dépollution a été régulièrement allumé puis éteint une semaine sur 2, conformément au protocole. Des mesures ont été réalisées dans la salle de vie pendant toute la durée de l'expérimentation ainsi qu'en extérieur.

Cependant l'analyse des résultats menée pour évaluer l'efficacité de l'épuration est basée sur la comparaison des niveaux journaliers moyens en air intérieur versus ceux en air extérieur quand les épurateurs sont éteints ou allumés. Cette analyse permet d'évaluer les différences de niveaux de polluants entre l'extérieur et l'intérieur des locaux mais ne permet pas d'en déduire l'efficacité du dispositif d'épuration, compte-tenu des sources intérieures de pollution, d'une part, et des transformations de certains polluants en air intérieur (cas du dioxyde d'azote notamment). Il est pour cela nécessaire de mener les traitements de données en comparant pour les niveaux en air intérieur lorsque le dispositif est allumé ou lorsqu'il est éteint. Tous les résultats de mesure existaient mais ils n'ont pu être retrouvés par le lauréat pour finaliser les traitements et estimer l'efficacité des épurateurs.

Cet avis se base sur le rapport Expérimentation Ecole Paris 5ème - Point d'étape du 10/09/2021 (AAP-IDF-Point Etape2-10sept2021_V3.pdf).

AIRLAB souligne la qualité des travaux de mise en œuvre et la conduite de l'expérimentation globalement en accord avec le protocole d'évaluation accompagné et validé par AIRLAB.

AIRLAB valide le fait que CAMFIL puisse statuer sur l'efficacité d'épuration du CC800 pour les polluants NO₂ et formaldéhyde au vu de l'évaluation menée. A savoir que l'impact des purificateurs sur les niveaux de formaldéhyde est négligeable et l'évaluation pour le NO₂ n'est pas possible.

En revanche, les travaux menés ne permettent à CAMFIL de conclure sur l'efficacité d'épuration du CC800 pour les polluants particuliers et l'ozone.

Concernant l'ozone qui est un polluant d'air extérieur (pas de source en air intérieur sauf cas particuliers du type photocopieuse), l'ozone se dégrade très rapidement dès qu'il entre en contact avec une surface. L'abattement annoncé par CAMFIL ne peut donc pas être attribué à 100% aux épurateurs CC800.

Pour les particules, le traitement des données pour calculer l'efficacité d'épuration n'est pas assez poussé pour être conclusif (comparaison de niveaux beaucoup trop moyennés).

Des éléments complémentaires tels que le coût de maintenance, l'impact environnemental, le bruit généré par le dispositif etc..., sont également nécessaires pour évaluer le dispositif dans sa globalité.

4.2. EXPERIMENTATION ENGIE solution – Cour - Ecole maternelle Exelmans – Vélizy- Villacoublay

L'expérimentation ENGIE solutions a été réalisée dans l'école maternelle Exelmans à Vélizy-Villacoublay. Il s'agit d'une maternelle est située au 13 Rue du Général Exelmans, 78140 Vélizy-Villacoublay, proche de l'A86.



Figure 4 : emplacement de l'école Exelmans (source Google)

4.2.1. DISPOSITIF D'EPURATION TESTE – Filter Cube

Le système mis en place est le Filter Cube, qui filtre les particules de l'air extérieur avant insufflation dans la salle expérimentée.

La technologie est basée sur la filtration et l'adsorption, alimentée en courant triphasé. Son procédé de remédiation est un couplage de charbon actif et de filtration équivalent F7 selon anciennement EN 779.



Figure 5 : Filter Cube

L'air vicié entre dans le dispositif au moyen d'un ventilateur de type volute sur une face du Filter Cube, puis passe au travers d'un média filtration couplé avec du charbon actif. L'air ainsi filtré ressort du côté opposé.

Ce procédé est annoncé comme pouvant traiter une grande variété de polluants simultanément : Particules fines (PM), Oxydes d'azote (NOx), Composés Organiques Volatils (COV), pollens, Ozone (O₃) ...

Le débit d'air traité maximal annoncé est de 4800 m³/h pour le modèle Filter Cube I et de 14500 m³/h pour le modèle Filter Cube III. Le niveau sonore annoncé est < 66dB à 1m (Filter Cube I) à débit maximal.

Trois Filter Cube ont été répartis le long du préau aspirant sous le préau de l'école pour souffler vers la cour.

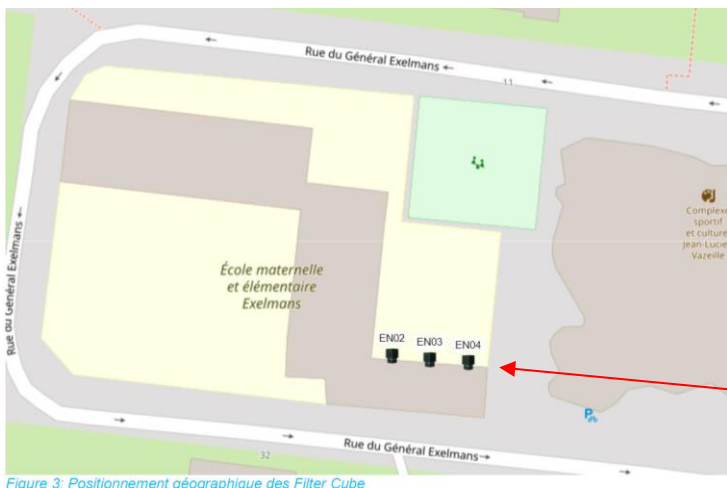


Figure 3: Positionnement aéroacoustique des Filter Cube



Figure 6 : Schéma d'installation des 3 Filter Cube

4.2.2. DISPOSITIF D'ÉVALUATION MIS EN PLACE PAR ENGIE solutions

En complément des trois Filter Cube, dans l'objectif d'évaluer le rayon d'efficacité d'un Filter Cube et de l'effet cumulatif des Filter Cube, des micro-capteurs ont été positionnés à différents endroits de la cour et ont mesuré pendant toute la durée de l'expérimentation les paramètres suivants :

- Polluants mesurés : Particules fines (PM₁, PM_{2.5} et PM₁₀), Dioxyde d'azote (NO₂) et Ozone (O₃).
- Paramètres météorologiques : Température, Humidité Relative, Vitesse et Direction du vent

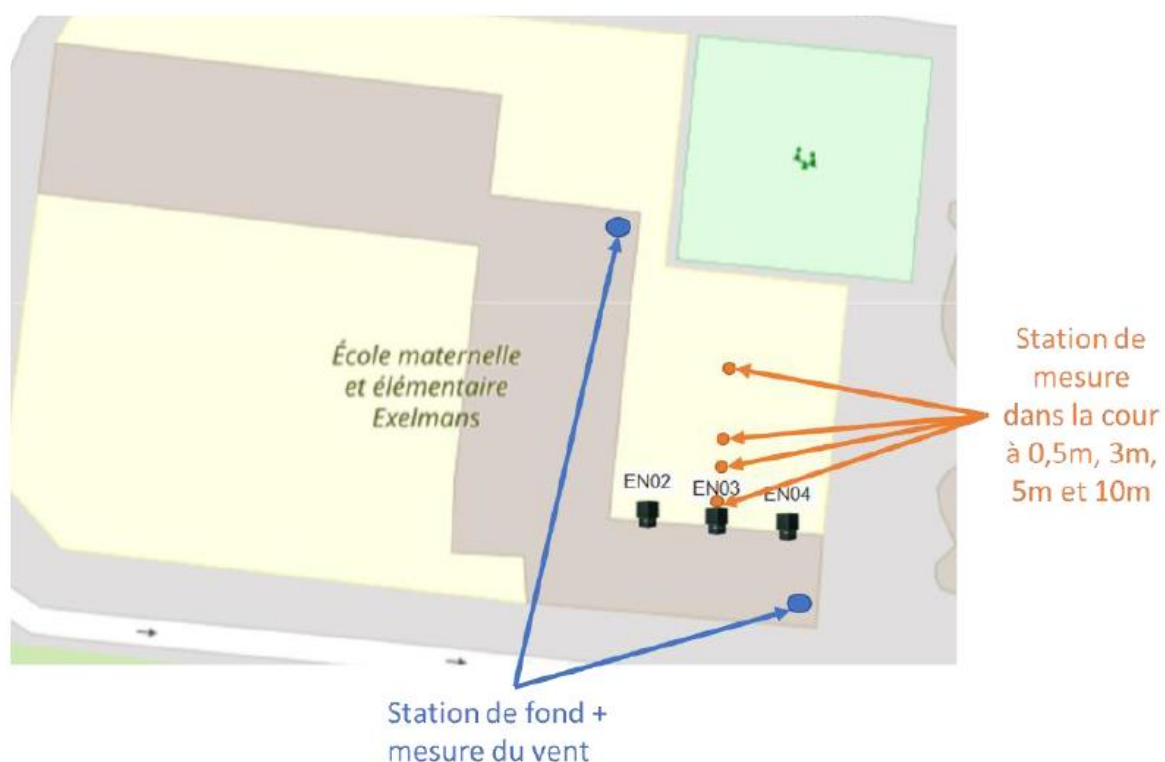


Figure 7 : Photo du haut, positionnement géographique des micro-capteurs ; photo du bas, stations de mesure dans la cour à 0,5 m, 3 m, 5 m et 10 m

L'estimation de la réduction des polluants mesurés a été réalisée à partir de la comparaison des niveaux de pollution mesurés avec les micro-capteurs à des périodes où les 3 Filter Cube étaient allumés versus éteints (2 capteurs de pollution de fond avec sonde de vent et 4 capteurs de pollution placés à 50 cm, 3 m, 5 m et 10 m). Des cycles de minimum 7 jours de fonctionnement et d'arrêts alternés ont été réalisés afin de comparer les périodes avec et sans épurateurs.

De plus, la qualification de la consommation énergétique a été évaluée par des mesures d'intensité réalisées à l'aide d'une pince ampérométrique sur site en 4 points de fonctionnement d'un Filter Cube. Le coût électrique de la mise en place de 3 épurateurs est de l'ordre de 250 €/an en 2022.

4.2.3. RESULTATS ET CONCLUSIONS PRESENTES PAR ENGIE solutions

Dans le protocole expérimental défini par Airparif, il est convenu de réaliser à plusieurs reprises, une inter-comparaison des capteurs. L'objectif est de s'assurer que la mesure des capteurs est fiable, juste et précise tout au long de l'expérimentation. Les stations de mesures (micro-capteurs) ont été positionnées sur site en janvier 2022, puis une période de calage des stations a été mise en œuvre du 23 février au 14 mars. Les stations ont été positionnées sur un même lieu sur le site de Vélizy pour pouvoir évaluer les écarts entre les stations.

Une inter-comparaison de fin de campagne s'est déroulée du mercredi 6 octobre 2022 au lundi 10 octobre 2022 (les micro-capteurs ont été positionnés en toiture d'un immeuble en un même lieu).



Figure 8 : Photo de l'essai d'inter-comparaison

L'expérimentation a débuté le 20 mai 2022 pour se terminer le 29 août 2022 en alternant périodes de fonctionnement de 3 épurateurs et périodes d'arrêts.

Malgré de nombreux dysfonctionnements de micro-capteurs, des premiers résultats d'une expérimentation menés sur plus de **12 semaines du 20 mai 2022 au 29 août 2022** ont pu être traités.

L'apport des épurateurs permet donc d'abaisser les concentrations à 50 cm de la sortie d'air de l'épurateur pour les concentrations de PM₁, PM₁₀, PM_{2,5} et NO₂ de 15 à 18 %. A 5 m les taux d'épuration sont proches de 0.

Les taux d'épuration restent faibles, cependant le volume à traiter n'est pas fermé, les effets de diffusion sont aussi présents impliquant une diffusion des polluants gazeux vers la zone traitée. De plus, les épurateurs ne peuvent être utilisés qu'à 50% de leur puissance, à cause des contraintes acoustiques liées aux réglementations environnementales françaises.

Dans le projet initial, il était envisagé de déterminer l'influence du nombre de FILTER CUBE, installés en réseau, sur la qualité de l'air ambiant. Cette évaluation aurait permis de rendre le réseau modulaire, en fonction des besoins et d'optimiser l'efficacité énergétique des dispositifs.

L'expérimentation devait donc se poursuivre avec 1 et 2 épurateurs en fonction. Cependant **au vu des résultats non probants pour 3 épurateurs, ENGIE a décidé de stopper cette expérimentation à ce stade avec ce type de technologie.**

Des technologies plus englobantes, des épurateurs en forme d'arbre par exemple, permettant de rendre une zone semi-fermée, permettraient peut-être d'obtenir des efficacités avec des rayons d'action plus importants. Une investigation pourrait être menée en ce sens.

L'apport de la modélisation des flux d'air dans les zones pourrait être un atout aux décisions de mise en place d'épurateurs.

4.2.4. AVIS D'AIRLAB RELATIF A LA QUALITE DE L'EVALUATION DE L'IMPACT DE L'EXPERIMENTATION ENGIE solutions

L'évaluation de l'impact sur la qualité de l'air de l'expérimentation a été menée avec un dispositif de mesure de la qualité de l'air conforme aux préconisations du protocole de référence d'évaluation d'un procédé de dépollution de l'air extérieur d'AIRLAB.

