

Jan
2020

CARACTERISATION DES TRANSFERTS DE POLLUTION DE L'AIR EXTERIEUR VERS L'AIR INTERIEUR DANS LES ETABLISSEMENTS SCOLAIRES

TRANSFAIR : une évaluation du transfert des polluants et des propositions de bonnes pratiques dans les écoles de Saint-Nazaire

RAPPORT

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

En partenariat avec :



HAPCO
Ventilation | Chauffage | Gestion de l'eau

air | pays de
la Loire
www.airpl.org

REMERCIEMENTS

Le comité de pilotage de l'étude était composé des personnes suivantes :

- David du Chelas, Mairie de Saint-Nazaire
- Pascale Hameau, Mairie de Saint-Nazaire
- Perrin Xavier, Mairie de Saint-Nazaire
- Baron-Davenel, Marthe Mairie de Saint-Nazaire
- Bureau Hervé, Mairie de Saint-Nazaire
- Chesnel Alain, Mairie de Saint-Nazaire
- Sonnet Cédric, Mairie de Saint-Nazaire
- Laisne Sandrine, CARENE
- Le Carff Alan, Mairie de Saint-Nazaire
- Fruchard Elodie, Mairie de Saint-Nazaire
- Macé Magali, Mairie de Saint-Nazaire
- Pauline Baron-Renou, Air Pays de la Loire
- Souad Boualalla, ADEME
- Harold Monnier, HAPCO

Les membres du COPIL adressent tous leurs remerciements aux partenaires de la collectivités qui ont apporté leur aide et leur soutien dans cette expérimentation.

CITATION DE CE RAPPORT

DU CHELAS D, BARON-RENOU P, MONNIER H. 2020. Caractérisation des transferts de pollution de l'air extérieur vers l'air intérieur dans les établissements scolaires – TRANSFAIR une évaluation du transfert des polluants et des propositions de bonnes pratiques dans les écoles de Saint-Nazaire. Rapport, 62 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr/mediatheque

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 1662C0030

Étude réalisée par la ville de Saint-Nazaire et Air Pays de la Loire pour ce projet financé par l'ADEME

Coordination technique - ADEME : Souad Bouallala

Direction/Service : Direction Villes et territoires Durables/Service Qualité de l'air

SOMMAIRE

RÉSUMÉ	5
ABSTRACT	6
1. Synthèse	7
1.1. Contexte.....	7
1.2. Dispositif de mesures	7
1.3. Résultats	7
1.4. Replicabilité	8
1.5. Perspectives	8
2. Contexte	9
2.1. Description de la zone étudiée	10
2.1.1. Etablissements scolaires investigués	10
2.1.2. Ecole primaire Paul Bert	10
2.1.3. Ecole primaire Ernest Renan	11
2.1.4. Zone industrielle.....	Erreur ! Signet non défini.
2.1.5. Trafic sur la zone d'étude	11
2.1.6. Trafic maritime	12
3. Présentation du projet	12
3.1. Méthodologie.....	12
3.1.1. Polluants et paramètres mesurés	12
3.1.2. Dispositif de mesure	13
4. Phase 1: Evaluation de la qualité de l'air.....	16
4.1. Evaluation de la qualité de l'air extérieur.....	16
4.1.1. Paramètres météorologiques.....	16
4.1.1.1. Roses des vents	16
4.1.1.2. Température extérieure	17
4.1.2. Qualité de l'air extérieur	17
4.1.2.1. Concentrations en PM10	17
4.1.2.2. Concentrations en SO ₂	19
4.1.2.3. Concentrations en NO ₂	20
4.2. Evaluation du transfert de l'air extérieur vers l'intérieur	21
4.2.1. Concentrations en PM10	21
4.2.2. Concentrations en SO ₂	23
4.2.3. Concentrations en NO ₂	24
4.2.4. Concentrations en CO ₂	25
4.2.5. Situation de l'école Paul Bert.....	25
4.2.6. Situation de l'école Ernest Renan.....	27



4.3. Résultat pour la campagne de mesures initiale	30
5. Phase 2 : Accompagnement après la mesure pour le maintien d'une qualité de l'air	31
5.1. Recommandations comportementales	32
5.2. Recommandations techniques (personnels techniques et agents d'entretien).....	33
5.3. La mise en œuvre des recommandations.....	35
5.3.1. Recommandations comportementales	35
5.3.2. Recommandations techniques	35
6. Phase 3: Mesure de contrôle	36
<i>La campagne de contrôle fait suite à la phase d'accompagnement, le personnel scolaire a été sensibilisé à la qualité de l'air, comme présenté dans le chapitre précédent, le jour de l'installation des appareils de mesure.....</i>	
6.1. Evaluation de la qualité de l'air extérieur.....	36
6.1.1. Paramètres météorologiques.....	36
6.1.1.1. Roses des vents	36
6.1.1.2. Température extérieure	36
6.1.2. Qualité de l'air extérieur.....	37
6.1.2.1. Concentrations en PM10	37
6.1.2.2. Concentrations en SO ₂	38
6.1.2.3. Concentrations en NO ₂	38
6.2. Evaluation du transfert de l'air extérieur vers l'intérieur	39
6.2.1. Concentrations en PM10	39
Ecole Paul Bert.....	39
Ecole Ernest Renan	40
6.2.2. Concentrations en SO ₂	40
6.2.3. Concentrations en NO ₂	41
6.2.4. Concentrations en CO ₂	41
Ecole Paul Bert.....	41
Ecole Ernest Renan	42
6.3. Résultat pour la campagne de contrôle.....	43
7. Bilan et valorisation du projet.....	44
7.1. Elaboration des fiches réflexes	44
7.2. Synthèse et capitalisation du projet.....	44
7.2.1. Sur le plan organisationnel et partenarial	44
7.2.2. Sur le plan technique	45
7.2.3. Sur le plan financier	45
8. Perspectives	46
Index des tableaux et figures	47
Sigles et acronymes.....	49
ANNEXES	50

RÉSUMÉ

L'amélioration de la qualité de l'air intérieur et extérieur nécessite une approche transversale et la mobilisation de multiples ressources. Les collectivités détiennent du fait de leurs compétences (dans les domaines notamment de la mobilité, l'urbanisme, le développement économique, l'habitat, etc.) des leviers d'actions efficaces pour agir dans les territoires et constituent des acteurs incontournables dans la mise en œuvre de politiques visant à l'atteinte de cet objectif. Les collectivités peuvent également faire preuve d'exemplarité concernant la qualité de l'air intérieur, en termes de mobilité ou dans la gestion des bâtiments par exemple.

La ville de Saint-Nazaire fait partie de la zone du Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) de Nantes – Saint-Nazaire où les valeurs réglementaires (seuil d'information pour les poussières) peuvent être dépassées. Par ailleurs, des études réalisées par Air Pays de la Loire en 2002-2003 puis 2011-2012 au niveau de quartiers résidentiels proches (Méan Penhoët, par exemple) de la zone industrialo-portuaire ont montré une influence des opérations de déchargements de céréales sur les concentrations en particules. Par ailleurs, une étude récente, en 2017, a montré la présence de chrome au sein de ce même quartier.

La ville de Saint-Nazaire, lauréat de l'appel à projet AACT'AIR édition 2016, a initié une étude d'évaluation de la qualité de l'air intérieur dans deux établissements scolaires, situés en proximité de la zone industrialo-portuaire et du trafic routier où la qualité de l'air extérieur est potentiellement dégradée. Cette évaluation a permis de proposer puis de mettre en œuvre des bonnes pratiques et des actions de sensibilisation afin de maintenir une qualité de l'air intérieur acceptable dans les écoles étudiées.

Le projet TRANSFAIR a permis de :

- Qualifier la pollution extérieure représentative d'un milieu urbain avec des influences ponctuelles de l'activité industrialo-portuaire ;*
- Mettre en évidence un transfert de dioxyde d'azote (NO₂), ponctuel et faible, de l'air extérieur vers l'air intérieur au sein des écoles et d'identifier un enjeu sur le confinement des salles de classe ;*
- Formuler des recommandations techniques et comportementales pour la gestion de la qualité de l'air intérieur ;*
- Réaliser des fiches réflexes transposables à d'autres établissements scolaires du territoire concernés par des situations dégradées de la qualité de l'air ;*
- Capitaliser sur les facteurs clés de réussite pour favoriser ensuite la répliquabilité du projet dans d'autres territoires.*

ABSTRACT

Improving the indoor and ambient air quality requires a transversal approach and the mobilization of multiple resources. Because of their skills (in the areas of mobility, urban planning, economic development, housing, etc.), local authorities hold effective levers of action to act in the territories and are essential players in the implementation of policies aimed at achieving this objective. They can also set an example in terms of indoor air quality, in terms of mobility or in building management, for example.

The city of Saint-Nazaire is part of the Nantes - Saint-Nazaire Atmosphere Protection Plan (PPA) zone where the regulatory values (information threshold for PM10) may be exceeded. In addition, studies carried out by Air Pays de la Loire in 2002-2003 and 2011-2012 at the level of residential districts close (Méan Penhoët, for example) to the industrial-port zone have shown an influence of cereal unloading operations on particle concentrations. In addition, a recent study, in 2017, showed the presence of chromium in this same district.

The city of Saint-Nazaire, winner of the AACT'AIR call for projects 2016 edition, initiated a study to assess the indoor air quality in two schools, located near the industrial-port zone and road traffic where the ambient air quality is potentially degraded. This assessment made it possible to propose and then implement good practices and awareness-raising actions in order to maintain acceptable indoor air quality in the schools studied.

The TRANSFAIR project made it possible to :

- Qualify the outdoor pollution representative of an urban environment with occasional influences from industrial port activity ;*
- Highlight a punctual and weak transfer of nitrogen dioxide (NO₂) from outside air to inside air within schools and identify an issue in the confinement of classrooms ;*
- Formulate technical and behavioral recommendations for the management of indoor air quality ;*
- Produce reflex sheets that can be transposed to other schools in the area affected by degraded air quality situations ;*
- To capitalize on the key success factors to then promote the replicability of the project in other territories.*

1. Synthèse

1.1. Contexte

La ville de Saint-Nazaire, lauréate de l'AAP ADEME - AACT'AIR 2016, a initié une étude dans une zone où la qualité de l'air ambiant est potentiellement dégradée par la zone industrialo-portuaire et le trafic automobile dense à proximité : le quartier Méan Penhoët. Accompagnée par Air Pays de la Loire et un prestataire en diagnostic aéraluque, l'étude vise à évaluer la qualité de l'air intérieur de deux établissements scolaires de Saint-Nazaire, les écoles Ernest Renan et Paul Bert situées dans la zone concernée afin d'identifier un éventuel transfert des polluants de l'air extérieur vers l'air intérieur des établissements. Des recommandations comportementales et techniques ont été mises en œuvre en fonction des résultats afin d'améliorer la situation. Une campagne de mesure *a posteriori* a permis de mesurer les bénéfices et d'établir des fiches reflexes sur les recommandations à mettre en place dans des situations similaires.

1.2. Dispositif de mesures

Pour caractériser l'état initial, des mesures en hiver puis en été 2017 ont été effectuées dans la cour de l'école Paul Bert, ainsi que dans des salles de classe des deux écoles. Les stations de mesures permanentes d'Air Pays de la Loire, Parc Paysager et Léon Blum de Saint-Nazaire ont également été utilisées pour l'étude. Les polluants considérés sont les particules fines PM10, le dioxyde d'azote NO₂, le dioxyde de soufre SO₂, ainsi que les paramètres de confort hygrothermique (T°C, Hr) et de confinement CO₂.

Un diagnostic aéraluque a également été effectué dans les deux écoles par le prestataire Hapco.

Stations Air Pays de la Loire	Polluants mesurés (mesures horaires)
Léon Blum	PM 10 PM 2.5 NO ₂
Parc Paysager	SO ₂ NO ₂
Remorque laboratoire – Paul Bert	PM10 SO ₂ NO ₂

Ecoles instrumentées	Polluants mesurés
Ernest Renan	DIAG AÉRAULIQUE PM10 SO ₂ NO ₂ CO ₂
Paul Bert	T°C HR

Tableau 1 : Liste des polluants par site de mesures et des sites de diagnostic aéraluque

Des mesures selon le même dispositif, ont été réalisées en hiver 2019 après la mise en place de recommandations afin d'en mesurer les bénéfices.

1.3. Résultats

Les recommandations formulées ont porté sur des actions techniques et comportementales, faute de moyens financiers disponibles, seuls les recommandations comportementales ont pu être réalisées.

Les différentes mesures effectuées lors des différentes campagnes ont permis d'établir un bilan de la qualité de l'air ambiant au cœur du quartier Méan Penhoët, notamment au sein de la cour de l'école Paul Bert afin de caractériser la qualité de l'air et d'identifier une éventuelle influence des activités économiques et industrielles à proximité.

Concernant la qualité de l'air ambiant :

- des concentrations en polluants (PM, NO₂, SO₂) au niveau de la cour de l'école Paul Bert située à proximité de la zone industrialo-portuaire comparable à celles mesurées à Saint-Nazaire en milieu urbain (Parc Paysager et Léon Blum).
- l'influence de la zone industrialo-portuaire et la proximité automobile sont toutefois identifiés ponctuellement au sein de l'école Paul Bert.



Concernant le transfert de l'air extérieur vers l'intérieur des salles de classe :

- les mesures effectuées mettent en évidence un transfert ponctuel de la pollution en NO₂ de l'extérieur vers l'intérieur des écoles. Les sources suspectées seraient liées à la zone industrialo-portuaire et à la proximité du trafic automobile.
- le transfert de pollution étant ponctuel et sans atteindre des niveaux importants, il est privilégié de traiter le confinement des écoles et l'identification des sources internes de polluants.

Au regard des résultats, malgré la proximité de la zone industrialo-portuaire, l'air intérieur des salles de classe est plus pollué que l'air extérieur (notamment en PM₁₀ et CO₂). L'accent a été mis sur l'aération et le renouvellement d'air.

1.4. Replicabilité

Six fiches réflexes, co-construites entre Air Pays de la Loire et la ville de Saint Nazaire, ont été réalisées pour permettre le déploiement d'actions pertinentes sur un territoire présentant des caractéristiques de qualité de l'air proches ou similaires (avec dégradation ponctuelle de la qualité). Les fiches portent sur les thématiques suivantes :

- La qualité de l'air c'est quoi? ;
- Les bons comportements ;
- Choisir la bonne installation ;
- Choisir les bons matériaux ;
- Bien entretenir son établissement ;
- En cas de pics de pollution extérieur.

1.5. Perspectives

Le projet de caractérisation transfert de pollution de l'extérieur vers l'intérieur dans les établissements scolaires du quartier Méan Penhoet a permis d'identifier des facteurs clés de réussite pour la replicabilité du projet ; notamment en envisageant un projet de plus grande envergure impliquant plus fortement les équipes pédagogiques et l'ensemble des acteurs des établissements scolaires. La prévision d'un budget pour d'éventuels travaux est également mise en avant.

2. Contexte

La qualité de l'air extérieur en France s'est améliorée ces dernières années, mais de façon inégale selon les polluants. Parmi les indicateurs de pollution suivis en permanence par les organismes agréés de surveillance de la qualité de l'air, sur la période 2000-2019, les concentrations en dioxyde de soufre diminuent fortement, celles en dioxyde d'azote et en particules PM10 baissent légèrement. La situation n'est pas encore satisfaisante, notamment pour ces derniers indicateurs pour lesquels on constate un dépassement des valeurs limites fixées par la directive européenne 2008/50/CE.

En milieu urbain sont concentrés, les niveaux de pollution les plus forts associés aux densités de population les plus élevées : présence d'un fort trafic routier, chauffage domestique et tertiaire, brulage de déchets verts, le cas échéant proximité de zones industrielles... Les Plans de Protection de l'Atmosphère (PPA) sont un des outils de réponse déployés en particulier dans les zones de dépassement des valeurs limites ou de population importante. Les acteurs (Etat, collectivités locales, industriels, associations...) participent ainsi à la mise en œuvre de stratégies pour agir contre la pollution atmosphérique. Le maintien d'une bonne qualité de l'air extérieur en zone de pollution spécifique (PPA, proximité axe routier à fort trafic, zones économiques à activités polluantes...) est un objectif à atteindre.

Ces polluants émis à l'extérieur peuvent pénétrer à l'intérieur des locaux par le système de ventilation et par infiltration (fenêtres, portes, cheminées, etc.). L'état de l'art scientifique sur le transfert de pollution est faible, hormis des études du CSTB qui mentionnent et caractérisent les coefficients de transfert de la pollution extérieure vers l'intérieur et vice versa. Toutefois, aucun guide n'existe pour aider les gestionnaires d'établissements à maintenir une qualité de l'air intérieur satisfaisante lors de situations extérieures dégradées.

Les objectifs du 3^{ème} PNSE sont ambitieux et nécessitent de développer une vision globale de l'exposition de la population aux différents types de pollution. L'intérêt croissant de mieux connaître l'impact des pollutions spécifiques, comme l'atteste le Plan National Qualité de l'Air Intérieur¹, nécessite la prise en compte des interactions air intérieur/air extérieur pour déterminer l'exposition de la population dans un bâtiment donné. Cette notion d'exposome à l'échelle nationale et dans ce projet à l'échelle de la collectivité a pour objet la prévention générale et collective de la population. Or, dans le domaine de la santé, et notamment celui de la qualité de l'air, l'approche prédictive se montre encore hésitante. Le décret n°2011-1728 du 2 décembre 2011 de surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant des enfants témoigne de la prise en compte de l'approche curative, jusqu'ici privilégiée par la mesure, le contrôle. Notons que le décret n°2015-1000 du 17 août 2015 replace, par la mise en œuvre de bonnes pratiques, l'approche préventive du risque sanitaire au cœur de la démarche.

De ce constat, l'enjeu du projet consiste ici à coupler deux axes : évaluation de la qualité de l'air intérieur au sein d'une zone sensible en termes de qualité de l'air extérieur et mise en œuvre de bonnes pratiques, d'actions de sensibilisation et de remédiations si nécessaire.

La ville de Saint Nazaire est le territoire d'application de ce projet. La collectivité fait partie de la zone du Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) de Nantes – Saint-Nazaire où certaines normes de qualité de l'air y sont dépassées, notamment pour le dioxyde d'azote et les particules fines :

- selon les études de modélisation réalisées par Air Pays de la Loire depuis 2011, environ 2 % de la population résidente de l'agglomération nazairienne est exposée à un dépassement de la valeur limite annuelle de 40 µg/m3 pour le dioxyde d'azote ;
- ce territoire fait l'objet de dépassements récurrents des seuils d'information (10 à 30 jours par an depuis 2012) et d'alerte (0 à 2 jours par an) pour les particules PM10.

Des études réalisées par Air Pays de la Loire en 2002-2003 puis 2011-2012 sur les quartiers résidentiels proches de la zone industrialo-portuaire (Penhoët, par exemple) ont montré une influence des opérations de déchargements de céréales sur les concentrations en particules.

La ville de Saint Nazaire a souhaité expérimenter au sein de deux établissements scolaires une évaluation de la qualité de l'air et du transfert des polluants atmosphériques réglementés vers l'environnement intérieur.

2.1. Description de la zone étudiée

Le choix des deux établissements scolaires investigués prend en compte l'influence potentielle de sources extérieures pouvant ponctuellement dégrader la qualité de l'air extérieure dans leur environnement.

2.1.1. Etablissements scolaires investigués

Deux écoles élémentaires du quartier Méan Penhoët de Saint-Nazaire ont été instrumentées : l'école Ernest Renan et l'école Paul Bert. Ces écoles ont été choisies par la ville de Saint-Nazaire en raison de leur contexte géographique (proximité zone industrialo-portuaire).



Figure 1: Présentation de l'environnement industriel à proximité des points de mesures

2.1.2. Ecole primaire Paul Bert

Le bâtiment en rez-de-chaussée est de conception ancienne en maçonnerie (construction aux alentours de 1882). Le toit est plat, en étanchéité bitume. Les derniers travaux d'ampleur sur le bâtiment ont eu lieu en 2004 (menuiseries extérieures, cloisonnements, revêtements intérieurs, chauffage, principalement).

Cette école ne bénéficie pas d'un système de ventilation mécanique contrôlée. La ventilation est naturelle et est réalisée grâce à des entrées d'air sur chaque fenêtre, avec un balayage d'air principalement de type Nord/Sud.

Notons que le bâti ne présente pas de comble disponible. Un vide technique restreint entre le plafond et la dalle du toit plat est toutefois présent.

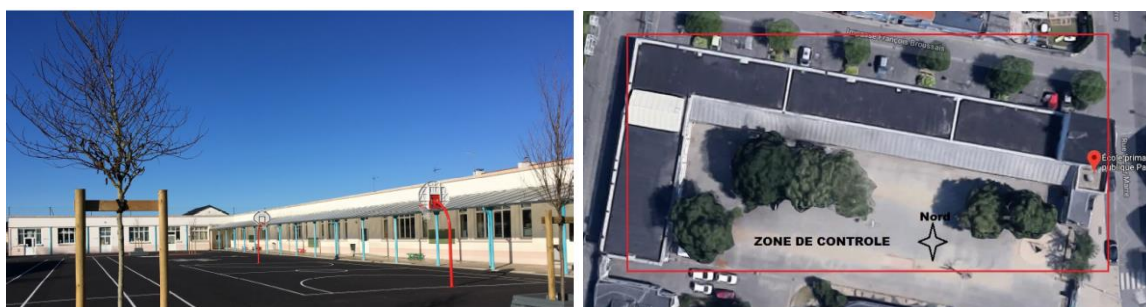


Figure 2: Photos des bâtiments de l'école Paul Bert

2.1.3. Ecole primaire Ernest Renan

Le bâtiment en rez-de-jardin est construit en pierres avec une couverture en ardoises. Implanté en U autour de la cour de l'école, le bâti a été restructuré en 2013 avec notamment le changement des huisseries et le réaménagement intérieur.

L'école bénéficie d'un système de ventilation mécanisé par un caisson d'extraction pour chaque sanitaire. Dans les salles de classe, la ventilation est naturelle et est réalisée grâce à des entrées d'air ponctuelles sur des fenêtres, avec un balayage d'air de type Est/Ouest.

Notons qu'une zone importante sous combles semble être disponible pour des équipements techniques.



Figure 3: Photos des bâtiments de l'école Ernest Renan

2.1.4. Zone industrielle

Les écoles élémentaires sont situées en zone urbaine et en périphérie de la zone portuaire et industrielle. Les activités polluantes recensées sont notamment :

- liées à la zone urbaine : combustion liée au chauffage domestique (notamment le chauffage au bois), au trafic routier ;
- liée à la zone industrialo-portuaire : chantier naval, métallurgie, traitement de surface-peinture, site chimique, transport routier poids-lourds lié aux activités industrielles, émissions des moteurs de propulsion des différents bateaux en construction ou en passage dans l'estuaire.

