



Caractérisation de la qualité de l'air SCOL'AIR

Résultats des volets A (air extérieur) et B (air intérieur et extérieur)

CONDITIONS DE DIFFUSION

Diffusion libre pour une réutilisation ultérieure des données dans les conditions ci-dessous :

- Les données produites par ATMO Grand Est sont accessibles sous licence ouverte
- Sur demande, ATMO Grand Est met à disposition les caractéristiques des techniques de mesures et des méthodes d'exploitation des données mises en œuvre ainsi que les normes d'environnement en vigueur et les guides méthodologiques nationaux.
- ATMO Grand Est peut rediffuser ce document à d'autres destinataires.
- Rapport non rediffusé en cas de modification ultérieure des données.

PERSONNES EN CHARGE DU DOSSIER

Gestion et organisation du projet :

Christelle SCHNEIDER, ingénieure études,

Rédaction du rapport :

Christelle SCHNEIDER, ingénieure études,

Relecture du rapport :

Aline LANGENFELD, ingénieure études et Morgane KESSLER, chargée d'études

Approbation du rapport :

Bérénice JENESSON, responsable unité SURVEILLANCE

Référence du modèle de rapport : COM-FE-001_8

Référence du projet : MSP-00579

Référence du rapport : SURV-EN-914 indice 1

Date de publication : 20/02/2023

ATMO Grand Est

Espace Européen de l'Entreprise – 5 rue de Madrid – 67300 Schiltigheim

Tél : 03 69 24 73 73

Mail : contact@atmo-grandest.eu

SOMMAIRE

INTRODUCTION	5
1. VOLET A.....	6
1.1. CAMPAGNES DE MESURES.....	6
1.1.1. LES ETABLISSEMENTS SELECTIONNES	6
1.1.2. LE POLLUANT SUIVI ET LES PHASES DE MESURES	13
1.1.3. MOYENS DE PRELEVEMENTS	14
1.2. RESULTATS DES CAMPAGNES DE MESURES	15
1.2.1. CONDITIONS METEOROLOGIQUES.....	15
1.2.2. ECOLE 1 - ERCKAMANN CHATRIAN	19
1.2.3. ECOLE 2 - WURTZ	21
1.2.4. ECOLE 3 - ST JEAN	24
1.2.5. ECOLE 4 - RHIN	26
1.2.6. ECOLE 5 - SCHLOESSEL (OSTWALD).....	29
1.2.7. ECOLE 6 - PREVERT (SCHILTIGHEIM).....	31
1.2.8. RESULTATS DE L'ENSEMBLE DES ETABLISSEMENTS	34
2. VOLET B.....	35
2.1. DESCRIPTIF DE L'ETUDE	35
2.1.1. LES ETABLISSEMENTS SELECTIONNES ET LEURS CARACTERISTIQUES.....	35
2.1.2. LES POLLUANTS SUIVIS	38
2.1.3. ELEMENTS DE BIBLIOGRAPHIE SUR DES ETUDES AIR EXTERIEUR AIR INTERIEUR ET ELEMENTS DE COMPARAISON DES TENEURS EN AIR INTERIEUR.....	41
2.1.4. FACTEURS D'INFLUENCE.....	42
2.1.5. RAPPELS SUR LES SYSTEMES DE VENTILATION MECANIQUE.....	43
2.1.1. STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE	44
2.1.2. MOYENS DE PRELEVEMENTS ET DE MESURES.....	46
2.2. RESULTATS.....	47

2.2.1.	CONDITIONS METEOROLOGIQUES.....	47
2.2.2.	CRECHE BELIN.....	48
2.2.3.	ECOLE SCHEPPLER	53
2.2.4.	ECOLE SOLANGE FERNEX	56
2.2.5.	MAISON DE L'ENFANCE.....	59
2.2.6.	RECAPITULATIF DES CONCENTRATIONS EN NO ₂ ET PM2.5 ET COMPARAISONS INTERIEUR/EXTERIEUR	63
	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	67

LISTES DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1 :	localisation des 6 établissements scolaires du volet A	6
Figure 2 :	Localisation de l'école maternelle Erckmann-Chatrion par rapport à l'annexe 1	7
Figure 3 :	Modélisation des teneurs en NO ₂ sur l'EMS pour l'année 2021 - Zoom sur l'école maternelle Erckmann-Chatrion	7
Figure 4 :	Localisation du groupe scolaire Wurtz par rapport à l'annexe 1	8
Figure 5 :	Modélisation des teneurs en NO ₂ sur l'EMS pour l'année 2021 - Zoom sur le groupe scolaire Wurtz.....	8
Figure 16 :	Localisation de l'école maternelle Saint-Jean par rapport à l'annexe 1.....	9
Figure 17 :	Modélisation des teneurs en NO ₂ sur l'EMS pour l'année 2021 - Zoom sur l'école maternelle Saint-Jean	9
Figure 8 :	Localisation de l'école du Rhin par rapport l'annexe 1	10
Figure 9 :	Modélisation des teneurs en NO ₂ sur l'EMS pour l'année 2021 - Zoom sur l'école du Rhin.....	10
Figure 26 :	Localisation de l'école primaire du Schloessel par rapport à l'annexe 1	11
Figure 11 :	Modélisation des teneurs en NO ₂ sur l'EMS pour l'année 2021 - Zoom sur l'école primaire du Schloessel.....	11
Figure 12 :	Localisation de l'école Maternelle Jacques Prévert par rapport à l'annexe 1.....	12
Figure 13 :	Modélisation des teneurs en NO ₂ sur l'EMS pour l'année 2021 - Zoome sur l'école Maternelle Jacques Prévert	12
Figure 14 :	Secteurs d'émissions des oxydes d'azote sur l'EMS.....	13
Figure 15 :	tube passif pour le prélèvement du NO ₂	14
Figure 16 :	schéma d'un transect	14
Figure 17 :	Diagrammes ombrothermiques issus de la station fixe d'ATMO GE localisée à Schiltigheim lors des campagnes de mesures	16
Figure 18 :	Roses des vents issues des données de la station fixe d'ATMO GE localisée sur l'A35, sur les 4 phases de mesures	17
Figure 19 :	Rose des vents issue des données de la station fixe d'ATMO GE localisée sur l'A35, pour l'année 2022	18
Figure 20 :	Moyennes des quatre phases en NO ₂ pour l'école maternelle Erckmann-Chatrion et comparaison par rapport aux stations de mesure.....	19
Figure 21 :	Cartographie des teneurs moyennes en NO ₂ pour l'école maternelle Erckmann-Chatrion	20
Figure 22 :	Teneurs en NO ₂ par phases de mesures pour l'école maternelle Erckmann-Chatrion	20
Figure 23 :	Moyennes des quatre phases en NO ₂ pour le groupe scolaire Wurtz	21
Figure 24 :	Cartographie des teneurs moyennes en NO ₂ pour le groupe scolaire Wurtz	22
Figure 25 :	Teneurs en NO ₂ par phases de mesures pour le groupe scolaire Wurtz	23
Figure 26 :	Moyennes des quatre phases en NO ₂ pour l'école maternelle Saint-Jean	24
Figure 27 :	Cartographie des teneurs moyennes en NO ₂ pour l'école maternelle Saint-Jean.....	24
Figure 28 :	Teneurs en NO ₂ par phases de mesures pour l'école maternelle Saint-Jean.....	25
Figure 29 :	Moyennes des quatre phases en NO ₂ pour l'école du Rhin	26

Figure 30 : Cartographie des teneurs moyennes en NO ₂ pour l'école du Rhin	27
Figure 31 : Teneurs en NO ₂ par phases de mesures pour l'école du Rhin	28
Figure 32 : Moyennes des quatre phases en NO ₂ pour l'école primaire du Schloessel	29
Figure 33 : Cartographie des teneurs moyennes en NO ₂ pour l'école primaire du Schloessel	29
Figure 34 : Teneurs en NO ₂ par phases de mesures pour l'école primaire du Schloessel	30
Figure 35 : Moyennes des quatre phases en NO ₂ pour l'école Maternelle Jacques Prévert	31
Figure 36 : Cartographie des teneurs moyennes en NO ₂ pour l'école Maternelle Jacques Prévert	32
Figure 37 : Teneurs en NO ₂ par phases de mesures pour l'école Maternelle Jacques Prévert	33
Figure 38 : Teneurs en NO ₂ en moyennes des quatre phases de l'ensemble des établissements	34
Figure 39 : Vues aériennes des établissements (scol'air volet B).....	38
Figure 40 : Fréquence de détection et pourcentages de dépassement des valeurs de référence pour les polluants qui en disposent.....	42
Figure 41 : Valeur de l'indice ICONe la plus élevée par établissement	42
Figure 42 : Photos de certaines salles instrumentées (scol'air volet B)	45
Figure 43 : Microvol - prélèvement des PM2.5	46
Figure 44 : Class'Air - mesures du CO ₂	46
Figure 45 : Sonde EBRO/EBI	46
Figure 46 : diagrammes de Fauconnier - Crèche Belin	48
Figure 47 : évolution des teneurs en CO ₂ - crèche BELIN	50
Figure 48 : teneurs en NO ₂ - crèche BELIN	50
Figure 49 : teneurs en PM2.5 - crèche BELIN.....	51
Figure 50 : diagrammes de Fauconnier - Ecole Scheppler	53
Figure 51 : évolution des teneurs en CO ₂ - école Scheppler	54
Figure 52 : teneurs en NO ₂ - école Scheppler	54
Figure 53 : teneurs en PM2.5 - école Scheppler	55
Figure 54 : diagrammes de Fauconnier - Ecole Solange Fernex	56
Figure 55 : évolution des teneurs en CO ₂ - école Solange Fernex.....	57
Figure 56 : teneurs en NO ₂ - école Solange Fernex	58
Figure 57 : teneurs en PM2.5 - école Solange Fernex	59
Figure 58 : diagrammes de Fauconnier - maison de l'enfance	59
Figure 59 : évolution des teneurs en CO ₂ - maison de l'enfance.....	60
Figure 60 : teneurs en NO ₂ - maison de l'enfance	61
Figure 61 : teneurs en PM2.5 - maison de l'enfance	62
Tableau 1 : localisation des 6 établissements scolaires du volet A.....	6
Tableau 2 : périodes de mesures (volet A)	14
Tableau 3 : Méthodes de prélèvements du NO ₂	14
Tableau 4 : Paramètres météorologiques	15
Tableau 5 : Synthèse des données météorologiques	16
Tableau 6 : Données récapitulatives pour l'école maternelle Erckmann-Chatrian	21
Tableau 7 : Données récapitulatives pour le groupe scolaire Wurtz	23
Tableau 8 : Données récapitulatives pour l'école maternelle Saint-Jean	26
Tableau 9 : Données récapitulatives pour l'école du Rhin.....	28
Tableau 10 : Données récapitulatives pour l'école primaire du Schloessel	31
Tableau 11 : Données récapitulatives pour l'école Maternelle Jacques Prévert.....	33
Tableau 12 : localisation des 4 établissements scolaires du volet B.	35
Tableau 13 : Caractéristiques des établissements du volet B.....	37
Tableau 14 : récapitulatif des sources d'émissions du NO ₂ et des PM2.5, valeurs de référence et effets sur la santé.....	39
Tableau 15 : Paramètres recherchés durant la campagne écoles de l'OOQAI.....	41
Tableau 16 : phases de prélèvements - SCOL'AIR volet B.....	44
Tableau 17 : liste des pièces instrumentées - SCOL'AIR volet B.....	45
Tableau 18 : méthodes de prélèvements des PM2.5	46
Tableau 19 : Données météo - Scol'Air volet B.....	47
Tableau 20 : températures et humidités moyennes - crèche BELIN	49
Tableau 21 : indices de confinement - crèche BELIN.....	49

Tableau 22 : températures et humidités moyennes – Ecole Scheppler	53
Tableau 23 : indices de confinement – école Scheppler	53
Tableau 24 : températures et humidités moyennes – Ecole Solange Fernex	56
Tableau 25 : indices de confinement – école Solange Fernex.....	57
Tableau 26 : températures et humidités moyennes – Maison de l'Enfance	60
Tableau 27 : indices de confinement – maison de l'enfance.....	60
Tableau 28 : récapitulatif des concentrations en NO ₂ et ratios concentrations intérieures/extérieures (scol'air volet B).....	63
Tableau 29 : récapitulatif des concentrations en PM2.5 et ratios concentrations intérieures/extérieures (scol'air volet B).....	65
Tableau 30 : maximum des concentrations en NO ₂ et PM2.5 en moyennes annuelles intérieures/extérieures (scol'air volet B).....	66

INTRODUCTION

Dans le cadre du projet AACTAIR de l'ADEME, l'Eurométropole de Strasbourg a lancé le programme SCOL'AIR portant sur l'approfondissement des connaissances sur la qualité de l'air dans l'agglomération de Strasbourg. Pour cela des campagnes de mesure et une réflexion autour de solutions techniques à mettre en place aux abords ou à l'intérieur d'établissements accueillant des jeunes enfants ont été réalisées. Ces établissements ayant été identifiés comme étant potentiellement les plus exposés à des dépassements de valeur limite en dioxyde d'azote.

Pour le volet A (air extérieur), les établissements ont été sélectionnés en croisant la carte stratégique air (CSA) qui identifie un zonage de surveillance aux abords des axes routiers avec la carte de la hiérarchisation des infrastructures routières (annexe 1). En complément, a été pris en compte l'intérêt des associations et/ou des parents d'élèves du territoire pour la qualité de l'air de certains établissements, porté à la connaissance de la collectivité via différents canaux (réunions avec les associations, projets portés par ATMO Grand Est, questionnements fréquents auprès de la Direction de l'Enfance et de l'Education, etc.)

A partir des cartes, dans le cadre de la modification n° 3 du plan local d'urbanisme (PLU), de nouvelles règles entourent les futures constructions avec dans les zones rouges (dépassement avéré) et orange (dépassement potentiel) une interdiction de toute nouvelle construction d'établissement ou d'équipement sensible ou tout changement de destination vers cet usage. En zone de surveillance aux abords des axes routier, la construction est possible, sous réserve de justifier de la prise en compte des enjeux de santé liés à la qualité de l'air dans le projet en termes d'aménagement global et de conception des bâtiments. La délimitation de cette zone est définie sur la base de la hiérarchisation viaire du PLU (150 m autour des voies hyperstructurantes ; 50 m autour des voies structurantes ; 25 m autour des voies de distribution).

Le premier axe du projet (volet A) vise à vérifier la pertinence de ces distances basées sur la hiérarchisation viaire du PLU, en réalisant des mesures d'air extérieur par "transects" en proximité immédiate et en s'éloignant progressivement des établissements scolaires.

Pour le volet B (air extérieur et intérieur), la cartographie des établissements sensibles (annexe 1) impactés par des dépassements de valeur limite, élaborée en 2019, a été utilisée pour sélectionner les établissements à instrumenter. Il s'agit dans un premier temps de **confirmer ou d'infirmer la situation de l'établissement au regard de sa localisation au sein d'une zone de dépassement de valeurs limites réglementaires.**

Dans un second temps, et afin de pouvoir rechercher les meilleures solutions techniques à mettre en place, il s'agit de **vérifier en quelle quantité les polluants de l'air extérieur peuvent se retrouver dans l'air intérieur d'établissements situés à proximité immédiate d'axes à fort trafic routier.** En effet, les travaux les plus récents de l'ANSES indiquent des facteurs d'infiltration dans les bâtiments d'environ 60 % pour le dioxyde d'azote et les particules de diamètres inférieures à 2,5 micromètres (PM2.5)¹. Ces informations s'appuient sur quelques études bibliographiques et sont dépendantes de la typologie des bâtiments, des dispositifs de ventilation et d'aération, des sources à proximité...

D'autre part, afin d'anticiper les **actions à mettre en œuvre** après l'évaluation préalable, un intérêt particulier a été porté sur les équipements de ventilation mécanique couplés à l'aération, pour l'ensemble des établissements étudiés. En effet, des défauts de suivi de l'entretien et de la maintenance de ces équipements ont été observés. Les dysfonctionnements empêchent le bon renouvellement de l'air pouvant entraîner une dégradation de la qualité de l'air : augmentation des teneurs en dioxyde de carbone à l'origine de troubles de la concentration des occupants, parfois accumulation de polluants susceptibles d'impacter la santé si des sources sont identifiées dans une pièce.

¹ AVIS et RAPPORT de l'Anses relatif à une caractérisation des transferts de pollution de l'air extérieur vers l'intérieur des bâtiments. Mai 2019.

1. VOLET A

1.1. CAMPAGNES DE MESURES

1.1.1. LES ETABLISSEMENTS SELECTIONNES

Au total, 6 établissements ont fait l'objet de mesures de NO₂ à différentes distances, selon le type de voie à proximité (hyperstructurante, structurante, et de distribution).

Etant donné que le zonage du PLU s'étend sur l'ensemble de l'agglomération et même si les dépassements de la valeur limite ne concernent que le territoire de la ville de Strasbourg, deux sites de mesures ont été choisis dans les autres communes de l'Eurométropole.

	Nom écoles	Localisation
Ecole 1	Ecole primaire Erckmann-Chatrian	280 route de Schirmeck - Strasbourg
Ecole 2	Groupe scolaire Wurtz	53 rue du Rieth - Strasbourg
Ecole 3	Ecole primaire Saint Jean	13 Rue des bonnes gens - Strasbourg
Ecole 4	Groupe scolaire du Rhin	170 route du Rhin - Strasbourg
Ecole 5	Groupe scolaire Schloessel	Rue de Sélestat - Ostwald
Ecole 6	Ecole maternelle Prévert	55 route du général de Gaulle - Schiltigheim

Tableau 1 : localisation des 6 établissements scolaires du volet A

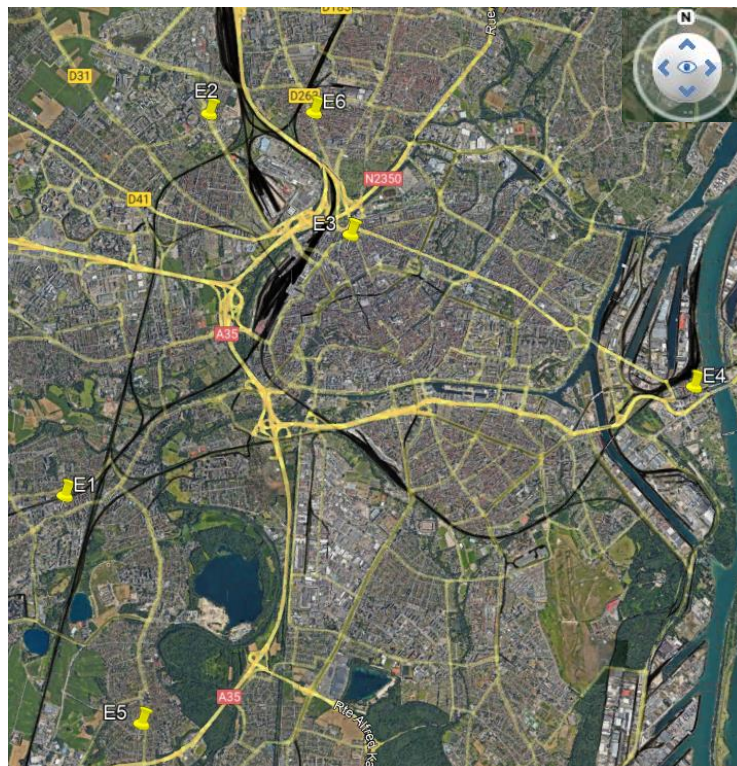


Figure 1 : localisation des 6 établissements scolaires du volet A

Ces établissements ont été sélectionnés par rapport à leur situation au regard de la qualité de l'air. Aussi pour chacun d'entre eux les figures suivantes représentent d'une part la carte de localisation de l'établissement par rapport au zonage pris en compte dans le cadre de la modification n°3 du PLU (annexe 1) et d'autre part la carte de la localisation de l'établissement au regard de la modélisation annuelle 2021 des teneurs en NO₂ sur l'Eurométropole de Strasbourg (à noter un très léger impact dû à une période de confinement de 28 jours en avril 2021 entraînant une très légère baisse des teneurs en lien avec une réduction ponctuelle du trafic routier).