Les capteurs étaient en quantité suffisante, ils ont été qualifiés et correctement positionnés et répartis (2 capteurs de pollution équipés de capteurs de direction et de vitesse de vent positionnés comme indicateurs de référence du niveau de pollution fond, 4 capteurs de mesure pollution pour évaluer la distance d'influence de l'épurateur d'air).

Le système de dépollution a été régulièrement allumé et éteint et des mesures ont été réalisées dans la cour pendant toute la durée de l'expérimentation avec une comparaison avec les niveaux de référence en air ambiant (Polluants mesurés : PM₁, PM₁₀, PM_{2,5} et NO₂)

L'analyse des résultats est poussée, avec des échanges réguliers avec les experts d'Airparif lors de la phase d'exploitation des données, ce qui a permis de bien comprendre les choix et éventuelles hypothèses retenues. Elle a été formalisée dans un rapport assez complet. Les facteurs d'influence (direction, vitesse de vent et évolution du niveau de la pollution de fond) impactant les concentrations observées au niveau de la cour de l'école ont été pris en compte pour déterminer un niveau de pollution à différents emplacements dans la cour, le toit lorsque les Filtre Cube étaient en mode allumé ou éteint.

Le traitement des données réalisé par ENGIE solutions portent sur 12 semaines ce qui est un peu juste mais toutefois suffisant au regard de la qualité métrique des capteurs.

Aussi, l'estimation de l'efficacité des systèmes de dépollution mis en place peut être évaluée, même si les incertitudes restent importantes. Certaines variabilités des niveaux en fonction de la vitesse du vent mériteraient d'être explorées.

Cet avis se base sur le rapport « Conseil Régional Ile de France – Appel à Projet « Innovons pour la qualité de l'air dans les bâtiments publics » - VELIZY-VILLACOUBLAY – Ecole maternelle Exelmans – Rapport d'expérimentation Essais en extérieur » reçu le 24 janvier 2023. Il a fait l'objet de commentaires complémentaires au lauréat.

AIRLAB souligne la qualité des travaux de mise en œuvre et la conduite de l'expérimentation en accord avec le protocole d'évaluation accompagné et validé par AIRLAB. Un traitement plus fin des périodes où le vent est presque nul et les jours où les niveaux de pollution sont les plus élevés pourrait sans doute permettre d'affiner la conclusion d'ENGIE solutions.

AIRLAB valide que l'expérimentation a permis à ENGIE de conclure, qu'à 5 mètres, quasiment aucune baisse des concentrations de PM_{10} , $PM_{2,5}$ et NO_2 n'est constatée et qu'à 50 cm de la sortie d'air de l'épurateur, ces concentrations sont abaissées de seulement 15 à 18 %.

4.3. EXPERIMENTATION SUEZ – cour école - COURBEVOIE

SUEZ a procédé à l'expérimentation et l'évaluation de l'efficacité d'un dispositif Combin'Air de 2^{ème} génération dans la cour de l'école Alphonse DAUDET à Courbevoie (92). Cette cour se trouve à proximité immédiate d'un axe routier fréquenté (Figure 9) présentant des niveaux en NO₂, PM₁₀ et PM_{2.5} pouvant être soutenus à différents moments de la journée.



Figure 9 : Implantation du dispositif Combin'Air représenté par le point jaune – cour de l'école Alphonse Daudet à Courbevoie (92) – source Google Earth

4.3.1. DISPOSITIF D'EPURATION TESTE (Combin'Air)

Le **dispositif appelé Combin'Air par SUEZ** repose sur la combinaison de technologies complémentaires de traitement de l'air ayant pour objectif de capter les particules PM_{2.5}, PM₁₀ et le dioxyde d'azote (NO₂). Les particules PM_{2.5} et PM₁₀ sont captées par un système de **filtration électrostatique à ionisation positive**. Puis le dioxyde d'azote (NO₂) est fixé sur des **fibres de charbon actif**. Le charbon actif est lavé périodiquement à l'eau, l'eau de lavage est recueillie et traitée par une **colonne d'algues** (ALGAL) qui assure également l'absorption de CO₂.

Principe de fonctionnement du système de filtration électrostatique par ionisation positive

Des électrodes soumises à une forte tension génèrent une ionisation de l'air, qui libère alors des ions positifs (l'ionisation positive ne génère pas d'ozone à l'inverse de l'ionisation négative). Ces derniers chargent aussitôt les particules métalliques de l'air de la station aspirées par le système. Les particules sont alors attirées par une plaque collectrice et capturées sous forme d'agrégats grossiers, ce qui élimine le risque de réentraînement en sortie de purificateur (plaques à nettoyer périodiquement). Chaque module a une capacité théorique de traitement de l'air d'environ 7 500 m³/h.

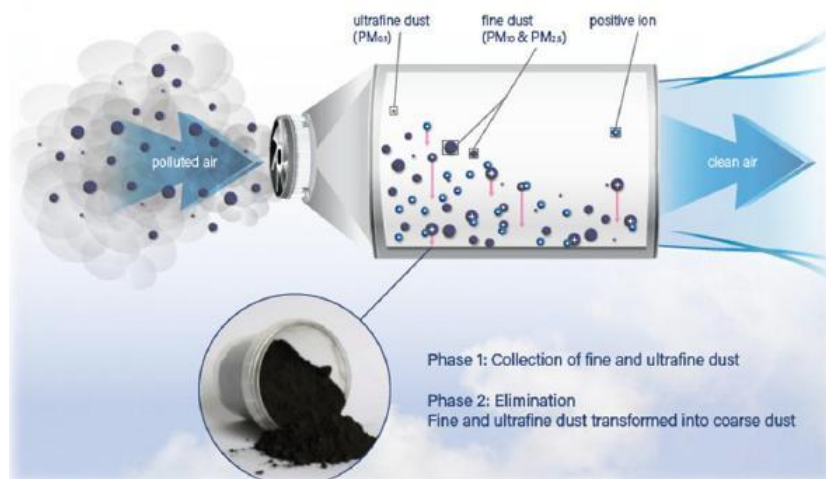


Figure 10 : Schéma de principe de fonctionnement du système de dépollution de SUEZ

Principe de captation du NO₂ et de l'O₃ par la fibre de charbon actif.

Le charbon actif est un matériau carboné à structure poreuse présentant une surface spécifique élevée qui lui confère un fort pouvoir adsorbant. Les molécules de NO₂ et d'O₃ qui traversent le filtre de fibres de charbon actif se fixent dans les pores du charbon actif par un phénomène d'adsorption.

Principe de revalorisation du NO₂ à l'aide de la colonne ALGAL.

Les algues utilisées dans la colonne ALGAL sont spécifiquement sélectionnées pour leur capacité à capter l'azote issu de la pollution atmosphérique et à produire une biomasse fertilisante. Les eaux de lavage, venant de la régénération du charbon actif, riche en polluants solubilisés sont injectées dans la colonne d'algues. Sous l'effet conjoint de la lumière et de l'air insufflé dans la colonne, les algues métabolisent les oxydes d'azote en biomasse, et réalisent la photosynthèse. Pour ce faire, elles utilisent du CO₂ atmosphérique et des photons issus de l'éclairage artificiel de la cuve de culture. La biomasse (algues) est ensuite évacuée vers le parterre de fleur de la cour de l'école.

4.3.2. DISPOSITIF D'EVALUATION MIS EN PLACE SUEZ

Un **dispositif Combin'Air** de 1^{ère} génération a été **évalué sur le banc de test de l'INERIS** (du 21 juillet 2020 au 31 juillet 2020). L'enseignement tiré de ce premier test sur banc réalisé par l'INERIS a permis à SUEZ de concevoir le dispositif Combin'Air de 2nde génération qui a ensuite lui aussi été évalué sur le banc de test de l'INERIS (du 30 mars 2021 au 9 avril 2021).

Le dispositif Combin'Air de 2nde génération a ensuite été installé dans la cour de l'école Alphonse DAUDET à Courbevoie (92) le 20 avril 2020 (Figure 11).



Figure 11 : Dispositif Combin'Air installé dans la cour de l'école Alphonse Daudet de Courbevoie (92)

Du 6 octobre 2021 au 20 octobre 2021 des mesures de NO₂ et PM₁₀ ont été réalisées **pour évaluer l'abattement en entrée et en sortie des deux dispositifs Combin'Air.**

Les mesures de particules PM₁₀ ont été réalisées à l'aide d'un préleveur de particules Ecotech Microvol, équipé d'une tête de prélèvement pour les particules PM₁₀.

La mesure de NO₂ a été réalisée par prélèvements à l'aide de capteurs passifs délivrant une moyenne sur la période de mesure. Les analyses ont été réalisées par le laboratoire suisse Passam Ag accrédité ISO 17025 (STS 149) pour la mesure de la qualité de l'air ambiant par la méthode des tubes à diffusion passive utilisant des techniques de spectrophotométrie et de chromatographie en phase gazeuse.

Deux points de mesure NO₂/PM₁₀ ont été implantés pour caractériser la qualité de l'air en amont et en aval des dispositif Combin'Air (référencés C1-C2 sur la Figure 12), complétés par des mesures de NO₂ pour caractériser la qualité de l'air dans l'environnement proche de la solution (référencés C3 à C6 sur la Figure 12).



Figure 12 : Positionnement des points de mesure (site Courbevoie) – le rectangle jaune matérialise le dispositif Combin'Air

En complément, une surveillance des particules PM₁₀, PM_{2.5} et NO₂ a été mise en place à l'aide de micro-capteurs de type Cairsens intégrés dans 5 stations de mesure Cairnet d'Envea.

Les 5 stations Cairsens ont été comparées métrologiquement entre elles puis ont été positionnées sur le site de Courbevoie (92) à environ 1.5 m du sol et spatialement réparties comme décrit Figure 13.

4.3.4. AVIS D'AIRLAB RELATIF A LA QUALITE DE L'EVALUATION DE L'IMPACT DE L'EXPERIMENTATION SUEZ

Les premiers essais d'étude de l'abattement du dispositif Combin'Air ont été réalisés sur le banc de test de l'INERIS de son site de Verneuil-en-Halatte (du 30 mars 2021 au 9 avril 2022). Le banc de test a été couplé à une chaudière de biomasse de 50 kW permettant de générer différentes concentrations de particules de taille granulométrique centrée sur 0.1µm et inférieure à 1µm. Un système de dopage notamment en NO₂ a également été couplé au dispositif Combin'Air de 2nde génération. L'exploitation des résultats des mesures par l'INERIS n'a pas permis de démontrer une efficacité de captation du NO₂.

Concernant les particules, une efficacité significative est mesurée entre l'entrée et la sortie. La nature des particules de l'essai réalisé par l'INERIS est cependant différente de celles rencontrées sur les lieux d'expérimentations du dispositif Combin'Air, l'abattement du dispositif Combin'Air dans un environnement urbain est potentiellement assez différent. En effet, même si des particules issues de la combustion de la biomasse sont observées dans les particules franciliennes en période hivernale, une part importante de particules en milieu urbain sont issues d'autres sources en particulier le trafic routier.

AIRLAB souligne l'effort réalisé sur le choix du site d'expérimentation du Combin'Air 2nd génération. En effet, la cour l'école Alphonse DAUDET à Courbevoie (92) qui a été retenue se trouve à proximité immédiate d'un axe routier fréquenté présentant des niveaux en NO₂, PM₁₀ et PM_{2.5} soutenus à différents moments de la journée.

Si l'expérimentation a été menée avec une alternance d'arrêt et de marche toutes les heures, comme prévu, **le protocole de mesure partagé en amont avec les experts d'Airparif n'a été que partiellement appliqué ce qui empêche la capacité de cette évaluation à être conclusive. Notamment, l'expérimentation a été menée sur une période trop courte (< 1 mois) au regard de la qualité métrologique des micro-capteurs utilisés** (la période de mesures en continue exploitée à partir des micro-capteurs Envea s'étend du 13 septembre 2021 au 5 octobre 2021).

De plus, l'expérimentation a rencontré des problèmes techniques qui ont engendré d'importantes pertes de données ne permettant pas l'exploitation des mesures issues de la station météorologique locale et rendant inexploitable les données de deux micro-capteurs sur les cinq que compte l'expérimentation. Sur les trois capteurs restant le taux de disponibilité des données varie du simple au quintuple entre les capteurs.

Une vérification de la comparabilité des résultats des appareils de mesures a bien été réalisée, toutefois les niveaux de pollution moyens observés en NO₂ et en PM₁₀ lors de cette vérification sont faibles, autour de 5 µg/m³ de NO₂ et de PM₁₀ et ne permettent pas de qualifier les micro-capteurs aux niveaux auxquels ils sont soumis sur le site de Courbevoie. De plus, il manque une seconde qualification des micro-capteurs en fin d'expérimentation. Cette seconde qualification est essentielle pour mettre en évidence une éventuelle dérive de mesures des micro-capteurs pouvant impacter les observations et par conséquent modifier l'interprétation des résultats.

Enfin, les informations transmises par SUEZ ne comportent pas suffisamment d'éléments détaillant la méthode de traitement des données mesurées par les micro-capteurs pour évaluer l'abattement en NO₂ et en PM₁₀.

Ainsi les éléments à disposition ne permettent pas à Airparif de partager la conclusion sur l'efficacité du dispositif de dépollution Combin'Air ainsi que sa distance d'impact. En effet le manque de maîtrise de la qualité des données issues des micro-capteurs et le faible jeu de données ne permet pas de conclure.