2.1.5. Trafic sur la zone d'étude

Trafic routier

- la rue de Trignac compte un trafic journalier moyen annuel (TMJA) d'environ 4 300 véhicules par jour en 2016 (comptage Saint-Nazaire),
- la N171 en proximité de l'échangeur compte 53 000 véhicules par jour en 2016 (données estimées à partir du comptage DIR Ouest de Montoir-de-Bretagne),
- la D213 en proximité de l'échangeur compte 31 700 véhicules par jour en 2016 (données estimées à partir du comptage au niveau du pont de Saint Nazaire).

Distance Rue de Trignac avec les écoles	30 m pour l'école Paul Bert et 100 m pour l'école Ernest Renan
Distance échangeur avec les écoles	Environ 1.5 km

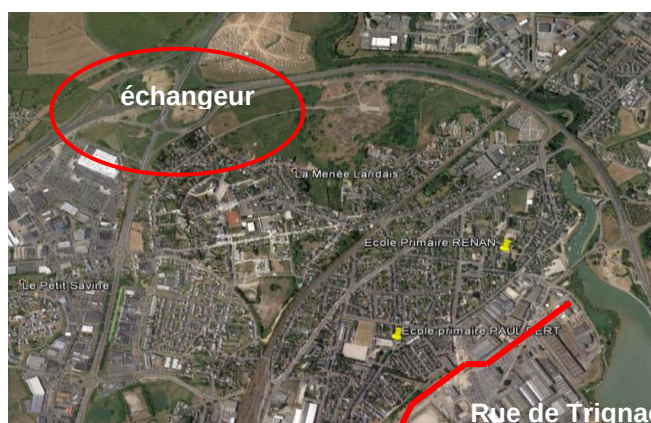


Figure 4: Identification des zones de trafic à proximité de la zone d'étude

2.1.6. Trafic maritime

En 2016, 1 787 navires (tous types confondus) sont passés par la commune de Saint-Nazaire dont 165 navires ont fait escale à Saint-Nazaire (données du Grand Port Maritime Nantes Saint-Nazaire).

3. Présentation du projet

Le projet compte 4 phases principales :

- phase 1 : évaluation de la qualité de l'air dans deux établissements scolaires et de l'air extérieure dans leur environnement ; appréciation du transfert de pollution de l'extérieur vers l'intérieur en situation dégradée (épisode de pollution, influence de sources locales de pollution...) ; diagnostic aéraulique.
- phase 2 : accompagnement après la mesure pour le maintien d'une qualité de l'air satisfaisante dans les établissements scolaires ; sensibilisation et mise en œuvre d'actions concrètes ; préconisations et mise en œuvre de solutions techniques en cas de situations particulièrement dégradées.
- phase 3 : mesures de contrôle ; vérification de l'efficacité des actions mises en œuvre dans le cadre de la phase d'accompagnement après la mesure.
- phase 4 : valorisation du projet ; production d'un outil pouvant rendre transposable le projet pour d'autres territoires.

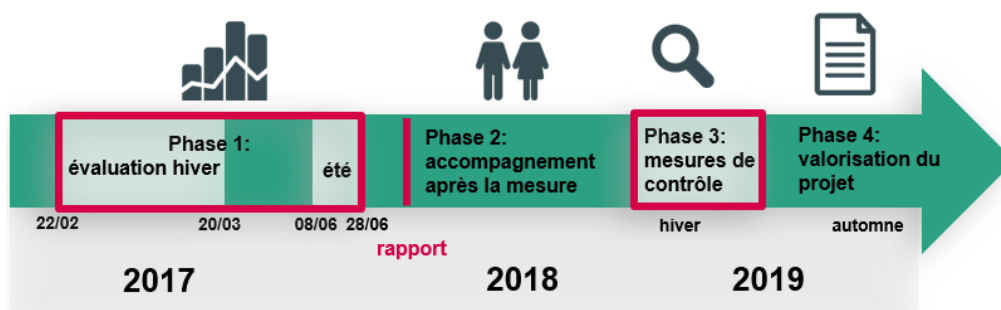


Figure 5: Planning de l'étude

3.1. Méthodologie

Les deux campagnes de mesure ont fait l'objet d'une méthode de mesure uniforme décrite ci-dessous.

3.1.1. Polluants et paramètres mesurés

En raison de la proximité routière et industrialo-portuaire, les polluants et paramètres mesurés sont les suivants :

Les particules fines PM10 et PM 2.5

En 2014, sur l'agglomération de Saint Nazaire (EPCI), les particules fines et très fines sont principalement émises par le secteur industriel (environ 40 %) et le transport (30 %).

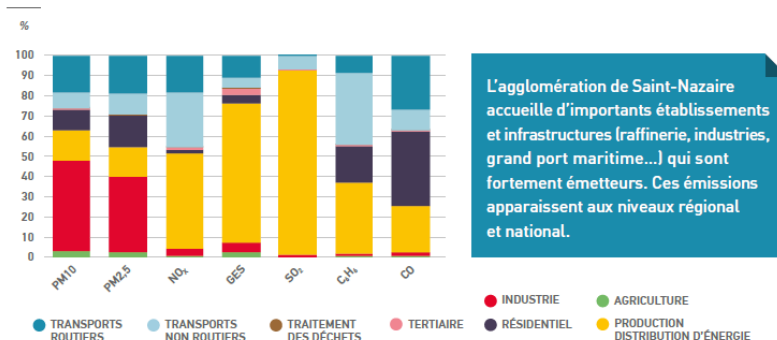
En air extérieur, elles ont été mesurées en continu au pas de temps horaire à l'aide du système TEOM FDMS selon la norme XP CEN/TS 16450. Cette technique est équivalente à la méthode gravimétrique de référence (norme CEN 12341). Elle prend en compte la fraction volatile de l'aérosol et est utilisée depuis le 1^{er} janvier 2007 par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air pour le suivi réglementaire des teneurs en poussières fines en milieu urbain.

En air intérieur, les particules ont été mesurées à l'aide d'un capteur optique e-PM-GSM. Notons que pour comparer les niveaux air extérieur / air intérieur, un capteur optique e-PM-GSM a également été disposé en air extérieur. Les résultats entre les deux appareils sont très proches, on observe un écart de 10%.

Le dioxyde d'azote

Le dioxyde d'azote (NO₂) principalement émis par le transport (60% sur l'agglomération de Saint-Nazaire²) a été mesuré en air extérieur au pas de temps horaire à l'aide d'un analyseur automatique selon la norme NF-EN14212 : 2013. En air intérieur, le NO₂ a été mesuré à l'aide de tubes passifs – tubes passam®, sur une durée hebdomadaire.

Répartition sectorielle des émissions de polluants de l'agglomération de Saint-Nazaire
En 2014



Le dioxyde de soufre

Le dioxyde de soufre émis sur l'agglomération de Saint-Nazaire provient notamment de la raffinerie Total (63%), des transports non routiers, comptant les transports maritimes, ferroviaires, aériens et fluviaux (33%) et routiers ainsi que de l'industrie (3 %). Les concentrations en SO₂ sont mesurées en air extérieur et en air intérieur au pas de temps horaire à l'aide d'un analyseur automatique conformément à la norme EN 14212.

Les paramètres de confort hygrothermique et de confinement

La température, l'humidité relative et le dioxyde de carbone permettent de situer le confort hygrothermique et de qualifier le renouvellement d'air des locaux. Le suivi des paramètres hygrothermiques et du confinement a été réalisé grâce à un appareil Q-track programmé selon un pas de temps de 10 minutes.

3.1.2. Dispositif de mesure

Pour quantifier et mettre en perspective l'influence de la pollution extérieure sur la qualité de l'air intérieur des deux établissements scolaires, des mesures en air extérieur ont été réalisées à proximité des deux écoles, et à Saint-Nazaire, en milieu urbain non influencé pour comparaison (stations urbaines permanentes Parc Paysager et Léon Blum).

Des mesures d'air extérieur :

Les mesures d'air extérieur ont été réalisées sur plusieurs sites :

- au niveau de la cour de l'école Paul Bert à l'aide d'une remorque laboratoire, où ont été mesurés les polluants suivants : PM10, SO₂ et NO₂.
- au sein des deux stations permanentes d'Air Pays de la Loire à Saint-Nazaire: Léon Blum et Parc Paysager.

A noter que les résultats sont comparés avec les stations permanentes du dispositif de surveillance réglementaire d'Air Pays de la Loire, où les mêmes technologies de mesures sont mises en œuvre.

Il existe trois types de stations de mesures :

- station de fond : mesurant la pollution de fond sans flécher une source particulière ;
- station trafic : mesurant la pollution liée au trafic routier, localisée à proximité d'un axe routier majeur ;
- station industrielle : localisée à proximité d'un site industriel et mesurant les polluants rejetés par l'industrie.

²Inventaire des émissions de gaz à effet de serre et de polluants BASEMIS® 2008-2014 - Air Pays de la Loire

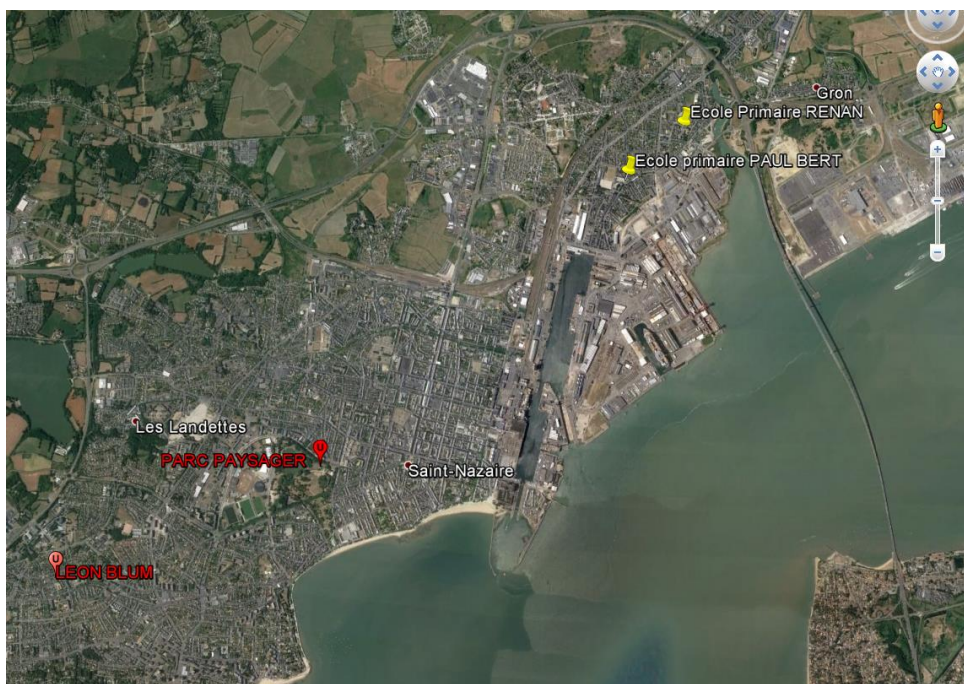


Figure 6: Identification de la localisation des sites de mesure

Les polluants suivants ont ainsi été mesurés :

Stations Air Pays de la Loire	Polluants mesurés (mesures horaires)
Léon Blum (station de fond)	PM 10 PM 2.5 NO ₂
Parc Paysager (station de fond)	SO ₂ NO ₂
Remorque laboratoire – Paul Bert (mis en œuvre pour le projet d'étude)	PM10 SO ₂ NO ₂

Tableau 2 : Liste des polluants par site de mesures

Des mesures d'air intérieur

Les polluants et les paramètres de confort hygrothermique et de confinement ont été mesurés dans les salles de classe des écoles Ernest Renan et Paul Bert,

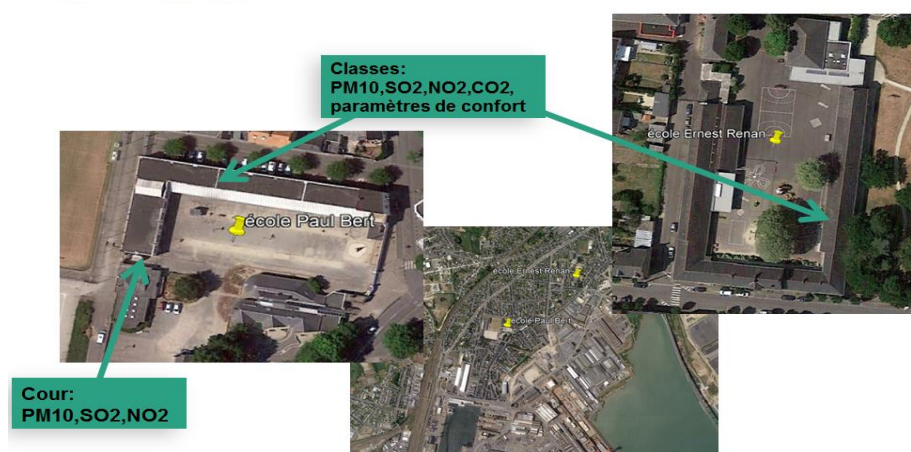


Figure 7: Illustration des polluants et paramètres par site

Les classes investiguées au sein des deux écoles sont :

- Ecole Ernest Renan : niveau CE₂ – Salle 12 : 62 m²
- Ecole Paul Bert : niveau CP – Salle 11, 52 m²

Les deux salles des deux écoles instrumentées sont localisées au RDC, traversantes donnant côté cour et côté rue, elles sont vitrées sur les deux façades.

Ces salles de classe ont été choisies par Air Pays de la Loire en raison de contraintes techniques d'installation et de limitation de bruit.

Par ailleurs, un diagnostic aéraulique a été effectué au sein de chaque école. Ce diagnostic réalisé selon la méthode Diagvent³, par le bureau d'études HAPCO permet de mieux comprendre la situation aéraulique des écoles et donc de mieux interpréter les résultats relatifs à l'évaluation de la qualité de l'air. Il constitue un état des lieux de l'installation de ventilation : mesure des débits, examen visuel de l'installation.

Ecoles instrumentées	Paramètres mesurés
Ernest Renan	DIAG AERAULIQUE PM10 SO ₂ NO ₂ CO ₂
Paul Bert	T°C HR

Tableau 3 : Listes des polluants par site de mesures au sein des écoles

³ <https://www.batiment-ventilation.fr/bonnes-pratiques-retours-dexperiences/guide-diagvent-142>



4. Phase 1: Evaluation de la qualité de l'air

L'évaluation de la qualité de l'air a porté sur les deux établissements scolaires et leur environnement. Les mesures (air extérieur/air intérieur) ont été menées en parallèle, afin d'observer l'influence de l'environnement sur la qualité de l'air intérieur des classes.

4.1. Evaluation de la qualité de l'air extérieur

4.1.1. Paramètres météorologiques

Lors des périodes instrumentées, les paramètres météorologiques étaient les suivants :

HIVER

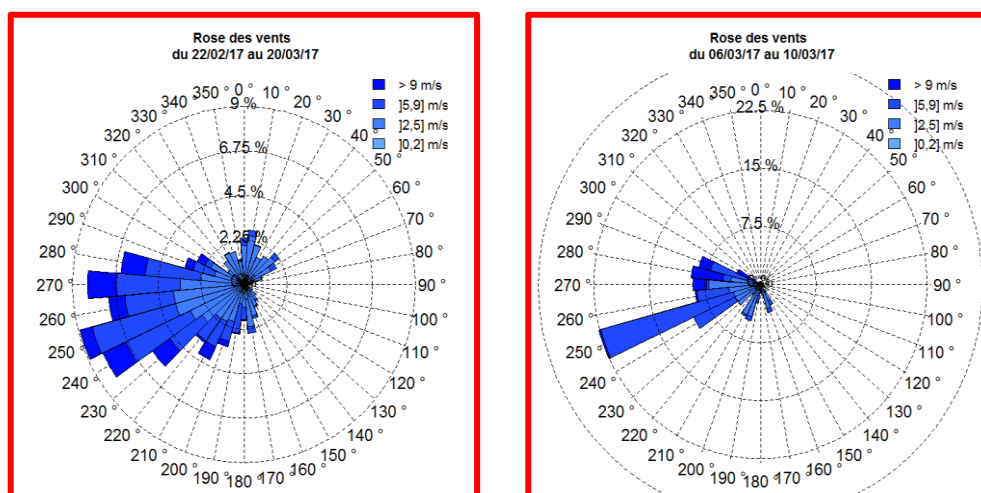


Figure 8: Roses des vents hiver

La phase de mesure hiver (du 22 février au 20 mars) s'est principalement déroulée avec des vents forts de secteur Sud-Ouest, notamment la semaine où les mesures de NO₂ en air intérieur ont été effectuées (6 au 10 mars).

Notons que cette direction de vent est favorable au balayage d'air (circulation d'air au sein de la salle de classe lié au positionnement des entrées et sorties d'air, les fenêtres étant exposées face à face des deux cotés de la salle de classe) au sein de l'école Ernest Renan et place les écoles en dehors des émissions de la zone industrialo-portuaire. Enfin, la semaine du 13 au 19 mars, les vents de secteur Nord, Nord-Est placent les établissements sous l'influence des activités industrielles des secteurs de Gron et Montoir-de-Bretagne : agroalimentaire, chimie, portuaire.

ETE

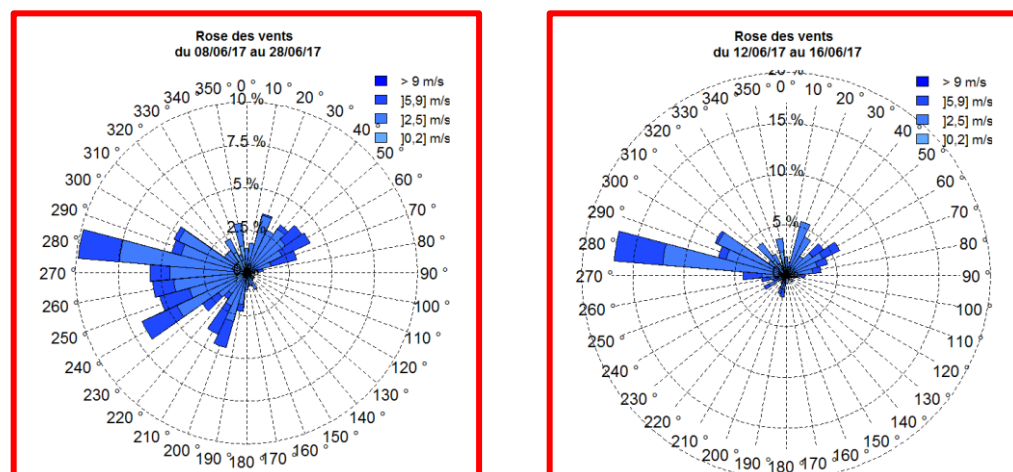


Figure 9: Roses des vents été

La phase de mesure en air extérieur (du 8 au 28 juin) et notamment la semaine d'instrumentation du NO₂ en air intérieur (du 12 au 16 juin) s'est déroulée avec des vents majoritairement de secteur Ouest et en moindre mesure de secteur Nord-Est, favorables au balayage d'air des deux écoles, du fait de l'exposition du bâtiment, et plaçant les établissements en dehors des émissions de la zone industrialo-portuaire, mais sous l'influence des zones industrielles de Gron, Montoir et Donges.

	Moyenne de la température en air extérieur (°C)	Maximum de la température en air extérieur (°C)
Phase Hiver : du 22 février au 20 mars	10,2	17,4
Phase : du 8 au 28 juin	20,3	34,2

Tableau 4 : Températures extérieures

Sur la phase hiver, la moyenne de la température mesurée reste fraîche (10,2°C), avec toutefois un maximum de 17,4°C enregistré la journée du 10 mars.

La moyenne de la température mesurée lors de l'instrumentation « été » est chaude, avec un maximum de 34,2°C enregistré le 19 juin.

4.1.2. Qualité de l'air extérieur

Campagne hiver

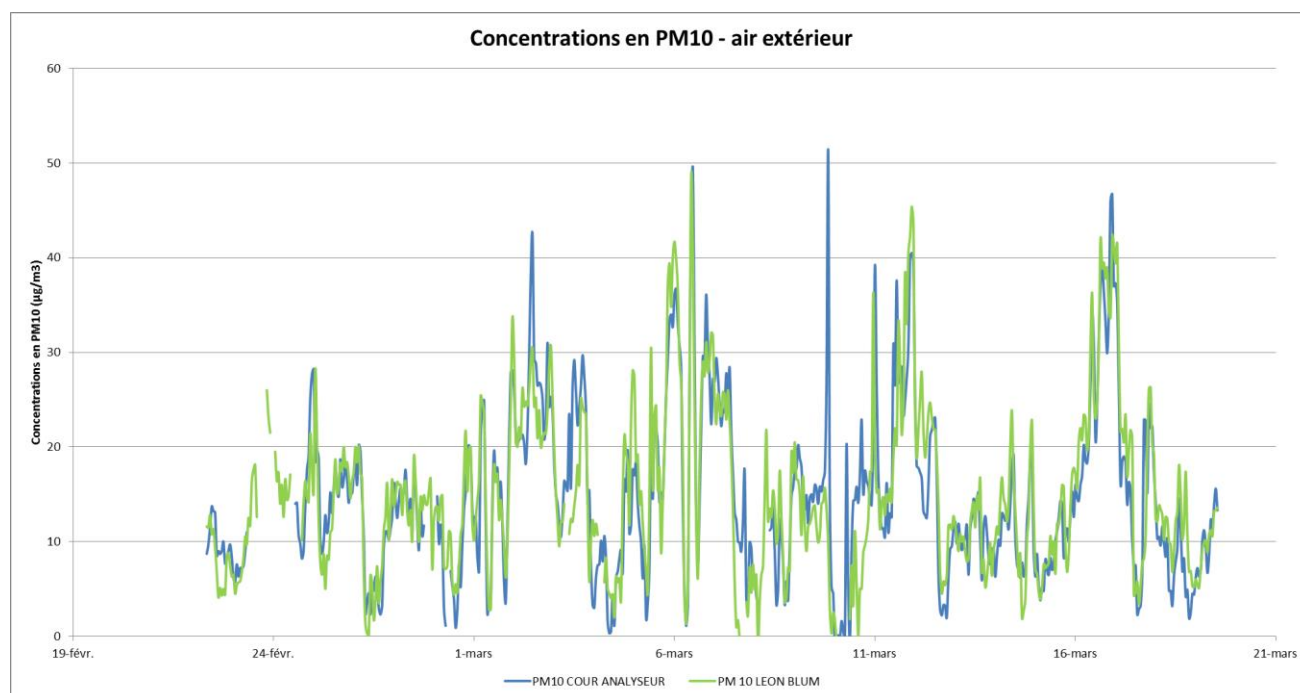


Figure 10 : Concentrations horaires en PM10 en air extérieur à proximité des écoles instrumentées- campagne hiver

Durant la première campagne du 22 février au 20 mars, le graphique ci-dessus met en évidence l'évolution des concentrations horaires en PM10 mesurées dans la cour de l'école Paul Bert et celles mesurées à la station Léon Blum. Les résultats mettent en avant des concentrations en PM10 comparables sur les deux sites et à moyenne annuelle en PM10 mesurée à cette station (15 µg/m³ en 2016). Les concentrations moyennes mesurées sur la période étant de 14,8 µg/m³ à Paul Bert et de 15,1 µg/m³ à Léon Blum.