Ecole Erckmann Chatrian : Une partie de l'emprise de l'école se situe à moins de 50 m du centre d'un axe structurant et par conséquent dans la zone de surveillance (en bleu).

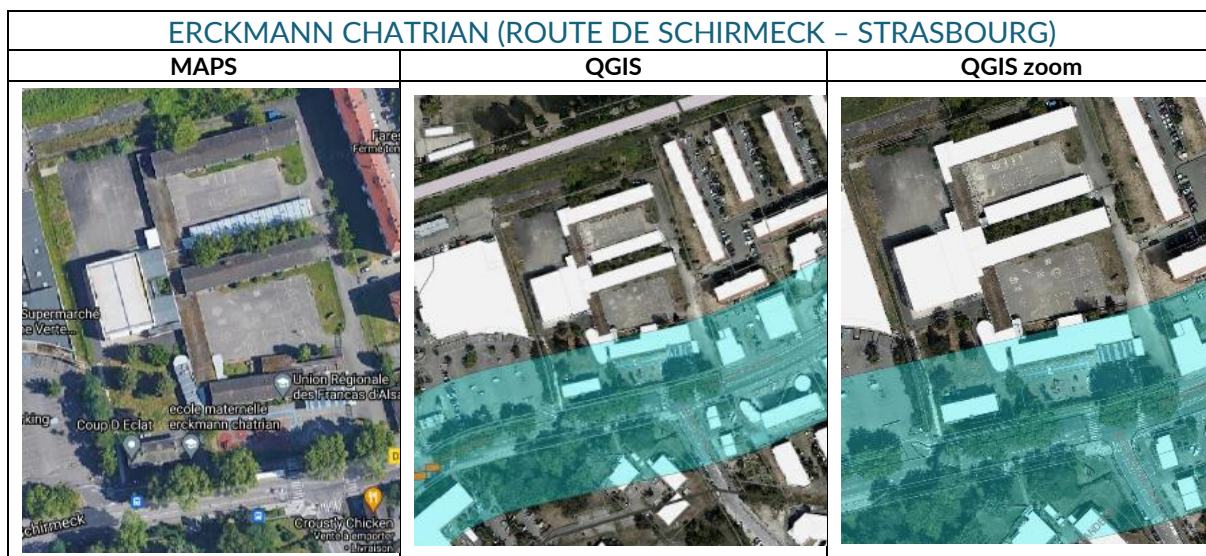


Figure 2 : Localisation de l'école maternelle Erckmann-Chatrian par rapport à l'annexe 1

La modélisation la plus récente d'ATMO Grand Est pour l'année 2021 place l'établissement sous les 20 µg/m³ en moyenne annuelle de NO₂.

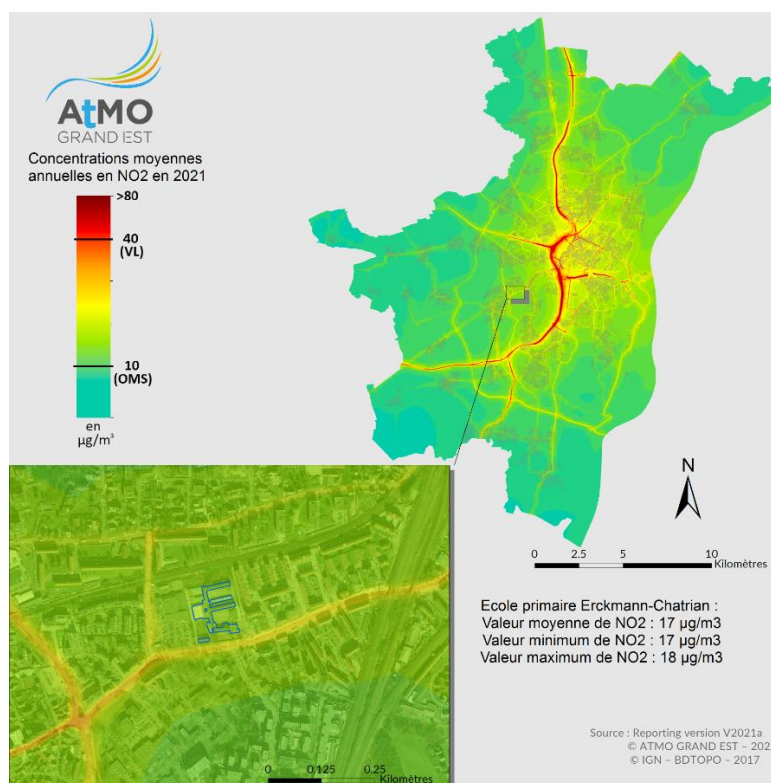


Figure 3 : Modélisation des teneurs en NO₂ sur l'EMS pour l'année 2021 - Zoom sur l'école maternelle Erckmann-Chatrian

Ecole Wurtz : La quasi-totalité de l'établissement se situe dans une zone de surveillance aux abords d'axes routiers structurants et de distribution.

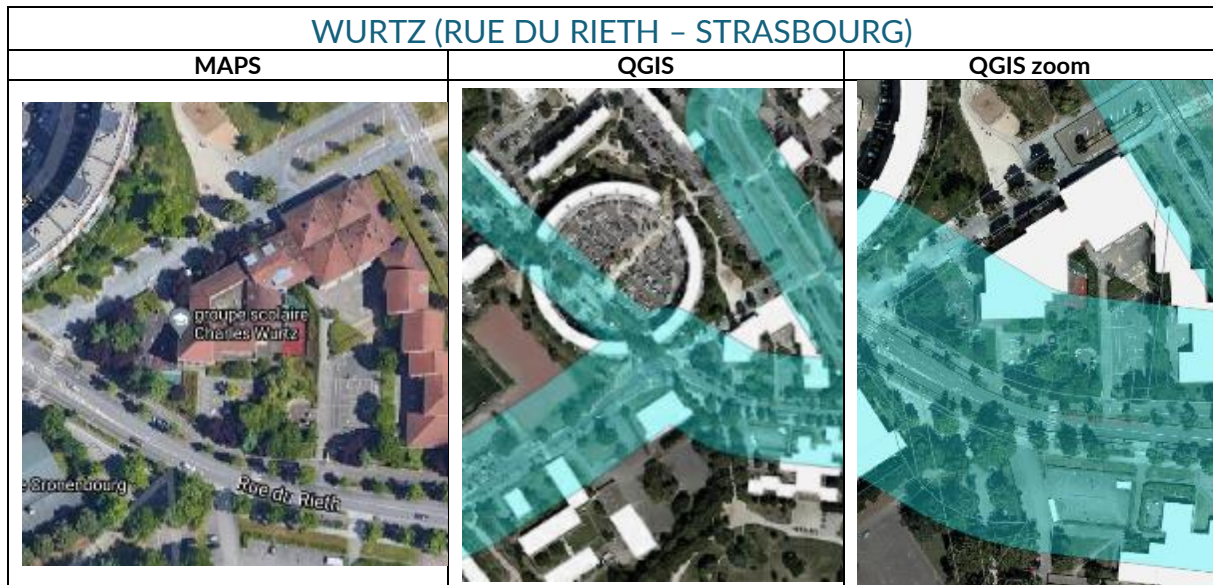


Figure 4 : Localisation du groupe scolaire Wurtz par rapport à l'annexe 1

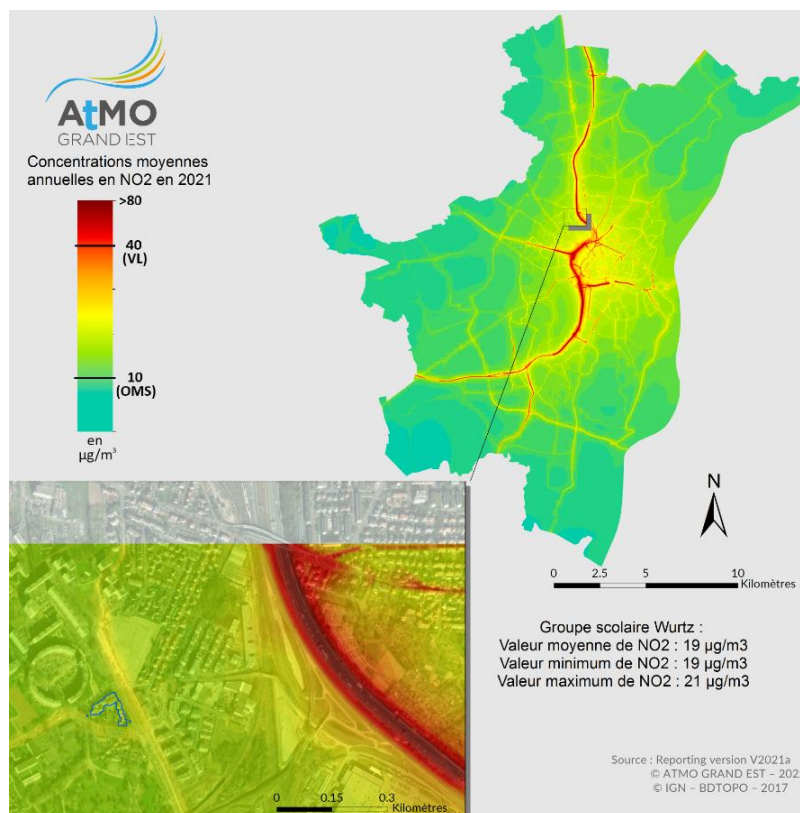


Figure 5 : Modélisation des teneurs en NO₂ sur l'EMS pour l'année 2021 – Zoom sur le groupe scolaire Wurtz

Ecole Saint Jean : L'école se situe à moins de 50 m du centre d'une voie structurante (boulevard Poincaré) mais est aussi très proche de différentes zones de dépassement de valeurs limites réglementaires (rue du Faubourg de Pierre, place de Haguenau).

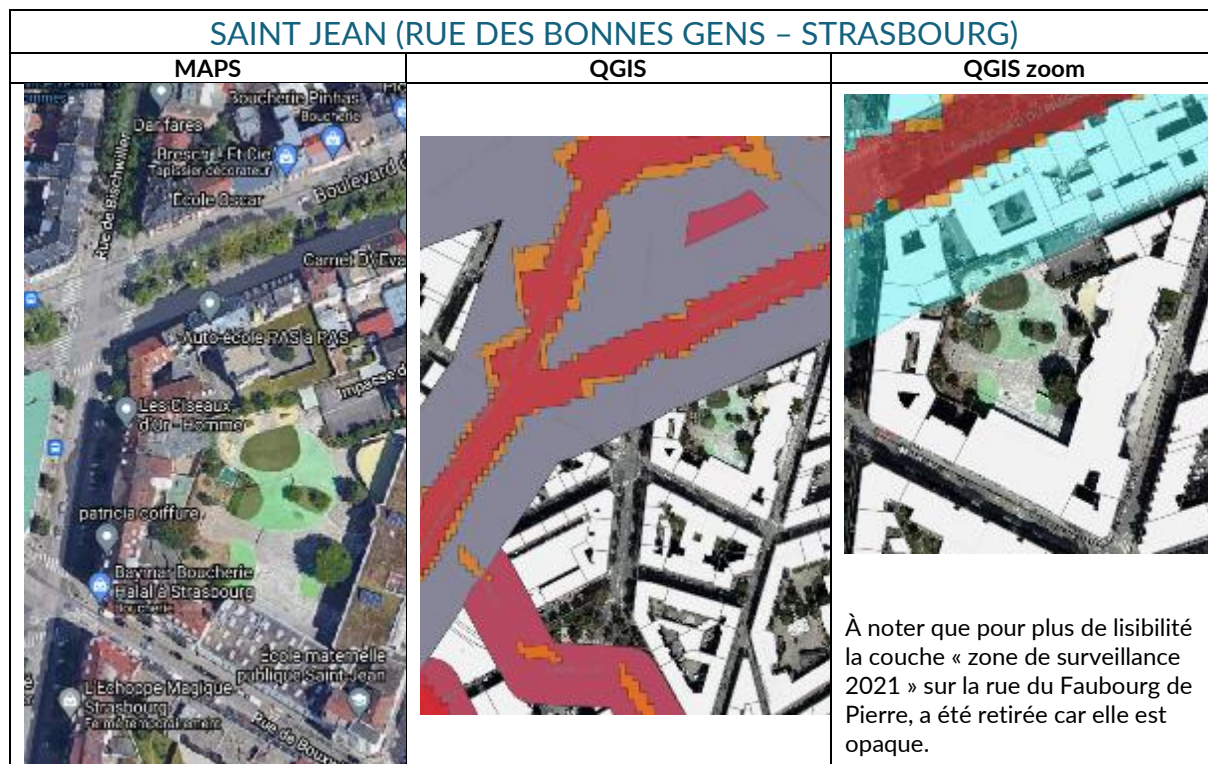


Figure 6 : Localisation de l'école maternelle Saint-Jean par rapport à l'annexe 1

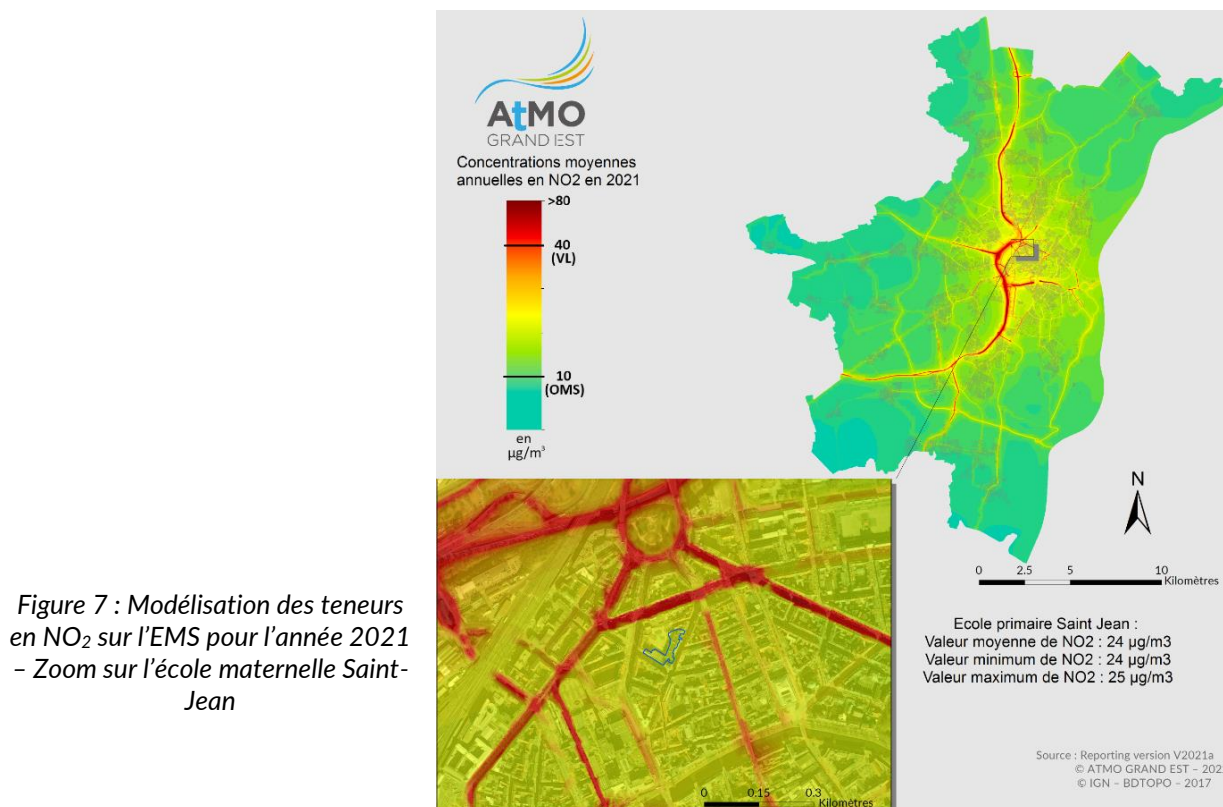


Figure 7 : Modélisation des teneurs en NO₂ sur l'EMS pour l'année 2021 - Zoom sur l'école maternelle Saint-Jean

Ecole du Rhin : L'école est située à moins de 50 m de l'avenue de l'Europe (en contrebas), voie structurante faisant l'objet de dépassements de valeurs limites.

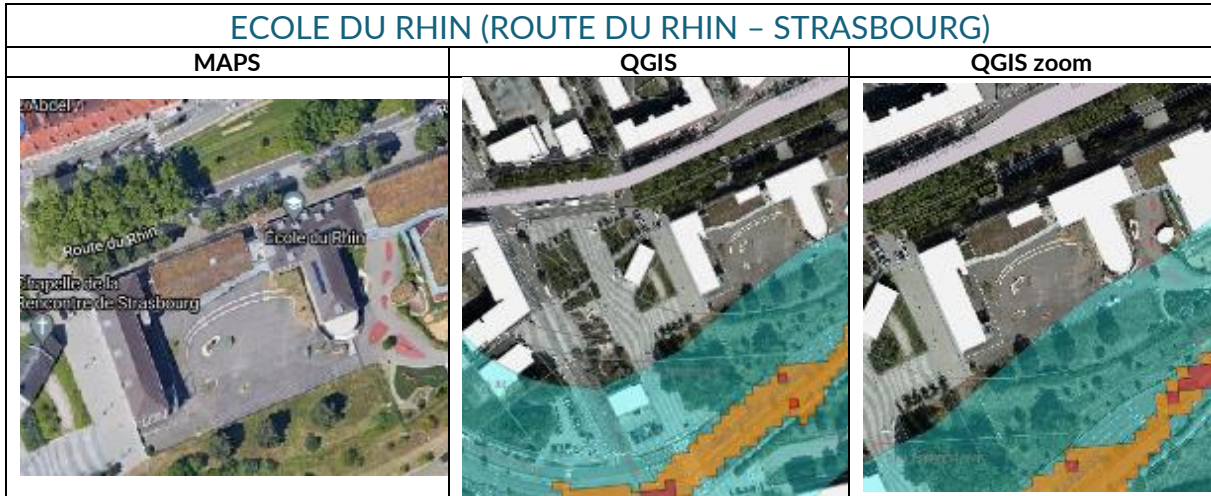


Figure 8 : Localisation de l'école du Rhin par rapport l'annexe 1

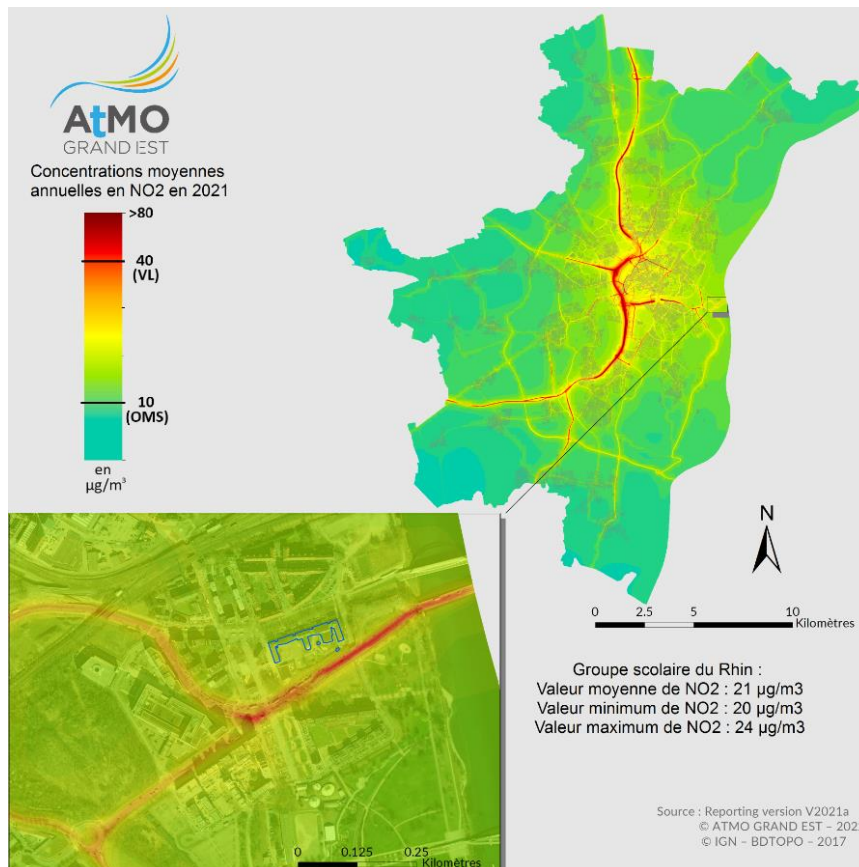


Figure 9 : Modélisation des teneurs en NO₂ sur l'EMS pour l'année 2021 - Zoom sur l'école du Rhin

Ecole Schloessel : L'école est proche d'une zone de surveillance à proximité d'un axe routier (rue du Maréchal Foch) et se trouve à moins de 300 m de l'A35.