Cet avis se base sur le rapport d'expérimentation IABP – SUEZ DOSSIER N° EX046931 & EX046923 - INNOVONS POUR L'AIR DANS LES BÂTIMENTS PUBLICS - EXPERIMENTATION SUEZ EAU FRANCE - COUR ECOLE VICTOR HUGO – POISSY et COUR ECOLE ALPHONSE DAUDET – COURBEVOIE daté de juin 2023.

AIRLAB souligne le non-respect de certains éléments importants du protocole d'évaluation accompagné et validé par AIRLAB, notamment sur la durée de l'expérimentation, d'autant plus nécessaire que l'expérimentation était en air extérieur.

Ainsi AIRLAB souligne que l'expérimentation ne permet pas à Suez de conclure sur l'efficacité du système. En effet, pour estimer le rayon d'action du dispositif Combin'Air 2nde génération, il est d'une part nécessaire de réaliser une campagne de mesure de plusieurs mois afin de disposer d'un échantillonnage suffisant en intégrant des mesures de direction et vitesse du vent. D'autre part, il est nécessaire que l'expérimentation complémentaire permette d'identifier les niveaux mesurés dans la cour de l'école et l'impact de la distance à l'axe routier, lorsque le système de dépollution est éteint. En effet, les niveaux de pollution décroissent avec l'éloignement à la source de pollution, même sans aucun système de traitement.

4.4. EXPERIMENTATION TEKO – Mairie

Ce paragraphe présente les détails de l'expérimentation réalisée, les résultats et conclusions apportés par le lauréat, les points forts et de vigilance identifiés par AIRLAB ainsi que son avis sur la qualité de l'évaluation de l'impact de l'expérimentation.

L'expérimentation a été réalisée dans des locaux de la mairie de Garges-lès-Gonesse et dans le parking.



Figure 14 : Implantation des systèmes de dépollution dans le bâtiment de la mairie de Garges-lès-Gonesse (à gauche) et dans le parking souterrain (à droite)

4.4.1. DISPOSITIF D'EPURATION TESTE

Des électrofiltres TEKO AIR SYSTEM APACHE ont été mis en place pour cette expérimentation qui a pour objectif de traiter **les particules fines**.

4.4.2. DISPOSITIF D'EVALUATION MIS EN PLACE PAR TEKO

Le suivi de l'efficacité des électrofiltres sur les niveaux de particules est assuré par 6 capteurs de particules (PM_{2.5} & PM₁₀) de marque GEMHO (modèle : GHHB-008-485-PVCO-0-DC) installés dans le bâtiment et le garage sous-terrain de la mairie.



Figure 15 : capteur GEMHO utilisé dans l'expérimentation

Des mesures complémentaires de comptage de particules ont été menées par deux capteurs Y09-301LCD de chez SUGOLD (PM₁ & PM_{0.3}) avec un relevé toutes les minutes.



Figure 16 : capteur Y09-301LCD (SUGOLD)

Airparif a assuré la vérification de la qualité des données fournies par ces capteurs Y09-301LCD de chez SUGOLD dans le cadre d'une prestation financée par TEKO. Il a été réalisé durant une semaine In Situ dans le parking d'AIRPARIF dans un environnement similaire à celui de l'expérimentation. Les solutions sont comparées à des appareils de mesure de référence pour les particules, un analyseur de particules modèle FIDAS 200^F de marque PALAS (dont les résultats sont équivalents à la norme de référence dans l'air ambiant : NF EN 16450 : 2017 sur les concentrations massiques PM₁₀ et PM_{2.5}). Globalement les capteurs sont cohérents avec l'état de l'art de ce type de technologie et ils sont reproductibles entre eux.

La justesse est la grande difficulté de ce type de matériel. Les corrélations sont satisfaisantes voir très satisfaisantes dans certains cas mais **globalement les capteurs demandent des corrections pour être comparés directement à des mesures de référence**. Les résultats sont différents selon la classe de comptage avec des résultats conformes à la mesure de référence pour les tailles comprises entre 0,5 µm et 3 µm mais non conformes que ce soit :

- pour les plus fines, de taille entre 0,3 µm et 0,5 µm, où seules 4 % des concentrations mesurées lors du recettage d'Airparif présentent des écarts conformes avec la mesure de référence.
- ou les plus grosses, potentiellement liée à une surestimation du comptage pour les plus grosses particules).

4.4.3. RESULTATS ET CONCLUSIONS PRESENTES PAR TEKO

TEKO précise dans son rapport que les résultats obtenus grâce à l'installation des électrofiltres dans le parking de la mairie de Garges-lès-Gonesse, sont extrêmement encourageants avec une réduction des niveaux de particules lorsque les électrofiltres fonctionnent. Il affiche également une Une amélioration de la qualité de l'air dans le bâtiment de la Mairie.

TEKO envisage d'améliorer son installation que ce soit directement les électrofiltres avec des évolutions techniques permettant d'envisager un abattement très important sur les particules de granulométries inférieures à 0,1 µm, en mettant en place des solutions logicielles pour optimiser le dispositif.

4.4.4. AVIS D'AIRLAB RELATIF A LA QUALITE DE L'EVALUATION DE L'IMPACT DE L'EXPERIMENTATION TEKO

Si TEKO a effectivement réalisé des mesures avec le dispositif de traitement de l'air en fonctionnement puis à l'arrêt, le respect du protocole établi avec TEKO et validé par Airparif n'a pas été suffisamment suivi.

En premier lieu, aucune mesure d'ozone n'a été réalisée, compte tenu de l'arrêt de l'expérimentation suite aux émeutes de juin et juillet 2023. Elles visaient à vérifier l'efficacité du dispositif électronique interne, qui contrôle le taux d'ozone en agissant directement sur la haute tension alimentant les électrodes du système d'épuration.

Dans le rapport, l'efficacité du traitement est affichée à partir de niveaux ponctuels et non de moyenne sur toute la période de mesure bien qu'il y ait eu deux ans de données de mesures en continu avec les électrofiltres en fonctionnement. Il est ainsi difficile pour Airparif d'évaluer si les éléments présentés dans le rapport sont bien représentatifs de toute la période.

De plus, même s'il y a bien eu un suivi de l'évolution des niveaux de particules dans le parking de la mairie après l'arrêt de l'électrofiltre, aucune analyse ne permet de mettre en relation les niveaux mesurés avec le flux de véhicules en circulation dans le parking ni avec le fonctionnement des électrofiltres.

Enfin, comme précisé dans le rapport de recettage des capteurs, il convient d'être très prudent sur les conclusions sur les particules les plus fines mesurées en nombre.

Les résultats des mesures dans le bâtiment de la mairie sont anormalement faibles ce qui laisse penser à des difficultés de fonctionnement des capteurs, ne permettant aucune conclusion de l'efficacité du système dans cet environnement. De même, les résultats du capteur « parking voiture » présente certains jours des niveaux anormalement bas, ce n'est cependant pas systématiquement le cas.

Cet avis se base sur la note d'intention et le rapport d'exploitation du 27/11/23. Lors d'échanges complémentaires, TEKO a pu fournir des informations sur la consommation énergétique mensuelle de ses systèmes. L'expérimentation a permis de montrer l'importance d'ajuster le débit d'air traité pour limiter les nuisances sonores ; aucune mesure de bruit n'a cependant été réalisée.

AIRLAB souligne le respect partiel du protocole de mesure proposé par Airparif avant le début de l'expérimentation. L'analyse des données acquises mériterait d'être complétée. Les interprétations ayant été faites sur la base de résultats ponctuels sur des journées spécifiques, elles ne permettent pas à AIRLAB d'évaluer la représentativité des journées retenues.

AIRLAB précise que les résultats des mesures dans le bâtiment de la mairie ne sont pas exploitables et qu'aucune efficacité du dispositif ne peut en être déduite.

AIRLAB confirme que l'expérimentation permet à TEK0 de montrer le caractère encourageant des résultats de l'expérimentation dans le garage sous-terrain sans pouvoir quantifier une efficacité. Des traitements de données complémentaires seraient nécessaires pour identifier que les gains mesurés sont bien attribuables au dispositif expérimenté (même conditions de trafic dans le garage entre les mesures avec les électrofiltres en fonctionnement, puis à l'arrêt, sur des durées significatives). De plus, il conviendrait de s'assurer que les gains évalués sont reproductibles sur une longue période de fonctionnement des électrofiltres.

Des éléments complémentaires tels que le coût de maintenance, l'impact environnemental, le bruit généré par le dispositif etc..., sont également nécessaires évaluer le dispositif dans sa globalité.

4.5. EXPERIMENTATION VMI – Ivry-sur-Seine

L'expérimentation VMI a été réalisée dans la crèche départementale Jean Marie Poulmarch à Ivry-sur-Seine. Il s'agit d'une crèche de regroupement du département du Val-de-Marne. Elle est située au 20 Rue Jean Marie Poulmarch, 94200 Ivry-sur-Seine, proche du Boulevard Périphérique.

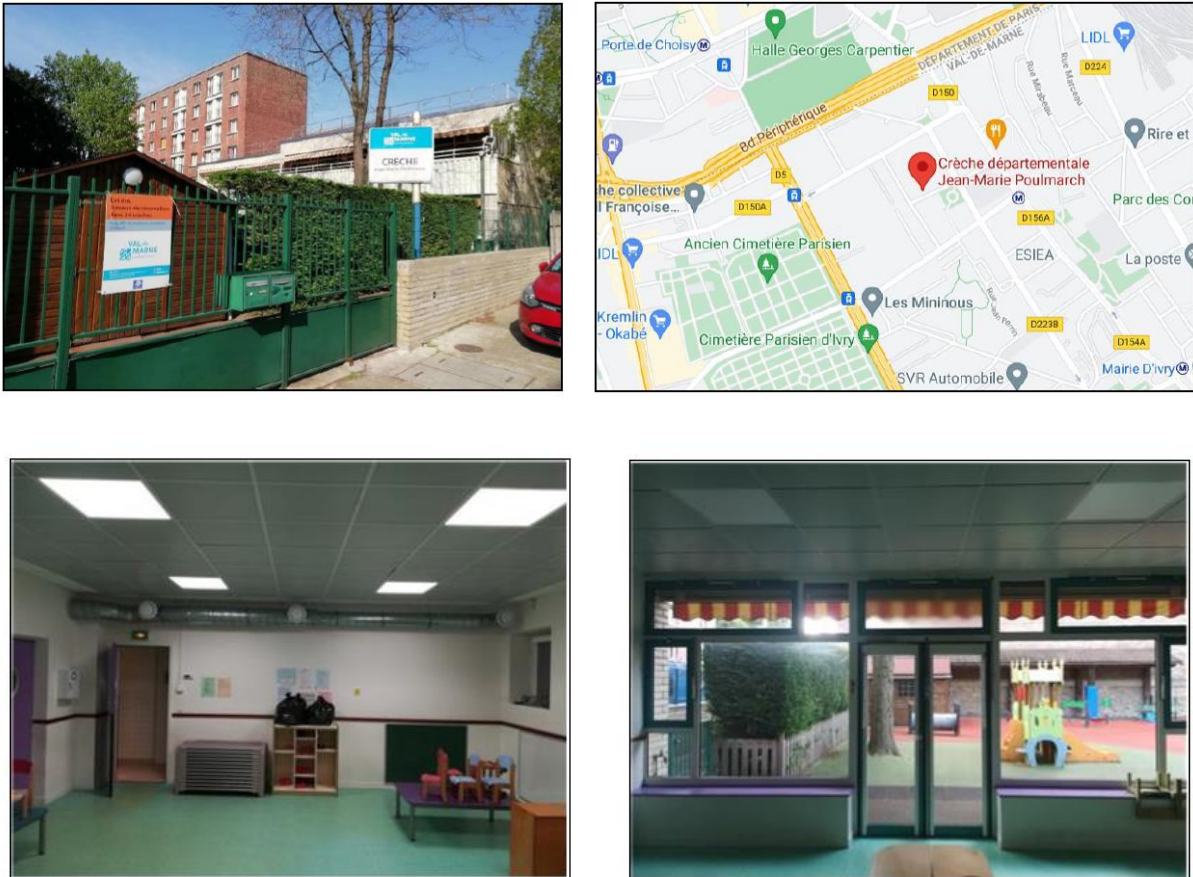


Figure 17 : En haut à gauche photo de l'extérieur de la crèche, en haut à droite emplacement de la crèche (source Google MAPS), en bas photos de l'intérieur de la salle de vie des grands 2 (SVG2) avec vue sur les bouches d'air (source VMI)

4.5.1. DISPOSITIF D'EPURATION TESTE

Le système mis en place est le VMI® PRO1000, qui filtre les particules de l'air extérieur avant insufflation dans la salle expérimentée. La technologie de filtration repose sur la filtration des particules à l'aide d'un filtre ePM1 55%. Le flux d'air est modulé en fonction du niveau de CO₂ mesuré dans la salle. L'air est préchauffé en hiver si nécessaire pour garantir le confort des usagers grâce aux résistances intégrées. L'air vicié est évacué par des sorties d'air passives, en créant une légère pression positive dans le local ventilé.

Le système a une capacité théorique de traitement de l'air de 200 à 800 m³/h, pour une température limite extérieure de -20 à +60°C (puissance de chauffage 1800 w).

La VMI® a été installée en Aout 2022. Cette installation comprend également deux silencieux, un en amont et un en aval de la machine.