Notons que le maximum mesuré au niveau de la cour d'école est de 51,3 µg/m³, alors que le maximum journalier mesuré au niveau de la station Léon Blum en 2016 était de 58 µg/m³. Les élévations de concentrations ne sont

pas observés au même moment, du fait de la localisation des deux stations de mesures qui ne sont pas soumises aux mêmes vents.

Quelques concentrations élevées sont toutefois observées sur le site de l'école, notamment les journées du :

- 2 mars à 10h par vent de 170°N,
- 7 mars à 18h par vent de 160°N,
- 9 mars à 20h par vent de 200°N,
- 10 mars à 7h et 16h par vent de 125°N et 200°N.

Ces pointes sont observées lorsque l'école est sous l'influence de la zone industrialo-portuaire.

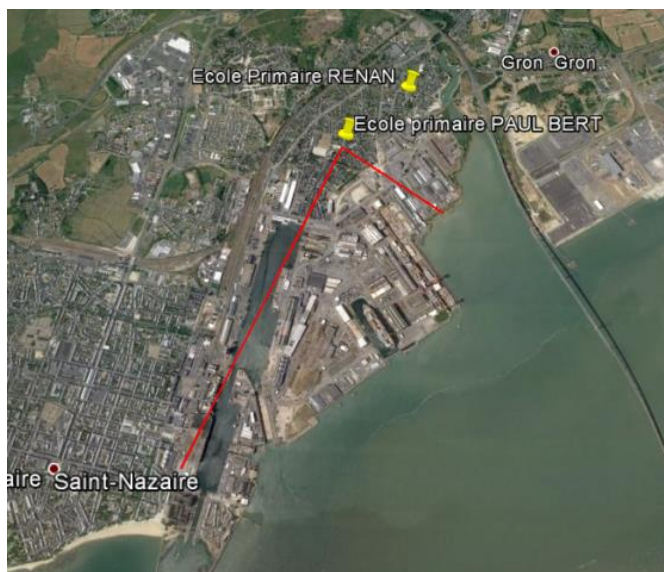


Figure 11: Direction des vents durant les élévations

Campagne été

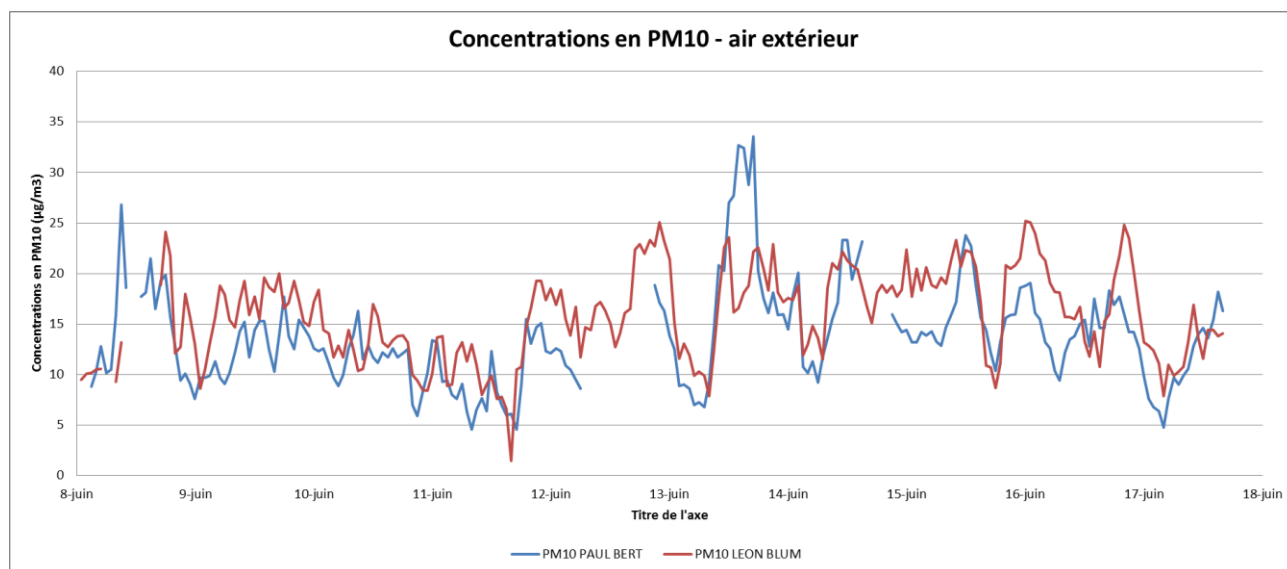


Figure 12: Concentrations horaires en PM10 en air extérieur à proximité des écoles instrumentées - campagne été

Les résultats du graphique ci-dessus indiquent des niveaux en PM10 comparables entre la cour de l'école Paul Bert et la station Léon Blum et du même ordre de grandeur que celles mesurées en hiver. Les moyennes en PM10 mesurées sur la période d'étude sont par ailleurs de 13,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans la cour de l'école et de 15,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Léon Blum. Une augmentation est toutefois constatée le 13 juin, par vent de secteur 60-70°N, soit sous les vents d'une partie de la zone industrialo-portuaire (voir carte ci-contre).

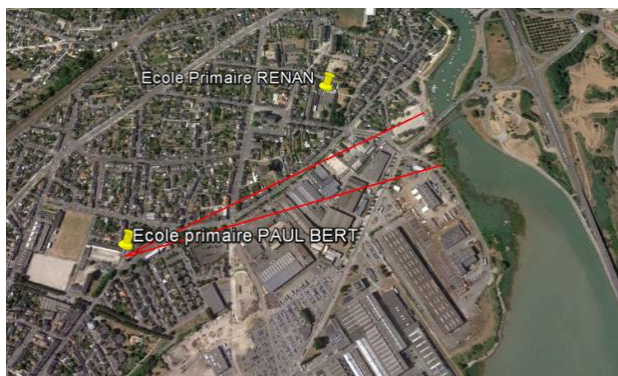


Figure 13: Direction des vents durant les élévations

Les résultats sur les deux séries de mesure indiquent des niveaux de particules PM10 sont comparables entre la courde l'école Paul Bert et le site Léon Blum, avec toutefois, une influence ponctuelle de la zone industrialo-portuaire (les 2 et 10 mars puis le 13 juin).

Campagne hiver

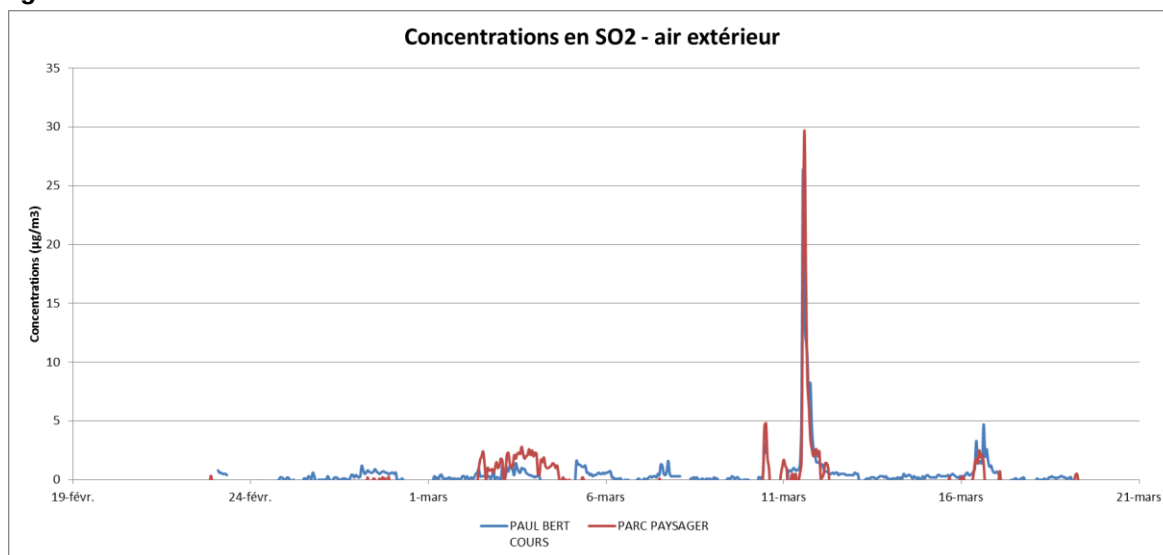


Figure 14: Concentrations horaires en SO₂ en air extérieur à proximité des écoles instrumentées - campagne hiver

Le graphique ci-dessus met en évidence l'évolution des concentrations horaires en SO₂ mesurées dans la cour de l'école Paul Bert et celles mesurées à la station Parc Paysager. Les résultats indiquent des concentrations très faibles proches des limites de détection en SO₂ et comparables sur les deux stations.

Un pic de SO₂ est enregistré le 11 mars par vent de secteur 70-80°N sur les sites de la cour d'école et à Parc Paysager. Ce pic de SO₂ est également constaté à la station Bonne Fontaine (quelques heures avant) indiquant une progression du SO₂ d'Est en Ouest. Cette augmentation de la concentration pourrait être liée aux émissions de la raffinerie Total de Donges.

Campagne été

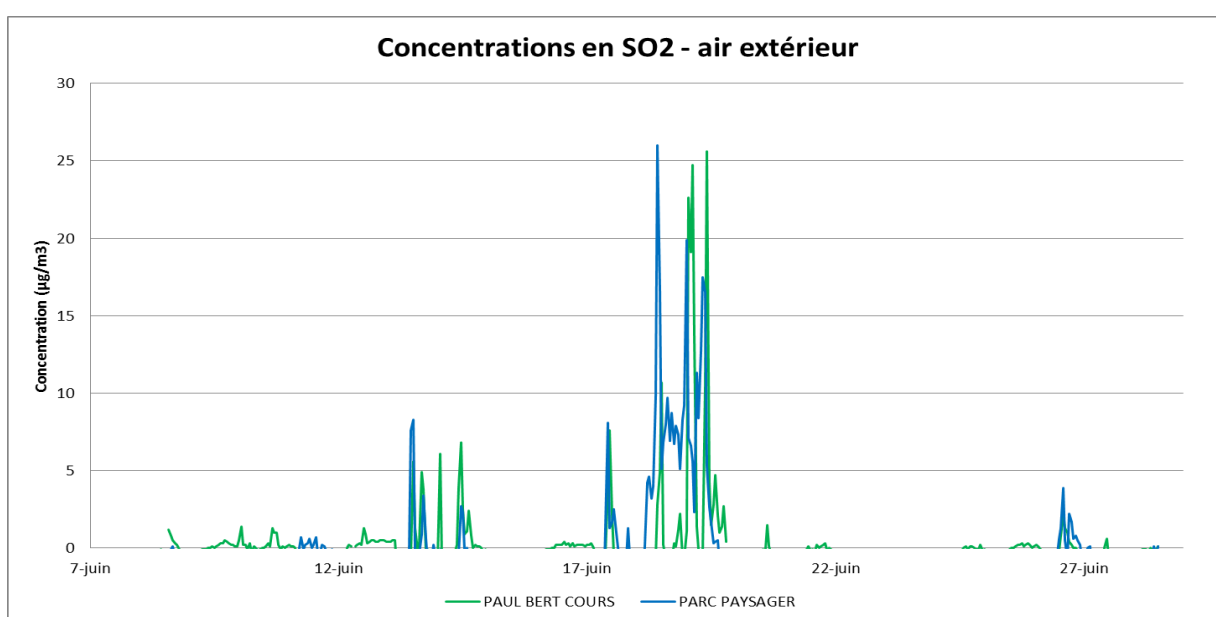


Figure 15: Concentrations horaires en SO₂ en air extérieur à proximité des écoles instrumentées - campagne été

Les résultats issus des mesures « été » mettent en évidence une évolution comparable des concentrations horaires en SO₂ sur les sites de mesure, avec une moyenne inférieure à 1µg/m³ (comparables aux niveaux habituellement mesurés à Saint-Nazaire).

Une augmentation en SO₂ est toutefois enregistrée le 19 juin sur les deux sites, par vent de secteur est, Nord-est. Cela pourrait également être liée à l'influence des émissions de la raffinerie Total de Donges.

Les résultats des deux séries de mesures ne mettent pas en évidence de pollution spécifique en SO₂ au niveau du site de l'école Paul Bert, mais témoignent de l'influence occasionnelle de la raffinerie à Saint-Nazaire.

4.1.2.3. Concentrations en NO₂

Campagne hiver

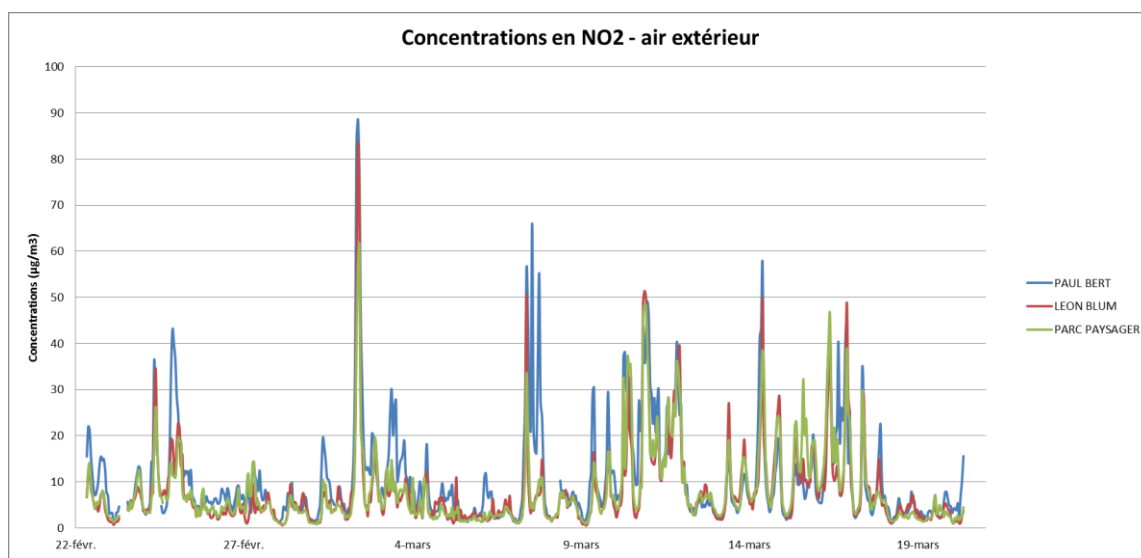


Figure 16 : Concentrations horaires en NO₂ en air extérieur à proximité des écoles instrumentées - campagne hiver

Le graphique ci-dessus met en évidence l'évolution des concentrations horaires en NO₂ mesurées dans la cour de l'école Paul Bert avec celles mesurées dans les stations Parc Paysager et Léon Blum. Les résultats indiquent des niveaux plus élevés dans la cour de l'école avec une concentration moyenne mesurée (11 µg/m³) 1,5 fois supérieure à celle des stations Blum (8 µg/m³) et Parc Paysager (8,1 µg/m³).

Campagne été

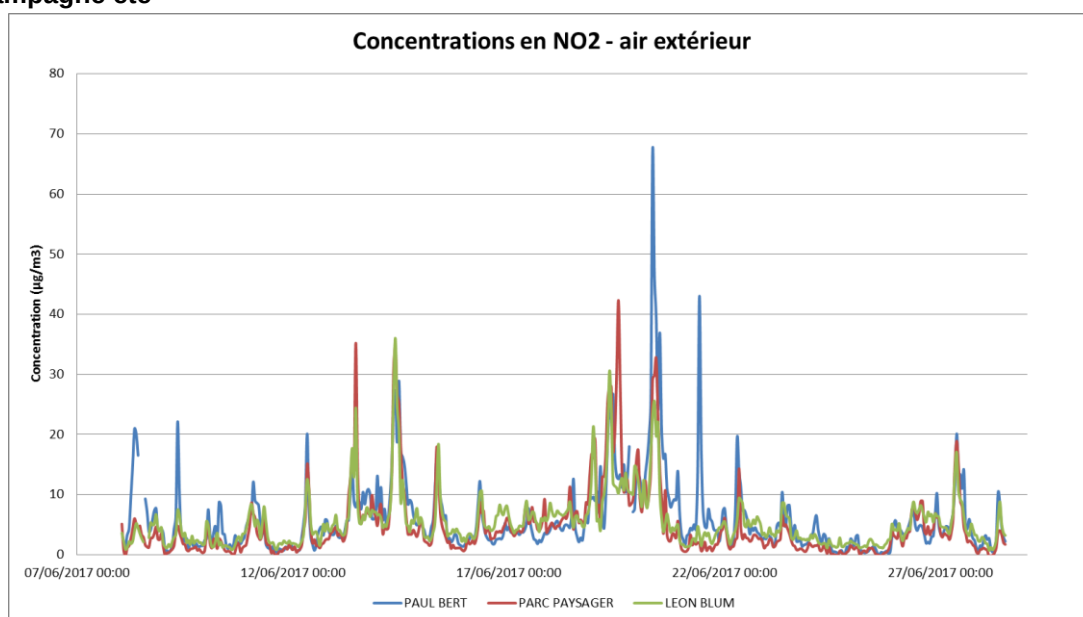


Figure 17: Concentrations horaires en NO₂ en air extérieur à proximité des écoles instrumentées - campagne été

Les mesures effectuées en été mettent en évidence une baisse significative de la concentration en NO_2 dans la cour de l'école Paul Bert, avec une moyenne mesurée de $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, contre $12,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en hiver. Les concentrations de fond (stations Blum et Parc Paysager) ont quant à elles très peu variées ($4,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Parc Paysager et $5,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Léon Blum). La baisse des concentrations en été par rapport à l'hiver s'explique par une diminution du chauffage domestique et une moindre consommation des véhicules en été pour faire « chauffer » leur moteur.

Toutefois, quelques élévations localisées sont à noter les journées des 20 et 21 juin, par vents de secteur Est et Sud. Les sources pouvant provenir de la rue de Trignac ou de la zone industrialo-portuaire.

Ces résultats suggèrent une influence du transport routier environnant de l'école Paul Bert.

Les mesures d'air extérieure de la campagne initiale ont mis en évidence :

- la qualité de l'air extérieur mesurée dans la cour de l'école Paul Bert est comparable à celle mesurée à Saint-Nazaire en milieu urbain (Parc Paysager et Blum). Notons que les stations urbaines de Saint Nazaire respectent en 2017 les niveaux réglementaires long terme pour les PM_{10} , le NO_2 et SO_2 . Pour rappel, en 2017, le département de Loire Atlantique a connu deux dépassements du seuil d'information pour les PM_{10} et un dépassement du seuil d'information sur le SO_2 .
- une influence de la zone industrialo-portuaire, de la zone industrielle de la Basse-Loire (notamment de la raffinerie Total) et du trafic routier à proximité de l'école Paul Bert sont toutefois identifiées ponctuellement selon l'orientation des vents.

4.2. Evaluation du transfert de l'air extérieur vers l'intérieur

Des campagnes de mesure ont été effectuées en 2014/2015 et en 2017 au sein des deux écoles dans le cadre de la surveillance réglementaire, décret n° 2011-1728 du 2 décembre 2011 relatif à la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public par un laboratoire accrédité COFRAC, Inovalys. Les résultats des mesures effectuées mettent en avant un renouvellement de l'air différent selon le système mis en œuvre dans les deux écoles (confinement allant de faible à élevé/très élevé selon les pièces). Par ailleurs, en 2017, des concentrations en benzène élevées (en moyen de $2,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'école Paul Bert et $2,4$ pour l'école RENAN) ont été observées en air intérieur et extérieur, suggérant l'environnement extérieur comme étant la source majoritaire de benzène dans les écoles.

4.2.1. Concentrations en PM_{10}

Campagne hiver

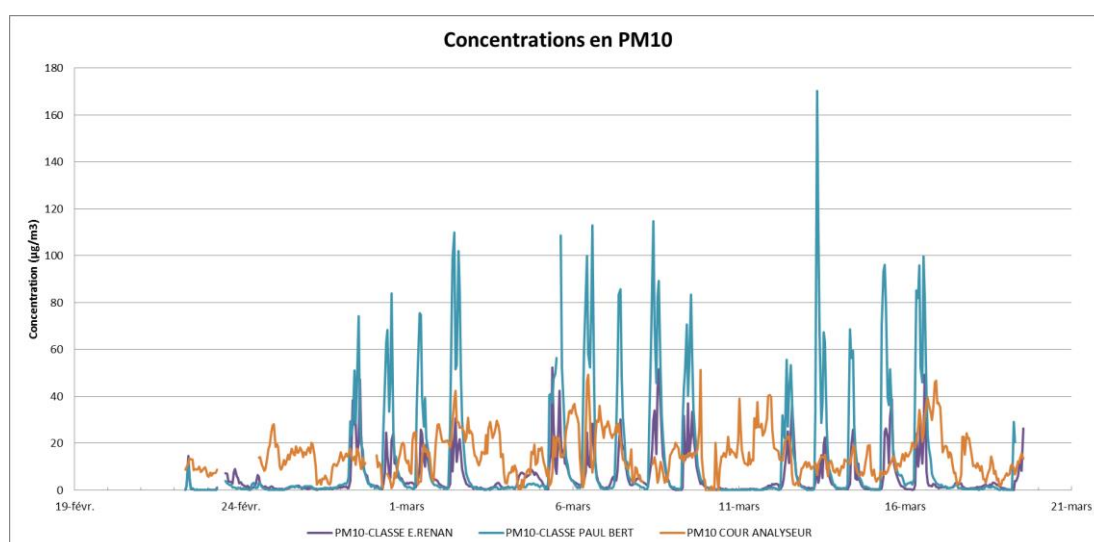


Figure 18: Concentrations horaires en PM_{10} dans les salles de classe - campagne hiver

Le graphique ci-dessus met en évidence des concentrations stables la journée en air extérieur, à la différence des concentrations mesurées en air intérieur où des élévations sont identifiées à chaque entrée des enfants dans les salles de classe. Ces résultats suggèrent l'influence de la remise en suspension des poussières intérieures aux salles de classe (vêtements, craie, etc.)

Lors des périodes d'occupation, la remise en suspension des poussières est notamment à l'origine d'un air plus pollué à l'intérieur qu'à l'extérieur. Les concentrations moyennes en PM_{10} mesurées du 22 février au 20 mars en

PM10 dans les classes Paul Bert et Ernest Renan sont respectivement de $13,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et de $5,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ces concentrations sont conformes à la valeur repère du Haut Conseil de Santé Publique, qui est de $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur 2017) et à la valeur cible de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (moyenne annuelle). Les concentrations mesurées sur 24H sont également conformes aux valeurs guides de l'OMS. Les concentrations plus élevées dans l'école Paul Bert peuvent supposer que l'usage de la craie (pour le tableau noir) soit à l'origine de cette pollution, l'école Renan disposant d'un tableau blanc.