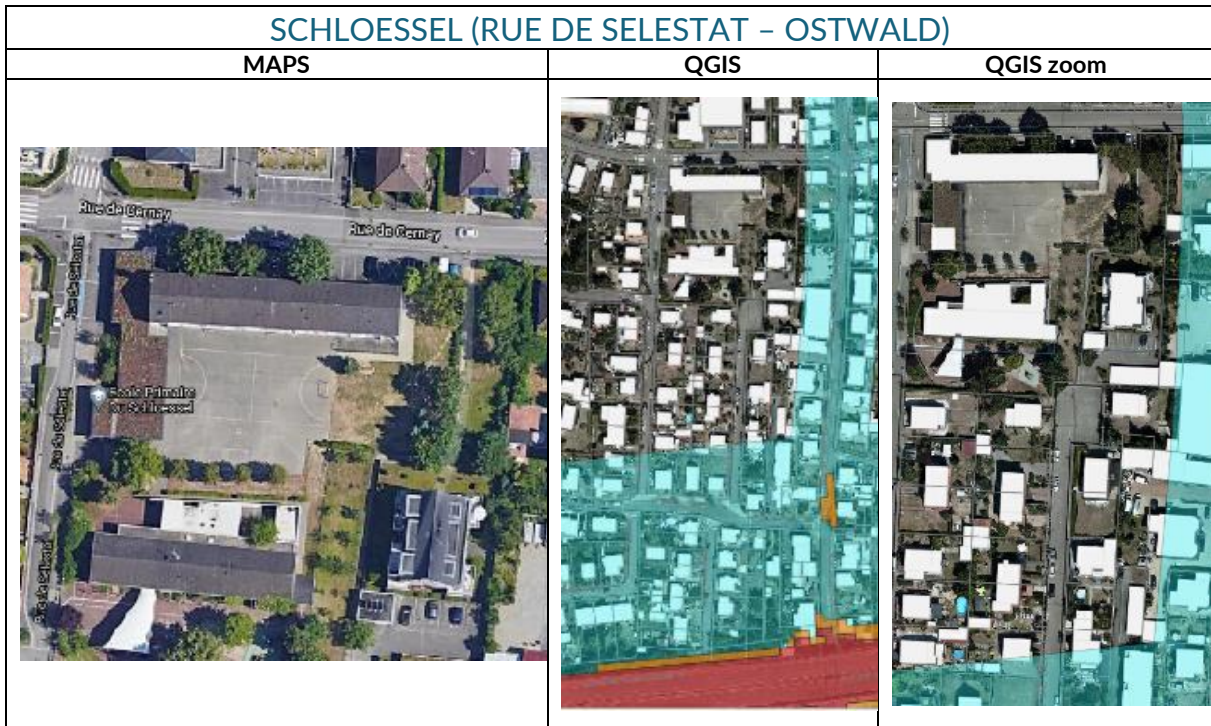


Figure 10 : Localisation de l'école primaire du Schloessel par rapport à l'annexe 1

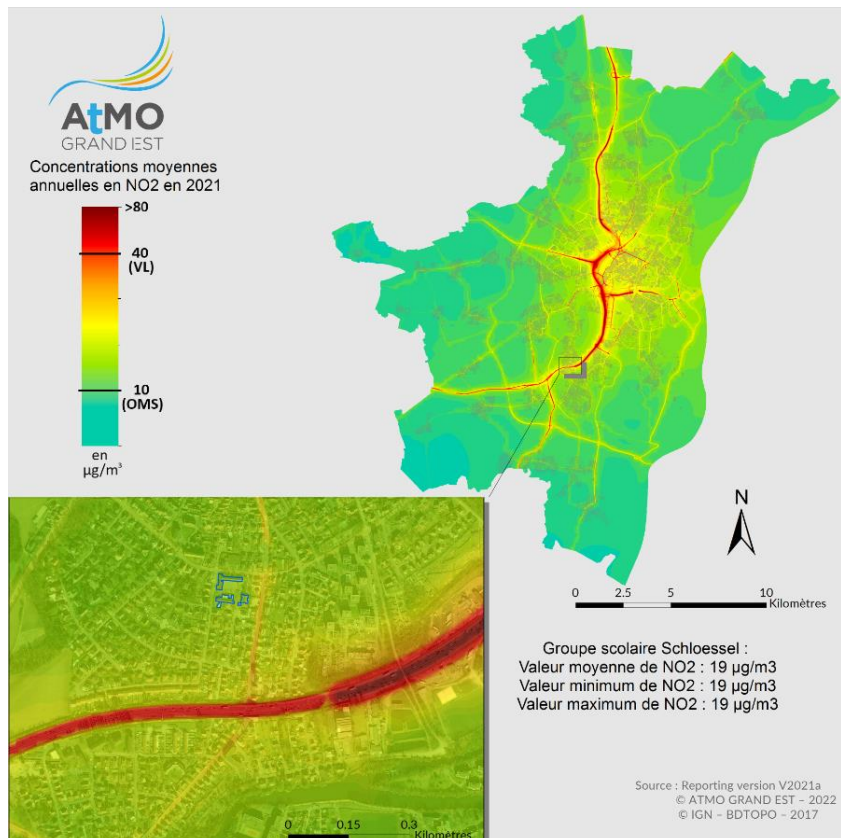


Figure 11 : Modélisation des teneurs en NO₂ sur l'EMS pour l'année 2021 - Zoom sur l'école primaire du Schloessel

Ecole Prévert : L'école est aux abords de la route du Général de Gaulle et à moins de 300 m de l'A35, zones de dépassements avérés de valeurs limites.

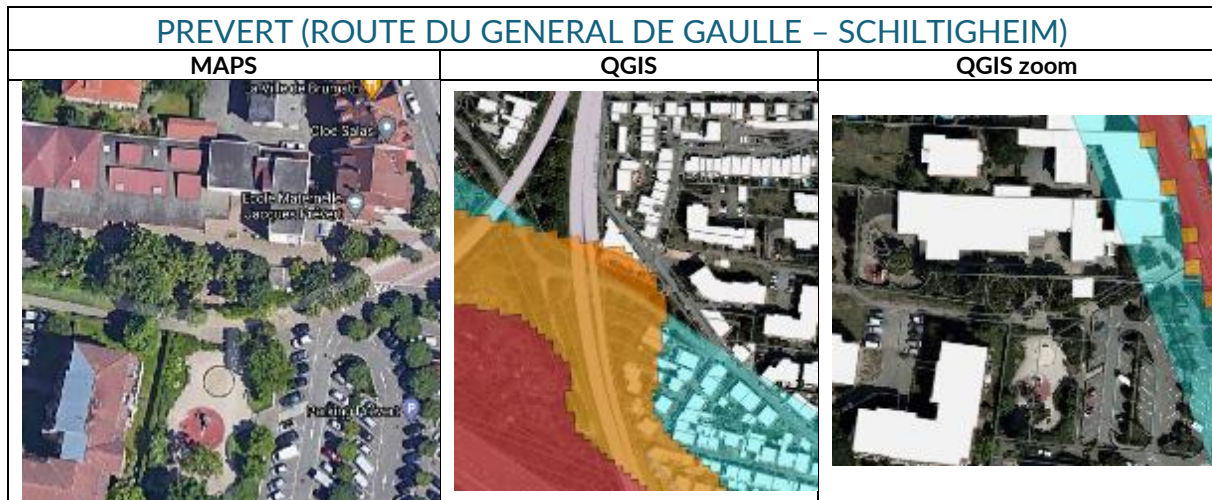


Figure 12 : Localisation de l'école Maternelle Jacques Prévert par rapport à l'annexe 1

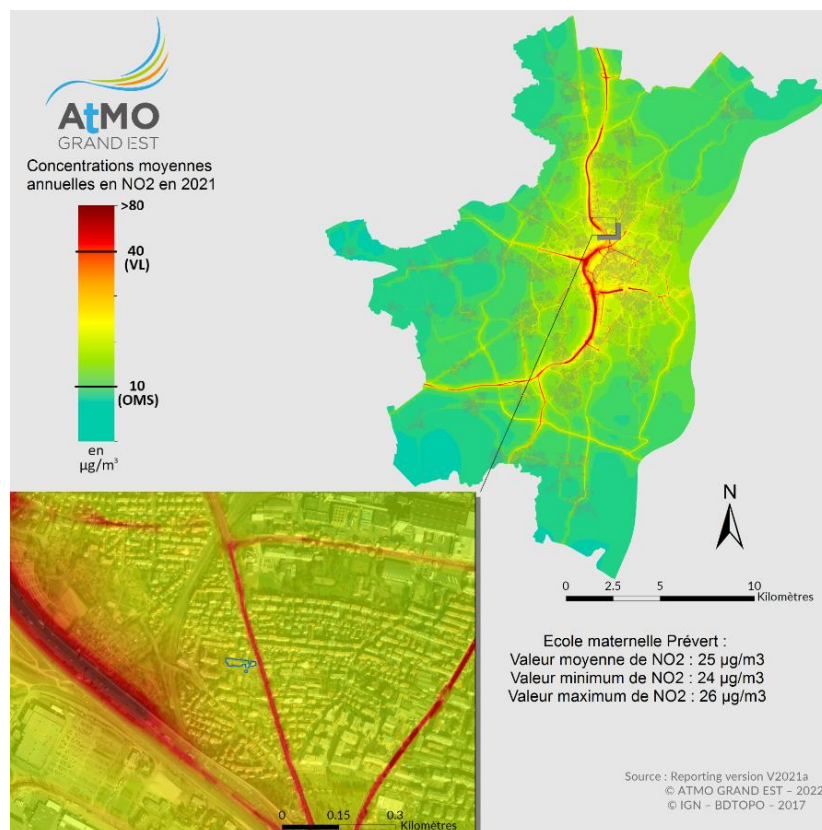


Figure 13 : Modélisation des teneurs en NO₂ sur l'EMS pour l'année 2021 - Zoome sur l'école Maternelle Jacques Prévert

1.1.2. LE POLLUANT SUIVI ET LES PHASES DE MESURES

La sectorisation des émissions d'oxydes d'azote de l'Eurométropole de Strasbourg (Invent'Air V2022 – données 2020) est présentée à partir de l'inventaire des émissions atmosphériques de polluants et de gaz à effet de serre d'ATMO GE.

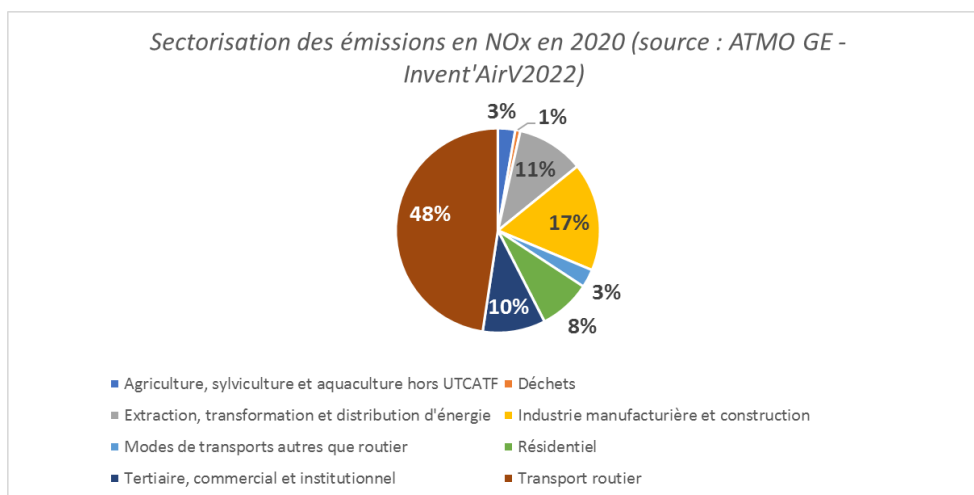


Figure 14 : Secteurs d'émissions des oxydes d'azote sur l'EMS

En 2020, les NOx sont majoritairement issus du transport routier (représentant 48 % des émissions), suivi par le secteur de l'industrie 17 %, l'énergie (11 %), le tertiaire (10 %), les autres secteurs représentant chacun moins de 10 % des émissions. Les NOx se transforment rapidement dans l'atmosphère en dioxyde d'azote (NO₂) par oxydation. Ces émissions ont pu être impactées par les confinements de l'année 2020. En 2019, le trafic routier représentait 52 % des émissions totales.

Dans l'air ambiant, la réglementation impose un respect d'une valeur limite sur une année civile fixée à 40 µg/m³ par le décret n° 2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air.

Une valeur limite est un niveau à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser, et fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble. *A noter que les mesures ont eu lieu sur une année glissante entre 2021 et 2022 ne respectant pas la condition d'une année civile pour une comparaison stricte.* L'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS) émet des lignes directrices pour les polluants réglementés de l'air ambiant dont le NO₂. Elles sont établies sur la base des dernières données scientifiques disponibles relatives aux effets des polluants atmosphériques sur la santé. L'OMS recommande de ne pas dépasser les seuils de référence fixés pour limiter l'exposition des populations au niveau mondial et protéger leur santé. À la suite de nouvelles études sanitaires récentes, une nouvelle valeur a été publiée en 2021 et est désormais de 10 µg/m³ sur une année (40 µg/m³ auparavant entre 2005 et 2021).

La durée d'exposition pour les prélèvements de NO₂ est de 4x14 jours répartis uniformément tout le long de l'année de la campagne.

Conformément aux exigences de l'annexe 1 de la directive européenne 2008/50/CE du 21 mai 2008 relative à la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe, la couverture temporelle permet la reconstitution d'une moyenne annuelle pour une mesure indicative doit être à minima de 14 % de l'année.

	Périodes de prélèvements	Nombre de jours
C1	21/06 au 05/07/2021	14
C2	09/11 au 23/11/2021	14
C3	21/02 au 07/03/2022	14
C4	28/04 au 12/05/2022	14

Tableau 2 : périodes de mesures (volet A)

1.1.3. MOYENS DE PRELEVEMENTS

La stratégie de campagne consiste à instrumenter la majorité des écoles avec des tubes passifs.

Le principe de fonctionnement de ce mode de prélèvement est basé sur celui de la diffusion passive de molécules sur un adsorbant adapté au piégeage spécifique du polluant gazeux. La quantité de molécules piégées est proportionnelle à sa concentration dans l'environnement et est déterminée par analyse des échantillons différée en laboratoire. Ce mode de prélèvement fournit une moyenne sur l'ensemble de la période d'exposition.

Polluants	Méthode analytique	Norme	Laboratoire d'analyse
Dioxyde d'azote (NO ₂)	Colorimétrie à 540 nm selon la réaction de Saltzmann	NF EN 16 339	SynAir'GIE

Tableau 3 : Méthodes de prélèvements du NO₂



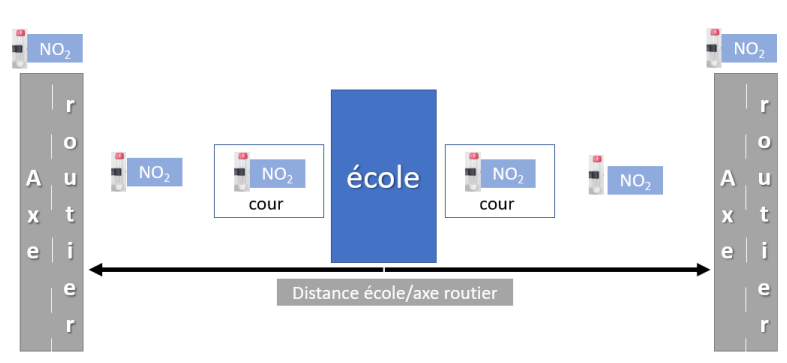
Après exposition, les tubes sont collectés et analysés en laboratoire. La concentration en polluant correspond à une valeur moyennée sur la durée d'exposition du tube.

Des contrôles qualité sont effectués tout au long de l'étude avec la réalisation de blancs et de triplicats, permettant de s'assurer de la répétabilité des mesures.

Figure 15 : tube passif pour le prélèvement du NO₂

Les tubes passifs ont été placés dans les cours, et aux alentours en tant compte des axes de circulations selon le principe ci-contre adapté au cas par cas :

Figure 16 : schéma d'un transect

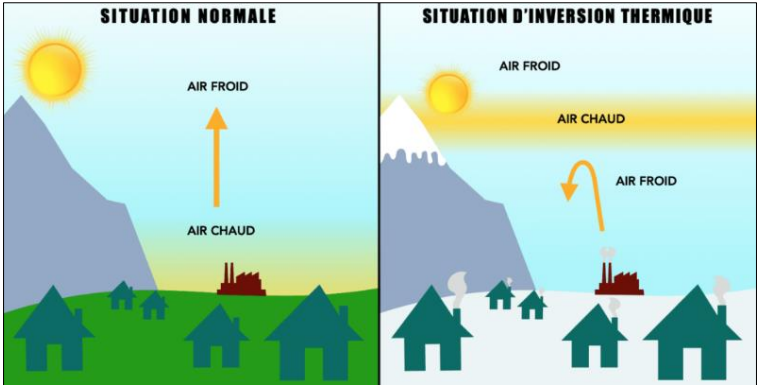


1.2. RESULTATS DES CAMPAGNES DE MESURES

1.2.1. CONDITIONS METEOROLOGIQUES

Divers paramètres météorologiques contrôlent en partie le comportement des polluants dans l'air ambiant (dispersion, accumulation...). Ainsi, les niveaux mesurés peuvent varier fortement sur une courte durée.