Figure 18 : VMI® PRO 1000 et sens de l'air – vu de l'installation (source VMI)

La VMI® PRO1000 dans la SVG2 a été installée selon le plan ci-dessous et les débits sont uniformément répartis d'une salle à l'autre :

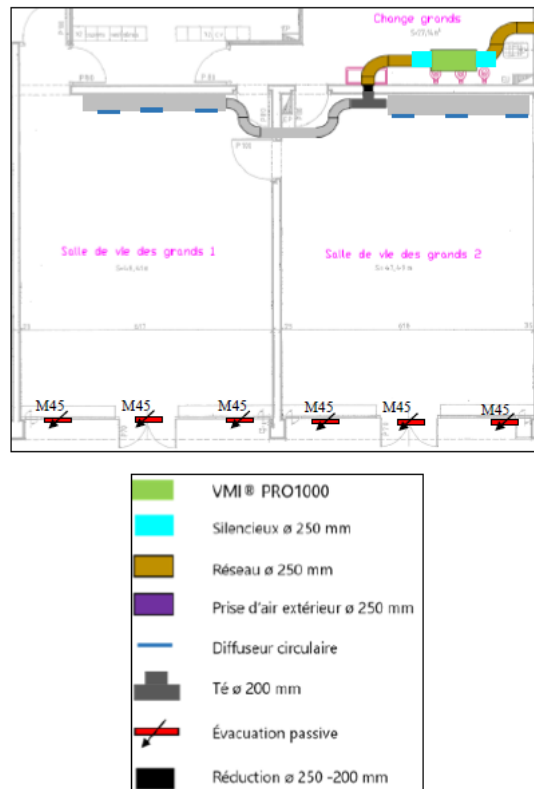


Figure 19 : Schéma d'installation VMI® PRO1000 et réseau de ventilation

4.5.2. DISPOSITIF D'ÉVALUATION MIS EN PLACE PAR VMI®

Le système VMI® PRO 1000 a été installé en août 2022, complété par des micro-capteurs en février 2022 pour suivre l'évolution des polluants en air intérieur et en extérieur à proximité de la prise d'air du système. Les paramètres mesurés sont les particules fines (PM_{10} , $PM_{2.5}$ et PM_{1}), l'Humidité Relative (HR), le CO_2 et les Composés Organiques Volatiles Totaux (COVT). En complément des détecteurs d'ouverture de portes et fenêtres ont été installés sur toutes les portes et fenêtres de la salle de vie des grands N°2 (SVG2).

Le plan ci-après détaille l'instrumentation déployée. Les valeurs numériques noté x/y sont les hauteurs en centimètres respectivement des capteurs E4000/P4000. Le capteur SVG2_2 a été volontairement déplacé plus proche du sol pour permettre une mesure au plus proche des enfants.

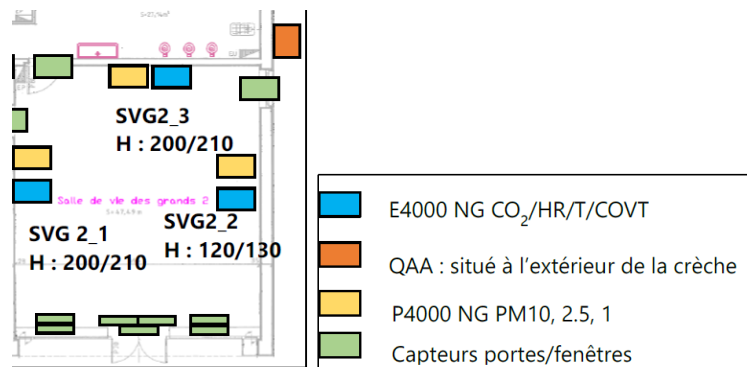


Figure 20 : positionnement des micro-capteurs et des détecteurs d'ouverture d'ouvrant

Les mesures automatiques par micro-capteurs ont été complétées par des prélèvements de benzène et de formaldéhyde (réalisés par une entreprise tierce OXYGENAIR). Le prélèvement est réalisé sur 5 jour, du lundi 12 septembre au vendredi 16, lorsque la VMI® PRO1000 est éteinte puis, la semaine suivante, du lundi 19 au vendredi 23 septembre, lorsque la VMI® est allumée.

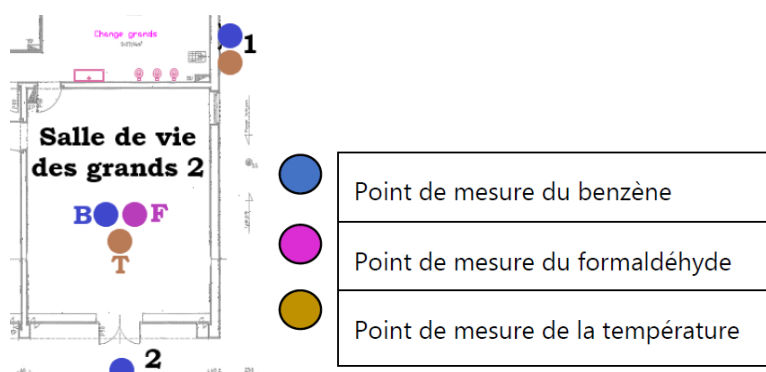


Figure 21 : Schéma d'instrumentation lors de la campagne de prélèvement

4.5.3. RESULTATS ET CONCLUSIONS PRESENTES PAR VMI®

Comme le stipule le protocole expérimental défini par Airparif, les micro-capteurs ont été comparés entre eux. L'objectif est de s'assurer que la mesure des capteurs est fiable, juste et précise tout au long de l'expérimentation. Cette inter comparaison s'est déroulée du mercredi 5 octobre 2022 au lundi 10 octobre 2022 et comprend donc une période d'activité avec présence des usagers et une période sans activité et sans présence (le week-end).



Figure 22 : Mise en place expérimentale de l'inter comparaison

L'occupation de la salle de vie par des enfants a été suivi avec un nombre d'enfant allant de 5 à 18. Durant l'étude, les occupants sont considérés présents tous les jours de la semaine (sauf samedi, dimanche et jours fériés) de 8h à 19h. Enfin, les occupants sont considérés présents lors de la pause déjeuner car les enfants déjeunent dans la salle de vie.

Afin d'évaluer l'efficacité de l'épurateur celui-ci a été alternativement éteint puis allumé du mois de septembre au mois de novembre 2022.

Il a été constaté que les portes et fenêtres sont très peu souvent fermées simultanément et il est donc difficile d'étudier les évolutions des grandeurs mesurées lorsque la salle est entièrement fermée. Les portes sont également trop peu souvent fermées, les occupants sortent régulièrement pour se rendre dans la salle de change. En présence des occupants, les fenêtres sont fermées au moins 22 % du temps, cela permet d'étudier leur impact sur l'évolution des grandeurs mesurées. Les résultats seront donc confrontés à l'ouverture des fenêtres.

Sont principalement traités le système d'épuration le CO₂, le formaldéhyde (niveau de concentration nettement réduits pour le formaldéhyde quand le système est allumé) et plus généralement les COVT. Le débit insufflé (350 m³/h) suffit à tempérer les élévations de concentration en CO₂ sans pour autant augmenter la température intérieure (**permet de maintenir une concentration en CO₂ inférieure ou égale à 800 ppmv**). Aucun impact négatif sur le benzène n'a été constaté.

La VMI® PRO1000 est particulièrement efficace dans la dilution de ces polluants lorsque les habitudes d'ouverture des fenêtres ne sont pas suffisantes pour assurer un bon renouvellement d'air conformément aux recommandations et/ou valeurs-guides.

La VMI® est plus efficace pour l'abaissement du niveau de particules lorsque les fenêtres demeurent fermées cela permet d'éviter l'apport d'air par non filtré. L'étude a également montré que la hauteur à laquelle est installée le micro-capteur impacte essentiellement la mesure de particules fines. Cela est notamment dû au phénomène de remise en suspension. **De manière générale, les occupants de la salle de vie sont peu exposés à de fortes concentrations en PM₁₀.** Lorsque la VMI® est allumée et que la concentration extérieure augmente fortement, comme c'est le cas en juillet, la concentration en PM₁₀ à l'intérieur n'augmente pas. Cela signifie que celle-ci ne favorise pas l'apport de polluant extérieur. Lorsque la VMI® est éteinte, la concentration en PM_{2.5} est 41% plus élevée que la concentration en PM_{2.5} lorsque la VMI® est allumée.

Un des autres avantages de l'insufflation d'air filtré réside dans le fait que la position de la prise d'air extérieur peut être choisie.

La régulation d'une ventilation pilotée sur la mesure en continu par micro-capteurs permet de renouveler l'air au juste besoin et donc de limiter les pertes énergétiques. La puissance consommée en été permet de bien rendre compte de la consommation moteur plutôt que de la consommation générée par le préchauffage des résistances (moyenne 140 W avec un max de consommation à 1748 W).

Pour aller plus loin, il est prévu de mettre en évidence l'impact de la filtration en alternant une semaine machine allumée et filtre en place avec une semaine machine allumée et filtre retiré.

4.5.4. AVIS D'AIRLAB RELATIF A LA QUALITE DE L'EVALUATION DE L'IMPACT DE L'EXPERIMENTATION VMI

L'évaluation de l'impact sur la qualité de l'air de l'expérimentation a été menée avec un dispositif de mesure de la qualité de l'air conforme aux préconisations du protocole de référence d'évaluation d'un procédé de dépollution de l'air intérieur d'AIRLAB.

Les capteurs étaient en quantité suffisante, ils ont été qualifiés et correctement positionnés et répartis (3 capteurs en air intérieur et 1 en air extérieur). La mise en place de détecteurs d'ouverture des ouvrants est un vrai plus pour l'analyse de l'expérimentation et permet de discriminer les périodes où la qualité de l'air intérieur est la résultante des polluants présent dans la salle dilués avec ceux provenant de l'air extérieur non filtré.

Le système de dépollution a été régulièrement allumé puis éteint et des mesures ont été réalisées dans la salle de vie pendant toute la durée de l'expérimentation avec une comparaison des niveaux de pollution en air extérieur.

L'analyse des résultats est poussée, avec des échanges réguliers avec les experts d'Airparif lors de la phase d'exploitation des données, ce qui a permis de bien comprendre les choix et éventuelles hypothèses retenues. Elle a été formalisée dans un rapport assez complet. Les facteurs d'influence (ouverture de portes et fenêtres, niveau de pollution en air extérieur) impactant les concentrations de la salle de vie ont été pris en compte pour déterminer un niveau de pollution de la salle « sans système de dépollution en fonctionnement », sur la base des mesures de la qualité de l'air en continu disponibles en air extérieur.

Cet avis se base sur le rapport reçu le 3 mars 2022, référence « AIR 4 KIDS CONNECT – Projet IABP AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR DANS LES CRÈCHES VMI® - Ventilairsec », il a fait l'objet de commentaires précisant les ajustements à y apporter fournis au lauréat.

AIRLAB souligne la qualité des travaux de mise en œuvre et la conduite de l'expérimentation en accord avec le protocole de référence AIRLAB.

AIRLAB valide le fait que l'expérimentation de VMI permet de conclure que le système de ventilation filtré VMI PRO permet d'augmenter le taux de renouvellement de l'air de la pièce expérimentée et de diminuer les concentrations des polluants (COVT et formaldéhydes) par dilution de l'air intérieur avec l'apport d'air extérieur, qui, même sans filtration, est moins chargé en COVT et formaldéhydes qu'en air extérieur, d'autant que le point d'aspiration de l'air extérieur est éloigné de toute source locale.

En revanche, AIRLAB souligne que le pourcentage d'abattement de la concentration des particules annoncé est basé sur des niveaux de concentrations faibles, ne permettant pas à l'expérimentation de VMI d'être conclusive sur la quantification des baisses de concentrations de PM_{10} et de $PM_{2.5}$, même si les niveaux sont certainement abaissés dans la salle par dilution de l'air intérieur avec de l'air filtré moins chargé en particules. L'expérimentation mériterait d'être reconduite dans un environnement plus pollué en particules pour permettre d'en tirer une efficacité.

Des éléments complémentaires tels que le coût de maintenance, l'impact environnemental, le bruit généré par le dispositif etc..., sont par ailleurs nécessaires évaluer le dispositif dans sa globalité.