Campagne été

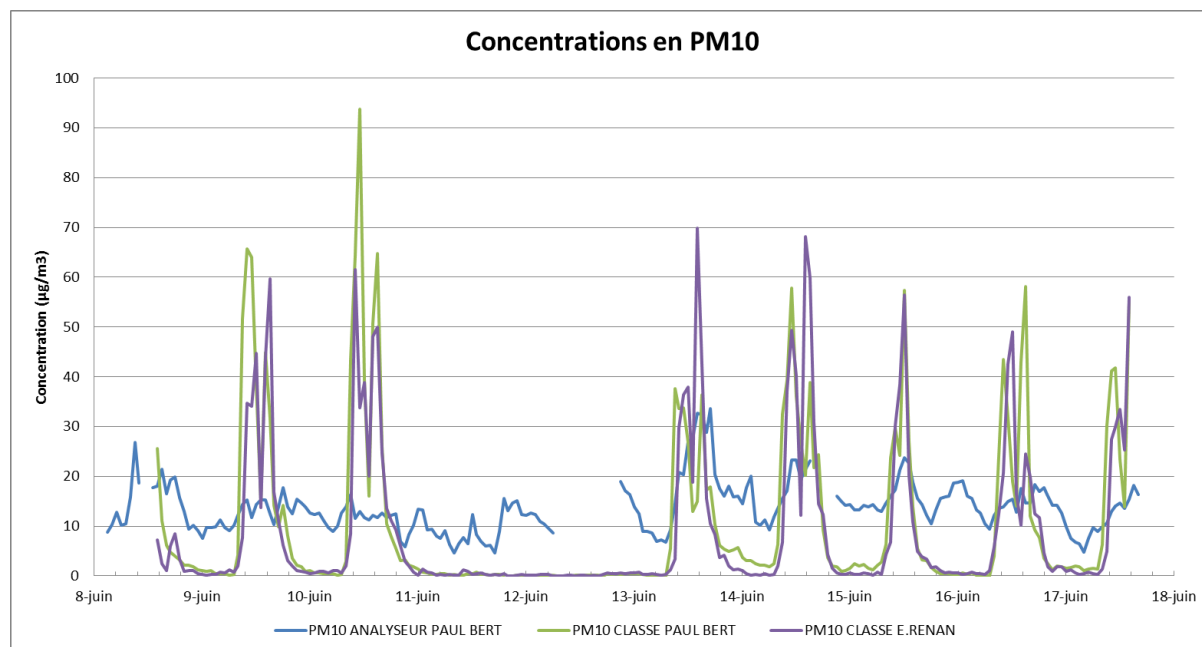


Figure 19: Concentrations horaires en PM10 dans les salles de classe - campagne été

En été, comme en hiver, les niveaux de PM10 en air intérieur semblent directement liés à l'occupation des salles de classe, avec des concentrations quasi nulles lorsque les salles sont inoccupées et la présence de pics simultanément dans les deux écoles (9h / 11h-12h / 15h). Ces résultats suggèrent la remise en suspension des poussières par les arrivées et les départs des élèves, l'ouverture des fenêtres durant la récréation permet de faire diminuer les concentrations.

Par ailleurs, l'évolution des pics semble peu synchrone avec ceux observés en air extérieur.

Les concentrations moyennes en PM10 mesurées du 8 au 28 juin en PM10 dans les classes Paul Bert et Ernest Renan sont respectivement de $10,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et de $8,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ces concentrations sont conformes à la valeur repère du Haut Conseil de Santé Publique, qui est de $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur 2017) et à la valeur cible de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (moyenne annuelle). Les concentrations mesurées sur 24H sont également conformes aux valeurs de OMS .

En période d'occupation, en été et en hiver, les concentrations atteignent ponctuellement des niveaux en PM10 élevés, suggèrent l'importance de renouveler régulièrement l'air intérieur.

4.2.2. Concentrations en SO₂

Campagne hiver

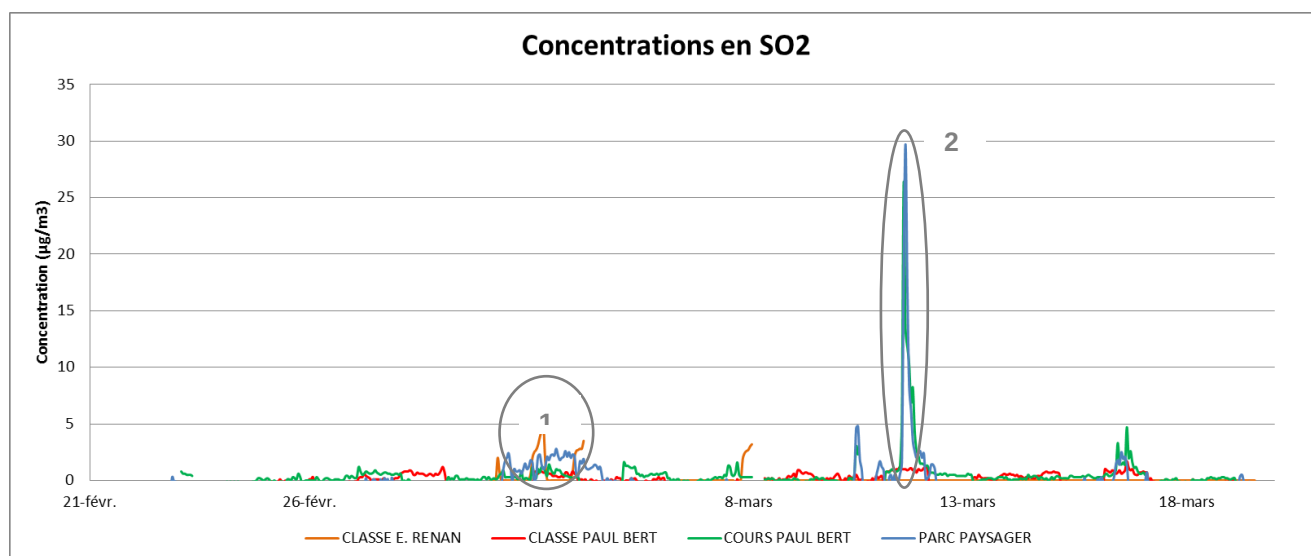


Figure 20 : Concentrations horaires en SO₂ dans les salles de classe - campagne hiver

Les 2 et 3 mars à 7 et 8 h, deux pointes de SO₂ ont été mesurées au sein des classes de l'école Ernest Renan, sans qu'elles soient visibles à l'école Paul Bert ou au niveau de la station Parc Paysager (situation 1 du graphique).

Durant ces deux moments, les vents étaient respectivement de 233°N et 146°N, correspondant potentiellement aux sources identifiées par la carte ci-contre. La zone industrio-portuaire par vent de 146°N pourrait être une source possible.

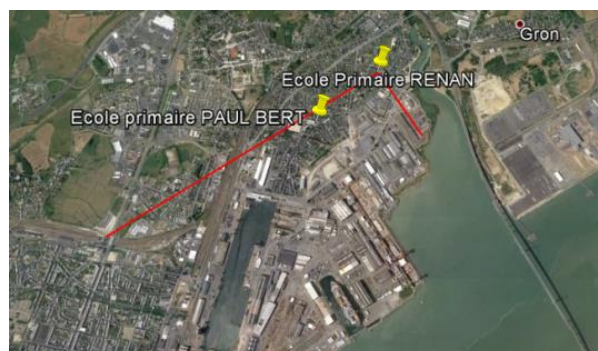


Figure 21: Direction des vents durant les élévations

Par ailleurs, le 11 mars, situation 2 du graphique, un pic de SO₂ par vent de 70-80°N a été enregistré sur les sites de la cour d'école Paul Bert et Parc Paysager, en provenance de la zone industrielle de Donges, sans élévation des concentrations dans les classes. A ce moment, l'école n'était pas occupée (samedi) et l'aération absente. Les conditions météorologiques présentaient des vents faibles (0.5 m/s), de secteur Sud-Est. La température extérieure était de 16.1°C. En raison de la faible vitesse de vent, ces conditions étaient peu favorables au balayage d'air des salles de classe par la ventilation naturelle, notamment au sein de l'école Paul Bert où le balayage est opéré en flux Nord/Sud.

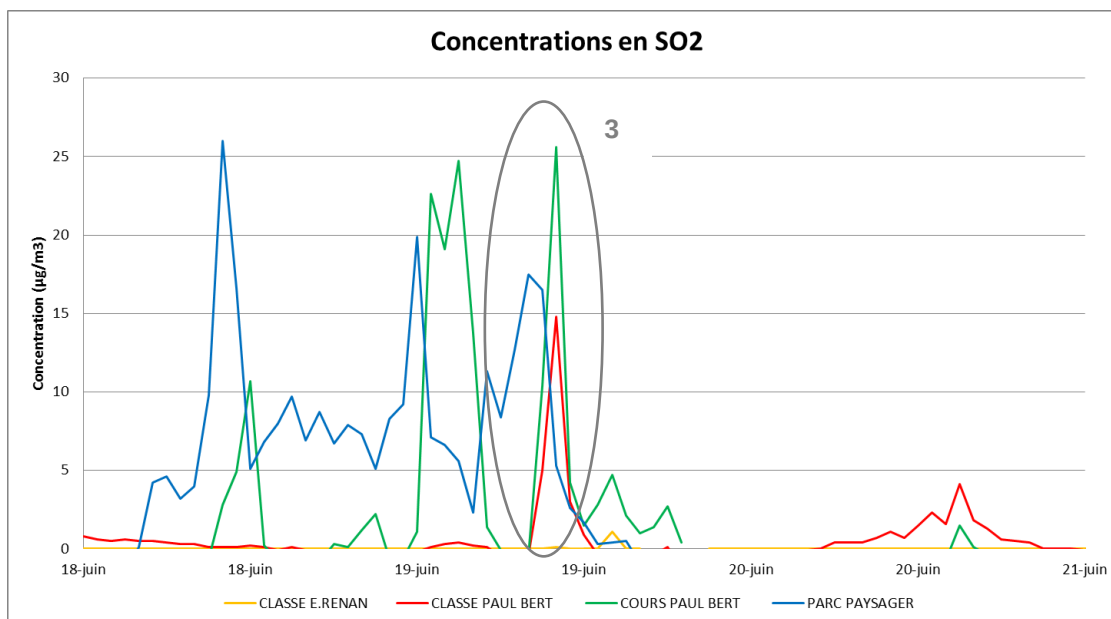


Figure 22: Concentrations horaires en SO₂ dans les salles de classe - campagne été

Enfin, un troisième pic de SO₂ a été enregistré le 19 juin (situation 3 du graphique) par vent de secteur Est Nord-Est en provenance de la zone industrielle de la Basse-Loire, simultanément dans la cour de l'école Paul Bert et dans la classe de cette même école.

Lors de cet épisode, les conditions météorologiques étaient favorables à l'aération des salles de classe, avec une température extérieure de 25°C. Bien que les vents établis (4,4 m/s) de secteur étaient favorables au balayage d'air de l'école Ernest Renan, le pic n'a pas été observé.

Notons également dans la nuit du 19 juin, un pic de SO₂ dans la cour de l'école Paul Bert par vent de secteur Est Nord-Est. A cette heure, en l'absence des enfants, l'aération n'a pas été permise, ce qui explique l'absence de pic à l'intérieur des salles de classe

Ces indications suggèrent un transfert du SO₂ par l'aération de la salle de classe.

4.2.3. Concentrations en NO₂

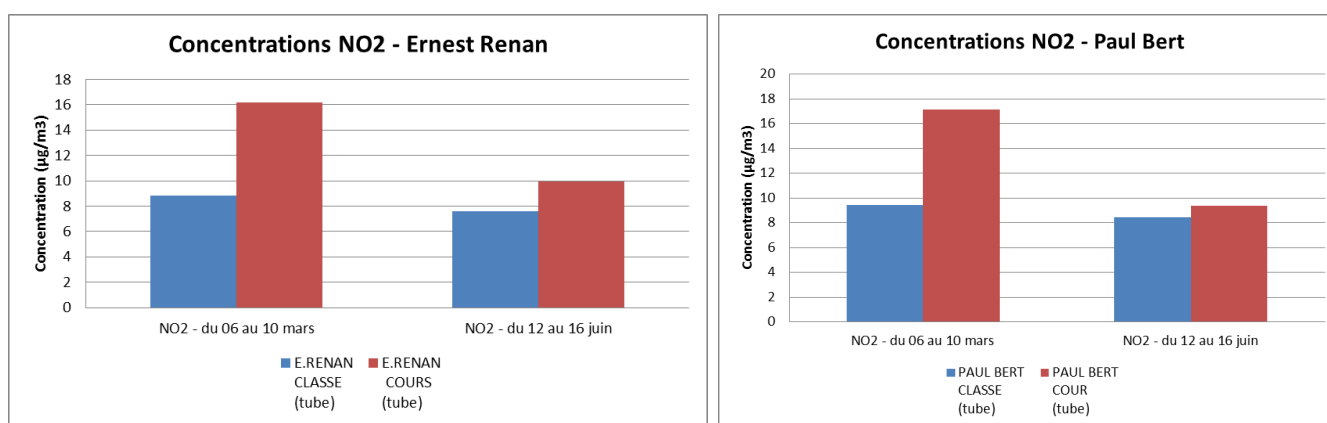


Figure 23: Concentration en NO₂ dans les salles de classe - campagne hiver et été

Les résultats mettent en évidence des concentrations en dioxyde d'azote plus élevées dans les cours des écoles que dans les salles de classe (+50 % environ) lors de la 1^{ère} phase de mesures (hiver). Une influence locale des concentrations en NO₂ est visible durant les mesures effectuées en phase 1. En été, les concentrations sont comparables à l'extérieur et l'intérieur des établissements.

Les sources potentielles à l'intérieur des salles de classe étant très limitées, (combustion rarement présente dans les établissements scolaires), la présence de NO₂ dans les salles de classe provient notamment du transfert de l'air extérieur. L'origine du NO₂ serait notamment liée à la proximité de la zone industrialo-portuaire et des routes environnantes.

4.2.4. Concentrations en CO₂

Durant la campagne 2017, les salles de classe présentaient les caractéristiques suivants :

	Ecole Paul BERT	Ecole Ernest RENAN
Nombre d'élèves	17	22
Volume de la classe	166m ³	155m ³

Tableau 5 : Tableau des caractéristiques des salles de classe

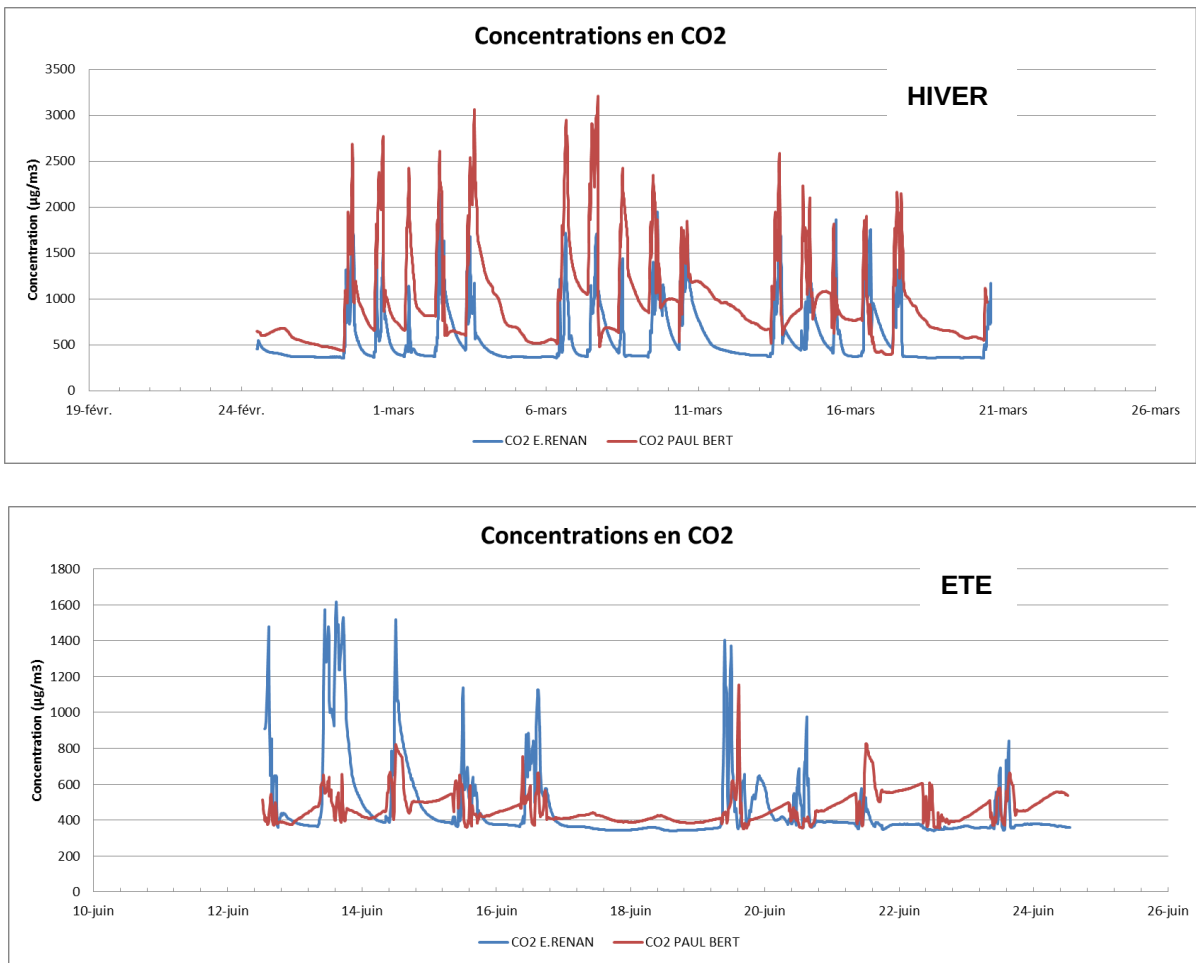


Figure 24: Concentrations en CO₂ dans les salles de classe - campagne hiver et été

Le graphique ci-dessus met en évidence des concentrations en CO₂ plus importantes au sein de l'école Paul Bert sur la première période de mesures, puis au sein de l'école Ernest Renan sur la deuxième période.

Sur la base des éléments de diagnostic fournis par le partenaire HAPCO, les éléments bâti et liés au système aéraulique des salles de classe des deux écoles permettent une interprétation des concentrations en CO₂ mesurées.

4.2.5. Situation de l'école Paul Bert

Diagnostic aéraulique Paul Bert

Le diagnostic aéraulique de l'école Paul Bert réalisé par la société HAPCO selon la méthode DIAGVENT (rapport en annexe) met en évidence un établissement scolaire composé de 3 typologies de ventilation :

- l'absence de ventilation : les sanitaires, les salles 16 et 20 (préau) ne possèdent pas de ventilation mécanique ou naturelle permettant la ventilation hygiénique de l'air intérieur. Les entrées d'air basses sont obturées sur la façade Nord et Ouest. La condamnation des ouvrants dans les sanitaires implique l'absence de renouvellement d'air. Le renouvellement d'air est limité à l'ouverture des ouvrants de la classe.
- une ventilation naturelle par entrées d'air sur deux façades. Les salles de classe 5, 8, 9, 11 et 12 disposent d'entrées d'air sur les deux façades de la classe permettant un balayage de l'air suivant la pression et le sens du vent. Notons toutefois qu'aucun entretien ne semble avoir été réalisé sur les entrées d'air installées en haut des fenêtres. Ce type de ventilation ne permet pas de garantir un taux de renouvellement d'air fiable dans le temps.
- une ventilation naturelle par entrée d'air sur une seule façade. La salle 14 et la salle de stockage 19 possèdent des entrées d'air uniquement sur la façade extérieure, ne permettant pas le balayage. Le taux de ventilation est donc moins important que dans les classes où les entrées d'air sont situées sur deux façades.

Le diagnostic réalisé confirme par ailleurs que lors de la conception du bâti, la problématique du renouvellement d'air et la qualité de l'air avait été appréhendée par l'architecte. Toutefois, les travaux d'entretien et/ou de réhabilitation qui se sont succédés ont obturé les ouvertures de la ventilation sur les sanitaires et le préau. La ventilation naturelle qui était prévue se trouve donc dégradée.

Par ailleurs, l'état des entrées d'air présentes dans l'établissement laisse penser que l'installation ne garantisse pas un renouvellement d'air suffisant.

La salle de classe instrumentée au sein de l'école Paul Bert est la classe de CP n°11. Le diagnostic aéraulique de cette salle de classe précise la présence d'une ventilation naturelle permise par des entrées d'air sur les deux façades. (cf. schéma ci-contre).

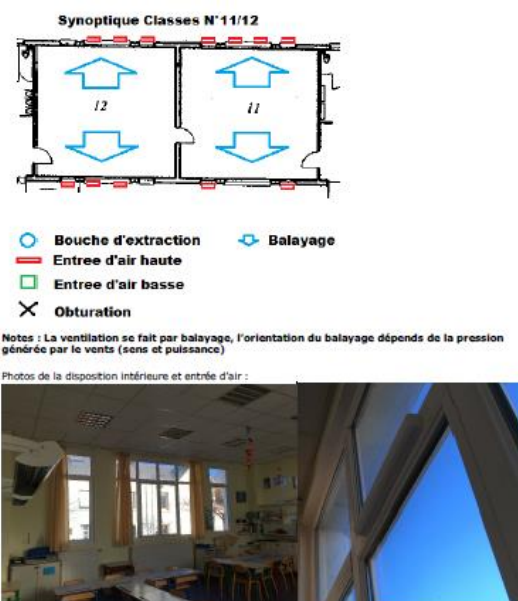
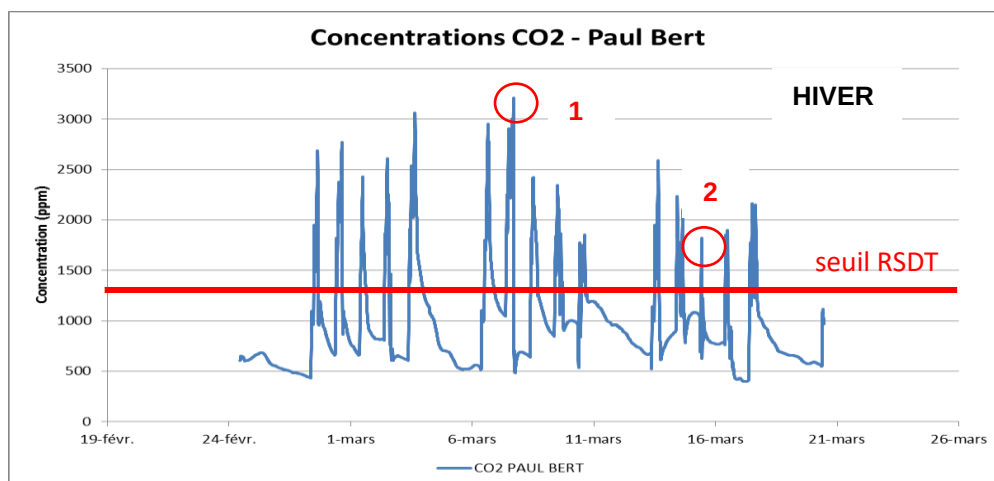


Figure 25: Illustration du système d'aération

Mesures de CO₂



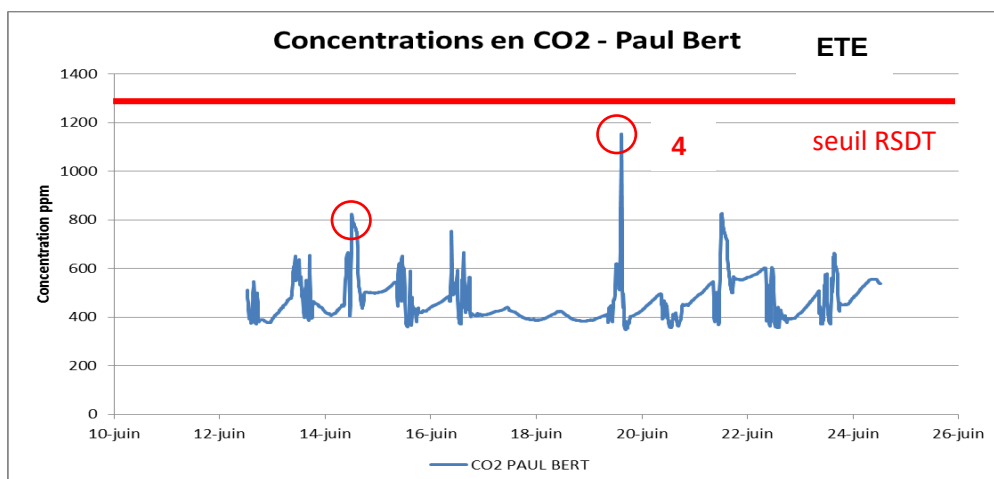


Figure 26: Concentrations de CO₂ au sein de l'école Paul Bert - campagne hiver et été

La période hivernale du 24 février au 20 mars, moins propice à l'aération quotidienne des salles de classe (confirmée par les questionnaires d'usage) met en évidence des concentrations en CO₂ élevées la journée en présence des enfants, au-delà du seuil de 1300 ppm, et pouvant atteindre plus de 3 000 ppm.