Tableau 4 : Paramètres météorologiques

Paramètre	Rôle de paramètres météorologiques dans la formation et la dispersion des polluants de l'air
Température (en °C)	La température agit sur la chimie et les émissions des polluants : le froid diminue la volatilité de certains gaz et peut favoriser la stagnation des gaz issus des rejets d'échappement des véhicules, des installations de chauffage (dispersion limitée) etc., tandis que les fortes températures favorisent les transformations photochimiques des polluants.
Précipitations (en mm)	Elles sont généralement associées à une atmosphère instable, qui permet également une bonne dispersion de la pollution atmosphérique. Par ailleurs, elles entraînent au sol les polluants les plus lourds. Elles peuvent parfois accélérer la dissolution de certains polluants. Globalement, les concentrations en polluants dans l'atmosphère diminuent nettement par temps de pluie.
Direction du vent (en degrés) et vitesse du vent (m/s)	Le vent est un paramètre météorologique essentiel, et contrôle la dispersion des polluants. Il intervient tant par sa direction pour orienter les panaches de pollution que par sa vitesse pour diluer et entraîner les émissions de polluants. Une absence de vent contribuera à l'accumulation de polluants près des sources et inversement. Certains phénomènes, comme les inversions de température , influencent la dispersion des masses d'air plus ou moins chargées en polluants.
	 <p>Schéma d'une inversion thermique (source : Météo France)</p>

Les diagrammes ombrothermiques obtenus au cours des quatre campagnes de mesures, sont présentés ci-dessous. Les graphiques sont élaborés à partir des températures moyennes journalières et du cumul des précipitations journalières, ce qui permet de visualiser les variations conjointes de ces deux paramètres.

Remarque : les données de pluviométrie permettent d'obtenir une information sur la quantité d'eau tombée lors d'une journée mais pas sur l'intensité des épisodes pluvieux (30 min, 1 h, 5 h, une journée de pluie...).

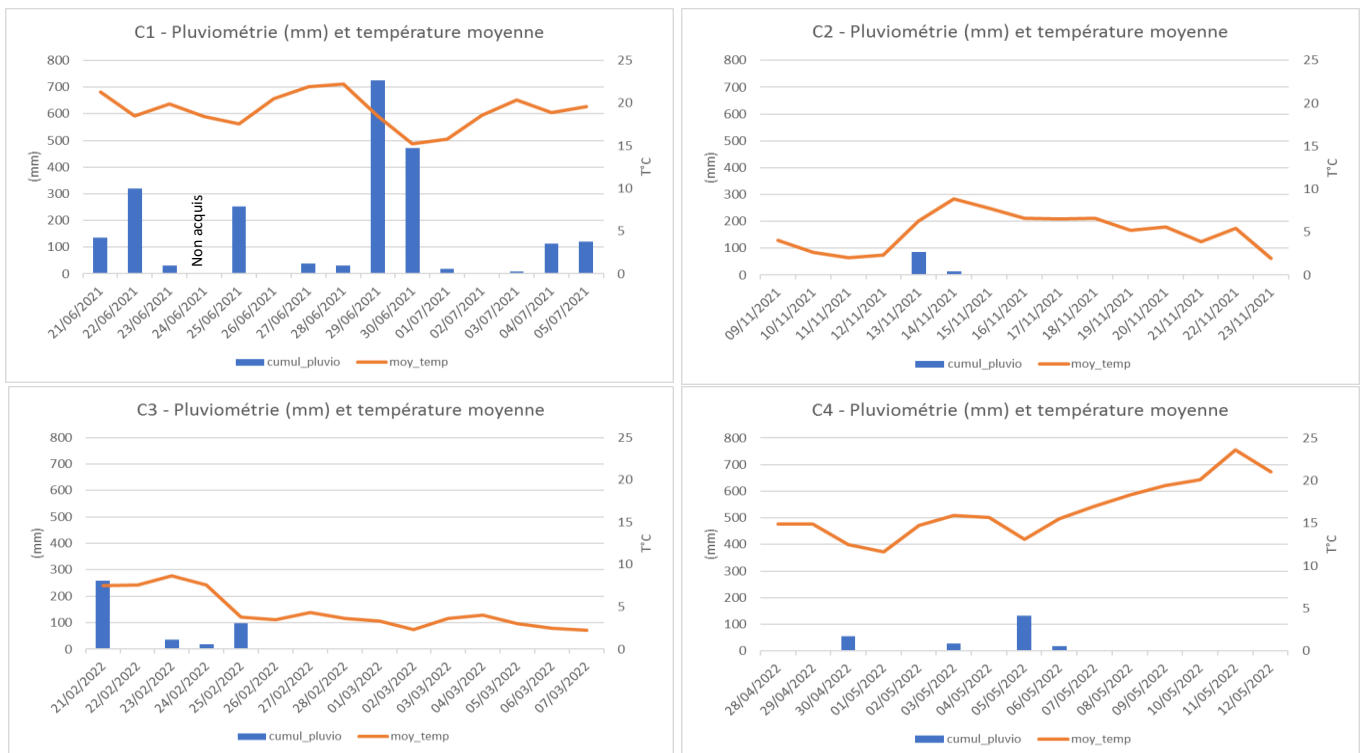


Figure 17 : Diagrammes ombrothermiques issus de la station fixe d'ATMO GE localisée à Schiltigheim lors des campagnes de mesures

	Pluviométrie totale (mm)	Pluviométrie moyenne (mm)	Nb j de pluie (sur 14)	Temp. moyenne (°C)
Phase 1 (été)	2268	162	12	19,2
Phase 2 (automne)	101	6,7	2	5
Phase 3 (hiver)	413	27,5	5	4,5
Phase 4 (printemps)	235	15,6	4	16,5

Manque une journée de données

Tableau 5 : Synthèse des données météorologiques

Durant la phase 1 (juin 2021), les pluies ont été fréquentes et abondantes. Cette période présente 12 jours où des précipitations ont été relevées, le cumul total s'élevant à 2268 mm. Le plus fort cumul journalier a été relevé le 26 juin (725 mm). Les autres phases ont été peu pluvieuses, notamment la phase 2.

Sur l'année 2022 complète, il y a eu 150 jours de pluie soit 41 % de l'année et la moyenne des précipitations a été de 68 mm. Sur l'année 2021, 173 jours de pluie soit 47 % et 96 mm en moyenne. Pour rappel, lors de précipitations, les gouttes de pluies captent les polluants, favorisant ainsi le lessivage des masses d'air et une dilution des polluants.

Les températures ont été plus élevées en été et au printemps, période plus favorable à la volatilité des polluants contrairement à l'automne et à l'hiver.

→ Globalement, sur la campagne, les épisodes pluvieux ont concerné 41 % du temps, ce qui est similaire à une année comme 2022, avec des précipitations en quantité inférieures aux moyennes des années 2021-2022 sauf en phase 1. La phase 1 (estivale) a été particulièrement pluvieuse et a donc été très favorable à la dilution des polluants.

Les conditions de pluie observées sur les trois autres phases ont été moyennement favorables à la dilution des polluants.

En automne et en hiver, les polluants ont pu avoir eu tendance à stagner davantage dans l'air, avec des températures plus froides que le printemps et l'été.

La figure suivante présente les roses des vents des quatre campagnes. A noter que les vitesses des vents inférieures ou égales à 1 m/s sont exclues.

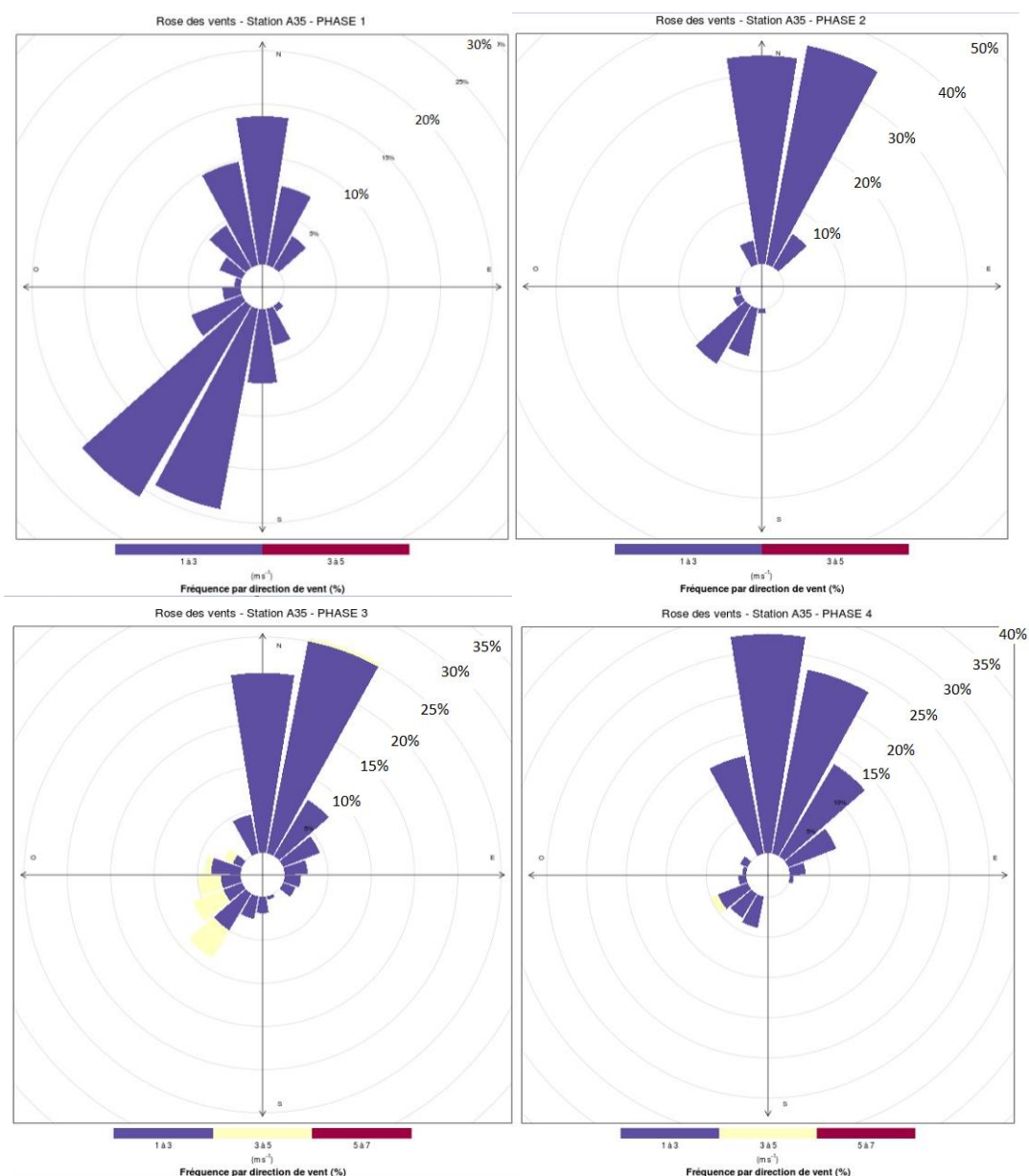


Figure 18 : Roses des vents issues des données de la station fixe d'ATMO GE localisée sur l'A35, sur les 4 phases de mesures

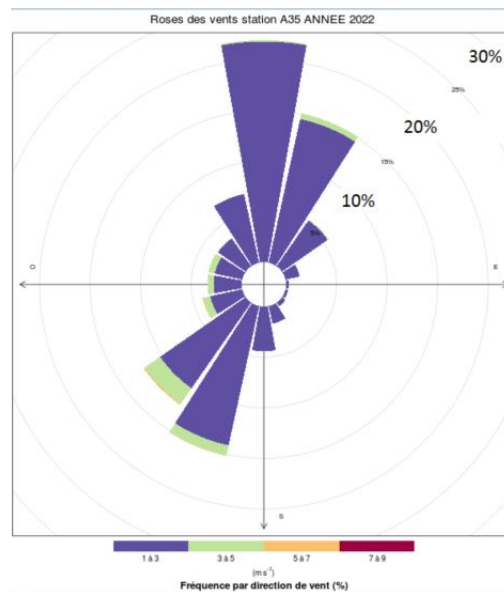


Figure 19 : Rose des vents issue des données de la station fixe d'ATMO GE localisée sur l'A35, pour l'année 2022

Sur l'ensemble de la campagne :

- ✓ 97 % des vents ont des vitesses comprises entre 1 à 3 m/s (94 % sur une année pleine 2022) ;
- ✓ 3 % des vents ont des vitesses comprises entre 3 à 5 m/s. (6 % sur une année pleine 2022).
- ✓ Il n'y a pas de vents ayant des vitesses supérieures à 5 m/s (similaire sur toute l'année 2022).
- ✓ Les directions majoritaires sont les secteurs Nord/Nord-Est sauf pour la phase 1 prédominée par des vents de secteur Sud-Ouest. Sur une année (exemple 2022) : secteurs Nord/Nord-Ouest (7 %), Nord/Nord-Est (37 %), Sud/Sud-Ouest (20 %), Sud-Ouest (12 %).

Le vent est un paramètre météorologique essentiel et contrôle la dispersion des polluants. Il intervient tant par sa direction pour orienter les panaches de pollution, que par sa vitesse pour disperser les émissions de polluants. Une absence de vent contribuera à l'accumulation de polluants près des sources.

- Les vents des phases 2-3-4 sont principalement orientés Nord/Nord-Est et sont assez représentatifs d'une année (exemple de 2022). La phase 1 est la seule dominée par le secteur Sud-Ouest, orientation également constatée en 2022 dans une moindre mesure.

- Les faibles intensités de vent observées au cours des campagnes n'ont probablement pas eu d'impact significatif sur la dispersion des polluants émis par les sources connues très proches des établissements. La pollution autour d'établissements à moins de 50 m d'un axe routier a donc été probablement peu dispersée.

A mesure de l'éloignement de la source, l'impact réel dépend de la localisation des axes routiers par rapport aux écoles, de la direction et de la vitesse des vents. Ainsi, un établissement situé au Nord-Est de l'axe principal (cas des écoles Schloessel et Prévert avec l'autoroute A35) est avec des vents soufflant majoritairement du Nord/Nord-Est lors de la campagne, moins impacté qu'un établissement situé au Sud-Ouest de l'axe qui aurait été sous les vents dominants. En revanche, sur une année (exemple 2022), avec des vents dominants également en provenance du Sud-Ouest et soufflants parfois (6 % du temps) un peu plus forts, les établissements au Nord-Est sont par moment plus impactés.

Globalement, les conditions météorologiques (précipitations, vents, températures) ont été favorables à la qualité de l'air (dilution et dispersion) en période estivale et moins sur les autres phases.

Les résultats sont présentés par école avec :

- ✓ Un graphique représentant les teneurs annuelles, les teneurs aux stations du réseau strasbourgeois de ATMO Grand Est (liste en annexe 2) et une information sur une mesure proche issue de la campagne réalisée en 2021 par ATMO GE sur le secteur de l'Eurométropole de Strasbourg² ;
- ✓ Une cartographie des données annuelles à l'échelle de l'établissement ;
- ✓ Un graphique sur les données par phase de prélèvements ;
- ✓ Un tableau récapitulatif croisant les données de terrain, de modélisation, et d'informations routières ;
- ✓ Une interprétation des résultats.

1.2.2. ECOLE 1 – ERCKAMANN CHATRIAN

Les résultats des 4 campagnes de mesures sont visualisés au travers des graphiques, carte et tableau ci-dessous.

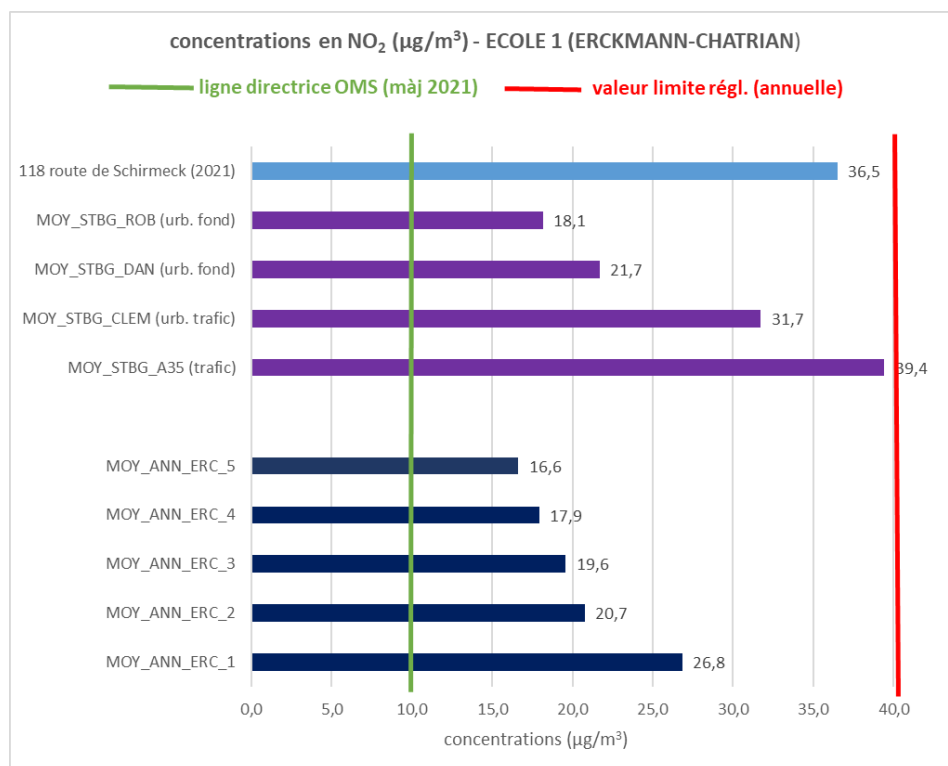


Figure 20 : Moyennes des quatre phases en NO₂ pour l'école maternelle Erckmann-Chatrian et comparaison par rapport aux stations de mesure

² <https://www.atmo-grandest.eu/etude/evaluation-du-dioxyde-dazote-sur-leurometropole-de-strasbourg-en-2021>. 6 séries de prélèvements ont eu lieu en 2021 sur 29 sites de mesures au sein de l'EMS.

Les niveaux moyens annuels s'échelonnent de **16,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** (site le plus éloigné dans l'arrière-cour) à **26,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** (point n° 1 hors école - le plus proche de l'axe routier route de Schirmeck). A mesure de l'éloignement de l'axe, une décroissance progressive est observée.

La cour la plus proche de l'axe routier (point n° 2) se situe à **20,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . **L'ensemble des teneurs se positionne en moyenne des quatre phases en dessous de la valeur limite annuelle réglementaire fixée à 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . En revanche, à titre indicatif, tous les points dépassent la valeur correspondant à la ligne directrice de l'OMS (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - mise à jour en 2021).

Les niveaux moyens annuels en NO_2 issus des points dans l'école se situent dans la moyenne de la gamme des concentrations des sites urbains de fond (réseau ATMO GE) et largement en dessous de la teneur observée en 2021 à environ 1 km au Nord-Est (au 180 route de Schirmeck).