4.6. EXPERIMENTATION VLOPES CLIM – Vitry-sur-Seine

L'expérimentation VLOPES VMI a été réalisée dans deux salles de classes de l'école Montesquieu à Vitry-sur-Seine (Figure 23). Figure 21

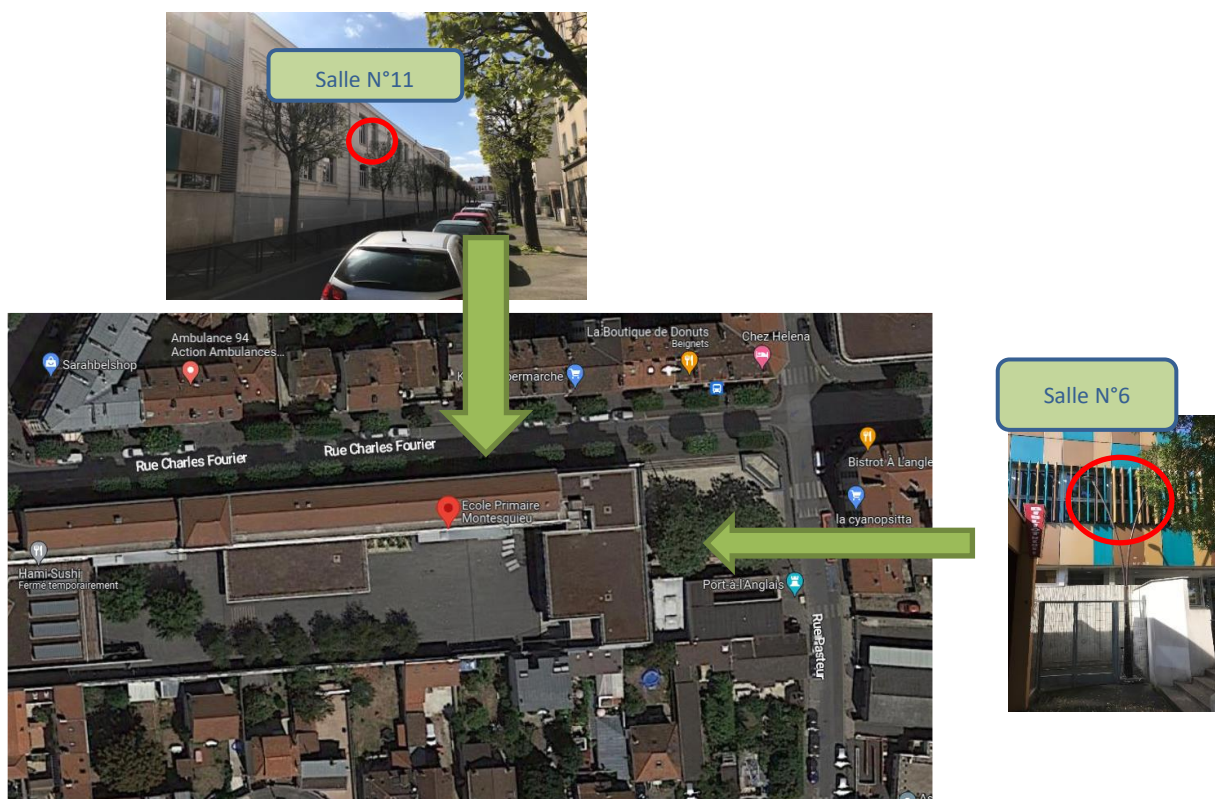


Figure 23 : Implantation des salles de classe N°6 et N°11 au sein de l'école Montesquieu (Source Google MAPS)

4.6.1. DISPOSITIF D'EPURATION TESTE

La société VLOPES Clim a mis en place deux systèmes le NPS Optimal le NPS Plus.

- Le **NPS Optimal** utilise un Filtre H14 qui filtre les **particules** (PM), associé à un traitement UV et une plaque Oxyde de Titane capables de filtrer les **composés organiques volatils** (COV), les **aldéhydes**, des **champignons**, des **bactéries** et des **virus**. Il a été installé au plafond de la salle de classe de CM2 N°6 (Figure 23).
- Le **NPS Plus** combine l'effet du rayonnement UV qui traite les polluants gazeux et les virus avec l'ionisation catalytique de l'air qui permet de filtrer les **particules**. Il a été accouplé directement à la sortie de la CTA reliée à la salle de classe N°11 (Figure 23).

Le premier épurateur est installé **dans la salle de classe N°6** et le second a été **accouplé au système de traitement de l'air relié à la salle N°11** (voir Figure 24).

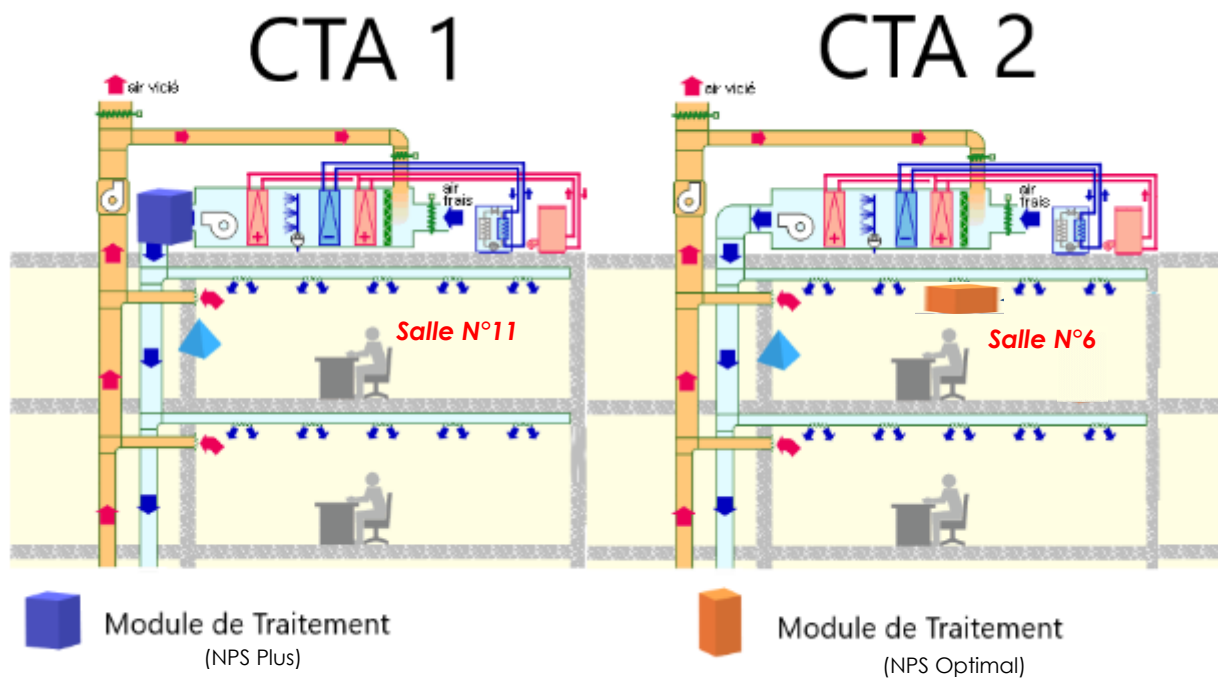


Figure 24 : Schéma d'implantation des épurateurs

Les CTA aspirent l'air frais en façade côté cour de l'école juste en dessous du niveau du toit du bâtiment, le filtre et l'injecte dans les salles de classe par des bouches d'aération situées au plafond. L'air vicié de chacune des salles de classe est aspiré et rejeté au-dessus du toit (Figure 25).



Figure 25 : Bouches d'aspirations d'air frais et CTA implantées sous le toit

L'épurateur d'air NPS Optimal

La salle N°6 est équipée d'un épurateur **NPS Optimal** fixé au plafond (voir Figure 26).



Figure 26 : Epurateur NPS Optimal fixé au plafond de la salle de classe N°6
(Flèches bleues : sens d'évacuation de l'air filtré)

Le **NPS OPTIMAL** aspire l'air sur sa face côté mur et l'expulse après l'avoir filtré dans le sens représenté par des flèches bleues sur la Figure 26.

Le débit maximal de filtration du système est de 1000 m³/h est peut-être réglé et programmé sur différents régimes de débits au cours de la journée.

L'épurateur d'air NPS Plus

La salle N°11 est équipée d'un épurateur NPS Plus accouplé en aval de la CTA qui est elle-même équipée d'un filtre particules (filtre à manche). Le tout est relié à la salle de classe N°11 (voir Figure 27).



Figure 27 : A gauche - Epurateur NPS Plus couplé à la CTA de la salle N°11 ; A droite vue intérieure CTA

Le **NPS Plus** possède un débit de filtration de l'air qui a été ajusté à celui de la CTA.

4.6.2. DISPOSITIF D'EVALUATION MIS EN PLACE PAR VLOPES CLIM

Des micro-capteurs (CO₂, PM_{2.5} et PM₁₀) ont été installés dans les salles de classes à trois endroits. Au niveau du tableau (T), à proximité des fenêtres (F) et le long d'un mur (M). Ils ont été implantés à hauteur de respiration des élèves (descriptif de la position des points de mesures détaillés ci-après).

Les salles de classes ont aussi été équipées de préleveurs passifs sur quelques semaines de tubes à diffusions permettant d'obtenir des concentrations moyennes en formaldéhyde et benzène (composés permettant de compléter l'information sur l'efficacité du dispositif sur les COV). Une mesure d'ozone a été réalisée sur quelques jours afin de s'assurer que les systèmes VLOPES ne génèrent pas d'ozone.

Salle N°6 - Classe de CM2 :

La position des micro-capteurs Tableau (T), Fenêtre (F) et Mûr (M) et des prélèvements passif (P) sont représentés sur la Figure 28. La figure indique aussi la position des bouches d'aération de la CTA.

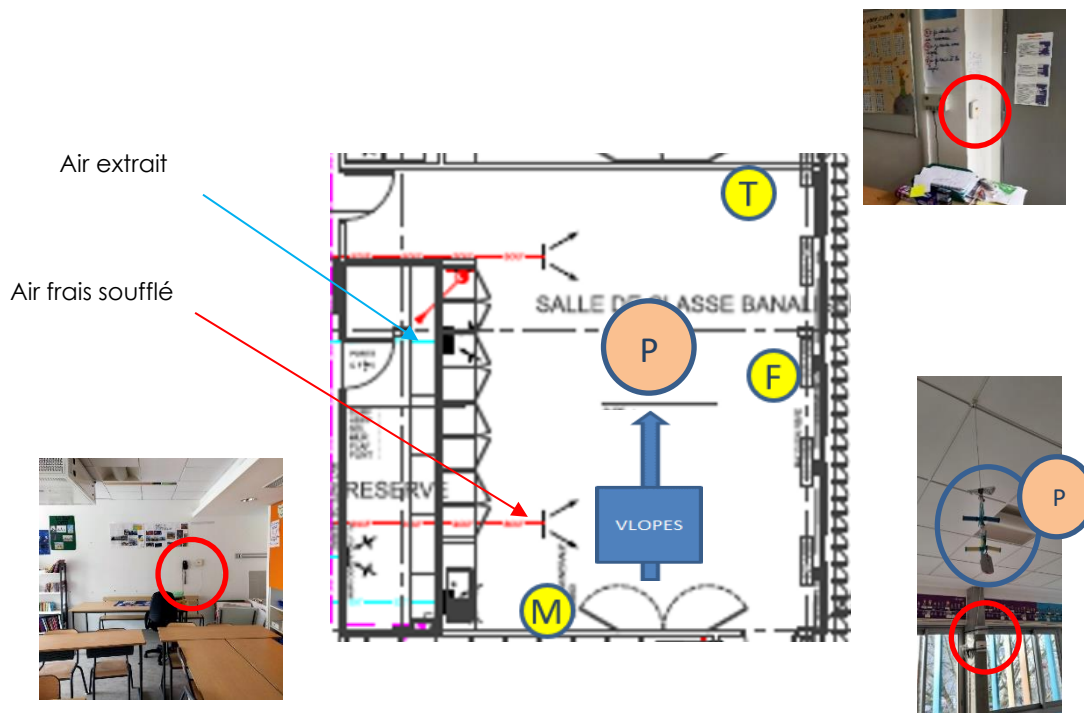


Figure 28 : Position des micro-capteurs et de du prélèvement passif – salle N°6

Salle N°11 - Classe de CM2 :

La position des micro-capteurs Tableau (T), Fenêtre (F) et Mûr (M) et des prélèvements passif (P) sont représentés sur la Figure 29. La figure indique aussi la position des bouches d'aération de la CTA.

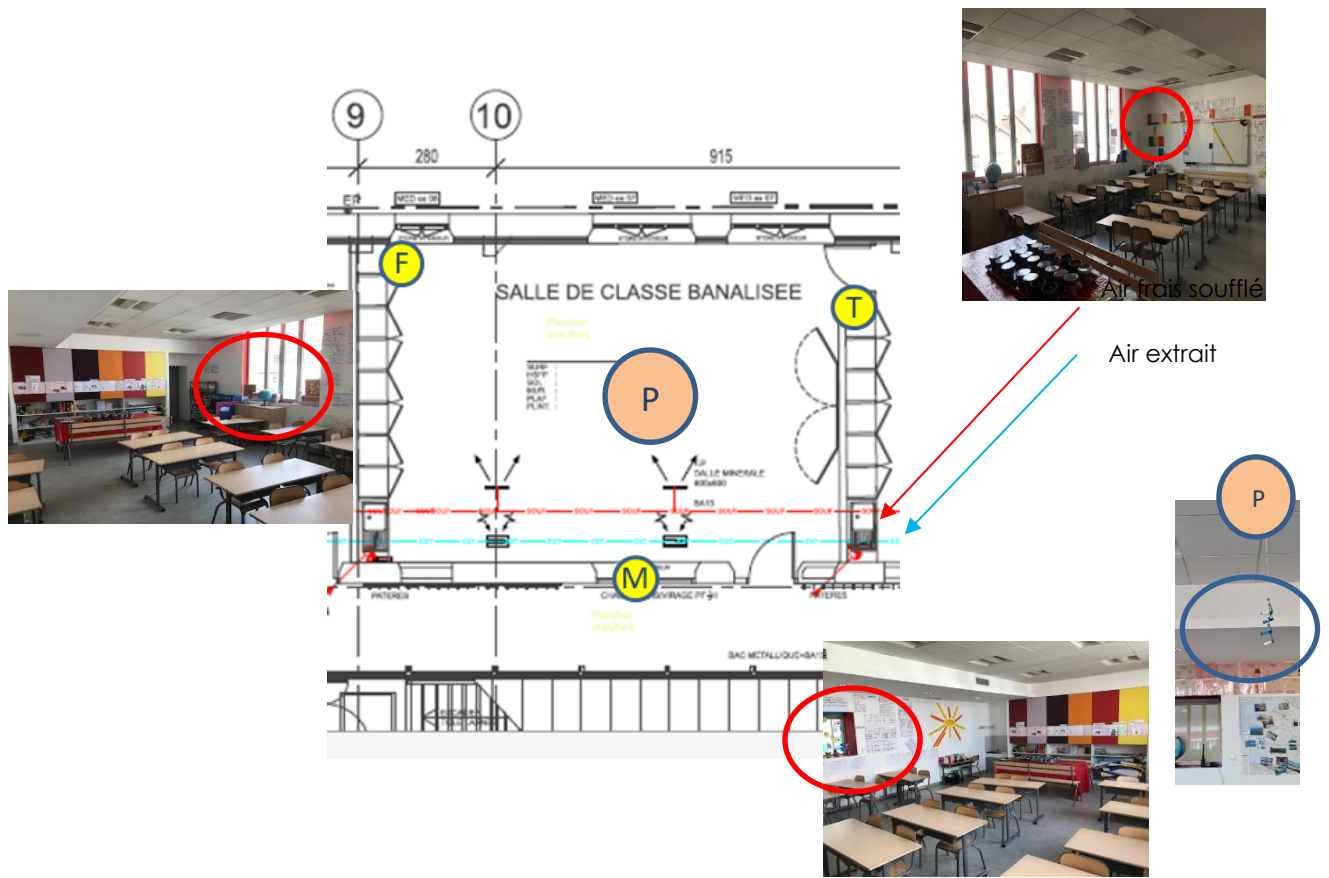


Figure 29 : Position des micro-capteurs et de du prélèvement passif – salle N°11

Un micro-capteur NPM2 ($PM_{2.5}$) et un préleveur passif de Benzène ont été installés en air extérieur. Le positionnement du micro-capteur NPM2 mesurant les $PM_{2.5}$ et celui du préleveur passif (Benzène) sont représentés sur la Figure 30.