Par exemple, la journée du mardi 7 mars (situation 1 du graphique), la concentration maximale en CO₂ est atteinte avec l'enregistrement de 3 214 ppm à 16h30. Lors de cette journée, les paramètres météorologiques indiquent des vents établis (4.5 m/s) de secteur Sud-Est (150°N), favorisant peu le balayage de l'air. Des vents établis de secteur Nord ou Sud auraient été favorables.

A l'inverse, le 15 mars matin (situation 2 du graphique), des vents établis (3.9 m/s) de secteur Nord (30°N) ont soufflé sur la façade de la salle de classe favorisant le balayage d'air. Ainsi malgré la présence des enfants, la concentration en CO₂ s'est maintenue inférieure à 2000 ppm.

Sur la deuxième période de mesures, les conditions météorologiques étant plus clémentes, l'aération a été favorisée dans la salle de classe, permettant le maintien de concentrations en CO₂ faibles et inférieures au seuil de 1300 ppm (questionnaire d'usage non disponible / non rempli à cette date).

La vitesse et direction de vent sont des paramètres ayant également influencé les concentrations mesurées. Par exemple, le 16 juin matin (situation 3 du graphique), des vents établis (3.7 m/s) de secteur Nord (360°N) ont permis de maintenir une concentration inférieure à 1000 (753 ppm). A l'inverse, le 19 juin (situation 4 du graphique), des vents de secteur Est (90°N) ont soufflé et n'ont pas favorisé le balayage d'air, faisant augmenter la concentration à 1 144 ppm.

Les concentrations en dioxyde de carbone mesurées sont également traduites à travers l'indice ICONÉ calculé sur une durée d'exposition de 4.5 jours, qui permet de qualifier le confinement d'une pièce d'un établissement scolaire.

Pour la salle de classe instrumentée de l'école Paul Bert, l'indice icône calculé du 6 au 10 mars est **de 4, traduisant un confinement très élevé.**

Sur la seconde période de mesure, soit du 12 au 16 juin, **l'indice icône calculé est de 0, indiquant un confinement nul.**

Le système de ventilation de l'école Paul Bert ne permet pas d'apporter une situation de confort hygrothermique et de confinement satisfaisant du fait d'un faible renouvellement d'air, néanmoins, il limite le transfert de polluants de l'air extérieur vers l'air intérieur des salles de classe ponctuellement en période de pollution.

4.2.6. Situation de l'école Ernest Renan

Diagnostic aéraulique Ernest Renan

Le diagnostic aéraulique de l'école Ernest Renan réalisé par la société HAPCO selon la méthode DIAGVENT (rapport en annexe) met en évidence un établissement scolaire composé de 3 typologies de ventilation :

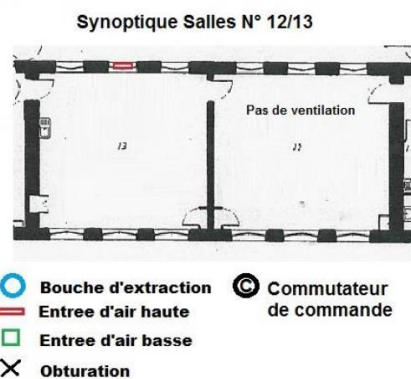
- une ventilation mécanique contrôlée traitée par un groupe d'extraction simple flux. Cette ventilation est installée dans les sanitaires. Notons que les taux de ventilation sont variables, mais peuvent être réglés par l'occupant grâce aux variateurs de vitesse qui commandent les groupes d'extraction. Les volumes extraits permettent de traiter le renouvellement d'air hygiénique.

- une ventilation permise par l'extraction des sanitaires. L'ensemble des salles de classe, hormis les 21, 24, 25 ne présentent pas de système de ventilation, mais bénéficient par leur contiguïté, de l'extraction des sanitaires assurant une dépression des sanitaires, un balayage d'air des salles de classe. Notons que ce balayage est permis par le détalonnage des portes des salles de classe.

- L'absence de ventilation, notamment dans les salles 21, 24, et 25.

Bien qu'elles soient moins encrassées qu'au sein de l'école Paul Bert, l'état des entrées d'air présentes dans l'établissement Ernest Renan laisse penser que l'installation ne garantisse pas un renouvellement d'air suffisant.

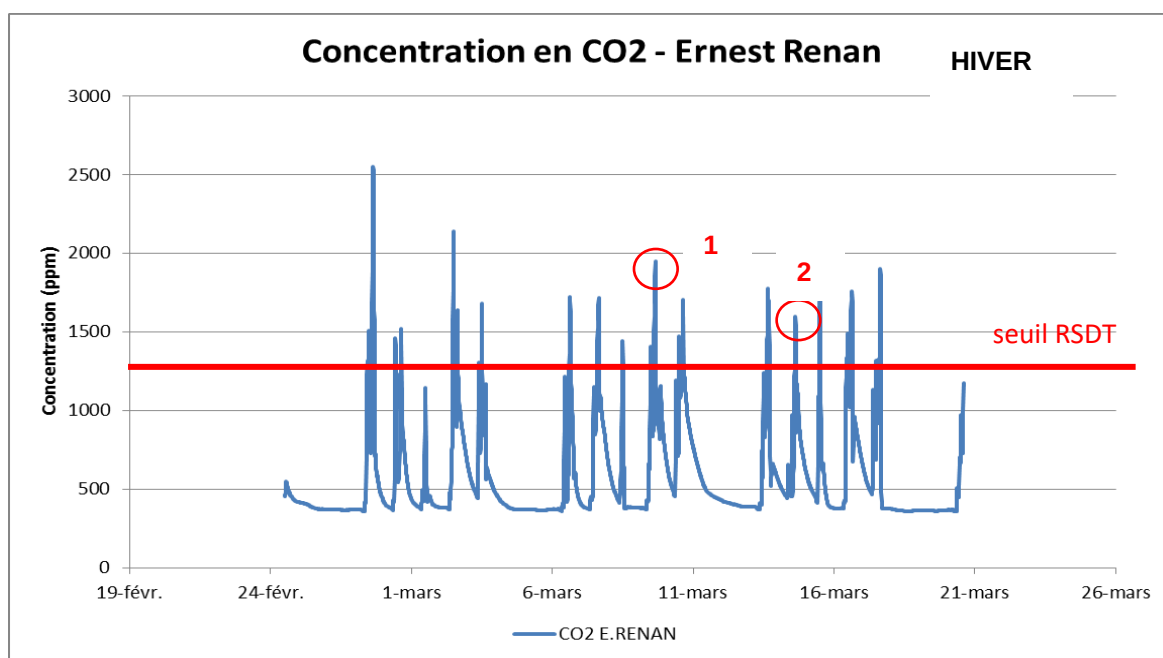
La salle de classe instrumentée au sein de l'école Ernest Renan est la classe de CE2 n°12. Le diagnostic aéraulique de cette salle de classe précise la présence d'une ventilation permise par la contiguïté des sanitaires (cf. schéma ci-contre) et l'ouverture des ouvrants.



Notes : La ventilation n'est réalisée que par une entrée d'air qui ne peut garantir un débit suffisant, la ventilation ne peut se faire que par l'ouverture des ouvrants.

A NOTER : La salle N° 12 est la salle instrumentalisée.

Mesures de CO₂



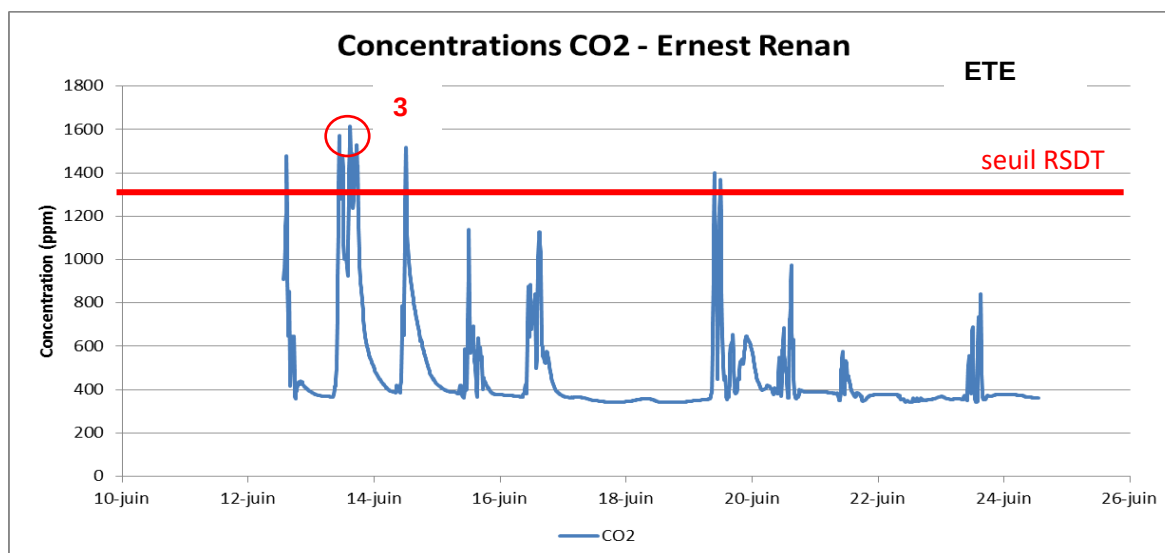


Figure 27: Concentrations de CO₂ au sein de l'école Renan - campagne hiver et été

La période hivernale du 24 février au 20 mars, moins propice à l'aération quotidienne des salles de classe (confirmée par les questionnaires d'usage) met en évidence des concentrations en CO₂ élevées la journée, notamment l'après-midi, en présence des enfants, au-delà du seuil de 1 300 ppm, et pouvant atteindre plus de 2 500 ppm.

L'extraction présente dans les sanitaires permet un renouvellement d'air plus constant et moins sensible à l'exposition des façades au vent. Cette analyse est notamment visible la journée du 9 mars après-midi (15h39) (situation 1 du graphique), où une concentration en CO₂ de 1948 ppm a été enregistrée malgré des vents établis de secteur Ouest (280°N), favorables au renouvellement d'air. A l'inverse, le 14 mars (situation 2 du graphique), par vents de secteur Nord (10°N), la concentration en CO₂ enregistrée était de 1 596 ppm à 15h09.

Sur la deuxième période de mesures, les conditions météorologiques étant plus clémentes, l'aération a été favorisée dans la salle de classe, permettant le maintien de concentrations en CO₂ faibles (non confirmé par le questionnaire d'usage).

En période d'aération, la vitesse et direction du vent ne sont pas des paramètres notables dans le renouvellement d'air. La journée du 13 juin (situation 3 du graphique) illustre cette analyse avec la présence d'un pic de CO₂ (1 615 ppm) à 14h49 malgré la présence de vents établis de secteur Est (70°N).

Les concentrations en dioxyde de carbone mesurées sont également traduites à travers l'indice ICONNE calculé sur une durée d'exposition de 4,5 jours, qui permet de qualifier le confinement d'une pièce d'un établissement scolaire.

Pour la salle de classe instrumentée de l'école Ernest Renan, l'indice icone calculé du 6 au 10 mars est **de 2, traduisant un confinement moyen.**

Sur la seconde période de mesure, soit du 12 au 16 juin, **l'indice icone calculé est de 1, indiquant un confinement faible.**

Le système de ventilation de l'école Ernest Renan permet un renouvellement d'air plus important que l'école Paul Bert. Il facilite en théorie le transfert de polluants de l'air extérieur vers l'air intérieur des salles de classe, ponctuellement en période de pollution. En pratique, les résultats précédents ne permettent pas de confirmer cette différence de transfert entre les 2 classes.

Toutefois, il permet d'apporter une situation de confort hygrothermique et de confinement plus satisfaisante la plupart du temps.

A retenir :

Les mesures en air intérieur dans les deux établissements mettent en évidence :

- un transfert ponctuel de la pollution en SO₂ et NO₂ de l'extérieur vers l'intérieur des écoles. Les sources suspectées seraient liées à la zone industrialo-portuaire et à la proximité du trafic automobile environnant.

- le système de ventilation de l'école Paul Bert limite en théorie le transfert des polluants vers l'intérieur des salles de classe, mais ne permet pas l'atteinte d'un confinement satisfaisant au quotidien. A l'inverse, celui de l'école Ernest Renan facilite en théorie le transfert des polluants vers l'intérieur, mais permet la gestion d'un confinement plus faible au quotidien.
- le transfert de pollution étant ponctuel et sans atteindre des niveaux importants, il est privilégié de traiter le confinement des écoles. Des solutions pourront être envisagées en cas d'épisode de pollution.

4.3. Résultat pour la campagne de mesures initiale

Les différentes mesures effectuées ont permis de dresser un bilan de la qualité de l'air extérieure au cœur du quartier Méan Penhoet. Les mesures de la cour et dans l'école ont permis de caractériser la qualité de l'air et d'identifier une éventuelle influence des activités économiques et industrielles à proximité.

Les résultats des mesures sont synthétisés ci-dessous.

Concernant la qualité de l'air extérieur :

- les concentrations en polluants (PM, NO₂, SO₂) au niveau de la cour de l'école Paul Bert située à proximité de la zone industrialo-portuaire, sont comparables à celles mesurées à Saint-Nazaire en milieu urbain (Parc Paysager et Léon Blum) ;
- les influences de la zone industrialo-portuaire, de la zone industrielle de la Basse-Loire (notamment de la raffinerie Total) et la proximité automobile sont identifiées ponctuellement au sein de l'école Paul Bert.

Concernant le transfert de l'air extérieur vers l'intérieur des salles de classe :

- les mesures effectuées mettent en évidence un transfert ponctuel de la pollution en SO₂ et NO₂ de l'extérieur vers l'intérieur des écoles. Les sources suspectées seraient liées à la zone industrialo-portuaire et à la proximité du trafic automobile ;
- le système de ventilation (ventilation naturelle) de l'école Paul Bert limite en théorie le transfert des polluants vers l'intérieur des salles de classe, mais ne permet pas l'atteinte d'un confinement satisfaisant au quotidien. A l'inverse, celui de l'école Ernest Renan (VMC simple flux) facilite en théorie le transfert des polluants vers l'intérieur, mais permet la gestion d'un confinement plus faible au quotidien ;
- le transfert de pollution étant ponctuel et sans atteindre des niveaux importants, il est privilégié de traiter le confinement des écoles.

Au regard des résultats, malgré la proximité de la zone industrialo-portuaire, l'air intérieur des salles de classe est plus pollué que l'air extérieur (notamment en PM₁₀) et confiné. Il est donc important de procéder à des aérations régulières en dehors des épisodes de pollution. Lors des épisodes de pollution, des solutions techniques peuvent être envisagées pour maintenir une qualité de l'air satisfaisante dans les locaux.

5. Phase 2 : Accompagnement après la mesure pour le maintien d'une qualité de l'air

Des recommandations comportementales et techniques ont été proposées à la Ville de Saint-Nazaire pour, d'une part améliorer la qualité de l'air intérieur des salles de classe au quotidien (confinement) et, en cas de pollution identifiée, limiter le transfert de l'air extérieur vers l'air intérieur.

Ces recommandations comportementales ont porté notamment sur la sensibilisation au sujet de la qualité de l'air, et les bonnes pratiques relatives à l'aération (capteur CO₂ avec leds de couleurs). Les recommandations techniques sont relatives à l'installation et au nettoyage des entrées d'air, ainsi qu'à l'installation d'équipements de ventilation performants.

Pour les prioriser, l'ensemble des recommandations ont fait l'objet d'une analyse sur deux critères : efficacité vis-à-vis du contexte et des résultats et facilité de mise en œuvre.

Peu efficace	1 point
Efficace	2 points
Très efficace	3 points

Difficile à mettre en œuvre	1 point
Moyennement difficile à mettre en œuvre	2 points
Peu difficile à mettre en œuvre	3 points

L'évaluation selon la multiplication de ces deux critères permet de classer les recommandations par priorité. Le classement final repris dans les recommandations est le suivant :

Type de recommandation	Code associé
Recommandation à court terme	
Recommandation à moyen terme	
Recommandation à long terme	

5.1. Recommandations comportementales

Proposition	Code	Ecole concernée	Avantages	Inconvénients - risques
1. Sensibiliser les personnels scolaires (enseignant, personnels techniques, périscolaire) à la qualité de l'air extérieur et intérieur Une sensibilisation des personnels scolaires à la thématique de la qualité de l'air permettra de mieux appréhender le sujet et d'adopter les bonnes pratiques en fonction de la situation. Selon les salles de classe, l'aération sera par exemple à privilégier lorsque les vents ne sont pas favorables au balayage de l'air (école Paul Bert), même en épisode de pollution.		Ecole Paul Bert Ecole Ernest Renan	• meilleure compréhension du contexte et des enjeux • démarche collective et motivante pour l'établissement • actions simples identifiables	• n'entraîne pas la mise en place d'actions concrètes systématiques
2. Aérer pendant les récréations, avant et après l'arrivée des enfants Une aération quotidienne et systématique est recommandée (2 fois 10 min), hormis aux heures de pointe et en cas de pics de pollution. L'aération est notamment importante à mettre en place au sein de l'école Paul Bert lorsque les vents ne sont pas favorables au balayage de l'air. Par expérience, nous recommandons la désignation d'un ambassadeur de l'air (élève) par salle de classe, qui est une solution efficace et valorisante.		Ecole Paul Bert Ecole Ernest Renan	• diminution rapide du confinement et des autres polluants de l'air intérieur (benzène/formaldéhyde) • émulation sur le sujet au sein de la salle de classe • motivation et valorisation de l'ambassadeur	• action basée sur le volontariat • possibilité d'entraîner un rafraîchissement de l'air intérieur – plaintes des élèves
3. Identifier le confinement des salles de classe par un appareil de mesures ludique Pour maintenir une qualité de l'air favorable, la mise à disposition d'un appareil de mesure de CO ₂ avec un affichage par led peut être proposée. L'ambassadeur de l'air pourra ainsi proposer l'aération en fonction de la couleur des leds (vert : peu confiné / orange : confinement – aération à prévoir / rouge : très confiné : aérer immédiatement).		Ecole Paul Bert Ecole Ernest Renan	• identification simple et ludique du niveau de confinement • aération aux moments pertinents	• risque d'inquiétude / angoisse des certains élèves à la vue de la led rouge • risque de devoir aérer très souvent en l'absence d'un système de ventilation efficace
4. Inscrire les directeurs d'établissement aux newsletters d'Air Pays de la Loire Air Pays de la Loire diffuse chaque jour les indices de qualité de l'air permettant de connaître la qualité de l'air extérieur à J, J+1 et J+2. En cas de pollution au NO ₂ , PM, O ₃ ou SO ₂ , une alerte par newsletter est également envoyée aux abonnés.		Ecole Paul Bert Ecole Ernest Renan	• meilleure identification des périodes de pollution extérieure • adaptation des comportements et usages au quotidien	• nécessite une adaptation quotidienne • nécessite un relais auprès des enseignants • actions basées sur l'analyse de la situation

Tableau 6 : Tableau des recommandations comportementales

5.2. Recommandations techniques (personnels techniques et agents d'entretien)

Proposition	Code	Ecole concernée	Avantages	Inconvénients - risques
1. Nettoyer et entretenir régulièrement les entrées d'air Pour garantir un renouvellement d'air suffisant et donc une section de passage suffisant de l'air, un nettoyage des entrées d'air annuel est préconisé.		Ecole Paul Bert Ecole Ernest Renan	• améliore le balayage de l'air et donc le renouvellement d'air	• ne permet pas de garantir un renouvellement d'air optimal des salles de classe
2. Installer des grilles d'entrées d'air systématiques dans les salles de classe. Certaines salles de classe ne disposent pas d'entrées d'air. Pour assurer le balayage de l'air, l'installation de grilles d'entrées d'air est nécessaire. Par ailleurs, au sein de l'école Ernest Renan, les entrées d'air sont obstruées dans les portes extérieures : il est recommandé de positionner une entrée d'air en dehors des fixations du groom.		Ecole Paul Bert Ecole Ernest Renan	• améliore le balayage de l'air et donc le renouvellement d'air	• créé des déperditions thermiques faibles • possibilité de transfert des polluants de l'air extérieur plus importante
3. Installer une ventilation dans les sanitaires Pour garantir un minimum de renouvellement d'air, l'installation d'une ventilation mécanique dans les sanitaires est recommandée. Elle permettra de rétablir la fonction essentielle, c'est-à-dire le renouvellement hygiénique. La mise en dépression des sanitaires facilitera le balayage de l'air dans les salles de classe de l'établissement.		Ecole Paul Bert	• permet la mise en dépression du bâtiment, et donc un balayage de l'air continu et régulier des salles de classe (vérifier le détalonnage des portes des salles de classe) • solution peu coûteuse	• renouvellement d'air non optimal dans les salles de classe • pas de filtration de l'air extérieur
4. Installer un système aéraulique performant au regard du contexte : VMC Double Flux décentralisée La VMC Double Flux décentralisée est un concept de ventilation à très haute efficacité avec récupération d'énergie, très peu encombrante, ne nécessitant ni local technique, ni gaines, ni faux plafond (école Paul Bert). Elle permet de traiter l'apport d'air neuf par filtration et l'extraction de l'air vicié pièce par pièce s'adaptant au besoin de chacune grâce à un asservissement par sonde CO ₂ . Le système permet de filtrer l'air neuf extérieur par des filtres particuliers (pollution aux particules PM), filtres combinés (pollution aux particules et gazeuse) ou filtres moléculaires (pollution gazeuse uniquement). Par ailleurs, ce système permet de réduire, voire couper la ventilation en cas d'épisode de pollution. Le coût moyen installé d'un système avec des caractéristiques de débits supérieurs à 500 m ³ /h est de 7 000 € HT. Suivant le type de filtration choisie, le coût du changement des filtres doit être intégré aux coûts d'exploitation du système, soit environ 250 € HT/an.		Ecole Paul Bert	• solution technique compatible avec les enjeux énergétiques du bâtiment • renouvellement d'air continu, régulier et satisfaisant • filtration de l'air extérieur • possibilité d'arrêt en cas d'épisode de pollution • traitement des pièces stratégiques (les plus fréquentées). • compatible avec des bâtiments ne disposant pas de locaux techniques, faux plafonds, etc.	• solution coûteuse à l'investissement • nécessite une maintenance régulière, dont le changement des filtres • optimisation de la qualité de l'air non généralisée à l'ensemble de l'établissement