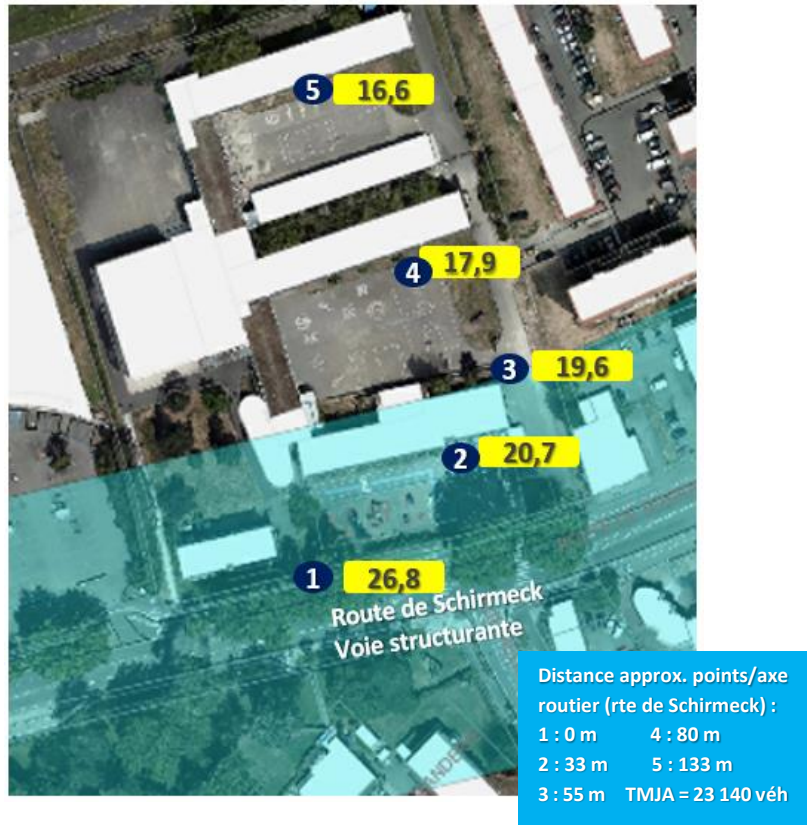


Figure 21 : Cartographie des teneurs moyennes en NO_2 pour l'école maternelle Erckmann-Chatrian

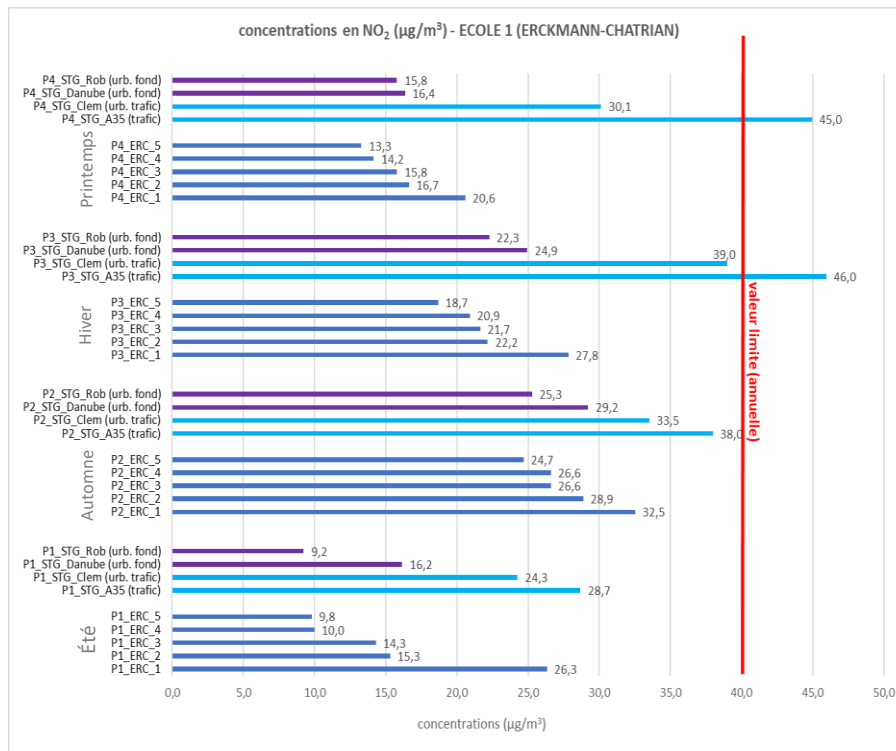


Figure 22 : Teneurs en NO_2 par phases de mesures pour l'école maternelle Erckmann-Chatrian

La phase estivale est celle ayant présenté les teneurs les moins élevées. A contrario, la phase automnale est caractérisée par les teneurs maximales sur l'ensemble des points. Les conditions très pluvieuses des deux semaines de l'été et les deux semaines relativement sèches durant l'automne peuvent expliquer cette observation, relative à l'ensemble des établissements.

ERCK. CHARTRIAN	MOY annuelles 4 campagnes $\mu\text{g}/\text{m}^3$	MOY modélisation 2021 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Autre campagne rte de Schirmeck (2021) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Distance (m) par rapport à l'axe routier principal (route de Schirmeck)	TMJA (véh/j) route de Schirmeck
PT 1 (route)	26,8	17 à 18	36,0	0	23 140 TMJA = trafic moyen journalier annuel
PT 2 (cour avant)	20,7		33		
PT 3 (entrée latérale)	19,6		55		
PT 4 (cour milieu)	17,9		80		
PT 5 (cour arrière)	16,6		133		

Tableau 6 : Données récapitulatives pour l'école maternelle Erckmann-Chatrian

1.2.3. ECOLE 2 - WURTZ

Les résultats des 4 campagnes de mesures sont visualisés au travers des graphiques, carte et tableau ci-dessous.

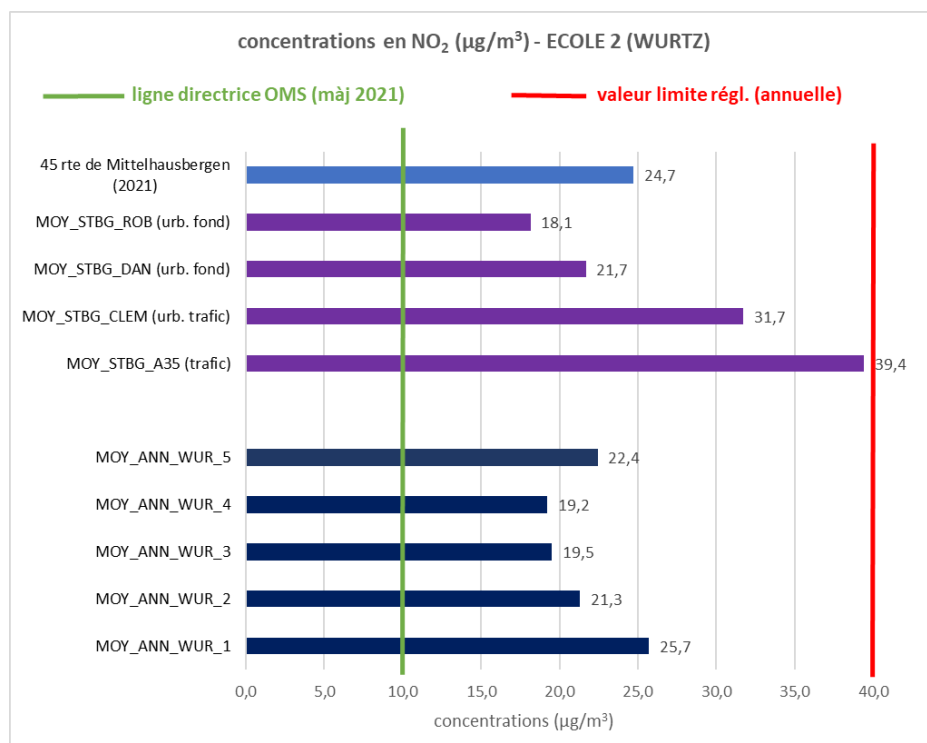


Figure 23 : Moyennes des quatre phases en NO_2 pour le groupe scolaire Wurtz



Figure 24 : Cartographie des teneurs moyennes en NO₂ pour le groupe scolaire Wurtz

Les niveaux moyens annuels s'échelonnent de **19,2 µg/m³** (point n°4 arrière-cour - le plus éloigné de la rue Rieth et proche de la route de Hochfelden mais séparée par le bâtiment) à **25,7 µg/m³** (point n° 1 hors école - le plus proche de l'axe routier rue Rieth). Le point n° 2 dans une autre cour (maternelle), proche de la rue Rieth se situe à 21,3 µg/m³. Le point n° 5 (hors école, sur la route de Hochfelden) est quant à lui à 22,4 µg/m³.

L'ensemble des concentrations se positionne en dessous de la valeur limite annuelle réglementaire fixée à 40 µg/m³. En revanche, à titre indicatif, tous les points dépassent la valeur correspondant à la ligne directrice de l'OMS (10 µg/m³ mise à jour en 2021).

Les niveaux moyens annuels en NO₂ issus des points dans l'école se situent dans la moyenne de la gamme des concentrations des sites urbains de fond (réseau ATMO GE de Strasbourg) et en dessous (ou très proche - cas du point n°1 rue Rieth) de la valeur observée en 2021 à 500 m (à vol d'oiseau) sur la route de Mittelhausbergen (au Sud).

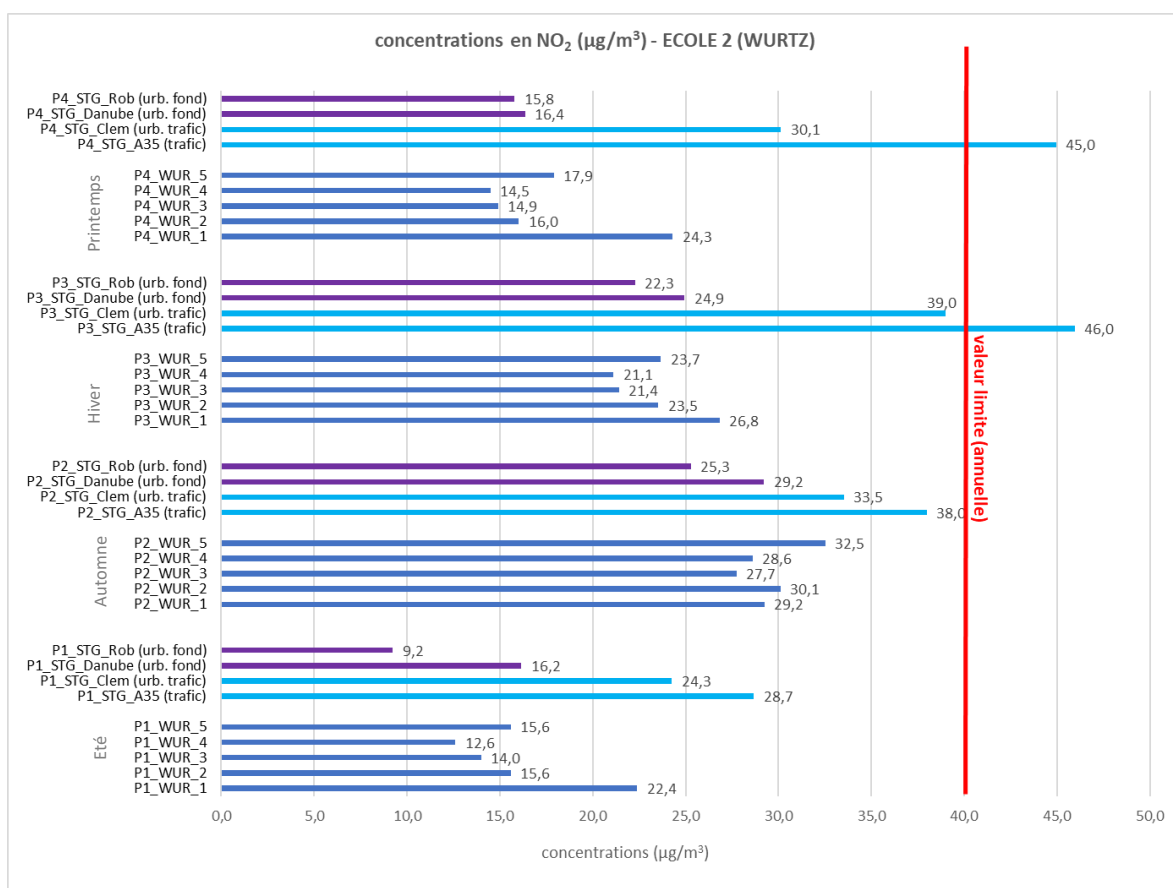


Figure 25 : Teneurs en NO₂ par phases de mesures pour le groupe scolaire Wurtz

La phase estivale est celle ayant présenté les teneurs les moins élevées. A contrario, la phase automnale est caractérisée par les teneurs maximales sur l'ensemble des points. Les conditions très pluvieuses des deux semaines de l'été et les deux semaines relativement sèches durant l'automne peuvent expliquer cette observation, relative à l'ensemble des établissements.

WURTZ	MOY annuelles 4 campagnes µg/m ³	MOY modélisation 2021 µg/m ³	Autre campagne Rte de Mittelhausbergen (2021)	Distance (m) par rapport aux axes			
				Rue Rieth	TMJA (véh/j)	Route de Hochfelden	TMJA (véh/j)
PT 1 (rue Rieth)	25,7		24,7	0	6 620	NC	6 740
PT 2 (cour mater.)	21,3	19 à 21		24		110	
PT 3 (cour. Él.)	19,5			40		56	
PT 4 (arrière)	19,2			75		43	
PT 5 (rte Hoch.)	22,4			NC			

Tableau 7 : Données récapitulatives pour le groupe scolaire Wurtz

1.2.4. ECOLE 3 - ST JEAN

Les résultats des 4 campagnes de mesures sont visualisés au travers des graphiques, carte et tableau ci-dessous.

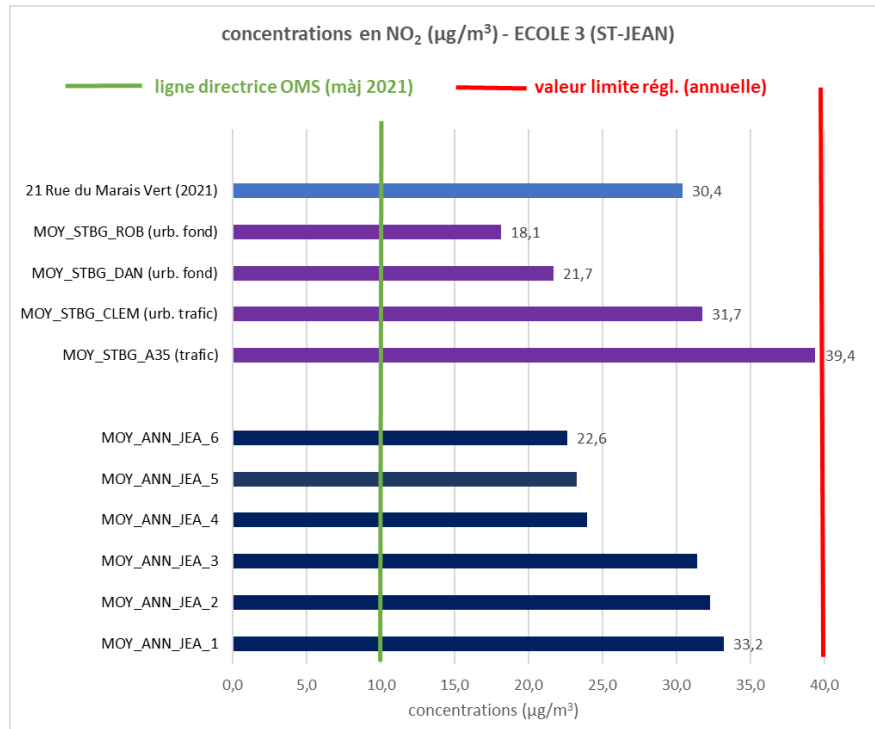


Figure 26 : Moyennes des quatre phases en NO₂ pour l'école maternelle Saint-Jean



Figure 27 : Cartographie des teneurs moyennes en NO₂ pour l'école maternelle Saint-Jean

Distance approx. points/axe routier (Blv. Président Poincaré)
 1 : 0 m 4 : NC
 2 : NC 5 : 66 m
 3 : NC 6 : 95 m
 TMJA = 28 800 véh/j

Distance approx. points/axe routier (rue Faub. de Pierre)
 1 : NC 4 : NC
 2 : 0 m 5 : 130 m
 3 : NC 6 : 153 m
 TMJA = 4440 véh/j

Les niveaux moyens annuels s'échelonnent de **22,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** (point n° 6 dans une partie de la cour de l'école, la plus éloignée du Boulevard du Président Poincaré) à **33,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** (point n° 1 hors école – Boulevard du Président Poincaré). Les deux points situés dans la cour de l'école ont des teneurs assez similaires de **22,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** (point n° 26) et **23,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** (point n° 5). Ces teneurs sont inférieures à celles relevées sur les axes routiers structurants aux alentours.

Les points instrumentés aux niveaux des axes routiers principaux ont donc des teneurs plus élevées que les points école-cour avec au maximum **33,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** sur le Boulevard du Président Poincaré (point n° 1), **32,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** rue du Faubourg de Pierre (point n° 2), **31,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** rue du Travail (point n° 3) et enfin **24,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** au niveau de l'entrée de l'école rue des Bonnes Gens (point n° 4).

L'ensemble des teneurs se positionne en dessous de la valeur limite annuelle réglementaire fixée à 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En revanche, à titre indicatif, tous les points dépassent la valeur correspondant à la ligne directrice de l'OMS (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mise à jour en 2021).

Les niveaux moyens annuels en NO_2 issus des 2 points dans l'école se situent légèrement au-dessus des concentrations observées au même moment sur les sites urbains de fond (réseau ATMO GE de Strasbourg). Les teneurs aux niveaux des axes (hors rue des Bonnes Gens) sont plus proches de celles relevées sur une station fixe de typologie et d'influence « urbaine-traffic ». En 2021, sur un site situé à 300 m à vol d'oiseau à l'Ouest (rue du Marais-Vert), la teneur mesurée (**30,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**) était dans la gamme des teneurs rencontrées sur les 3 principaux axes aux abords de l'école et nettement supérieure aux teneurs des cours.

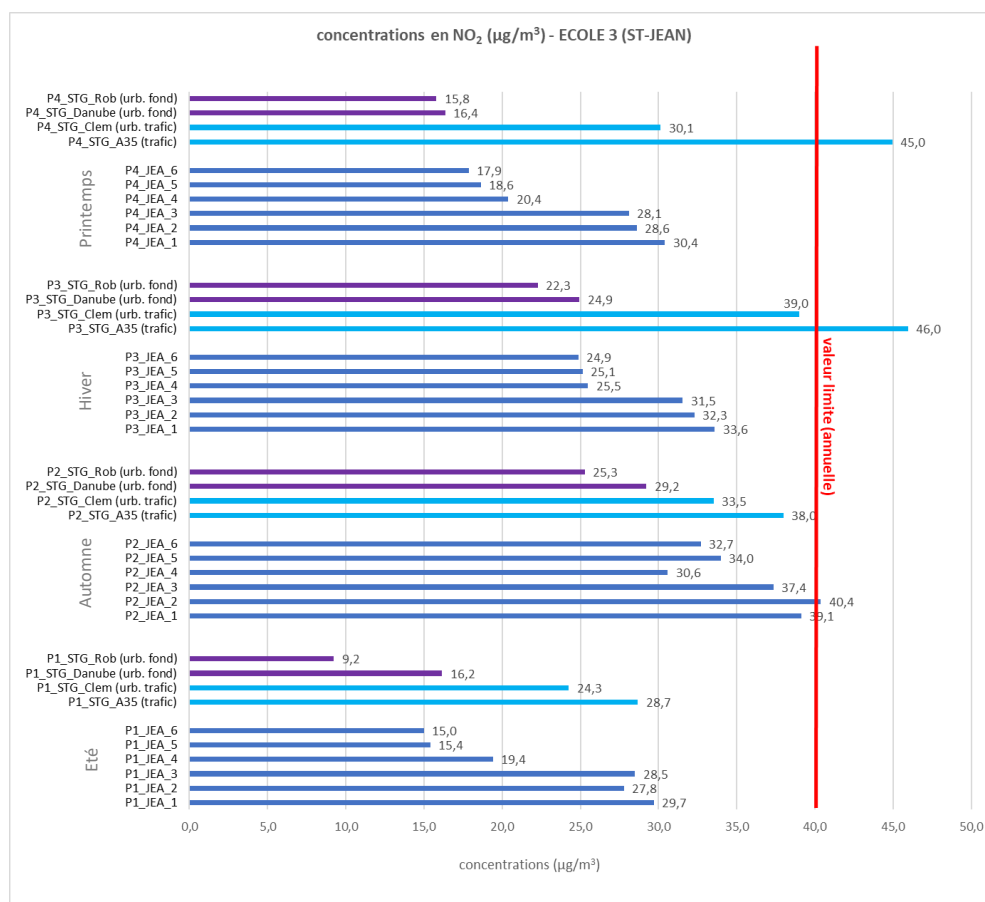


Figure 28 : Teneurs en NO_2 par phases de mesures pour l'école maternelle Saint-Jean

La phase estivale est celle ayant présenté les teneurs les moins élevées, très proches du printemps. A contrario, la phase automnale est caractérisée par les teneurs maximales sur l'ensemble des points. Les conditions très pluvieuses des deux semaines de l'été et les deux semaines relativement sèches durant l'automne peuvent expliquer cette observation, relative à l'ensemble des établissements. A noter à titre indicatif, un très léger dépassement ($40,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de la VL ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) au point n° 2 lors de la période automnale (novembre 2021).