Figure 30 : Implantation du micro-capteur NPM2 mesurant les $PM_{2.5}$ et du préleveur passif de benzène - en air extérieur

4.6.3. RESULTATS ET CONCLUSIONS PRESENTES PAR VLOPES CLIM

Comme le stipule le protocole expérimental défini par Airparif, les micro-capteurs ont été comparés entre eux. L'objectif est de s'assurer que la mesure des capteurs est fiable, juste et précise tout au long de l'expérimentation. Ces tests métrologiques se sont déroulés en plusieurs étapes, le recettage de micro-capteurs a été réalisé en juillet 2021, la première inter comparaison a été réalisée dans les salles de classes en début d'expérimentation (du 27/02 au 06/03/2022) et en fin (en juillet 2022).



Figure 31 : Recettage des micro-capteurs au laboratoire de métrologie d'Airparif

L'occupation de la salle de vie par des enfants a été suivie avec un nombre maximal d'enfant par classe de 22 élèves

Efficacité d'épuration des COVT, Benzène et Formaldéhyde

En dehors des périodes de lavage de main les concentrations mesurées en COVT restent faibles. L'épurateur semble ne pas avoir d'effet sur les concentrations des COVT.

Une préconisation pour limiter l'exposition des élèves aux COVT dans les salles de classes et qui pourrait être facilement mise en œuvre consisterait à instaurer un lavage des mains en extérieur, avant de rentrer dans le bâtiment de l'école ce qui éliminerait cette source de COVT.

Les prélèvements passifs délivrent une concentration moyenne sur la période échantillonnée (du lundi au vendredi). **La fréquence élevée et aléatoire d'ouverture des fenêtres tout au long de la campagne de mesure rend impossible l'exploitation des données pour évaluer l'efficacité de l'épurateur d'air de la salle N°6.**

Les prélèvements ont mis en évidence que les émissions avoisinantes (odeur de fumée) de l'école pouvaient impacter l'air intérieur des salles de classes.

Aucune augmentation notable des concentrations d'ozone n'est constatée dans les salles N°6 et 11 quand les épurateurs sont allumés.

Globalement les concentrations moyennes de particules dans les salles de classe N°6 et N°11 en présence d'élèves ne sont pas très élevées et sont impactées par les niveaux de particules de l'air extérieur. En dehors des épisodes de particules en air extérieur, les niveaux de particules observés sont généralement $<10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les particules $\text{PM}_{2.5}$ et $<15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les particules PM_{10} .

La différence des écarts quand l'épurateur est allumé avec la position éteinte est très faible et par conséquent inférieure à la précision des micro-capteurs. **Il n'est pas possible de conclure sur un abattement significatif des niveaux de particules $\text{PM}_{2.5}$ et PM_{10} engendré par l'épurateur d'air dans les salles de classe N°6 et N°11.**

Les épurateurs semblent agir sur les niveaux de particules avec sans doute plus d'effet sur les particules $\text{PM}_{2.5}$ que sur les PM_{10} sans pour autant être en mesure de quantifier leur efficacité. Il serait donc intéressant d'installer ce type d'épurateur dans un environnement plus pollué pour évaluer leur efficacité.

4.6.4. AVIS D'AIRLAB RELATIF A LA QUALITE DE L'EVALUATION DE L'IMPACT DE L'EXPERIMENTATION VLOPES CLIM

La société VLOPES a évalué l'efficacité de ses épurateurs en conditions réelles. Ont été étudiés, l'effet de l'épurateur NPS Optimal installé dans la salle de classe N°6 sur les niveaux de particules PM_{2,5}, PM₁₀, de formaldéhyde, de benzène et des composés organiques volatils totaux (COVT) et l'effet de l'épurateur NPS Plus accouplé à la CTA de la salle de classe N°11 sur les niveaux de particules PM_{2,5} et PM₁₀. Les niveaux d'ozone dans les salles de classes ont aussi été observés sur quelques heures lorsque les épurateurs sont allumés.

Le protocole d'évaluation défini pour le projet dans le cadre d'AIRLAB a été appliqué.

L'évaluation de l'impact sur la qualité de l'air de l'expérimentation a été menée avec un dispositif de mesure de la qualité de l'air conforme aux préconisations du protocole de référence d'évaluation d'un procédé de dépollution de l'air intérieur d'AIRLAB.

Les deux systèmes de dépollution ont été régulièrement allumés puis éteints et des mesures ont été réalisées dans les 2 salles de classes pendant toute la durée de l'expérimentation avec une comparaison des niveaux de pollution en air extérieur.

Cet avis se base sur le rapport d'Airparif « RAPPORT EXPERIMENTATION EPURATEUR D'AIR NPS PLUS & NPS OPTIMAL VLOPES-CLIM » de juin 2023.

AIRLAB souligne la qualité des travaux de mise en œuvre et la conduite de l'expérimentation en accord avec le protocole de référence AIRLAB.

AIRLAB confirme que l'expérimentation permet à VLOPES de mentionner que « globalement les concentrations moyennes de particules, de benzène et de formaldéhyde dans les salles de classe N°6 et N°11 en présence d'élèves ne sont pas très élevées et sont impactées par les niveaux de particules de l'air extérieur (lorsque les fenêtres sont ouvertes) ».

Les salles de classes de l'école Montesquieu étant équipées de systèmes de traitement de l'air (CTA) dotés de filtration des particules efficace (filtre à manche), l'efficacité des 2 systèmes VLOPES clim n'a pas pu être évaluée.

4.7. SUEZ - RUEIL-MALMAISON

Ce paragraphe présente les détails de l'expérimentation réalisée, les résultats et conclusions apportés par le lauréat, les points forts et de vigilance identifiés par AIRLAB ainsi que son avis sur la qualité de l'évaluation de l'impact de l'expérimentation.

Les dispositifs de traitement de l'air sont installés au sein de la salle de basket du complexe sportif Stadium de Rueil-Malmaison, une salle multisport située au 1 Rue Geneviève Couturier. La salle se situe au niveau -1 et utilise pour le système de chauffage des brûleurs à gaz par rampe au plafond. La salle de basket est ventilée grâce à deux entrées d'air statiques positionnées à l'opposé de la tribune buvette. Elle ne dispose pas de système de renouvellement d'air dynamique.

4.7.1. DISPOSITIF D'EPURATION TESTE

Le dispositif de dépollution se nomme InspiR et il est composé de plusieurs épurateurs d'air industriels autonomes pilotés par un automate.

L'épurateur sélectionné est un épurateur d'air CC6000 de la société CAMFIL équipé de la chaîne de filtration suivante :

- Préfiltre ePM1 50% pour une très grande capacité de rétention des particules les plus grosses
- Filtre absolu HEPA H13 selon norme EN1822 pour une filtration de 99,95% des particules les plus fines (0,15 µm)
- Filtration Moléculaire de type CamCarb CG pour le traitement des COV, du dioxyde d'azote (NO₂) et de l'Ozone (O₃)



Figure 32: Epurateurs d'air CC6000 Camfil

Le dispositif mis en place a pour objectif de traiter et mesurer **les particules fines, les COV** ainsi que **le dioxyde d'azote** afin d'améliorer la qualité de l'air du gymnase. Pour cela, deux modules CC600 pilotables à distance, équipés d'enveloppes protectrices garantissant la sécurité des usagers et la viabilité du système sont installés au niveau des gradins « mobiles ». Les caissons de protection conçus pour cette application permettent également de limiter le bruit de fonctionnement. Le pilotage à distance des machines via une plateforme web est permis grâce à un coffret d'alimentation.



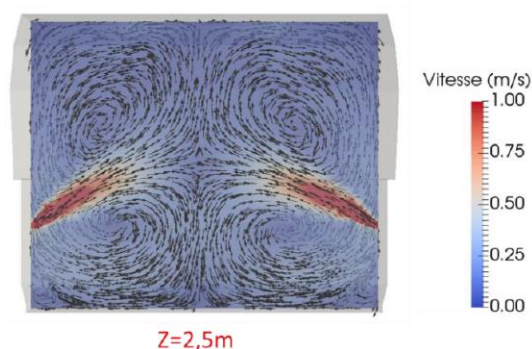
Figure 33 : Modules de traitement CC600 pilotables à distance

S'ajoutent à cela deux unités SQ2500 installées derrière les gradins « télescopiques », assurant ainsi le traitement de l'ensemble de la salle. Ces deux modules ne sont eux pas contrôlables à distance. Les systèmes ont été positionnés en phase avec l'infrastructure d'air déjà existante.



Figure 34 : Modules de traitement SQ2500

Le système de dépollution installé au sein du gymnase est composé de 2 types de module disposés comme précisé dans la Figure 35. Le choix des emplacements a été réalisé, en partie, à partir des résultats de modélisation aérauliques de plusieurs configurations. Les emplacements réels ont tenu compte des contraintes techniques et des autorisations de la Mairie. En particulier, il n'a pas été faisable de mettre en place les gaines de distribution d'air, issu des purificateurs des gradins télescopiques, sur les côtés du terrain, comme modélisé dans l'étude CFD. Il est possible que ces purificateurs SQ2500 ont un impact moindre sur la qualité de l'air qu'envisagé par la modélisation.



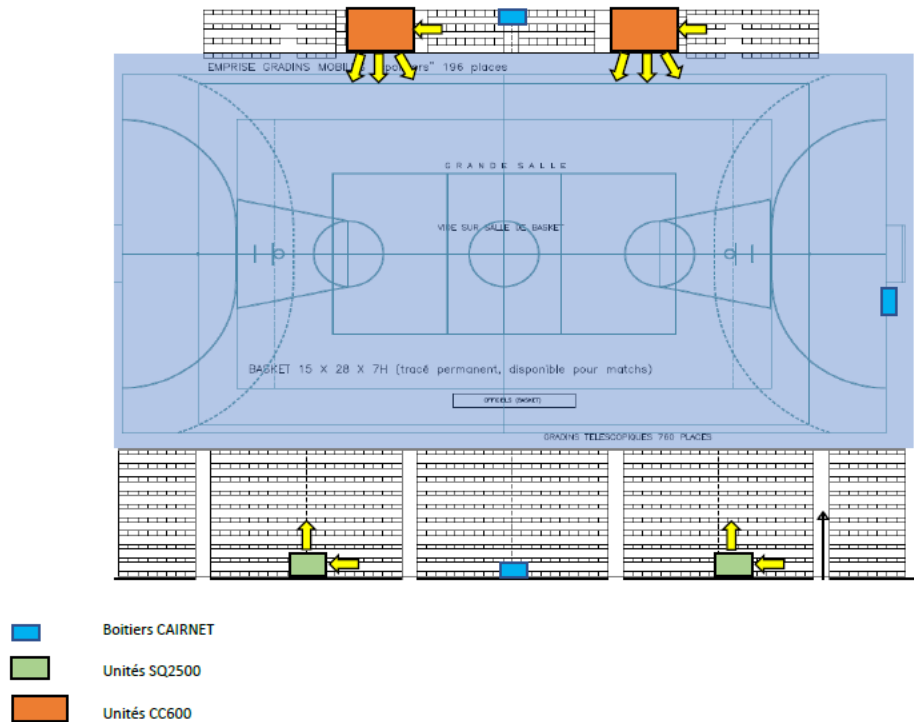


Figure 35: Implantation des systèmes de dépollution dans la salle de basket du Stadium de Reuil Malmaison

4.7.2. DISPOSITIF D'ÉVALUATION MIS EN PLACE PAR SUEZ

L'expérimentation vise à mieux connaître les niveaux de pollution de ce type d'environnement et d'évaluer les performances du système de traitement de l'air dans la salle principale du gymnase. Pour attester de l'efficacité de cette installation, un protocole de mesure a été défini et validé par les équipes d'Airparif en mai 2021.