5. Installer un système aéraulique performant au regard du contexte : VMC Double Flux centralisée L'installation d'une ventilation mécanique contrôlée double flux permettra de garantir le renouvellement et le balayage de l'air dans toutes les salles de classe, tout en traitant l'air extérieur avant son entrée dans le bâtiment. La VMC double flux centralisée est un système de traitement d'air à très haute efficacité thermique qui centralise les flux d'air entrants et sortants d'une centrale de traitement d'air (CTA). Elle est installée dans les locaux techniques en position centrale de l'établissement pour desservir l'ensemble des pièces à traiter. Les flux d'air sont canalisés par des conduits, véhiculés dans les faux plafonds. Le système permet une régulation des débits par asservissement - sonde CO₂. Le système permet de filtrer l'air neuf extérieur par des filtres particuliers (pollution aux particules PM), filtres combinés (pollution aux particules et gazeuse) ou filtres moléculaires (pollution gazeuse uniquement). Par ailleurs, ce système permet de réduire, voire couper la ventilation en cas d'épisode de pollution. Le coût d'une installation de VMC double flux centralisée varie en fonction du nombre locaux à traiter. L'économie d'échelle devient intéressante lorsqu'une dizaine de classe est traitée. Le coût installé rapporté à une classe se situe entre 3 000 et 9 000 € HT. Suivant le type de filtration choisie, la taille de la centrale de traitement d'air, le coût du changement des filtres doit être intégré aux coûts d'exploitation du système, soit entre 150 et 1 000 € HT/an.		Ecole Ernest Renan	• solution technique compatible avec les enjeux énergétiques du bâtiment • renouvellement d'air continu, régulier et satisfaisant • filtration de l'air extérieur • possibilité d'arrêt en cas d'épisode de pollution • traitement de l'ensemble du bâtiment	• solution coûteuse à l'investissement • nécessite une maintenance régulière dont le changement des filtres • nécessite des espaces techniques, faux plafonds, etc. • A envisager de la mettre en place que si l'école est rénovée dans un objectif performance énergétique et qualité de l'air.
---	---	---------------------------	--	---

Tableau 7 : Tableau des recommandations techniques

5.3. La mise en œuvre des recommandations

5.3.1. Recommandations comportementales

Des actions de sensibilisation ont été proposées par Air Pays de la Loire à la ville de Saint-Nazaire pour former les professionnels des établissements scolaires à la qualité de l'air. Cette sensibilisation visait à les acculturer sur le sujet de la qualité de l'air et dispenser des messages clés en mains. Les recommandations comportementales portent essentiellement sur le renouvellement d'air manuel par ouvertures des fenêtres.

Afin de mobiliser les établissements scolaires et particulièrement les enseignants, Air Pays de la Loire a proposé une approche pédagogique, à travers la mise à disposition dans les deux classes des établissements :

- d'appareils de mesures de confinement à LED (vert : peu confiné / orange : confinement – aération à prévoir / rouge : très confiné : aérer immédiatement);
- d'une charte « élève ambassadeur » : un élève était chargé chaque jour (et plusieurs fois par jour) de vérifier la couleur du voyant de l'instrument mesurant le confinement de la classe. En fonction de la couleur affichée (vert-orange-rouge), l'élève devait alerter l'enseignant sur la nécessité d'aérer la classe ;
- d'une fiche résumant les bons gestes à adopter pour une meilleure qualité de l'air intérieur, en classe et à la maison, disponible en annexe 2 ;
- d'une fiche présentant les appareils de mesure présents dans la classe, avec une iconographie et un vocabulaire adapté.

Ainsi les élèves deviennent acteurs de la qualité de l'air de leur classe.

Lors de la seconde campagne de mesure, Air Pays de la Loire a donc proposé ce dispositif aux deux établissements. Dans l'établissement Paul Bert, celui-ci a été particulièrement suivi et la démarche très appréciée. L'enseignant a sollicité une prolongation la période d'expérimentation sur une semaine supplémentaire auprès d'Air Pays de la Loire.

L'efficacité de cette sensibilisation/participation des enseignants et élèves est confirmée par la fiche d'activité remplie par l'enseignant, qui montre plus d'aérations régulières par ouverture des fenêtres, par rapport aux mesures réalisées en 2017.

5.3.2. Recommandations techniques

Faute de moyens prévus par la ville de Saint-Nazaire, aucun aménagement technique n'a pu être effectué dans les écoles avant la campagne de contrôle de mars 2019.



Figure 28: Illustration charte « élève ambassadeur »

6. Phase 3: Mesure de contrôle

La campagne de contrôle fait suite à la phase d'accompagnement, le personnel scolaire a été sensibilisé à la qualité de l'air, comme présenté dans le chapitre précédent, le jour de l'installation des appareils de mesure.

6.1. Evaluation de la qualité de l'air extérieur

6.1.1. Paramètres météorologiques

Les paramètres météorologiques proviennent de la station Météo France de Gron, à proximité de l'aéroport de Saint-Nazaire-Montoir. La station météo est située à 2 km et 2,5 km des écoles Renan et Paul Bert, respectivement. Compte tenu du faible relief de la région et des similarités d'occupation des sols, les données de la station météo seront considérées comme représentatives de toute la zone d'étude.

Lors des périodes de mesures, les paramètres météorologiques étaient les suivants :

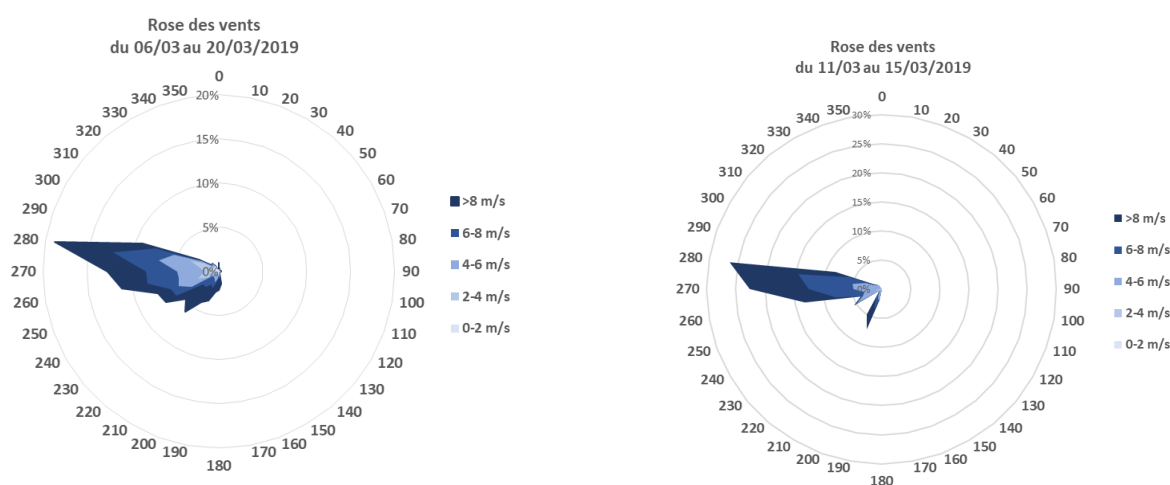


Figure 29 : Roses des vents relevés pendant les périodes de mesure

Les phases de mesure (du 6 au 20 mars) et du (11 au 15 mars) se sont déroulées sous des vents forts de secteur Ouest. Des conditions également rencontrées la semaine où les mesures de NO₂ et PM₁₀ en air intérieur ont été effectuées.

Notons que cette direction de vent est favorable au balayage d'air (circulation d'air au sein de la salle de classe liée au positionnement des entrées et sorties d'air) au sein de l'école Ernest Renan et place par ailleurs les écoles en dehors des émissions de la zone industrialo-portuaire.

période	moyenne de la température en air extérieur (°C)	maximum de la température en air extérieur (°C)
du 6 au 20 mars 2019	9,5	12 ,9

Tableau 8 : Tableau des températures extérieures

Pendant la période de mesures, la moyenne de la température est restée basse : 9,5 °C. Le maximum de 12,9°C, enregistré la journée du 10 mars, n'a également pas favorisé l'aération des salles de classe. Les températures relevées sont comparables aux normales de saison pour la ville de Saint-Nazaire et sont représentatives de la période de mesures. Les conditions de température rencontrées lors la campagne de mesures ne favorisent pas l'ouverture des fenêtres par les enseignants, induisant un confinement important.

Les vents faibles et non traversant ne permettent pas un balayage naturel de la classe qui permettrait d'améliorer le confinement.

6.1.2. Qualité de l'air extérieur

L'appareil de mesure des PM10 a été installé dans la cour de l'école Paul Bert du 6 au 20 mars 2019. Les mesures effectuées sont comparées à celle de la station Léon Blum, située en milieu urbain à Saint-Nazaire.

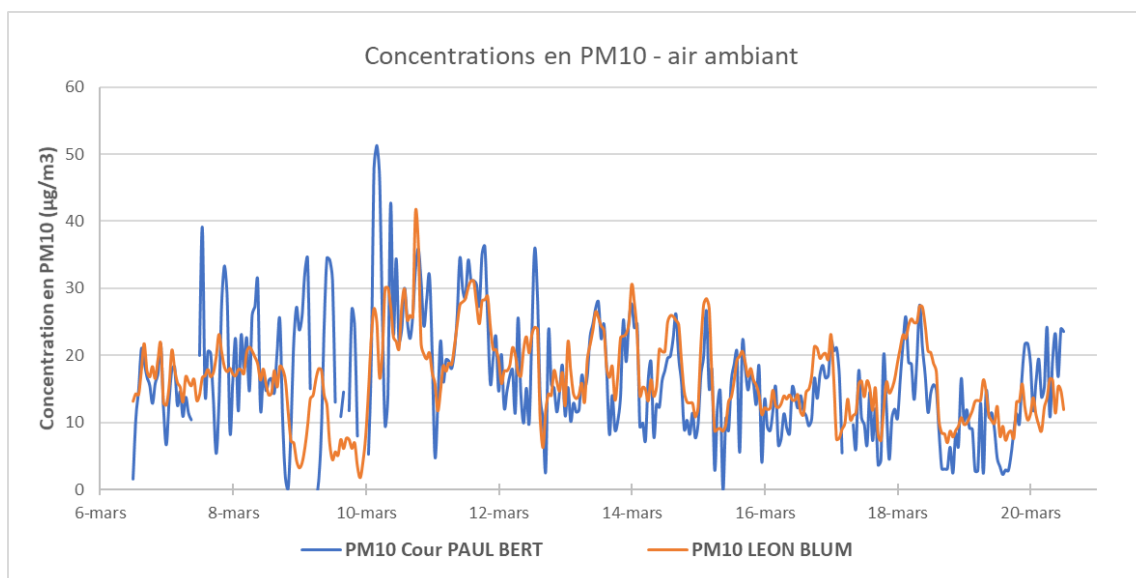


Figure 30: Concentrations en PM10 en extérieur à proximité des établissements

Le graphique ci-dessus met en évidence l'évolution des concentrations horaires en PM10 mesurées au niveau de la cour de l'école Paul Bert et celles mesurées au niveau de la station Léon Blum.

Les résultats mettent en avant des concentrations en PM10 comparables au niveau des 2 sites et également comparables à la moyenne annuelle en PM10 mesurée au niveau de la station Léon Blum (15 µg/m³ de moyenne annuelle en 2018).

Les concentrations moyennes mesurées sur la période ont été de 16,9 µg/m³ et 16,7 µg/m³ pour l'école Paul Bert et la station Léon Blum, respectivement. Ces niveaux sont sensiblement plus élevés que ceux rencontrés lors de la campagne d'hiver précédente (en février et mars 2017) : les concentrations moyennes mesurées sur la période étaient de 14,8 µg/m³ à Paul Bert et de 15,1 µg/m³ à Léon Blum.

Quelques élévations sont toutefois observées sur le site de l'école, notamment les :

- 7 mars à 13h30, par vent de Ouest-Sud-Ouest (250°),
- 9 mars à 20h, par vent de 230° (Sud-Ouest),
- 12 mars à 13h30, par vent de 210° (Sud-Sud-Ouest),
- 20 mars à 8h par vent de 140° (Sud-Est).

Ces deux dernières pointes sont observées lorsque l'école peut être sous l'influence de la zone industrialo-portuaire.

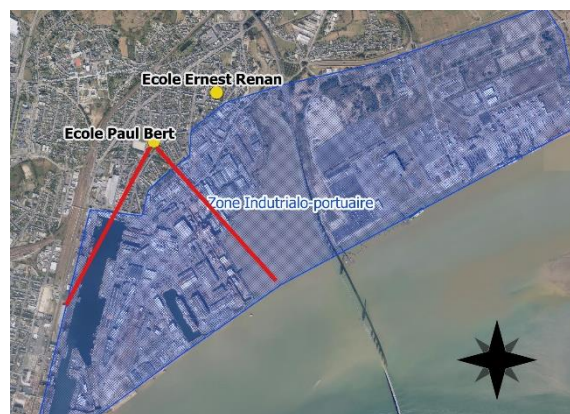


Figure 31 : Direction des vents durant les élévations

Ces résultats confirment que si les concentrations moyennes rencontrées au niveau de l'école sont en cohérence avec un milieu urbain de fond, elles peuvent être ponctuellement impactées par des sources proches et par la zone industrialo-portuaire voisine, en cas de vents de Sud principalement.

Le graphique ci-dessus met en évidence l'évolution des concentrations horaires en SO_2 mesurées au niveau de la cour de l'école Paul Bert et celles mesurées au niveau de la station Parc Paysager.

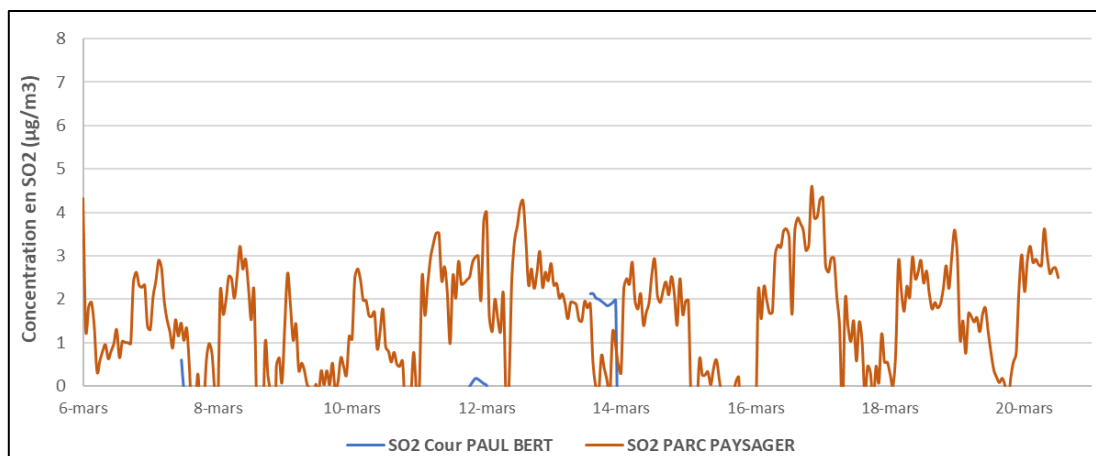


Figure 32: Concentrations en SO_2 en air extérieur à proximité des écoles instrumentées

Les résultats indiquent des concentrations très faibles et le plus souvent dans les limites de détection en SO_2 . Les niveaux relevés à la station Parc Paysager sont compris dans l'incertitude calculée de mesure.

Le moyen mobile de mesure a été installé dans la cour de l'école Paul Bert du 6 au 20 mars 2019, mesurant notamment le dioxyde d'azote (NO_2). Elles sont comparées aux concentrations mesurées aux stations Léon Blum et Parc Paysager sur la même période.

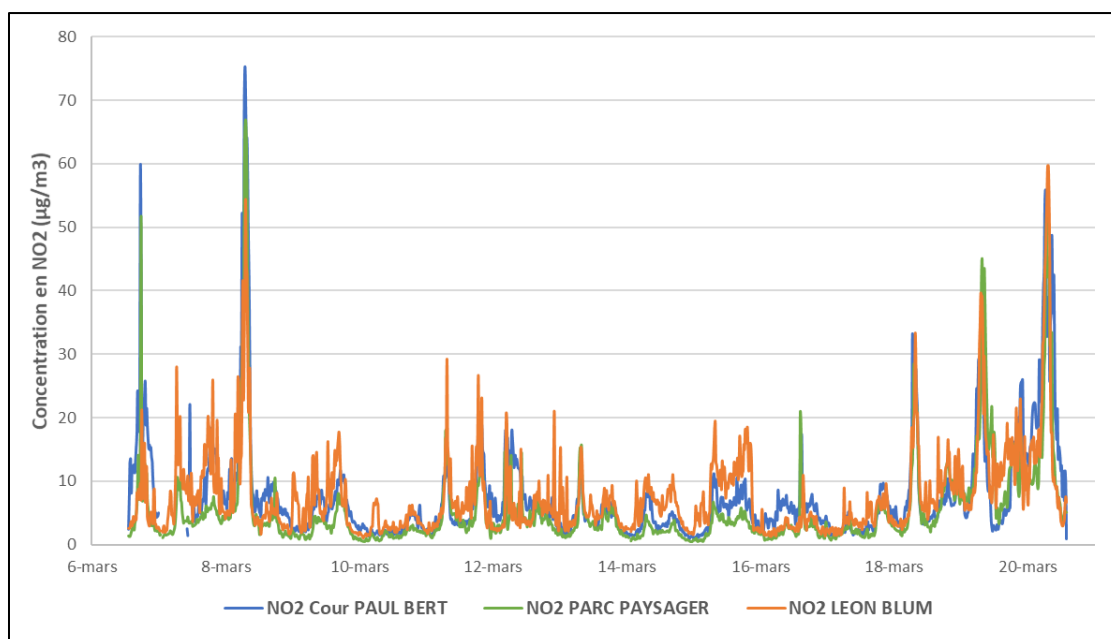


Figure 33: Concentrations en NO_2 en air extérieur à proximité des écoles instrumentées

Le graphique ci-dessus met en évidence l'évolution des concentrations en NO_2 mesurées au niveau de la cour de l'école Paul Bert avec celles mesurées au niveau des stations Parc Paysager et Léon Blum.

Les mesures montrent des niveaux plus élevés dans la cour de l'école qu'à la station urbaine de Parc Paysager, avec des moyennes de $7,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ contre $5,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En revanche, les concentrations relevées à l'école sont comparables à celles de la station Léon Blum ($7,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur la période).

Les pics horaires relevés les 6 et 8 mars représentent les maxima de concentrations à l'école Paul Bert :

- le 6 mars à 17h30, $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2 ont été mesurés, par vent de Sud-Ouest (210°),

- le 8 mars, à 7h00, la concentration s'est élevée à $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, alors que le vent était orienté à l'Ouest-Sud-Ouest (250°).

Si dans ces cas ponctuels, l'influence de la zone industrialo-portuaire ne peut être rejetée, les concentrations en NO_2 relevées dans l'école pointent globalement le trafic automobile comme influence principale. Le site de l'école est situé plus proche d'un axe routier que les stations fixes d'Air Pays de la Loire.

Les mesures d'air extérieur de la campagne de contrôle ont mis en évidence :

- la qualité de l'air extérieur mesurée au niveau de la cour de l'école Paul Bert est globalement comparable à celle mesurée à Saint-Nazaire en milieu urbain (Parc Paysager et Léon Blum). Notons que les stations urbaines de Saint-Nazaire respectent en 2018 les niveaux réglementaires long terme pour les PM_{10} , le NO_2 et SO_2 .
- une influence de la zone industrialo-portuaire au niveau de l'école Paul Bert est toutefois identifiée ponctuellement ainsi qu'une influence du trafic

6.2. Evaluation du transfert de l'air extérieur vers l'intérieur

Des mesures de polluants ont été effectuées en parallèle, dans l'air extérieur (comme vu précédemment) et à l'intérieur des classes. Les concentrations mesurées en air intérieur et en air extérieur sont comparées afin d'évaluer le transfert de l'air extérieur vers l'air intérieur.

6.2.1. Concentrations en PM_{10}

Les mesures des concentrations en PM_{10} ont été effectuées du 11 au 15 mars 2019 à l'intérieur des classes des deux écoles et dans la cour de l'école Paul Bert.