ST JEAN	MOY annuelles 4 campagnes $\mu\text{g}/\text{m}^3$	MOY modélisation 2021 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Autre campagne Rue du Marais Vert (2021)	Distance (m) par rapport aux axes			
				Blv. Poincaré	TMJA (véh/j)	Rue Faub. de Pierre	TMJA (véh/j)
PT 1 (Blv. Poincaré)	33,2	24 à 25	30,4	0	28 800	NC	4 440
PT 2 (Rue Faub. de Pierre)	32,3			NC		0	
PT 3 (rue du Travail)	31,4			NC		NC	
PT 4 (rue des Bonnes Gens)	24,0			NC		NC	
PT 5 (cour petits)	23,3			66		130	
PT 6 (cour grands)	22,6			95		153	

Tableau 8 : Données récapitulatives pour l'école maternelle Saint-Jean

1.2.5. ECOLE 4 - RHIN

Les résultats des 4 campagnes de mesures sont visualisés au travers des graphiques, carte et tableau ci-dessous.

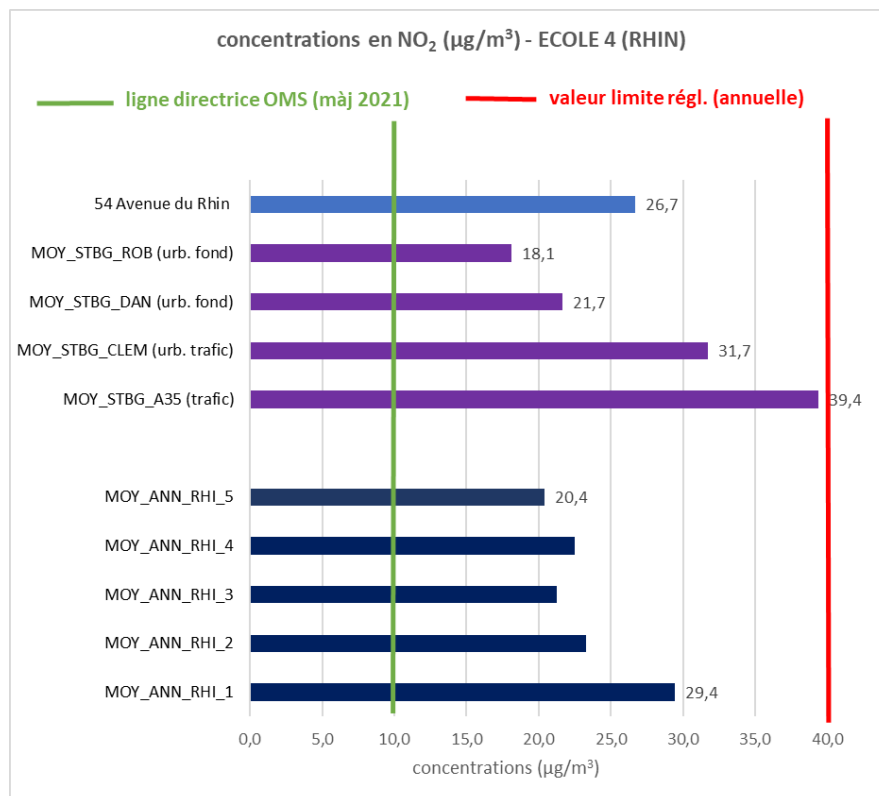


Figure 29 : Moyennes des quatre phases en NO₂ pour l'école du Rhin

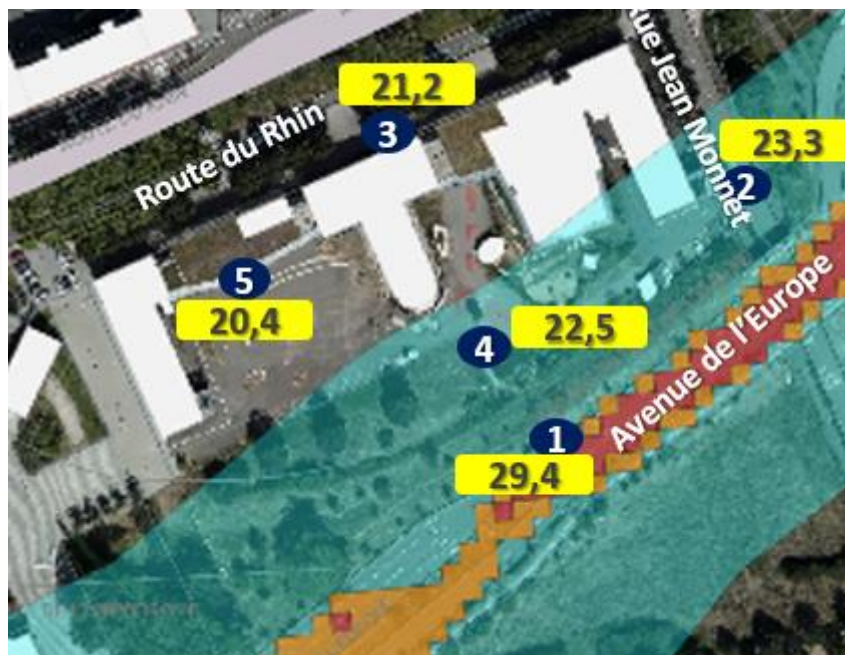


Figure 30 : Cartographie des teneurs moyennes en NO₂ pour l'école du Rhin

Distance approx. points/axe routier (Rte du Rhin)

1 : NC 4 : 62 m
2 : NC 5 : 25 m
3 : 0 m

Distance approx. points/axe routier (Rue Jean Monnet)

1 : NC 4 : 88 m
2 : 0 m 5 : 137 m
3 : NC

Distance approx. points/axe routier (Av. de l'Europe)

1 : 0 m 4 : 40 m
2 : NC 5 : 80 m
3 : NC TMJA = 14850 véh/j

Les niveaux moyens annuels s'échelonnent de **20,4 µg/m³** (point n° 5 cour élémentaire - le plus éloigné de l'Avenue de l'Europe et proche de la route du Rhin mais séparée par le bâtiment) à **29,4 µg/m³** (point n° 1 hors école - le plus proche de l'axe routier Avenue de l'Europe).

Le point n°4 dans une autre cour (maternelle), proche de l'axe principal se situe à 22,5 µg/m³. Les deux points cour n° 4 et n° 5 ont des teneurs inférieures aux points situés sur les routes. Le point n° 4 (aire de jeux des maternelles) a une teneur légèrement supérieure au point n° 5. Les valeurs en moyennes annuelles aux niveaux des axes Avenue de l'Europe, rue Jean Monnet et Route du Rhin sont respectivement de 29,4 µg/m³ (maximum, point n°1), 23,3 µg/m³ (point n°2), et 21,2 µg/m³ (point n°3).

L'ensemble des teneurs se positionne en dessous de la valeur limite annuelle réglementaire fixée à 40 µg/m³. En revanche, à titre indicatif, tous les points dépassent la valeur correspondant à la ligne directrice de l'OMS (10 µg/m³ mise à jour en 2021).

Les niveaux moyens annuels en NO₂ issus des points dans l'école sont proches de la moyenne de la gamme des concentrations des sites urbains de fond (réseau ATMO GE de Strasbourg). 2,2 km à l'Ouest, 26,7 µg/m³ étaient mesurés sur l'Avenue du Rhin en 2021. Seul le point sur l'Avenue de l'Europe dépasse légèrement cette valeur.

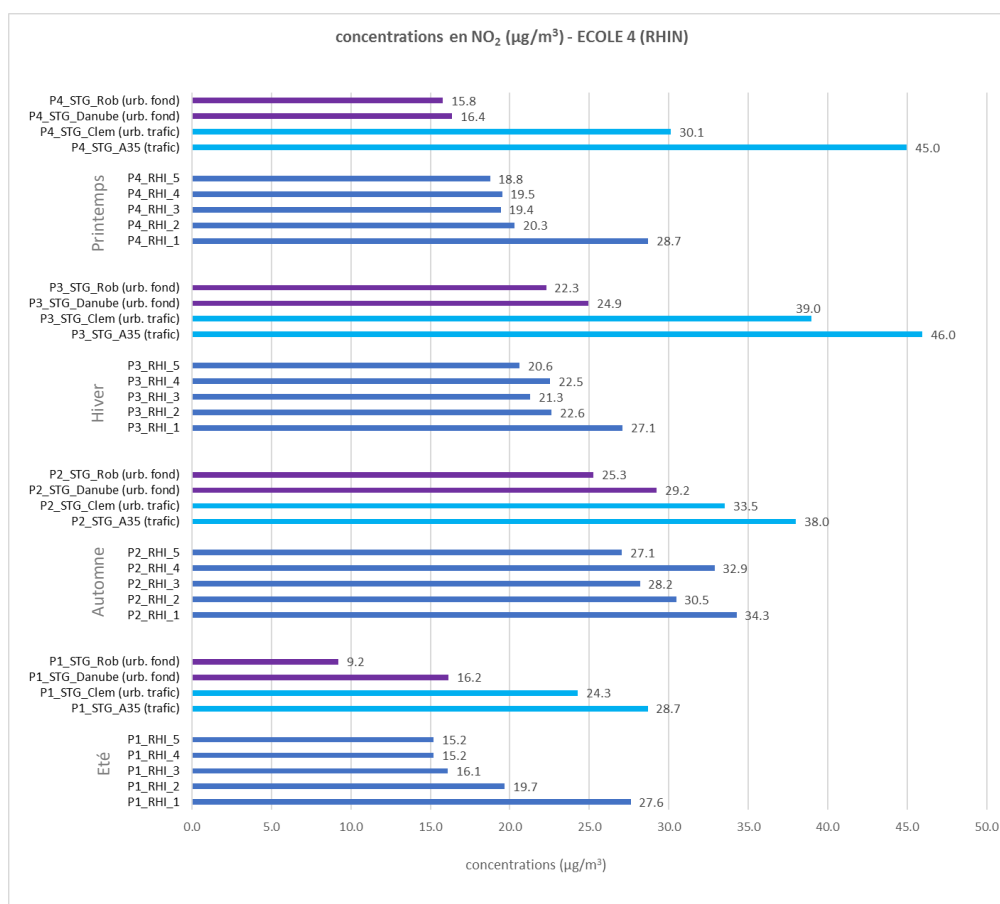


Figure 31 : Teneurs en NO₂ par phases de mesures pour l'école du Rhin

La phase estivale est celle ayant présenté les teneurs les moins élevées. A contrario, la phase automnale est caractérisée par les teneurs maximales sur l'ensemble des points. Les conditions très pluvieuses des deux semaines de l'été et les deux semaines relativement sèches durant l'automne peuvent expliquer cette observation, relative à l'ensemble des établissements.

RHIN	MOY annuelles 4 campagnes µg/m ³	MOY modélisation 2021 µg/m ³	Autre campagne Av. du Rhin (2021)	Distance (m) par rapport aux axes			
				Av. Europe	TMJA (véh/j)	Rte du Rhin	Rue Jean Monnet
PT 1 (Av. Europe)	29,4	21 à 24	26,7	0	14 850	NC	NC
PT 2 (Rue Jean Monnet)	23,3			NC		NC	0
PT 3 (Route du Rhin)	21,2			NC		0	NC
PT 4 (cour petits)	22,5			40		62	88
PT 5 (cour grands)	20,4			80		25	137

Tableau 9 : Données récapitulatives pour l'école du Rhin

1.2.6. ECOLE 5 - SCHLOESSEL (OSTWALD)

Les résultats des 4 campagnes de mesures sont visualisés au travers des graphiques, carte et tableau ci-dessous :

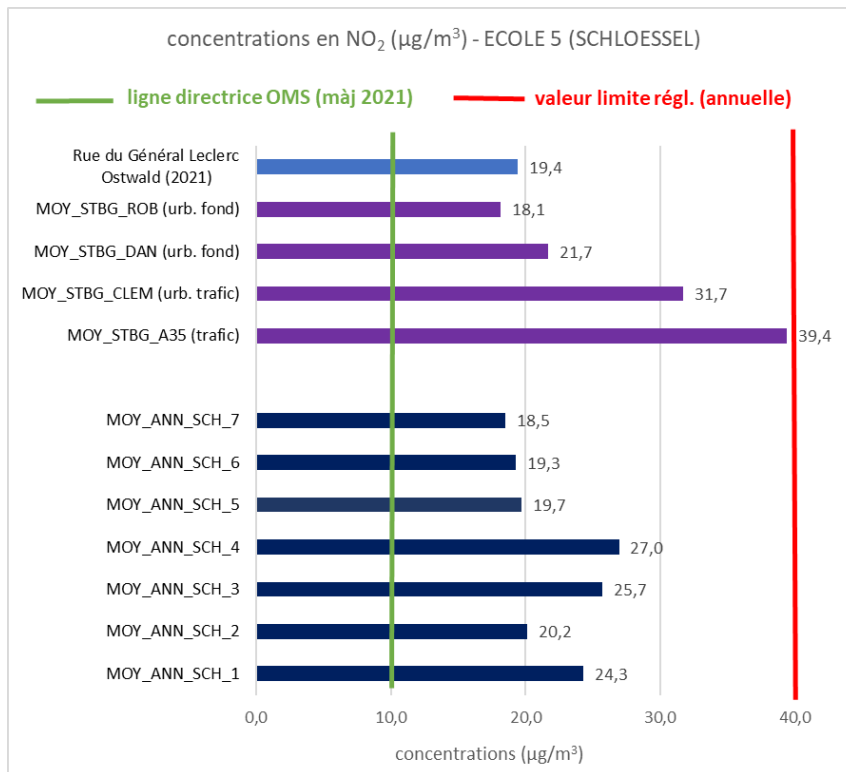


Figure 32 : Moyennes des quatre phases en NO₂ pour l'école primaire du Schloessel

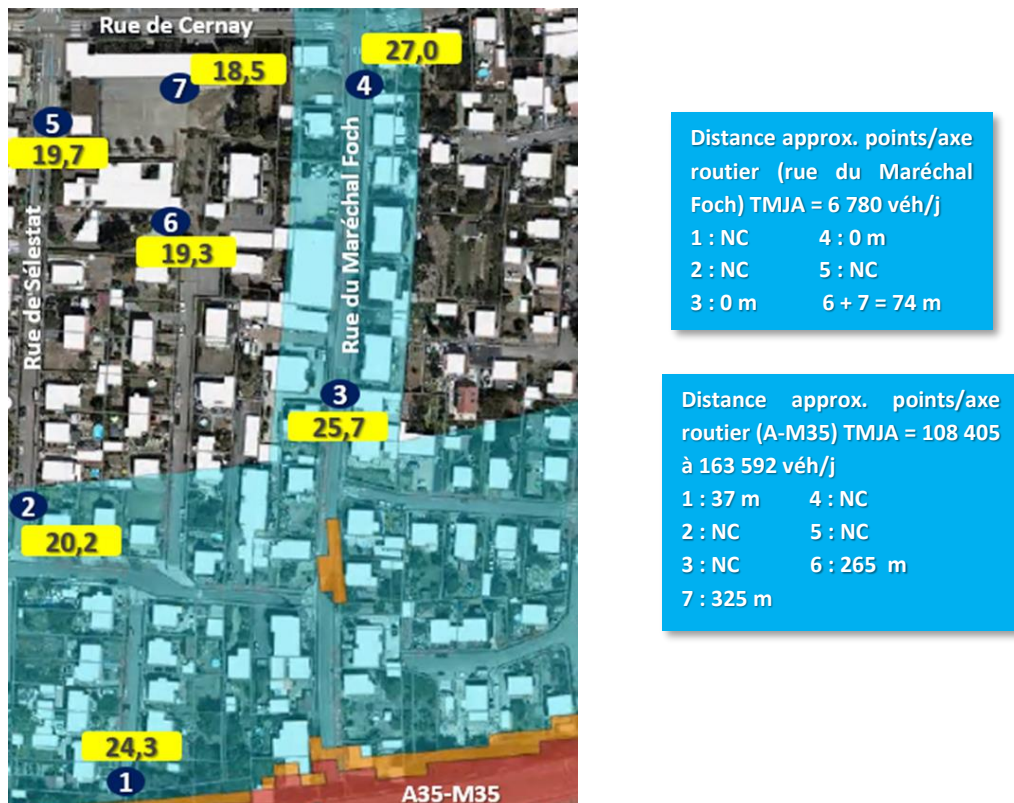


Figure 33 : Cartographie des teneurs moyennes en NO₂ pour l'école primaire du Schloessel

Les niveaux moyens annuels s'échelonnent de **18,5 µg/m³** (point n° 7 cour des grands) à **27,0 µg/m³** (point n° 4 hors école - rue du Maréchal Foch et proche rue de Cernay). Le point n° 6 dans une autre cour (celle des petits), se situe à 19,3 µg/m³. Les deux points cour n° 6 et n°7 ont des teneurs presque similaires, inférieures aux points sur les routes. Ceux-ci sont par ordre décroissant de 27 µg/m³ (point n°4 haut de la Rue du Maréchal Foch), à 25,7 µg/m³ (point n° 3 milieu de la rue du maréchal Foch), 24,3 µg/m³ (point n° 1, proche de l'A35), 20,2 µg/m³ (point n° 2 Rue de Sélestat) et 19,7 µg/m³ (point n° 5, devant une entrée - haut de la rue de Sélestat).

L'ensemble des teneurs se positionne en dessous de la valeur limite annuelle réglementaire fixée à 40 µg/m³. En revanche, à titre indicatif, tous les points dépassent la valeur correspondant à la ligne directrice de l'OMS (10 µg/m³ mise à jour en 2021).

Les niveaux moyens annuels en NO₂ issus des points dans l'école sont dans la moyenne de la gamme des concentrations des sites urbains de fond (réseau ATMO GE de Strasbourg). Les points aux abords de l'école, sur les axes structurants, sont situés entre des niveaux de fond urbain et trafic. Sur le secteur, à environ 700 m au Nord, 19,4 µg/m³ avait été mesuré en 2021 sur la rue du Général Leclerc.