Celui effectivement mis en œuvre et décrit ci-dessous est très différent.

Les polluants étudiés sont les PM_{10} , NO_2 et COV. Les mesures sont réalisées à l'aide de micro-capteurs ainsi que de tubes passifs. Quatre points de mesure par tubes passifs sont répartis selon le schéma présenté dans la ci-dessous (A, B, C et D en extérieur) pour chacun des composés suivants, BTEX - NO_x - CO. Les particules fines PM_{10} ont été mesurées par mesures passives avec un appareil Sigma2 sur le point de mesure A – Terrain basket.

Les mesures par tubes passifs ont été effectuées sur deux semaines, fournissant une valeur moyenne sur cette période.

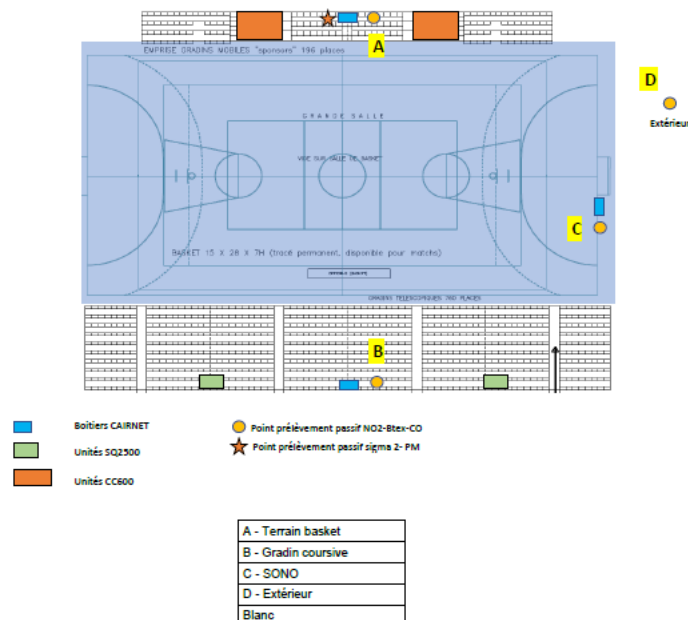


Figure 36 : Implantation du dispositif de surveillance de la qualité de l'air

3 micro-capteurs ont permis de mesurer les particules fines, le dioxyde d'azote (NO₂) et les COVNM à une fine échelle temporelle. Ils ont été intégrés dans des stations communicantes CAIRNET identiques, permettant une gestion des données centralisée et sécurisée dans le cloud via l'application Caircloud®.

Avant la première campagne de mesure, un recettage des micro-capteurs a été effectué en regroupant l'ensemble des unités micro-capteurs au même emplacement pendant une semaine, conformément aux recommandations d'Airparif. L'objectif principal de cette opération était d'identifier d'éventuelles disparités entre les mesures des différents capteurs et d'ajuster éventuellement le calibrage des capteurs afin d'assurer la précision et la fiabilité des mesures.

3 campagnes de mesures distinctes sur des périodes de deux semaines ont été réalisées à l'aide de micro-capteurs et de tubes passifs :

- Phase n°0 : Mesures initiales hors période d'activité (sans système de traitement), exécutée du 21 août au 4 septembre 2023. L'objectif de cette étape était de mesurer les niveaux dans l'air ambiant du gymnase pendant les périodes creuses d'activités, c'est-à-dire en l'absence de public dans le gymnase, sans chauffage et sans activation du système de traitement de l'air.
- Phase n°1 : Mesures en période d'activité - système de traitement éteint, en situation fréquentée et hivernale (avec chauffage). Cette campagne de mesure a été réalisée du 26 janvier 2024 au 12 février, pendant la période scolaire afin de refléter au mieux le taux de fréquentation habituel du gymnase.
- Phase n°2 : Mesures en période d'activité - système de traitement en fonctionnement en continu. Le système de traitement a fonctionné à un débit fixe pendant deux semaines dans une situation où la salle est utilisée. Cette campagne de mesure, lancée le 28 février pour une durée de deux semaines, n'a pas pu être exploitée, 2 des systèmes de traitement d'air ayant été éteints (débranchement des prises). Une autre campagne a été réalisée du 08 au 19 juillet avec les mêmes caractéristiques mais en période estivale donc sans chauffage et probablement moins fréquentée.

- Phase n°3 : Optimisation du traitement. La dernière phase de l'étude avait pour objectif d'évaluer de potentielles pistes d'optimisation du procédé de traitement de l'air afin de réduire la consommation énergétique des dispositifs de traitement de l'air. Il n'y a pas eu de mesure de qualité de l'air pendant cette phase.

4.7.3. RESULTATS ET CONCLUSIONS PRESENTES PAR SUEZ

SUEZ affiche des résultats, sous forme de pourcentages, de réduction des concentrations de particules fines et de dioxyde d'azote très importants. Les résultats ne sont pas validés scientifiquement puisqu'ils résultent des comparaisons de résultats sur les différentes phases de mesure qui ne sont en fait pas comparables, des paramètres autres que « système de dépollution en fonctionnement ou non » étant très différent (chauffage ou non, fréquentation des locaux, ...). De plus, les valeurs moyennes de mesures en continu de NO₂ (10 à 17 ppb) sont inférieures à la limite de détection du capteur Envea mis en œuvre (20 ppb). Il n'est pas possible de considérer ces résultats comme fiables. Enfin, considérer que le NO₂ dans le gymnase est exclusivement importé de l'extérieur, nécessite au préalable de s'assurer qu'il ne provient pas également du système de chauffage par combustion du méthane.

Similairement, les valeurs moyennes de mesures en continu de PM₁₀ (1,1 à 6,7 µg/m³) sont inférieures ou proches de la limite de détection du capteur PM mis en œuvre (5 µg/m³). Il n'est pas possible de considérer ces résultats comme fiables.

Par ailleurs, Airparif considère qu'il n'est pas scientifiquement pertinent de calculer des abattements sur des maxima, surtout lorsque les conditions expérimentales ne sont pas comparables.

SUEZ précise que pour limiter les consommations énergétiques, il est possible de ne faire fonctionner les dispositifs d'épuration que lors des périodes d'occupation des locaux avec une activation des systèmes de traitement d'air 30 min avant l'arrivée des premiers occupants de la salle. Ils conseillent d'éteindre les systèmes de traitement entre 22 h 30 et 8 h du matin, ainsi qu'en période de vacances. Ces recommandations ne sont pas assorties de mesure évaluant un éventuel impact sur les niveaux de polluants mesurés en période de fréquentation des locaux.

4.7.4. AVIS D'AIRLAB RELATIF A LA QUALITE DE L'EVALUATION DE L'IMPACT DE L'EXPERIMENTATION SUEZ

AIRLAB souligne l'intérêt d'une expérimentation dans un gymnase, environnement peu documenté mais regrette que le protocole d'évaluation proposé par SUEZ et validé par Airparif n'ait pas été respecté, notamment sur la durée des mesures (6 mois prévus en continu en alternant les phases avec et sans système de traitement). Airparif a bien été informée que l'expérimentation serait menée sur un nouveau protocole bien plus léger, mais ne peut cautionner ce nouveau choix, limitant nettement la possibilité d'en tirer des enseignements conclusifs. AIRLAB note également l'absence de mesures de formaldéhyde, principal polluant de l'air intérieur.

L'expérimentation a été menée sur des périodes trop courtes de 3 fois 15 jours avec des conditions expérimentales très différentes ne permettant pas de comparer valablement les situations avec et sans système de traitement de l'air puisque d'autres paramètres influents ont également changé (présence ou non de chauffage dans les locaux, fréquentation des lieux différentes, ...). Ainsi les éléments à disposition ne permettent pas à Airparif de partager la conclusion sur les valeurs d'abattelements des polluants et donc sur l'efficacité du dispositif de dépollution expérimenté par Suez dans le complexe sportif de Rueil-Malmaison.

Les niveaux moyens en PM₁₀ et NO₂ étant relativement faibles dans le gymnase, Airparif/AIRLAB recommande, pour les prochaines expérimentations, l'utilisation de moyens de mesures avec des limites de détection plus basses.

Cet avis se base sur le rapport, « Rapport d'évaluation final de l'expérimentation SUEZ – Gymnase Rueil. Dossier EX052817 INNOVONS POUR L'AIR DANS LES BÂTIMENTS PUBLICS EXPERIMENTATION SUEZ EAU France SALLE DE SPORT RUEIL MALMAISON », reçu le 04 mars 2025, version amendée suite aux commentaires d'Airparif /AIRLAB précisant les ajustements à y apporter fournis au lauréat.

AIRLAB souligne le non-respect du protocole de référence AIRLAB, concernant la durée des mesures dans des conditions similaires, avec et sans système de dépollution en fonctionnement.

AIRLAB précise ainsi que l'expérimentation ne permet à SUEZ de conclure sur des pourcentages d'abattement moyens des concentrations de PM₁₀ et NO₂ du système de dépollution. Néanmoins, il semble que le dispositif de dépollution ait un impact positif sur l'abattement des pics de polluants les plus élevés, mais une expérimentation complémentaire devra valider cette observation trop ponctuelle pour conclure.

Si une évaluation de l'optimisation de l'utilisation du système de dépollution a été faite pour limiter les consommations énergétiques de ce dispositif, les coûts énergétiques du dispositif n'ont pas été précisés. De plus, des informations sur le coût de maintenance, l'impact environnemental et le bruit généré par le dispositif sont nécessaires pour évaluer le dispositif dans sa globalité.

5. PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS

L'amélioration de la qualité de l'air dans les espaces intérieurs des bâtiments publics et les espaces extérieurs confinés accueillant du public francilien représentant un enjeu important, notamment quand ils accueillent des enfants, la Région Île-de-France a décidé, dans le cadre de la mise en œuvre de son plan « Changeons d'air en Île-de-France » (2016-2021), de lancer deux appels à projet, le premier en 2019 (IABP-1) et le second en 2020 (IABP-2), visant à expérimenter des solutions de dépollution innovantes pour améliorer la qualité de l'air dans les bâtiments et les espaces extérieurs confinés recevant du public de la région francilienne.

Les espaces intérieurs des bâtiments publics Franciliens constituent un lieu d'exposition de la population à la pollution de l'air, que ce soit via les polluants de l'air extérieur ou des polluants spécifiques de l'air intérieur.

En air intérieur, les sources de COV et en aldéhydes peuvent être émis par les matériaux constituant les murs et sols, le mobilier, les produits d'entretien, les activités (peinture, colle, ...) Les sources intérieures de particules sont liées aux phénomènes de combustion (chauffage, cuisson), aux activités manuelles, à l'abrasion de matériaux, mais aussi à la remise en suspension, par exemple par le ménage. Une part de la pollution, notamment des particules, peut provenir de l'air extérieur.

Les lauréats de l'appel à projet de la Région ont eu l'opportunité de tester leur solution dans des lieux publics qu'ils ont choisis et que la Région a validé (**3 expérimentations dans des salles de classe ou crèches, 1 dans une salle multisport, deux dans des cours d'école et un dans un parking souterrain municipal**) et de bénéficier de l'accompagnement d'**AIRLAB, le laboratoire d'innovation ouverte d'Airparif. Les évaluations de leur impact sur la qualité de l'air ont été menées par les lauréats** et leurs experts avec un appui direct d'**AIRLAB**. La pandémie de COVID19 et ses conséquences ont notablement retardé certaines de ces expérimentations.

Pour Les lauréats du premier appel à projet, AIRLAB a apporté un appui à chacun pour la construction du dispositif d'évaluation et validé le protocole retenu de suivi de l'efficacité sur les performances du système de dépollution testé. Dans le cadre du second appel à projet, AIRLAB a élaboré et formalisé en amont un protocole de mesure à mettre en place pour suivre les niveaux des polluants traités par les dispositifs d'épuration. Il reprend les préconisations discutées lors du premier appel à projet. Ce protocole a été mis à disposition des candidats.

AIRLAB a ensuite vérifié la validité des données mesurées et de leur interprétation et donné un avis sur la robustesse des conclusions établies par les porteurs des projets sur l'efficacité des dispositifs testés.

Peu d'expérimentations de la première expérimentation ont respecté complètement le protocole établi avec chacun des fournisseurs de technologie. Cela a impacté la capacité à disposer des résultats interprétables et conclusifs. La mise à disposition par AIRLAB du protocole d'évaluation en amont du deuxième appel à manifestation d'intérêt a permis un bon respect des bonnes pratiques formalisées pour 2 des trois expérimentations retenues. Les principaux points du protocole sont rappelés ci-dessous après les principales conclusions de ces expérimentations.

DES NIVEAUX EN AIR INTERIEUR EN LIEN DIRECT AVEC LE TAUX DE RENOUVELLEMENT D'AIR

Les expérimentations en air intérieur ont porté sur l'abattement des particules seul ou associé à celui des composés organiques volatils et dans deux cas également à la limitation des niveaux d'oxydes d'azote. 2 expérimentations en air intérieur se sont appuyées sur un dispositif visant à améliorer la ventilation, avec ou non en plus un système de filtration de l'air extérieur entrant. 3 expérimentations ont permis de tester des équipements de dépollution installés directement dans les espaces retenus pour mener l'expérimentation. Une expérimentation a été menée selon ces deux configurations dans deux salles de classe différentes.