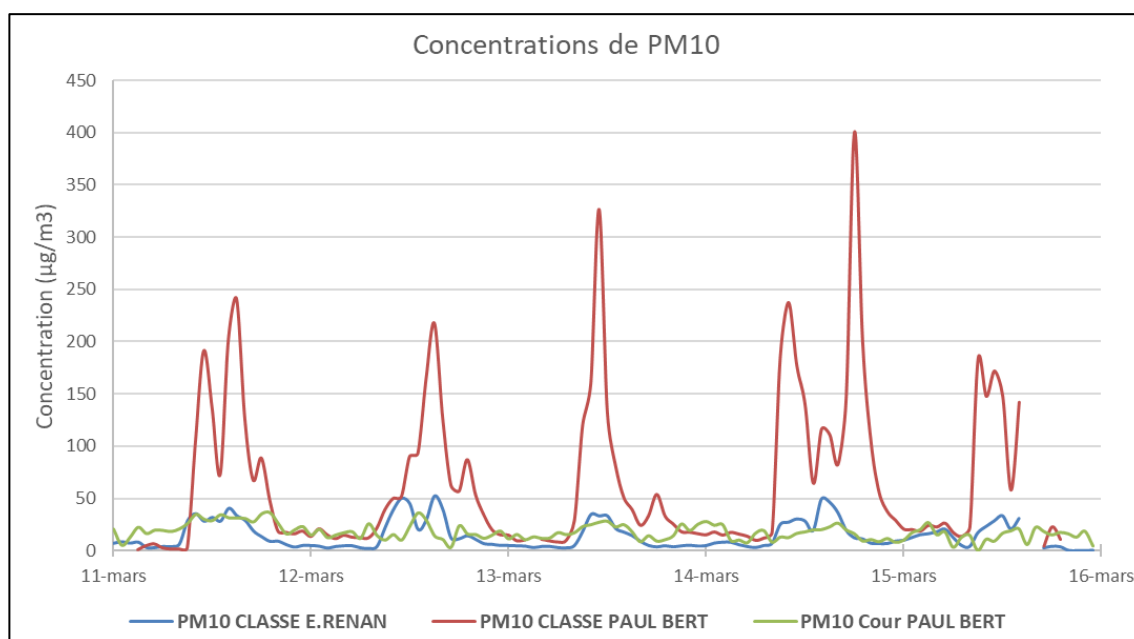


Figure 34: Concentrations horaires en PM_{10} dans les salles de classe

Les concentrations en particules en air intérieur, dans les classes, reflètent clairement les temps de présence des élèves. Des élévations de concentrations sont identifiées, à chaque entrée des élèves, avec des maxima à 10h et 14h (sauf le mercredi après-midi). Ils montrent l'influence de l'activité des élèves par la remise en suspension des poussières intérieures aux salles de classe (vêtements, craie, etc.).

Ecole Paul Bert

Lors des périodes d'occupation, les particules ont une source intérieure plus importante qu'à l'extérieur, du fait de la remise en suspension des poussières.. Phénomène particulièrement observé dans la classe de l'école Paul Bert.

La moyenne des PM_{10} sur la durée de la campagne est de $64,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur la période dans la classe de l'école Paul Bert. Cette valeur ($64,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) est supérieure à l'objectif cible de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (en moyenne annuelle) défini par le HCSP pour l'horizon 2025. Elle se rapproche également de la valeur d'action rapide ($75 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pour laquelle des actions correctives doivent être mises en place dans un délai de 3 mois. Les valeurs relevées dans la classe ne respectent pas les valeurs guide de l'OMS, définies à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 24h et $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à long terme.

Les concentrations relevées dans les classes lors de cette campagne de contrôle sont plus élevées que celles mesurées lors la campagne d'hiver 2017. Ainsi, la moyenne des PM10 est de 64,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur la période dans la classe de l'école Paul Bert, contre 13,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2017.

Ces résultats tendent à confirmer que les systèmes d'aération de l'établissement ne garantissent pas un renouvellement d'air suffisant. Et ce alors que la fiche remplie par l'enseignant suppose une ouverture à chaque récréation des fenêtres pendant la semaine de mesures.

Compte tenu des niveaux élevés de PM10 observés, une recherche spécifique des sources pourrait s'avérer utile.

Ecole Ernest Renan

A l'école Ernest Renan, la moyenne en PM10 est de 14,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, l'objectif cible de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (en moyenne annuelle) défini par le Haut Conseil de Santé Publique pour l'horizon 2025 est respecté, de même que les valeurs guides de OMS.

Bien que la fiche remplie par l'enseignant n'indique pas d'ouverture vers l'extérieur pendant la campagne de mesures, les niveaux relevés sont semblables à ceux d'un milieu urbain.

Les concentrations relevées sont également supérieures à celle mesurées en février-mars 2017 : 5,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les concentrations mesurées en air extérieur, ont également augmenté, mais dans une moindre mesure entre les deux campagnes. Dans la cour de l'école Paul Bert, la concentration relevée est de 17,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ alors qu'en 2017, elle s'élève à 14,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De même, à la station Léon Blum, 16,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mesurés en 2019, contre 15,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en février-mars 2017.

Ces résultats suggèrent que le renouvellement de l'air n'est pas nécessairement suffisant et que le transfert extérieur/intérieur peut apparaître comme une source pour les particules en air intérieur pour ces écoles.

Il apparaît également la nécessité de sensibiliser l'équipe enseignante aux sources de particules fines dans l'air intérieur et à leur remise en suspension.

6.2.2. Concentrations en SO₂

Les analyseurs automatiques de SO₂ ont été installés dans les classes du 11 au 20 mars 2019. En parallèle, des mesures ont été effectuées dans la cour de l'école Paul Bert. Les valeurs mesurées par la station Parc Paysager, en milieu urbain, sont également représentées à titre comparatif.

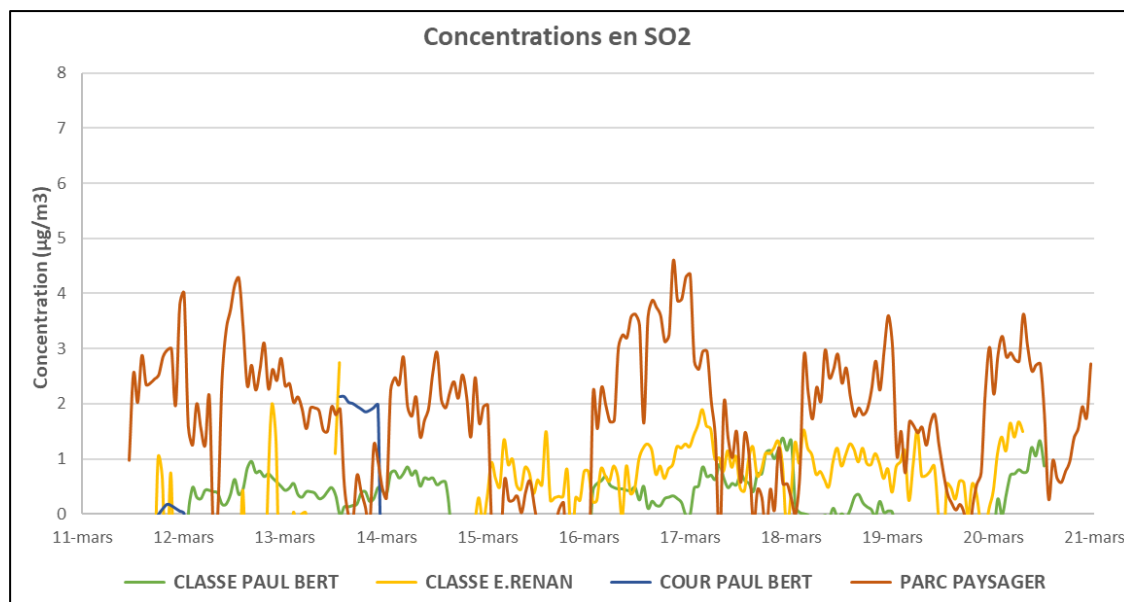


Figure 35: Concentrations horaires de SO₂ dans les salles de classe

Le graphique ci-dessus met en évidence l'évolution des concentrations horaires en SO₂ mesurées dans les classes des écoles Paul Bert et Ernest Renan, au niveau de la cour de l'école Paul Bert et celles mesurées au niveau de la station Parc Paysager.

Les concentrations, très faibles, oscillent globalement entre 0 et 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire et sont compris dans l'incertitude de la mesure.

Ces niveaux faibles et l'absence de sources de SO₂ à l'intérieur des classes ne nous permettent pas de conclure sur un éventuel transfert d'air extérieur impactant les concentrations de SO₂ en air intérieur.

A noter que lors de la campagne précédente, des pics ponctuels de SO₂ en extérieur et en intérieur suggéraient l'influence ponctuelle de la zone industrielle de la Basse-Loire et un transfert de ce polluant vers l'intérieur. Ces phénomènes n'ont pas été rencontrés lors de la campagne 2019.

6.2.3. Concentrations en NO₂

Les tubes passifs ont été placés dans les classes et en extérieur des écoles Paul Bert et Ernest Renan du 11 au 15 mars 2019. En parallèle, des tubes ont été posés au niveau de la station Parc Paysager, à titre de comparaison.

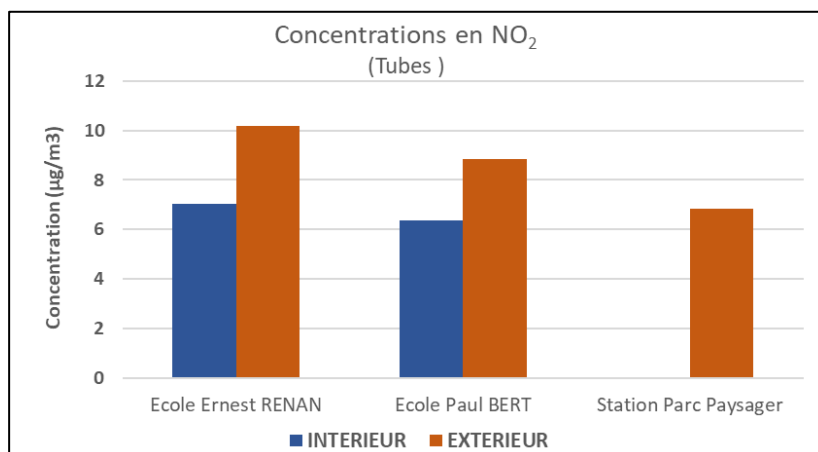


Figure 36 : Concentrations moyennes en dioxyde d'azote (NO₂), mesurées par tubes passifs, en air intérieur

Les résultats mettent en évidence des concentrations en dioxyde d'azote plus élevées dans les cours des écoles que dans les salles de classe (+30 % environ) lors de cette phase de mesures.

Une influence locale des concentrations en NO₂ est visible dans les mesures : les concentrations relevées dans les cours d'écoles sont sensiblement supérieures à celles rencontrées au niveau de la station urbaine Parc Paysager.

Néanmoins, les valeurs relevées sont conformes à la valeur guide proposée par l'ANSES de 20 µg/m³, pour le long terme.

Les sources potentielles de ce polluant à l'intérieur des salles de classe étant limitées (combustion au gaz, fumée de tabac, combustion d'encens), la présence de NO₂ dans les salles de classe provient essentiellement du transfert de l'air extérieur. La provenance du NO₂ serait en particulier liée à la proximité de la zone industrialo-portuaire et des routes environnantes.

Ces résultats ne permettent pas de juger de l'impact de l'aération sur les concentrations intérieures de NO₂. En effet, les classes présentent des concentrations similaires alors que les fiches remplies par les enseignants des deux classes montrent des pratiques différentes d'aération : très fréquentes et vers l'extérieur à Paul Bert, donnant sur l'intérieur à Ernest Renan.

6.2.4. Concentrations en CO₂

Ecole Paul Bert

La salle de classe instrumentée au sein de l'école Paul Bert est la classe de CP n°11. Le diagnostic aéraulique, effectué en 2017, de cette salle de classe précise la présence d'une ventilation naturelle permise par des entrées d'air sur les deux façades.

L'appareil de mesures des paramètres de confort hygrothermique et de confinement a été installé dans la salle de classe pour la période prévue. Il semble que l'appareil ait été manipulé par les élèves, rendant les données relevées invalides et inexploitable. Il est donc impossible de suivre les concentrations de CO₂ et de calculer l'indice de confinement pour cette classe pour cette campagne.

Néanmoins, il est à noter que le dispositif « élève ambassadeur » a été particulièrement suivi dans la classe. L'efficacité de cette sensibilisation/participation des enseignants et élèves est confirmée par la fiche d'activité remplie par l'enseignant, qui montre plus d'aérations régulières par ouverture des fenêtres, par rapport à 2017.

Ecole Ernest Renan

La salle de classe instrumentée au sein de l'école Ernest Renan est la classe de CE2 n°12. Le diagnostic aéraulique de cette salle de classe précise la présence d'une ventilation permise par la contiguïté des sanitaires et l'ouverture des ouvrants.

L'appareil de mesure du CO₂ a été installé dans la classe de l'école Ernest Renan du 11 au 20 mars. Les élèves et l'enseignant ont été sensibilisés à cette mesure et son utilité.

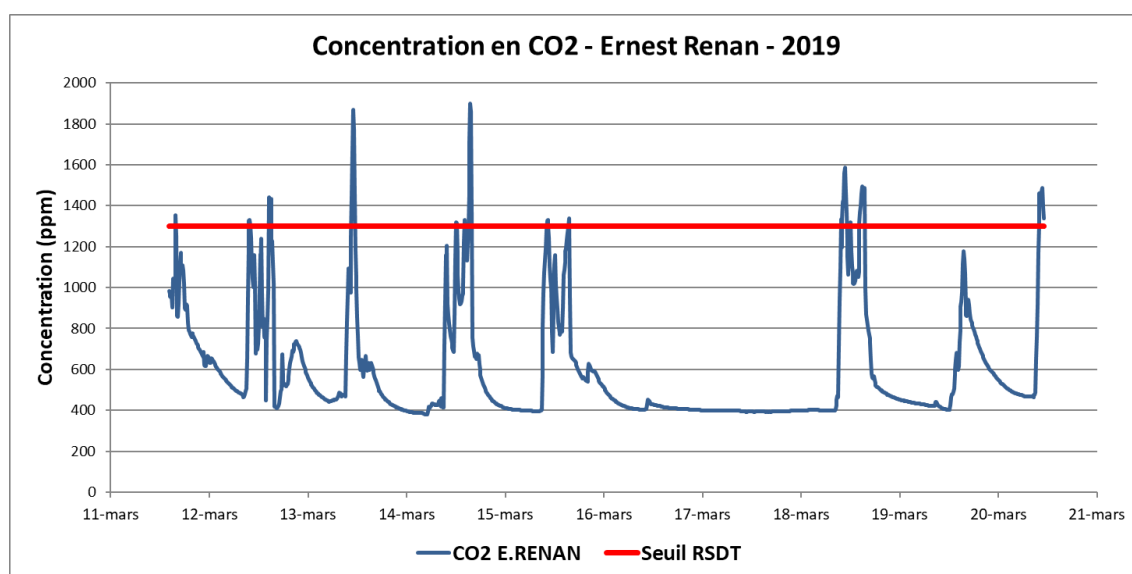


Figure 37 : Concentrations horaires en CO₂ – école Renan

La période hivernale et les conditions météorologiques rencontrées lors de cette campagne sont habituellement moins propices à l'aération des salles.

Les concentrations en CO₂ relevées lors de cette campagne dépassent régulièrement le seuil de 1300 ppm toléré par le Règlement Sanitaire Départemental Type (RSDT) pour un local non-fumeur.

Nos mesures mettent en évidence l'impact de l'activité des élèves sur les concentrations. Les pics, repérables sur le graphique, des 13/03 au matin, 12 et 14/03 l'après-midi correspondent à des activités métaboliques définies comme « remuantes » par l'enseignant.

Il convient de noter que lors des mesures, les vents ont été relevés majoritairement de secteur Ouest (270-290°) et à des vitesses soutenues, des conditions favorables au renouvellement d'air.

Malgré tout, elles sont sensiblement inférieures aux mesures effectuées à l'hiver 2017, lors desquelles les concentrations pouvaient atteindre 2500 ppm.

La sensibilisation de l'équipe enseignante semble avoir été peu efficace, la fiche d'usage, remplie par l'enseignant, indique ainsi une seule occurrence d'ouverture des fenêtres, le 11 mars ; un usage similaire à celui décrit en 2017.

Les concentrations en dioxyde de carbone mesurées sont également traduites à travers l'indice ICONNE calculé sur une durée d'exposition de 4.5 jours, qui permet de qualifier le confinement d'une pièce d'un établissement scolaire.

Pour la salle de classe instrumentée de l'école Ernest Renan, l'indice iconne calculé du 11 au 15 mars est **de 1, traduisant un confinement faible**. Ce qui constitue une légère amélioration par rapport à la campagne précédente ou un indice de 2 (confinement moyen) avait été calculé.

A l'issue de la campagne de contrôle dans les salles de classe, les conclusions observées sont les suivantes :

- les mesures effectuées confirment un transfert ponctuel de la pollution en NO₂ de l'extérieur vers l'intérieur des écoles. Les sources suspectées seraient liées à la zone industrialo-portuaire et à la proximité du trafic automobile environnant ;

- la présente campagne confirme que le transfert de pollution est ponctuel et à niveaux relativement bas, il est privilégié de traiter le confinement des écoles ;
- les résultats de cette campagne soulignent la nécessité de sensibiliser les acteurs sur les sources internes de pollution de l'air, notamment en particules fines ;
- cette campagne indique par ailleurs que la sensibilisation et l'implication des acteurs a un impact significatif sur la ventilation des locaux.

6.3. Résultat pour la campagne de contrôle

Les actions comportementales ont surtout été mise en œuvre au sein de la classe de l'école Paul Bert. L'appareil de mesure du CO₂ a été manipulé par les élèves, rendant les données relevées invalides et inexploitable. Il est donc impossible de suivre les concentrations de CO₂ et de ce fait de qualifier la réelle efficacité des actions comportementales sur la qualité de l'air intérieur.

La campagne a toutefois pu apporter des informations sur la qualité de l'air des établissements instrumentés :

Concernant la qualité de l'air extérieure:

- des concentrations en polluants (PM₁₀, NO₂, SO₂) au niveau de la cour de l'école Paul Bert comparables à celles mesurées à Saint-Nazaire en milieu urbain (Parc Paysager et Blum) ;
- des influences de la zone industrialo-portuaire, et de la proximité du trafic automobile sont toutefois identifiées ponctuellement au sein de la classe instrumentée dans l'école Paul Bert.

Concernant le transfert de l'air extérieur vers l'intérieur des salles de classe :

- les mesures effectuées mettent en évidence un transfert ponctuel de la pollution NO₂ de l'extérieur vers l'intérieur des écoles, à des niveaux néanmoins faibles. Les sources suspectées seraient liées à la zone industrialo-portuaire et au trafic automobile à proximité ;
- le transfert de pollution étant ponctuel et sans atteindre des niveaux importants, il est privilégié de traiter le confinement des écoles et les sources internes de polluants.

Les résultats obtenus lors de la dernière campagne sont sensiblement similaires à la campagne initiale.

Il ressort des trois premières phases de l'étude qu'à défaut d'aménagements techniques, la sensibilisation, à la fois des élèves et du personnel éducatif, est un moyen d'améliorer le renouvellement d'air dans les classes, dans la mesure où les enseignants deviennent acteurs du sujet. Des efforts d'informations restent toutefois à fournir, notamment concernant les sources intérieures de polluants, dont les particules fines.

Les aménagements techniques restent néanmoins la solution la plus efficace et la plus pérenne pour préserver la qualité de l'air intérieur des locaux.

7. Bilan et valorisation du projet

7.1. Elaboration des fiches réflexes

Dans le but de permettre la répliquabilité du projet sur un territoire présentant des caractéristiques de qualité de l'air proches ou similaires (avec dégradation ponctuelle de la qualité), six fiches réflexes ont été co-construites entre Air Pays de la Loire et la ville de Saint Nazaire. Ces fiches sont disponibles en Annexe 3.

Les fiches ont pour objectif de rendre autonome le personnel des établissements sur les problématiques de qualité de l'air en apportant des réponses et des informations sur la gestion de la qualité de l'air lorsque l'air extérieur est dégradé mais aussi sur des problématiques plus globales de qualité de l'air intérieur.

Ces fiches abordent les thématiques suivantes :

- « La qualité de l'air c'est quoi? ». Cette fiche est destinée à l'ensemble des acteurs du projet pour les sensibiliser et les informer aux enjeux de la qualité de l'air et d'introduire l'utilisation des fiches suivantes.
- « Les bons comportements ». Cette fiche est destinée aux occupants des locaux concernés, en particulier l'enseignant, pour l'inciter à aérer les locaux et suivre les concentrations de CO₂, en mettant en place le dispositif « élève ambassadeur ». L'enseignant pourra s'appuyer sur les illustrations : charte « élève ambassadeur » et « j'adopte les bons gestes », élaborées dans le cadre des actions de sensibilisation pour l'application des recommandations comportementales, dans le but accompagner son discours et sensibiliser les enfants.
- « Choisir la bonne installation ». Cette fiche est destinée au service bâtiment des collectivités en charge de la conception des projets de construction/rénovation des établissements. Elle a pour but de guider les concepteurs dans le choix des installations techniques à mettre en œuvre dans un environnement extérieur potentiellement dégradé. Elle présente divers systèmes de ventilation, leur avantages et inconvénients pour éclairer les services techniques sur le choix le plus pertinents à mettre en place au regard de leur contraintes techniques : systèmes techniques, centralisés ou décentralisé, quels filtres choisir selon la problématique d'air extérieur.
- « Choisir les bons matériaux ». Cette fiche est également destinée au service bâtiment des collectivités. Dans une démarche de réduction des sources de polluants d'air intérieur, il est important de mettre en œuvre un système de ventilation efficace, mais aussi de choisir les matériaux (revêtements, mobilier...) les moins émissifs. Elle propose, par typologie de matériaux, les labels sur lesquels s'appuyer.
- « Bien entretenir son établissement ». Cette fiche est à destination du service de maintenance et du service d'entretien des bâtiments, elle peut également être mise à disposition des enseignants. Les systèmes doivent être entretenus pour conserver les performances tout au long de leur exploitation. Des précautions doivent également être prises sur l'entretien des locaux pour limiter l'apport de polluants dans l'air intérieur.
- « En cas de pics de pollution extérieur ». A destination des directeurs, des enseignants et des services techniques, cette fiche a été construite pour adopter les bons gestes en cas de pics de pollution.

Ces fiches ont des cibles différentes. Il est préférable de transmettre l'ensemble de fiches à chaque acteur, afin qu'il puisse être sensibilisé sur la globalité des actions et mesurer l'effort collectif nécessaire pour répondre à la problématique.

L'ensemble de ces fiches réflexes pourra être déployé sur le territoire et accompagnera les équipes confrontées à des situations similaires à celle des établissements Paul Bert et Renan, sur d'autres territoires.

7.2. Synthèse et capitalisation du projet

L'expérimentation TRANSFAIR au sein des écoles Ernest Renan et Paul Bert est riche d'enseignements. Bien que l'ensemble des ambitions initiales n'ait pas pu être réalisé, de nombreux éléments doivent être capitalisés pour permettre une répliquabilité du projet efficace.

7.2.1. Sur le plan organisationnel et partenarial

Le projet a manqué d'implication de l'ensemble des parties prenantes. Dans le cas d'une répliquabilité d'un projet identique, il est important de fédérer les acteurs autour du sujet pour concourir à l'objectif final de façon collégiale. L'établissement et son personnel (éducation nationale et personnel municipal) doivent être associés en amont du projet.

Dès son lancement, il faudra réunir les acteurs concernés par le projet et s'assurer que l'ensemble des compétences requises soit présent dans le projet : qualité de l'air, ventilation, bâtiment, entretien et maintenance.

L'équipe projet doit être volontaire, disponible et mobilisée vers un objectif commun.