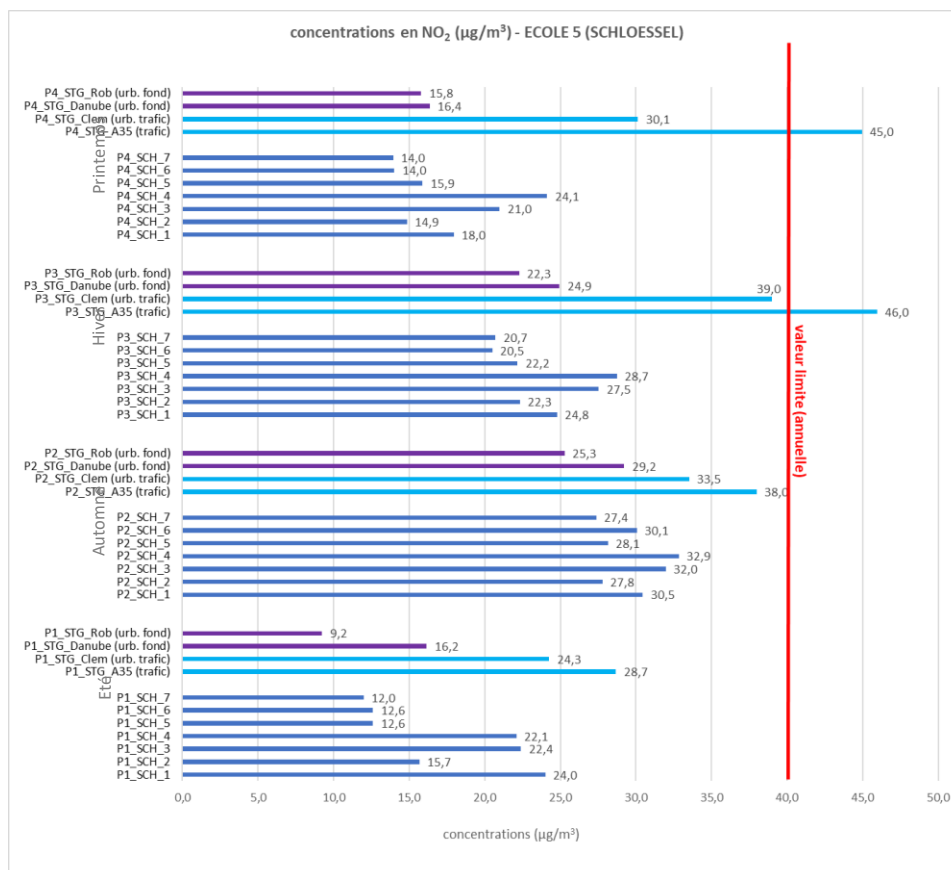


Figure 34 : Teneurs en NO₂ par phases de mesures pour l'école primaire du Schloessel

La phase estivale est celle ayant présenté les teneurs les moins élevées, très proches du printemps. A contrario, la phase automnale est caractérisée par les teneurs maximales sur l'ensemble des points. Les conditions très pluvieuses des deux semaines de l'été et les deux semaines relativement sèches durant l'automne peuvent expliquer cette observation, relative à l'ensemble des établissements.

SCHLOESSEL	MOY annuelles 4 campagnes $\mu\text{g}/\text{m}^3$	MOY modélisation 2021 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Autre campagne rue du Général Leclerc (2021)	Distance (m) par rapport aux axes			
				A35- M35	TMJA (véh/j)	Rue Mar. Foch	TMJA (véh/j)
PT 1 (derrière mur A35)	24,3	19	19,4	37	108 405 à 163 592	NC	6 780
PT 2 (Rue Sélestat vers A35)	20,2			NC		NC	
PT 3 (rue Marchéal Foch bas)	25,7			NC		0	
PT 4 (rue Marchéal Foch haut)	27,0			NC		0	
PT 5 (Rue Sélestat entrée)	19,7			NC		5	
PT 6 (cour petits)	19,3			265		74	
PT 7 (cour grands)	18,5			325		74	

Tableau 10 : Données récapitulatives pour l'école primaire du Schloessel

1.2.7. ECOLE 6 - PREVERT (SCHILTIGHEIM)

Les résultats des 4 campagnes de mesures sont visualisés au travers des graphiques, carte et tableau ci-dessous :

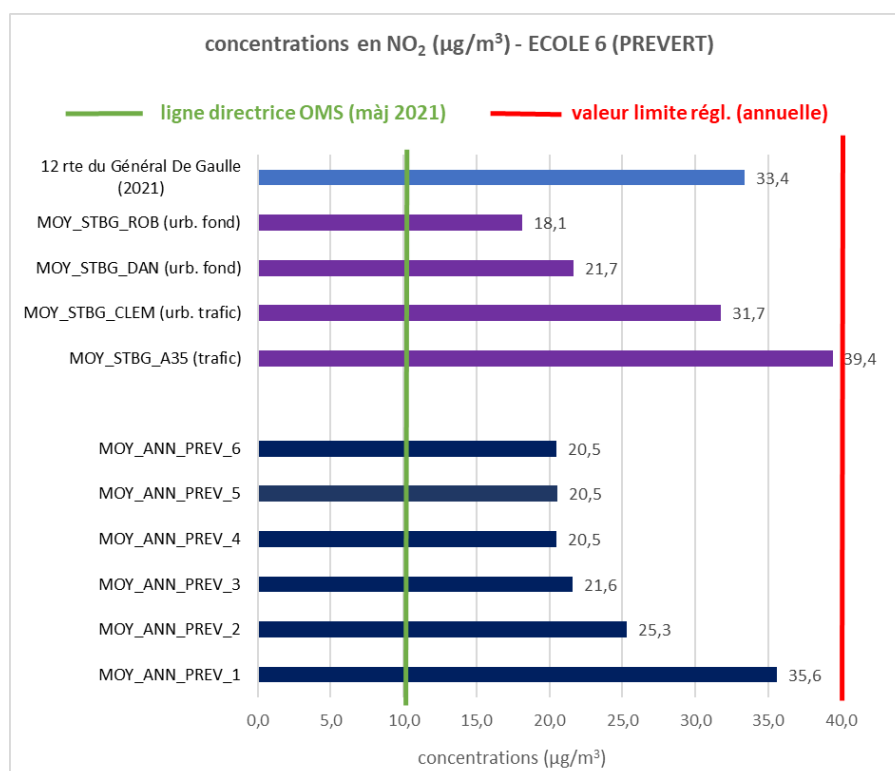


Figure 35 : Moyennes des quatre phases en NO_2 pour l'école Maternelle Jacques Prévert

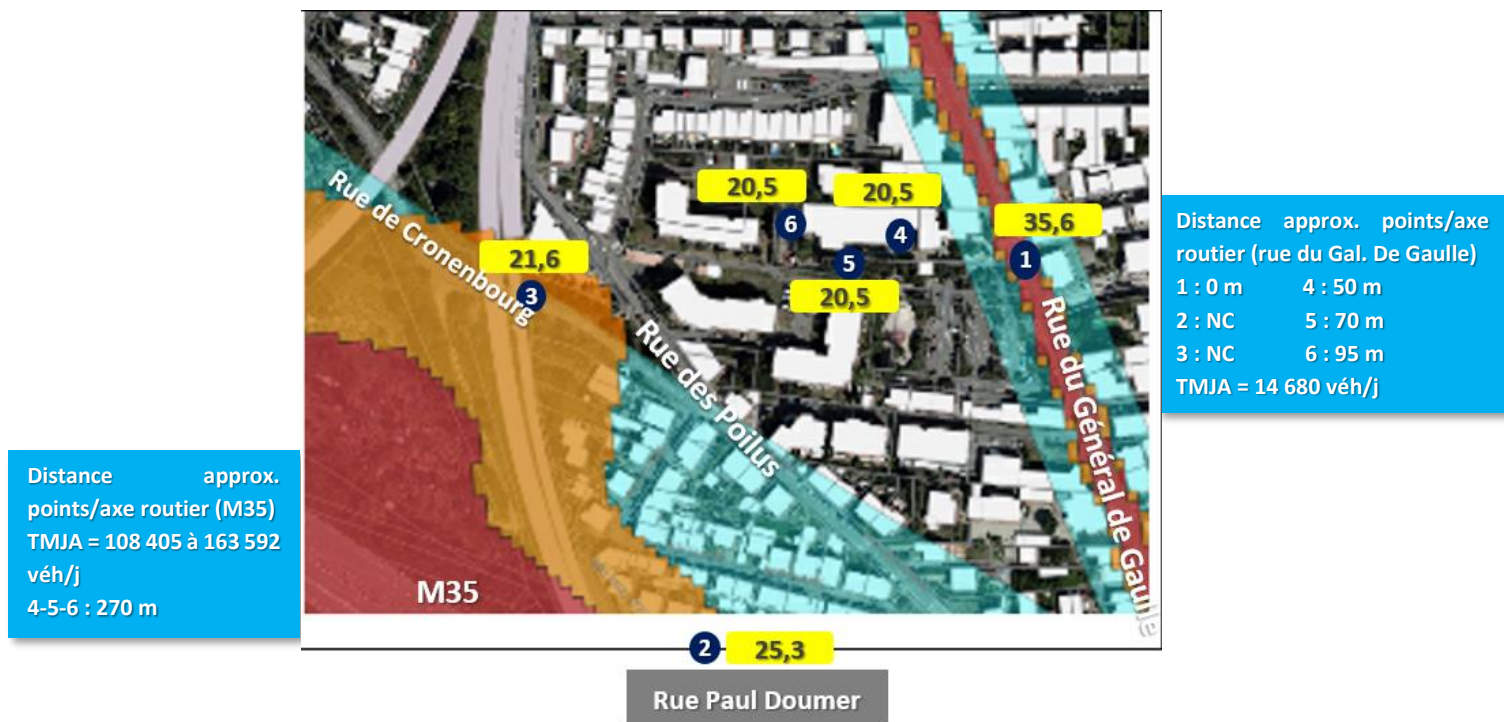


Figure 36 : Cartographie des teneurs moyennes en NO₂ pour l'école Maternelle Jacques Prévert

Les niveaux moyens annuels s'échelonnent de 20,5 µg/m³ (les points n° 4-5-6 situés dans les cours de l'école) à 35,6 µg/m³ (point n° 1 hors école – Rue du Général de Gaulle).

Ces 3 points « cour », qui ont des teneurs similaires, ont des teneurs inférieures aux points sur les routes. Le maximum des concentrations est rencontré au niveau du point n°1 sur la Rue du Général de Gaulle. Les autres points sur les routes ont des concentrations plus basses avec 21,6 µg/m³ au point n°3 (Rue de Cronenbourg) et 25,3 µg/m³ au point n°2 (rue Paul Doumer).

L'ensemble des teneurs se positionne en dessous de la valeur limite annuelle réglementaire fixée à 40 µg/m³. En revanche, à titre indicatif, tous les points dépassent la valeur correspondant à la ligne directrice de l'OMS (10 µg/m³ mise à jour en 2021).

Les niveaux moyens annuels en NO₂ issus des points dans l'école sont dans la moyenne de la gamme des concentrations des sites urbains de fond (réseau ATMO GE de Strasbourg). La teneur observée en 2021 sur la rue du Général de Gaulle est légèrement inférieure à celle de la campagne (point situé à 180 m au Sud de l'école).

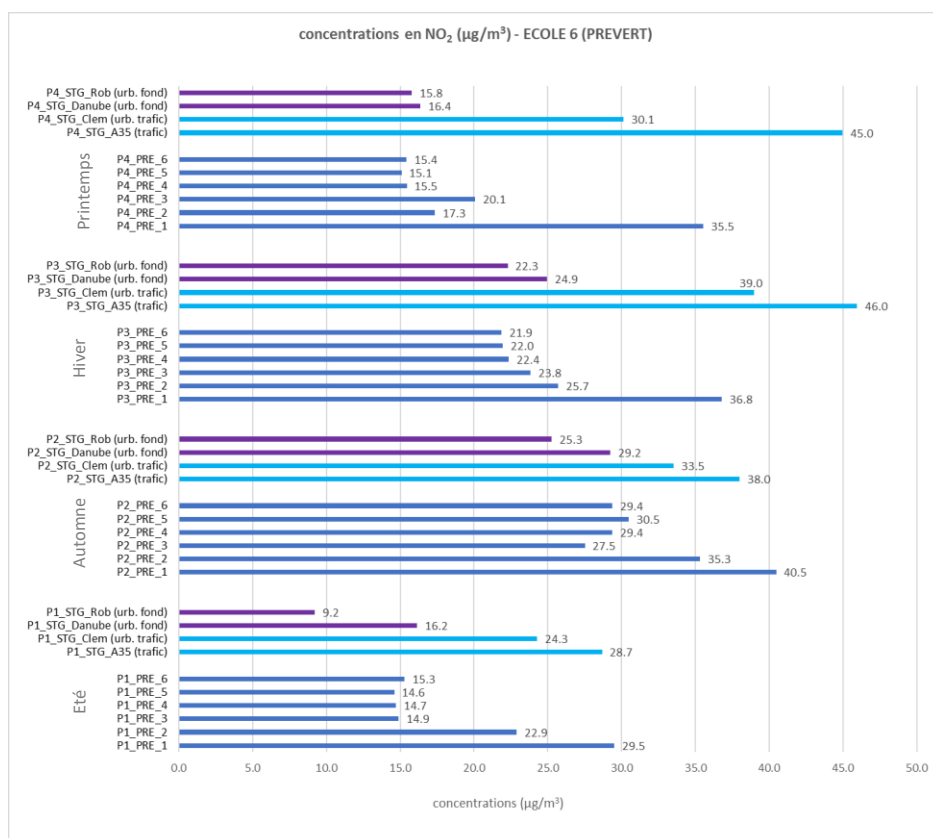


Figure 37 : Teneurs en NO₂ par phases de mesures pour l'école Maternelle Jacques Prévert

La phase estivale est celle ayant présenté les teneurs les moins élevées, très proches du printemps pour quelques points. A contrario, la phase automnale est caractérisée par les teneurs maximales sur l'ensemble des points. Les conditions très pluvieuses des deux semaines de l'été et les deux semaines relativement sèches durant l'automne peuvent expliquer cette observation, relative à l'ensemble des établissements. A noter à titre indicatif, un très léger dépassement (40,5 µg/m³) de la VL (40 µg/m³) au point n° 1 lors de la période automnale (novembre 2021).

PREVERT	MOY annuelles 4 campagnes µg/m ³	MOY modélisation 2021 µg/m ³	Autre campagne Rte du Général De Gaulle (2021)	Distance (m) par rapport aux axes			
				A35-M35	TMJA (véh/j)	Rte du Général de Gaulle	TMJA (véh/j)
PT 1 (rte du Général de Gaulle)	35,6	24 à 26	33,4	NC	108 405 à 163 592	0	14 680
PT 2 (derrière A35)	25,3			NC		NC	
PT 3 (rue de Cronenbourg)	21,6			NC		0	
PT 4 (entrée)	20,5			270		50	
PT 5 (cour milieu)	20,5			270		70	
PT 6 (cour arrière)	20,5			270		95	

Tableau 11 : Données récapitulatives pour l'école Maternelle Jacques Prévert

1.2.8. RESULTATS DE L'ENSEMBLE DES ETABLISSEMENTS

Les résultats de chaque établissement en concentrations moyennes pour les 4 phases sont présentés sur la figure ci-dessous :

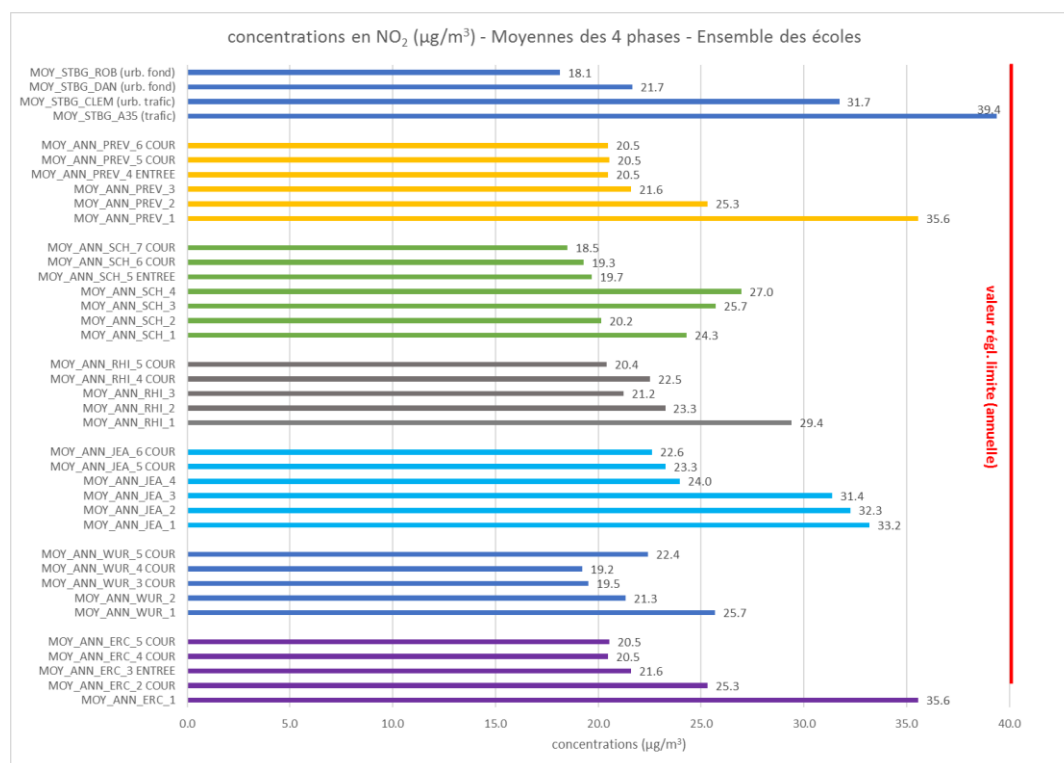


Figure 38 : Teneurs en NO₂ en moyennes des quatre phases de l'ensemble des établissements

Cette vue d'ensemble permet de constater que les teneurs dans les cours des écoles sont plus basses que les teneurs aux alentours mesurées sur les principaux axes routiers. Les distances depuis les axes, les vents, mais aussi les structures des bâtiments avec des cours intérieures, concourent à un abattement considérable des concentrations en NO₂.

L'école Erckmann est un très bon exemple de transect avec une route à fort trafic prise pour référence et des points dont les teneurs décroissent à mesure de leur distance avec la route. L'école Schloessel, située à 300 m au Nord de l'autoroute M35 est l'établissement présentant les teneurs dans les cours les moins élevées de l'ensemble. Les vents de direction principale Nord/Nord-Est sur cette campagne ont été favorables et ont pu permettre de repousser les polluants générés par l'autoroute³. A contrario, les teneurs maximales sont relevées à l'école St-Jean au centre-ville, entourées par de multiples axes mais dont la configuration avec une densité de hauts bâtiments entourant les cours permet tout de même de réduire nettement les concentrations par rapport aux axes.

³ Pour rappel, sur une année prise pour exemple (2022), les vents ont aussi été en provenance du Sud-Ouest. La campagne ne reflète pas une situation annuelle d'un point de vue météorologique (vents).

2. VOLET B

2.1. DESCRIPTIF DE L'ETUDE

2.1.1. LES ETABLISSEMENTS SELECTIONNES ET LEURS CARACTERISTIQUES

Pour rappel, les établissements ont été sélectionnés par rapport à leur localisation dans de potentielles zones de dépassement de valeurs limites de qualité de l'air.