Les expérimentations en air intérieur ont montré globalement des niveaux des polluants suivis faibles dans les classes et espaces expérimentés recevant du public, que ce soit pour les polluants spécifiques de l'air intérieur ou ceux dont les sources sont essentiellement extérieures. Quelques spécificités sont à noter, les expérimentations ayant démarré entre 2021 et 2022 ont été impactées à des degrés divers, par la pandémie de la Covid 19. Par exemple des pics de COV ont été constatés à chaque entrée dans les salles de classe, vraisemblablement liés à l'utilisation de gel hydroalcoolique.

Pour tous ces polluants mesurés, les résultats montrent l'impact positif de la ventilation des locaux et de l'ouverture des fenêtres, illustrant leur efficacité sur la baisse des niveaux. Les résultats confirment les préconisations de l'avis du Haut Conseil en Santé Public (HCSP) du 28 août 2021 (Actualisation des recommandations relatives aux unités mobiles de filtration de l'air intérieur) établi dans le cadre de la pandémie de COVID 19. Le HCSP recommande de maintenir les niveaux de CO₂ en dessous de 800 ppm dans tous les espaces recevant du public avec une ventilation des locaux, soit mécanique avec un apport d'air extérieur filtré ou non filtré, soit naturelle. Le HCSP propose de réserver l'utilisation ciblée de systèmes de dépollution, dans le respect des exigences techniques, prioritairement dans les salles de classe ou les espaces présentant des conditions défavorables de ventilation et d'aération.

Pour les expérimentations dont l'évaluation de l'efficacité du système de dépollution testé a été menée dans les règles de l'art, les faibles niveaux relevés dans les classes et salles de crèches n'a pas permis de quantifier les gains du dispositif, les écarts de niveaux avec et sans système de dépollution en fonctionnement étant dans les incertitudes des appareils de mesure utilisés.

Enfin, l'expérimentation a montré que les systèmes de dépollution implantés en air extérieur ne permettent pas d'améliorer la qualité de l'air, leur impact n'étant perceptible qu'à proximité immédiate (moins de 1 m) du dispositif de dépollution.

COMMENT EVALUER L'EFFICACITE DE SYSTEMES DE DEPOLLUTION

Ces expérimentations ont permis de construire un protocole d'évaluation robuste de l'efficacité d'un système de dépollution en air intérieur, qui peut servir également dans d'autres contextes

d'environnement pollués comme des locaux industriels. Les principales préconisations sont rappelées ci-dessous et le protocole complet est disponible [\(ajouter lien vers protocole sur site AIRLAB\)](#). **Il est à noter que le suivi strict des recommandations ne vaut pas validation de l'efficacité du procédé de dépollution par AIRLAB.**

L'efficacité des systèmes de dépollution ne peut être évaluée que par une expérimentation en conditions réelles ; l'évaluation en laboratoire, nécessaire en amont, est insuffisante pour estimer les performances en conditions réelles d'utilisation.

Les principaux points d'attention à intégrer dans un protocole d'évaluation sont précisés ci-dessous.

Les niveaux moyens de concentrations de polluants de l'air peu importants relevés dans les espaces expérimentés rendent l'évaluation de l'efficacité de systèmes de dépollution difficile, les écarts de niveaux mesurés avec ou sans dispositif d'épuration en fonctionnement étant faibles au regard des autres paramètres influençant les concentrations. Cette limite à l'interprétation des résultats est renforcée en air extérieur où les paramètres météorologiques sont plus influents. Le protocole d'évaluation est ainsi à définir avec beaucoup d'attention. La durée d'expérimentation minimale est fonction des niveaux du polluant considéré dans l'espace de l'expérimentation, de l'abattement escompté pour ce polluant et de l'incertitude sur la mesure de sa concentration. **La durée de l'expérimentation doit être d'autant plus longue que l'abattement escompté est faible ; de plus, plus l'incertitude sur sa mesure est grande, plus longue doit être la durée de l'expérimentation.**

Plus la durée de l'expérimentation est grande, meilleure sera l'évaluation de l'efficacité du procédé proposé en la séparant au mieux des variations de niveaux liées aux nombreux facteurs environnementaux. Il est préconisé d'implanter des dispositifs de mesure fixes (aux mêmes emplacements) sur une durée longue de plusieurs mois à une année.

Ce temps long permet également de vérifier dans le temps les performances du procédé, ses coûts d'exploitation et ses impacts environnementaux.

Afin d'évaluer l'efficacité du dispositif testé, il est nécessaire de pouvoir comparer à une situation de référence sans dispositif de traitement. Il est recommandé d'**alterner des périodes de fonctionnement et d'arrêt des appareils de dépollution testés**, par exemple une alternance d'une semaine, pour limiter les biais liés à la variabilité temporelle des niveaux des différents polluants dans les environnements étudiés.

Au-delà de la mesure des polluants sur lesquels le système testé agit il est utile de mesurer les concentrations de CO₂. Elles permettent de suivre le degré de confinement de la salle expérimentée et d'identifier les périodes de présence de personnes.

Le recueil des paramètres d'influence tels que le débit de ventilation, le nombre de personnes dans les salles ainsi que les activités qui peuvent générer des émissions de polluants (peinture, lavage de mains, ménage, utilisation de marqueurs, ...) exercées dans les salles est également nécessaire.

Pour l'évaluation d'un procédé de dépollution, il convient de prévoir des dispositifs de mesure à plusieurs endroits de la salle, en fonction de la variabilité des concentrations dans le local et représentatifs de ces zones. Il est préconisé une distribution spatiale permettant de couvrir l'ensemble du volume correspondant à l'impact envisagé du dispositif de dépollution testé.

Une **quantité minimale** repère de **3 points de mesure, répartis spatialement dans les trois dimensions** de la salle afin d'observer d'éventuels gradients de polluants dans toute la salle.

Il est important que les mesurages n'aient pas d'incidence sur l'utilisation normale des espaces.

Au-delà de la mise en œuvre et du respect du protocole d'expérimentation, il sera veillé à ce que l'interprétation des résultats soit rigoureuse et que l'analyse souligne aussi les points pour lesquels aucune conclusion n'est possible suite à l'expérimentation.

Bonnes pratiques pour l'utilisation de microcapteurs dans l'évaluation des appareils de dépollution

Le protocole d'expérimentation tient compte des retours d'expérience d'Airparif depuis plus de 10 ans sur l'utilisation de capteurs, des enseignements des challenges micro-capteurs d'AIRLAB et de ceux des partenaires d'Airparif et du jury des challenges (SPSE, OQAI, CSTB, EMPA, DIM QI², WWO, NILU, Commission Européenne, autres AASQA ...). Pour toute utilisation de capteur, il convient de s'assurer de ses qualités métrologiques tout au long de son utilisation. **Il est recommandé de réaliser une qualification métrologique au début, au milieu et à la fin de l'expérimentation (pour des expérimentations dépassant 6 mois)**. Cette qualification a pour objectif d'écarter les capteurs défectueux et de les calibrer, dans la mesure du possible. La qualification métrologique consiste à contrôler à minima la **reproductibilité** et si possible la **justesse** des mesures des différents capteurs en les exposant à des niveaux de concentrations attendus lors de l'expérimentation, soit dans une chambre d'exposition adaptée, soit dans un environnement similaire à celui de l'expérimentation. Il convient de positionner les capteurs à proximité immédiate les uns des autres pendant au moins 72 h pour chacune des trois opérations d'inter comparaison des capteurs.

Si un ou plusieurs capteurs présentent des écarts systématiques, la possibilité et la pertinence de corriger ses données sera évaluée (exemple d'écart systématique pouvant être corrigé : tout écart répété demeurant constant ou variant de façon prévisible). Si la correction ne s'avère pas possible les capteurs seront déclarés non conformes et les données inutilisables.

Annexe 1 : PRESENTATION D' AIRLAB

AIRLAB promeut un **modèle d'innovation ouverte** et coordonne un **écosystème facilitant les rencontres** et les collaborations entre des acteurs d'horizons variés.

Il vise à débloquer l'ensemble des points décisifs d'une innovation pour la qualité de l'air. En particulier : évaluer des projets ; mobiliser des financements ; apporter des territoires d'expérimentation afin d'organiser les tests opérationnels ; organiser et faciliter l'accès aux données ; mettre en place des processus d'évaluation des projets, informer et faire adopter les solutions par le plus grand nombre.

AIRLAB aborde l'ensemble des thématiques liées à la qualité de l'air : mesure précise des émissions ; mesures des niveaux de pollution ; diminution des émissions selon les sources (transports, agriculture, industrie et bâtiments) mais aussi dépollution des sites et des édifices et lien avec le changement climatique.

Pour ce faire, AIRLAB mobilise une grande diversité de champs scientifiques : de la chimie, de l'informatique et de l'ingénierie jusqu'aux sciences du comportement et au design.

Grace à ses partenaires et à l'expérience d'Airparif, AIRLAB réunit **un ensemble de compétences et d'atouts sans équivalent**, dont les principaux sont présentés ci-dessous :

Guichet pour les initiatives innovantes ;

Labellisation de projets innovants ;

Montage de projets partenariaux ;

Terrains d'expérimentation ;

Recherche de financements ;

Evaluation des performances des innovations ;

Mesure de l'efficacité des politiques publiques en faveur de l'amélioration de la qualité de l'air.

AIRLAB fonctionne comme un écosystème et réunit autour d'Airparif des partenaires qui s'engagent sur un objectif commun, à savoir améliorer la qualité de l'air en Île-de-France, avec des acteurs institutionnels (collectivités territoriales, agences, instituts...), de grandes entreprises, la recherche académique, des PME, des start-ups et des représentants de la société civile.

La communauté compte à ce jour près de 137 membres, dont 87% de PME et TPE.

Annexe 2 : LISTE DES DOCUMENTS

ANALYSES

Aucun des documents mis à disposition d'Airparif pour ces travaux n'est public, les technologies testées présentant notamment des spécificités faisant l'objet de secrets industriels. Ils ont été confiés à Airparif sous couvert de confidentialité.

Livrables mis à disposition d'Airparif :

Le protocole d'expérimentation de CAMFIL France (PROTOCOLE-CAMFIL-RUBIX-DossierEX046913.pdf daté du 29 juin 2020)

Le rapport d'évaluation de l'expérimentation CAMFIL : Expérimentation Ecole Paris 5ème Point d'étape du 10/09/2021 (AAP-IDF-Point Etape2-10sept2021_V3.pdf)

Le protocole d'expérimentation de ENGIE Solutions (Protocole SEE Vélizy V6 DR daté du 21 octobre 2020)

Le rapport d'évaluation de l'expérimentation de ENGIE Solutions : « Conseil Régional Ile de France – Appel à Projet « Innovons pour la qualité de l'air dans les bâtiments publics » - VELIZY-VILLACOUBLAY – Ecole maternelle Exelmans – Rapport d'expérimentation Essais en extérieur » reçu le 24 janvier 2023

Le protocole d'expérimentation de SUEZ : « Protocole de suivi et évaluation de l'expérimentation SUEZ » - DOSSIER N° EX046923 - INNOVONS POUR L'AIR DANS LES BÂTIMENTS PUBLICS - 1ER TRANCHE - EXPERIMENTATION SUEZ EAU FRANCE - COUR ECOLE ALPHONSE DAUDET - COURBEVOIE daté du 20 avril 2020 et son avenant du 2 novembre 2020, associés aux recommandations d'Airparif/AIRLAB

Le rapport d'évaluation de l'expérimentation SUEZ : Rapport d'expérimentation IABP – SUEZ DOSSIER N° EX046931 & EX046923 - INNOVONS POUR L'AIR DANS LES BÂTIMENTS PUBLICS EXPERIMENTATION SUEZ EAU FRANCE - COUR ECOLE VICTOR HUGO – POISSY et COUR ECOLE ALPHONSE DAUDET – COURBEVOIE daté de juin 2023

Le protocole d'expérimentation de TEKO daté du 2 mai 2020 associé aux recommandations d'Airparif/AIRLAB envoyées le 15/07/2020

La note d'intention et le rapport d'exploitation de TEKO du 27/11/23

Le rapport d'évaluation de l'expérimentation VMI : AIR 4 KIDS CONNECT – Projet IABP - AMÉLIORATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR DANS LES CRÈCHES VMI® - Ventilairsec, reçu le 3 mars 2022.

Le protocole d'évaluation d'un procédé de dépollution de l'air Intérieur – VLOPES – 12 mai 2021

Le rapport d'évaluation de l'expérimentation VLOPES : RAPPORT EXPERIMENTATION EPURATEUR D'AIR NPS PLUS & NPS OPTIMAL VLOPES-CLIM - Airparif – Juin 2023

Le protocole d'expérimentation de SUEZ : « Protocole de suivi et évaluation de l'expérimentation SUEZ - dossier EX052817 – INNOVONS POUR L'AIR DES BATIMENTS PUBLICS – 1ER Tranche - Salle de SPORT RUEIL MALMAISON » transmis le 12 mai 2021.

Le rapport d'évaluation de l'expérimentation SUEZ : « Rapport d'évaluation final de l'expérimentation SUEZ – Gymnase Rueil. Dossier EX052817 INNNOVONS POUR L'AIR DANS

LES BÂTIMENTS PUBLICS EXPERIMENTATION SUEZ EAU France SALLE DE SPORT RUEIL
MALMAISON », reçu le 04 mars 2025,