L'approche pédagogique semble être un facteur clé de succès pour mobiliser les enseignants. Le projet pédagogique peut être de plus grande envergure sur la sensibilisation des enfants à l'environnement et/ou la santé environnementale, et la qualité de l'air n'être qu'une partie. Dans ce cas, des associations locales comme les Centre Permanent d'Initiatives pour l'Environnement (CPIE) pourraient être associés à la démarche. Des réunions d'informations doivent être réalisées, au sein des établissements scolaires, pour faire adhérer le personnel, les élèves et les parents au projet et les tenir informés de l'avancement de la démarche tout au long de l'année scolaire. Pour améliorer l'adhésion des enfants, le volet communication pourra être plus largement pris en compte notamment pour mettre à disposition des équipes pédagogiques des supports de sensibilisation élaborés spécifiquement.

7.2.2. Sur le plan technique

Sur le plan technique, toute typologie d'établissement peut faire l'objet de cette expérimentation, peu importe son système de ventilation. Cependant la possibilité de réaliser des travaux sur la performance énergétique et sur le système de ventilation pour améliorer celui-ci doit être un pré-requis pour une pleine réussite.

Concernant la mesure, les **appareils de mesure du CO₂ avec des LEDs** doivent être prévus en complément des appareils de référence pour la qualité de l'air, pour la visée pédagogique du projet.

La campagne de mesure en amont et en aval de la réalisation des actions est à maintenir pour mesurer les améliorations et les valoriser.

7.2.3. Sur le plan financier

L'absence de budget consacré à la mise en œuvre des recommandations techniques a été dans le projet TRANSFAIR un facteur limitant pour la mise en place et l'évaluation des améliorations proposées. Dans le cas de la répliquabilité du projet, **il est nécessaire que les établissements choisis disposent d'un budget pour la réalisation de travaux** ou à l'inverse que les établissements pré-identifiés pour une rénovation soient privilégiés pour une expérimentation comme celle-ci. Il est également nécessaire de planifier le projet selon la capacité à faire des équipes en charge des travaux et des contraintes d'utilisation des locaux (travaux à privilégier pendant les vacances scolaires).

Au regard des conclusions précédentes sur l'approche pédagogique, **il paraît nécessaire d'envisager un budget dédié à la communication**, afin de promouvoir le projet et élaborer des supports de communication à destination des enfants.

8. Perspectives

Le projet d'évaluation transfert de pollution de l'extérieur vers l'intérieur dans les établissements scolaires au sein de la ville de Saint-Nazaire a permis d'identifier des facteurs clés de réussite dans le cas d'une répliquabilité :

Organisation et partenariat	- Constituer une équipe projet volontaire, disponible, mobilisée et pluridisciplinaire - Construire l'expérimentation autour d'un projet pédagogique pour mobiliser les établissements scolaires - Informer toutes les parties prenantes tout le long du projet
Techniques	- Réaliser une campagne amont et aval à la mise en place des actions - Mettre à disposition des appareils de mesure du CO₂ avec LEDs
Financement/ Budget	- Prévoir un budget lors des travaux de rénovation énergétique pour les systèmes de ventilation et la planifier dans les plans de charge des équipes - Prévoir un budget pour la communication du projet

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

FIGURES

Figure 1: Présentation de l'environnement industriel à proximité des points de mesures	10
Figure 2: Photos des bâtiments de l'école Paul Bert	10
Figure 3: Photos des bâtiments de l'école Ernest Renan	11
Figure 4: Identification des zones de trafic à proximité de la zone d'étude	11
Figure 5: Planning de l'étude	12
Figure 6: Identification de la localisation des sites de mesure	14
Figure 7: Illustration des polluants et paramètres par site	14
Figure 8: Roses des vents hiver	16
Figure 9: Roses des vents été	16
Figure 10 : Concentrations horaires en PM10 en air extérieur à proximité des écoles instrumentées - campagne hiver	17
Figure 11: Direction des vents durant les élévations	18
Figure 12: Concentrations horaires en PM10 en air extérieur à proximité des écoles instrumentées - campagne été	18
Figure 13: Direction des vents durant les élévations	18
Figure 14: Concentrations horaires en SO ₂ en air extérieur à proximité des écoles instrumentées - campagne hiver	19
Figure 15: Concentrations horaires en SO ₂ en air extérieur à proximité des écoles instrumentées - campagne été	19
Figure 16 : Concentrations horaires en NO ₂ en air extérieur à proximité des écoles instrumentées - campagne hiver	20
Figure 17: Concentrations horaires en NO ₂ en air extérieur à proximité des écoles instrumentées - campagne été	20
Figure 18: Concentrations horaires en PM10 dans les salles de classe - campagne hiver	21
Figure 19: Concentrations horaires en PM10 dans les salles de classe - campagne été	22
Figure 20 : Concentrations horaires en SO ₂ dans les salles de classe - campagne hiver	23
Figure 21: Direction des vents durant les élévations	23
Figure 22: Concentrations horaires en SO ₂ dans les salles de classe - campagne été	24
Figure 23: Concentration en NO ₂ dans les salles de classe - campagne hiver et été	24
Figure 24: Concentrations en CO ₂ dans les salles de classe - campagne hiver et été	25
Figure 25: Illustration du système d'aération	26
Figure 26: Concentrations de CO ₂ au sein de l'école Paul Bert - campagne hiver et été	27
Figure 27: Concentrations de CO ₂ au sein de l'école Renan - campagne hiver et été	29
Figure 28: Illustration charte « élève ambassadeur »	35
Figure 29 : Roses des vents relevés pendant les périodes de mesure	36
Figure 30: Concentrations en PM10 en extérieur à proximité des établissements	37
Figure 31 : Direction des vents durant les élévations	37
Figure 32: Concentrations en SO ₂ en air extérieur à proximité des écoles instrumentées	38
Figure 33: Concentrations en NO ₂ en air extérieur à proximité des écoles instrumentées	38
Figure 34: Concentrations horaires en PM10 dans les salles de classe	39
Figure 35: Concentrations horaires de SO ₂ dans les salles de classe	40
Figure 36 : Concentrations moyennes en dioxyde d'azote (NO ₂), mesurées par tubes passifs, en air intérieur et extérieur	41
Figure 37 : Concentrations horaires en CO ₂ – école Renan	42

TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des polluants par site de mesures et des sites de diagnostic aéraulique	7
Tableau 2 : Liste des polluants par site de mesures	14
Tableau 3 : Listes des polluants par site de mesures au sein des écoles	15
Tableau 4 : Températures extérieures	17
Tableau 5 : Tableau des caractéristiques des salles de classe	25
Tableau 6 : Tableau des recommandations comportementales	32
Tableau 7 : Tableau des recommandations techniques	34
Tableau 8 : Tableau des températures extérieures	36



SIGLES ET ACRONYMES

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
CO₂	Dioxyde de carbone (molécule chimique)
COPIL	Comité de Pilotage
NO₂	Dioxyde d'azote (molécule chimique)
PM10	Particules fines de tailles inférieurs à 10 microns
SO₂	Dioxyde de soufre (molécule chimique)



ANNEXES

ANNEXE 1 : Fiches de sensibilisation à l'attention des élèves et de l'équipe éducative.....	51
ANNEXE 2 : Fiches Reflexes.....	54

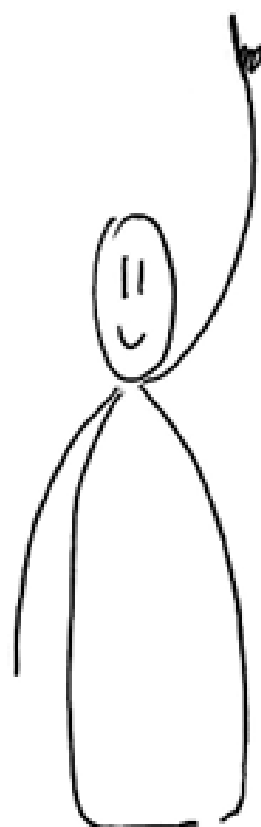
ANNEXE 1 : Fiches de sensibilisation à l'attention des élèves et de l'équipe éducative

Pour mon air et ma santé

Class'Air : élève ambassadeur



En fonction de la couleur de la lumière, nous pouvons agir pour une meilleure qualité de l'air dans la classe.



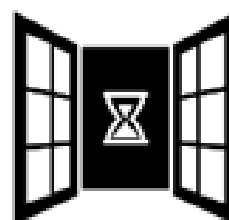
● ***Tout est bon !***

Tout est ok,
la classe peut continuer
ses activités.



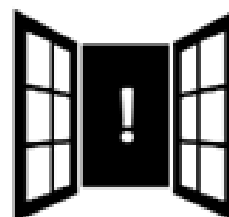
● ***Prudence...***

Penser à aérer (récréation,
absence des élèves, etc.).



● ***On agit !***

Il faut tout de suite ouvrir la
fenêtre pour aérer la classe !



Pour mon air et ma santé

je peux observer dans la classe...



Analyseur SO₂ (dioxyde de soufre)

Je mesure la pollution rejetée par le trafic et l'activité des usines, qu'on appelle « dioxyde de soufre ».

Je fais un peu de bruit et j'ai besoin d'une table pour m'installer. Ne me touche pas, tu risques de modifier mes résultats.

Tube PASSAM

Je mesure les polluants rejetés par les transports, qu'on appelle « NO₂ ».

Je suis discret, silencieux.

Ne me touche pas, tu risques de modifier mes résultats.



Class'Air – Q track

Je mesure l'air que tu expires. En trop grande concentration, il peut faire mal à la tête. C'est le CO₂. Je t'indique si il est trop présent dans la pièce avec une petite lumière.

Je suis silencieux, je peux être posé sur un table, et je suis à côté de l'ambassadeur. Il ne faut pas respirer dessus.

Capteur PM-TERA

Je mesure les polluants rejetés par le trafic et les usines qu'on appelle les particules fines.

Je suis au sol et peut faire un peu de bruit.



Balise AZJMUT

Je mesure les polluants dans l'air de la classe provenant des meubles, des matériaux, des feutres et des produits d'entretien et suis très silencieux.

Je dois être posé sur un bureau ou une étagère pour mesurer que ce tu respirez.

Remorque laboratoire

Je suis une super remorque laboratoire, j'ai tout un tas d'appareil qui mesurent la qualité de l'air à l'extérieur.



Pour mon air et ma santé

j'opte pour les bons gestes !

À l'école



À la maison



Fiches réflexes

à destination d'établissements
recevant des enfants

En zones de qualité de l'air
extérieur dégradée



Version novembre 2019

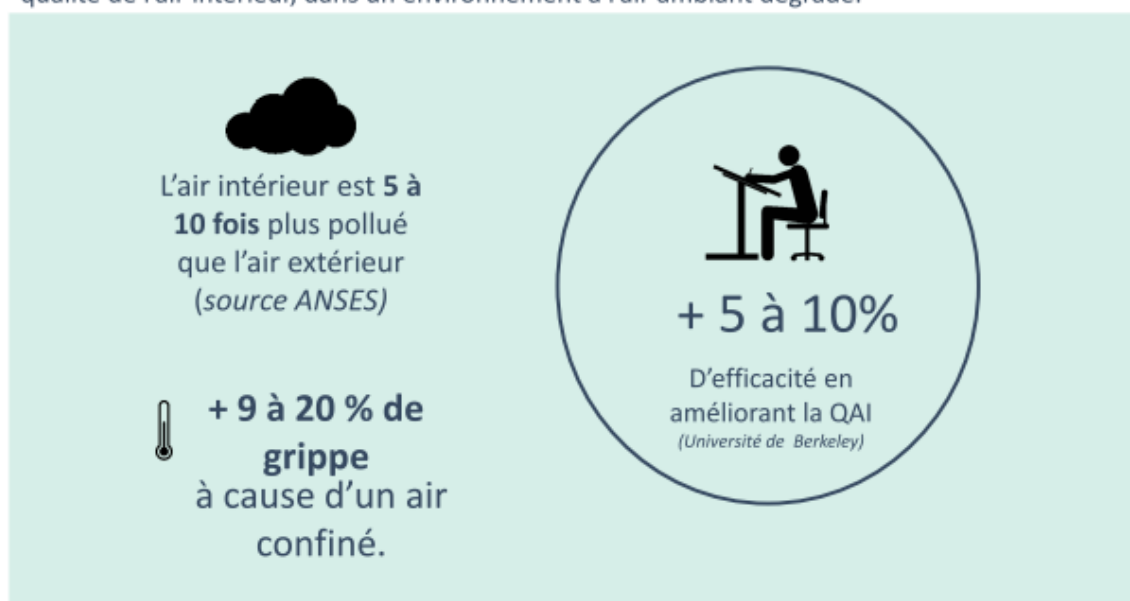
La qualité de l'air c'est quoi?

Au sein d'une salle de classe, les matériaux de construction, le mobilier, les activités de bricolage sont autant de sources de pollution à maîtriser.

L'air extérieur (qualifié d'air neuf) permet de diluer la pollution intérieure et renouveler l'air intérieur. L'apport d'air neuf doit présenter une qualité de l'air faiblement chargée en polluants. Cependant certains secteurs géographiques ne disposent pas en continu d'un niveau de qualité d'air ambiant optimal.

En air intérieur, la problématique majoritaire reste souvent le confinement. Un air confiné engendre une perte de concentration et la prolifération des virus.

Les fiches actions suivantes permettent d'accompagner ces territoires dans la gestion de la qualité de l'air intérieur, dans un environnement à l'air ambiant dégradé.



S'abonner à la newsletters sur <http://www.airpl.org/>

Les bons comportements

Sensibiliser les acteurs

Informier et former les agents en charge de l'entretien et de la maintenance du bâtiment

Informier et former les enseignants et le personnel des écoles :

- Porteur des messages auprès des enfants;
- Acteurs au quotidien dans les classes.

L'ouverture des fenêtres, le geste numéro un pour la qualité de l'air

Une ouverture des fenêtres pendant 5 à 10 min permet de renouveler l'air sans impacter les consommations énergétiques.

A quelle fréquence?

- Le matin avant l'arrivée des enfants
- Durant les récréations
- Sur la pause de midi
- Le soir après le départ des enfants

Le confinement de l'air est le principal problème de qualité de l'air au sein des salles de classe. Un meilleur renouvellement d'air apporte une amélioration de la concentration et des performances scolaire des élèves.

Suivre les concentrations de CO₂

L'indicateur du confinement en air intérieur

Mettre à disposition au sein des salles de classes des capteurs de CO₂ avec des indicateurs de couleurs.

Sensibiliser les enfants et les enseignants et le personnel scolaire.

Confier la responsabilité du suivi du confinement de la classe à un enfant ambassadeur :

- Vert: tout va bien.
- Orange: j'ouvre la fenêtre à la récréation.
- Rouge: j'ouvre immédiatement.

Fiche enfant ambassadeur jointe



S'abonner à la newsletters sur <http://www.airpl.org/>

Choisir la bonne installation

Pour le choix des systèmes de ventilation des établissements en zone de qualité de l'air dégradée, certains éléments sont à privilégier :

- Les systèmes mécaniques avec filtration de l'air neuf;
- Des filtres à particules fines et à charbon actif pour les gaz (notamment le NO_2).

Dans le neuf, le système double flux est à privilégier dès la conception.

Dans la rénovation, divers systèmes avec filtration sont disponibles, certains induisent moins de travaux.

Un système double flux centralisé

Système de traitement d'air à très haute efficacité thermique qui centralise les flux d'air entrants et sortants dans la centrale de traitement d'air (CTA). Installée dans les locaux techniques en position centrale de l'établissement, pour desservir l'ensemble des pièces à traiter.

Un système décentralisé

Système de traitement d'air à très haute efficacité avec récupération d'énergie, très peu encombrant, ne nécessitant ni local technique, ni gaines, ni faux plafond. Installation dans chaque pièce selon les besoins.

Un système de diffusion d'air par déplacement

Système de traitement d'air à très haute efficacité thermique qui insuffle l'air neuf en partie basse de la classe et est directement inhalé par les occupants. Il chasse l'air vicié, évacué en partie haute de la salle. Le système est installé au sein de la salle de classe avec des gaines en plafond.

Avantages

- solution technique compatible avec les enjeux énergétiques du bâtiment
- renouvellement d'air continu, régulier et satisfaisant
- filtration de l'air extérieur
- possibilité d'arrêt en cas d'épisode de pollution
- traitement de l'ensemble du bâtiment
- Possible régulation des débits par asservissement au CO_2

Avantages

- solution technique compatible avec les enjeux énergétiques du bâtiment
- renouvellement d'air continu, régulier et satisfaisant
- filtration de l'air extérieur
- possibilité d'arrêt en cas d'épisode de pollution
- compatible avec des bâtiments ne disposant pas de locaux techniques, faux plafonds, etc.
- Possible régulation des débits par asservissement au CO_2

Avantages

- Air neuf soufflé au sol directement inhalé par les occupants, air vicié évacué en partie haute
- renouvellement d'air continu, régulier et satisfaisant
- filtration de l'air extérieur
- possibilité d'arrêt en cas d'épisode de pollution
- traitement des pièces stratégiques

Inconvénients

- Coûteux
- Maintenance régulière
- Volumineuse, impact travaux

Inconvénients

- Maintenance régulière

Inconvénients

- Coûteux
- Équipement volumineux
- Maintenance régulière
- Travaux en plafond

S'abonner à la newsletters sur <http://www.airpl.org/>

Choisir les bons matériaux

Réduire les sources de pollution dans l'air intérieur

L'étiquetage réglementaire - un bon appui!
Privilégier l'étiquette A+ uniquement



Une attention particulière doit être portée sur les matériaux en contact avec l'air intérieur (plafonds, sols, murs).

Les labels sont des guides efficaces pour s'assurer du faible impact des matériaux.

Des recommandations génériques :

- Privilégier les matériaux minéraux : pierre, chaux.
- Privilégier les matériaux bruts pour le bois
- Limiter l'usage de produits de finitions : vitrificateur, vernis

Revêtements muraux:
S'appuyer sur les labels :



Pour les tissus muraux et les toiles de verre



Pour les papiers peints

Peintures:
Privilégier les peintures peu émissives: Minérales, aqueuses, mates, blanches
S'appuyer sur les labels :



Revêtements de sols:

Privilégier les matériaux peu émissifs
Carrelage, caoutchouc, linoléum, pose sans colle.

S'appuyer sur les labels :



Pour les tapis et moquettes



Pour les produits de pose

S'abonner à la newsletters sur <http://www.airpl.org/>

Bien entretenir son établissement

Les installations

C'est quoi un système de ventilation performant?

Service de maintenance

L'air doit pouvoir rentrer et sortir par des zones dédiées bouches dans les pièces, barrettes d'aspiration au dessus des fenêtres, grilles hautes et basses.

Le système doit garder ses caractéristiques initiales pour limiter les pertes de charge, induisant une diminution du renouvellement d'air et une surconsommation d'énergie.

Je **n'obstrue pas** les bouches, pour laisser l'air passer.

Je nettoie les bouches d'aérations et grilles de ventilation a minima **tous les 3 mois.**

Je réalise un nettoyage régulier des installations:

- Unité individuelle : tous les 2 ans
- Système gainable : tous les 5-7 ans
- CTA : tous les ans

Je **change mes filtres** à la rentrée et à la fin de l'hiver.

Je mets en place des avertisseurs de colmatage pour les filtres.

Les locaux

Comment entretenir sa salle de classe?

Service d'entretien

L'usage de produits d'entretien contribue à l'augmentation de la concentration de substances nocives dans l'air, comme les COV.

Si je réalise mes produits d'entretien moi-même, je réduis l'usage d'huiles essentielles à 2/3 gouttes maximum.

Je préfère l'aspirateur (avec filtre HEPA) au balai.

Je choisis des produits d'entretien **éco-labellisés.**



Je proscriis les produits avec les pictogrammes suivants:



J'**aère** avant, pendant, et après le ménage.

Je mets en place des paillasons pour limiter l'entrée de poussières dans le bâtiment.

Je préfère des techniques de nettoyage à l'eau, comme l'usage de la **microfibre** et de la **vapeur**.

S'abonner à la newsletters sur <http://www.airpl.org/>

En cas de pics de pollution extérieur

S'abonner à la newsletters sur <http://www.airpl.org/>

Être alerté en cas de pics de pollution

Seuil d'information: message d'information et recommandations :
précaution à appliquer pour les personnes sensibles (enfants, personnes âgées, etc...).

Seuil d'alerte: dépassement des seuils réglementaires:
précautions à appliquer pour l'ensemble de la population.

Les bons comportements

Éviter les
activités
polluantes
(bricolage,
peinture)

Ne pas
ouvrir les
fenêtres

Préférer les
activités
calmes

Rester à
l'intérieur

En cas de gênes
respiratoire ou
cardiaque :
consulter un
médecin

limitez les
activités
physiques et
sportives
intenses

Les réponses techniques

Sur un système double flux,
ne pas « by-passer »* en cas de pic de
pollution.

Vérifier le colmatage des filtres après
un épisode de pollution aux particules
fines, et les changer si besoin

**contourner le passage de l'air à travers le système de filtration*

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique - nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, air, économie circulaire, gaspillage alimentaire, déchets, sols, etc., nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et solidaire et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



Caractérisation des transferts de pollution de l'air extérieur vers l'air intérieur dans les établissements scolaires

(Projet TRANSF'AIR)

La ville de Saint-Nazaire, lauréat de l'appel à projet AACT'AIR édition 2016, a initié une étude d'évaluation de la qualité de l'air intérieur dans deux établissements scolaires, situés en proximité de la zone industrialo-portuaire et du trafic routier où la qualité de l'air extérieur est potentiellement dégradée. Cette évaluation a permis de proposer puis de mettre en œuvre des bonnes pratiques, des actions de sensibilisation et de remédiation afin de maintenir une qualité de l'air intérieur acceptable dans les écoles étudiées.

Le projet TRANSFAIR a permis de :

- qualifier la pollution extérieure représentative d'un milieu urbain avec des influences ponctuelles de l'activité industrialo-portuaire ;
- mettre en évidence un transfert de dioxyde d'azote (NO₂), ponctuel et faible, de l'air extérieur vers l'air intérieur au sein des écoles et d'identifier un enjeu sur le confinement des salles de classe ;
- formuler des recommandations techniques et comportementales pour la gestion de la qualité de l'air intérieur ;
- réaliser des fiches réflexes transposables à d'autres établissements scolaires du territoire concernés par des situations dégradées de la qualité de l'air ;
- de capitaliser sur les facteurs clés de réussite pour favoriser ensuite la répliquabilité du projet dans d'autres territoires.

Le projet TRANSF'AIR, a permis de caractériser la qualité de l'air intérieur dans deux établissements scolaires, situés en proximité de la zone industrialo-portuaire et du trafic routier où la qualité de l'air extérieur est potentiellement dégradée.

Cette évaluation a permis de proposer puis de mettre en œuvre des bonnes pratiques et des actions de sensibilisation afin de maintenir une qualité de l'air intérieur acceptable dans les écoles étudiées.



www.ademe.fr