VOLET B	Nom établissement	Localisation
<p>Établissement 1</p> 	Crèche collective Belin	11 Rue de Genève - Strasbourg
<p>Établissement 2</p> 	Ecole maternelle Louise Scheppler	3 rue de Fouday - Strasbourg
<p>Établissement 3</p> 	Ecole maternelle Solange Fernex	16 rue de l'Elbe - Strasbourg
<p>Établissement 4</p> 	Maison de l'enfance	24 Rue de Wasselonne - Strasbourg

Tableau 12 : localisation des 4 établissements scolaires du volet B.

Les caractéristiques des bâtiments et des salles sélectionnées sont décrites dans le tableau 13 ci-dessous.

	Multi accueil Belin	École Scheppler	École Fernex	Maison de l'enfance - rue de Wasselonne
Date de construction du bâtiment et caractéristique construction	1930 2007 : ouverture au public pierres +briques Isolation : non	1959 : construction 1980 : extension (restaurant) béton Isolation = 15 cm de polystyrène	2019 Béton + Bardage bois Isolation = non renseignée	Vieux bâtiment brique isolation = uniquement au 3 ^{ème} étage laine de verre
Nombre d'étage et de salles de salles occupées par les enfants par étage	RDC = 5 pièces + 1 étage = 4 pièces	RDC = 4 pièces + 1 étage = 3 pièces.	RDC = 9 pièces +1 étage = 4 pièces	RDC = 4 pièces, niveau 1 = 7 pièces, niveau 2 = 6 pièces, niveau 3 = 6 pièces
Distance rue/route et environnement (cf. figure 28)	10 m (rue de Genève) Cour derrière le bâtiment à 30 m de la rue de Genève 50 m rue de Lausanne	Cour à 150 m de la M35 (N4)	5 m Avenue du Rhin Cour derrière le bâtiment à 50 m de l'Avenue du Rhin	5 m (rue de Wasselonne) Cour derrière le bâtiment à 35 m de la rue de Wasselonne
Revêtements des pièces et types de meubles	murs : fibre de verre peinte, plafond : faux-plafond placo, sol : plastique. bois, mousse, textile, plastique	murs et plafond : peinture, sol : plastique. Bois aggloméré et stratifié.	murs : béton brut, plafond : bois perforé acoustique, sol : plastique. Bois aggloméré, pastique, métal.	murs : peinture, plafond : bois perforé acoustique , sol : plastique bois, mousse, textile, plastique
Date et nature des rénovations intérieur et extérieur (peinture intérieure, isolation, remplacement fenêtre changement sol etc...) ayant eu lieu	Noel 2021 : peinture salle motricité	Isolation extérieure il y 5-10 ans	Pas de travaux (bâtiment neuf)	période novembre 2017 à juillet 2021. - Remplacement des fenêtres côté rue, - Mise en sécurité : remplacement des portes et cloisons non conformes, - Mise en peinture des locaux, - Traitement acoustique des salles d'activités, - Remplacement des revêtements de sol. - Création d'EAS
Energie de chauffage et localisation de la chaufferie	Chauffage gaz mais chaudière pour l'ensemble du bâtiment très éloignée de la partie crèche. Radiateurs dans les pièces.	Chaufferie gaz au sous-sol, radiateurs dans les pièces.	Pas de local chaufferie dans l'établissement. Réseau urbain (gaz). Radiateurs dans les pièces.	Chaufferie gaz au sous-sol, radiateurs dans les pièces.
Type de ventilation et localisation de la prise d'air	VMC double flux (bouches d'extraction + d'insufflation d'air neuf). Prise d'air neuf = toiture (> 6 ^{ème} étage)	VMC double flux (bouches d'extraction + d'insufflation d'air neuf). Prise d'air neuf = toiture	VMC double flux (bouches d'extraction + d'insufflation d'air neuf). Prise d'air neuf = côté cour	VMC simple flux bouches d'extraction uniquement et entrées d'air par des réglattes aux fenêtres

Type de filtre	Filtres G4 Pas de filtration du NO ₂	uniquement particules et pollens – Filtre ePM1 55% Pas de filtration du NO ₂	uniquement particules et pollens – Filtre ePM1 60% Filtre ePM10 80% Pas de filtration du NO ₂	non concerné
Pratique d'aération	Oscillo-Battant plusieurs heures dans la journée, plus d'aération en phase 2 hors chauffe	Oscillo-Battant plusieurs heures dans la journée, plus d'aération en phase 2 hors chauffe	Oscillo-Battant plusieurs heures dans la journée, plus d'aération en phase 2 hors chauffe. Salles de motricité et de jeux moins régulièrement aérées.	Oscillo-Battant plusieurs heures dans la journée, plus d'aération en phase 2 hors chauffe
Descriptif opérations de maintenance	intervention le 31/03/2022 CTA 1 et CTA 2 : opérations de maintenance réalisées selon gamme. CTA laverie, contrôle de bon fonctionnement et des éléments de sécurité. recherche de panne: CTA 1 : protection moteur GEA dans l'armoire électrique	intervention le 31/03/2022 CTA sous comble : remplacement des filtre et contrôle du bon fonctionnement CTA salle de jeu : remplacement des filtres et contrôle du bon fonctionnement, nettoyage de la CTA, récupération des anciens filtres	intervention le 04/04/2022 entretien de la CTA double flux et sa panoplie et prise en charge. Remplacement des filtres + contrôle général	Vérification du système général
	contrôle des débits / nettoyage et dépoussiérage des batteries / vérification et entretien des moteurs / vérification alignement des poulies / vérification courroies / contrôle vannes et graissage / régulations : contrôle des différents matériels (capteur, sonde) / réétalonnage éventuel /essais et graissage des parties étoupes / remplacement des filtres à poche / contrôle de la température de sortie d'air au niveau des bouches de soufflage / vérification échauffement éventuel / contrôle pressostats et encrassement des filtres / contrôle échauffement du moteur / contrôle échauffement des roulements du ventilateur			
Pratique d'entretien des sols	Quotidienne, balayage sec, aspirateur et lavage humide	Quotidienne, Lavage humide, pas de balayage ou aspirateur	Quotidienne, balayage sec et lavage humide	Quotidienne, balayage sec et lavage humide

Tableau 13 : Caractéristiques des établissements du volet B

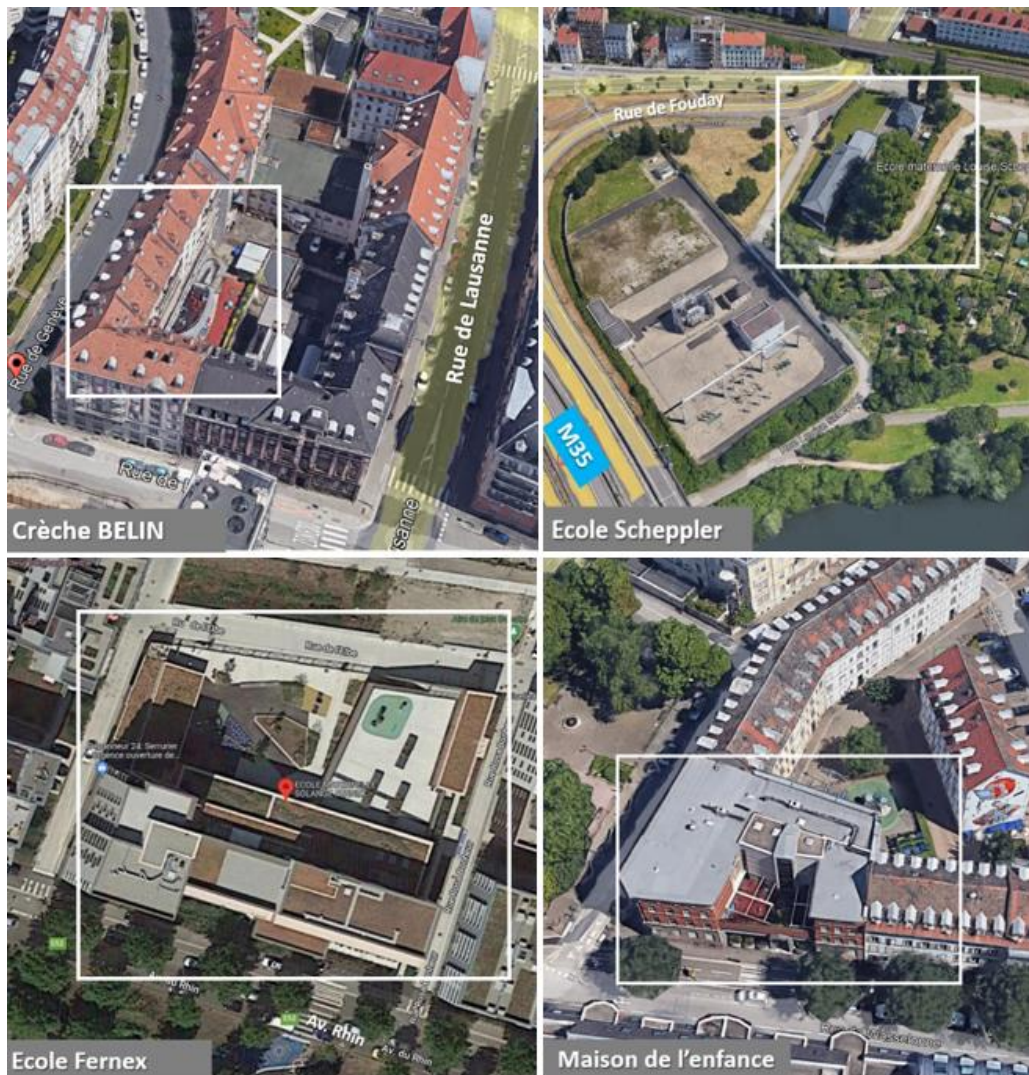


Figure 39 : Vues aériennes des établissements (scol'air volet B)

2.1.2. LES POLLUANTS SUIVIS

Les polluants retenus pour ce volet sont le **dioxyde d'azote (NO₂)** et les **particules de diamètres inférieur à 2.5 micromètres (PM_{2.5})**. Ils ont des origines principalement extérieures mais aussi quelques sources intérieures inhérentes aux équipements et aux activités. Sont ajoutées, des mesures de paramètres tel que les taux de **dioxyde de carbone (CO₂)**, indicateur de confinement, ainsi que les paramètres de confort et de préservation du bâtiment, **température et humidité**.



	NO ₂		PM2.5	
	Extérieur	Intérieur	Extérieur	Intérieur
Sources 	trafic routier industrie énergie	combustion au gaz (chaudière, chauffe eaux, plaque de cuisson...) transfert de l'extérieur	chauffage résidentiel tertiaire agriculture trafic routier	tabac cuisson nettoyage activités humaines transfert de l'extérieur
Valeurs de référence (µg/m³)	VL régl. = 40 OMS = 10	VGAI : 20	VL régl = 25 Obj qualité = 10 OMS = 5	HCSP = 10 (objectif cible en 2025)
Effets sur la santé 	Gaz irritant pour les bronches troubles respiratoires augmente la fréquence et l'intensité des crises d'asthme non classé cancérigène		Plus les particules sont petites, plus elles pénètrent facilement et profondément dans le système respiratoire. L'impact dépend des molécules fixées sur les particules. Troubles cardiovasculaire et respiratoire. Particules des moteurs diesel classées cancérogènes avérés (groupe 1) par le CIRC depuis juin 2012.	

Tableau 14 : récapitulatif des sources d'émissions du NO₂ et des PM2.5, valeurs de référence et effets sur la santé

Pour l'air extérieur les valeurs de référence sont celles du décret n° 2010-1250 du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air mentionné en page 8. Pour le NO₂, la valeur limite est pour rappel de 40 µg/m³. Pour les PM2.5, la limite en vigueur est fixée à 25 µg/m³ mais se rajoutent un objectif de qualité de l'air de 10 µg/m³ et un objectif national de réduction de l'exposition sous la forme d'un indicateur d'exposition moyenne (IEM). Un objectif de qualité est un niveau à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble. L'IEM, exprimé en µg/m³, est déterminé sur la base des mesures effectuées dans des lieux caractéristiques de la pollution de fond urbaine situés dans des zones et des agglomérations sur l'ensemble du territoire d'un État membre. Il est estimé en tant que concentration moyenne annuelle sur trois années civiles consécutives, en moyenne sur tous les points de prélèvement. L'IEM de la période 2019-2021 a été évalué pour le Grand Est à 10,1 µg/m³.

Les lignes directrices de l'OMS (cf. page 8), sont pour rappel de 10 µg/m³ pour le NO₂ et de 5 µg/m³ pour les PM2.5.

En air intérieur, pour le NO₂, une valeur guide de qualité d'air intérieur (VGAI) a été fixée à 20 µg/m³ par l'agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (l'Anses)⁴. Une VGAI est fondée exclusivement sur des critères sanitaires et vise à protéger la santé sur le long terme.

S'agissant des PM2.5, le Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP) définit un objectif cible de 10 µg/m³ en moyenne annuelle à atteindre en 2025. Entre temps, des valeurs repères de qualité de l'air intérieur

⁴ Anses, Propositions de Valeurs Guides de qualité d'Air intérieur, Dioxyde d'azote (NO₂). Février 2013. Avis et rapport, 143 p.

pour prévenir des effets liés à une exposition chronique aux particules, ont été proposées⁵ : celles de 2021 est de 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et **celle de 2023 est de 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** .

Un **indicateur du confinement** est la mesure du **dioxyde de carbone (CO₂)**. En effet, émis par la respiration des personnes présentes, son accumulation au sein de locaux traduit le manque de renouvellement de l'air. Bien que le CO₂ ne présente pas d'effet notable sur la santé aux niveaux rencontrés, il peut être le signe d'un confinement élevé pouvant engendrer une accumulation de substances polluantes que les auteurs d'une étude lient à une prévalence de symptômes respiratoires tels que des inflammations, infections respiratoires, asthme... et dans une salle de classe à une gêne sur la concentration des enfants/élèves⁶.

Pour la surveillance réglementaire de la qualité de l'air intérieur dans certains ERP, un indice de confinement a été développé (décret 2012-14 du 5 janvier 2012). Celui-ci est calculé à partir de la fréquence et de l'intensité des niveaux de CO₂ autour des valeurs seuils de 1000 et 1700 ppm⁷ lors de l'occupation des locaux. Sur une échelle croissante de 5 niveaux : 0 correspond à un confinement nul, 1 faible, 2 moyen, 3 élevé, 4 très élevé et 5 reflète un confinement extrême. A partir de l'indice 4, des messages de sensibilisation sont adressés à destination des gestionnaires d'établissement (voir annexe 3). Plus les concentrations en CO₂ dépassent la valeur de 1700 ppm et plus l'indice sera élevé.

Le **confort hygrothermique** (température et humidité relative) est subjectif et dépend d'autres paramètres (vitesse de l'air, habillement...). Il est possible de définir des plages jugées acceptables. Par exemple, le diagramme de Fauconnier (cf. partie résultats) suggère pour un confort optimal les plages de températures et d'humidité relative associées. Une humidité trop faible (<30%) peut donner une sensation de sécheresse gênante sur le plan respiratoire, cutanée et oculaire. Une humidité relative trop importante (>70%) peut favoriser le développement de moisissures. **Par ailleurs, il est préconisé un taux optimal d'humidité relative dans l'air entre 40 et 60 %, pour une température s'élevant entre 18°C et 22°C⁸.**

⁵ HCSP, Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos : les particules. Juillet 2013. RAPPORT, 72 p.

⁶ Wargocki and Wyon (2007) The effects of moderately raised classroom temperatures and classroom ventilation rate on the performance of schoolwork by children (RP-1257), HVAC&R Research, 13(2), 193-220.

Myhrvold, A.N., E.Olsen, and O. Lauridsen 1996. Indoor Environment in Schools—Pupils' Health and Performance in regard to CO₂ Concentrations. In Indoor Air '96. The Seventh International Conference on Indoor Air Quality and Climate. Vol 4, pp. 369–371

⁷ Une nouvelle réglementation est sortie le 27/12/2022, changeant les seuils. Ils sont désormais de 800 ppm et de 1500 ppm. Les ICONES sont calculés dans les résultats sur la base de l'ancienne réglementation et en annexe 3 les ICONES en lien avec ces nouveaux seuils sont calculés.

⁸ L'Habitat « Un air sain chez soi » Ademe, Edition : mai 2015.

2.1.3. ELEMENTS DE BIBLIOGRAPHIE SUR DES ETUDES AIR EXTERIEUR AIR INTERIEUR ET ELEMENTS DE COMPARAISON DES TENEURS EN AIR INTERIEUR

Quelques études sur des mesures en air intérieur et air extérieur du NO₂ et parfois des PM_{2.5} ont été récemment publiées.

- En 2015, le Cerema a évalué avec l'appui technique de Atmo Hauts-de-France, les transferts de polluants entre l'air extérieur et l'air intérieur afin d'étudier l'impact de la pollution liée au trafic routier sur la qualité de l'air intérieur pour deux écoles de la ville de Lille. Les résultats montrent que la pollution extérieure influence la pollution intérieure pour la majorité des polluants - NO₂ notamment - sauf pour les PM_{2.5} influencées par les mouvements dans la classe (phases de récréation/déjeuner/activités) qui favorisent la re-suspension des particules dans l'air.
- Un travail a été fait à partir des campagnes de mesure de l'étude ISAAC menée en 2016/2017 par Atmo Sud. Elle a concerné 64 salles de classes de 17 écoles. L'exploitation des concentrations en air intérieur et air extérieur pour le NO₂ mesuré par tubes passifs a permis de déterminer un ratio moyen de transfert proche de 0,8.
- L'étude TRANS'FAIR de la ville de St-Nazaire et d'Air Pays de la Loire (AACT'AIR édition 2016) a permis de disposer de données sur les teneurs intérieures et extérieures d'établissements situés en zone industrialo-portuaire et de trafic routier où la qualité de l'air extérieur est potentiellement dégradée. 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. Pour les PM₁₀, 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.

L'OQAI a engagé en 2013 une campagne nationale de mesure d'un grand nombre d'indicateurs de qualité de l'air et de confort dans un échantillon représentatif des écoles maternelles et élémentaires en France (301 écoles enquêtées). Son objectif était de faire un état des lieux de la pollution dans l'air et des poussières des salles de classe et de décrire les conditions de confort. Deux salles de classe tirées au sort par école ont été instrumentées pendant une semaine de cours, du lundi au vendredi. Des prélèvements d'air et de poussière déposée au sol ont été effectués pour mesurer des substances émises notamment par le mobilier scolaire, les revêtements, les produits d'activités, les produits d'entretien ou provenant de l'environnement extérieur. Les résultats sont présentés dans les figures suivantes :

Tableau 15 : Paramètres recherchés durant la campagne écoles de l'OQAI

Pollution de l'air	Contamination des poussières au sol	Confort et ambiance	Questionnaires
64 polluants recherchés dans l'air : 13 composés organiques volatils (COV) 3 aldéhydes 46 composés organiques semi-volatils (COSV) <u>le dioxyde d'azote (NO₂)</u> les PM _{2,5} .	53 polluants recherchés dans la poussière déposée au sol 7 métaux dont le plomb 46 composés organiques semi-volatils (COSV) + Plomb dans les peintures des salles de classe	Température, humidité relative et concentration en dioxyde de carbone (CO ₂) enregistrées en continu dans les salles de classe pendant la semaine. Bruit, éclairage et champs électromagnétiques.	Des questionnaires ont été complétés par les enquêteurs, les gestionnaires des bâtiments et les enseignants, afin de décrire les caractéristiques des bâtiments, les activités en classe et la perception du confort par les occupants.

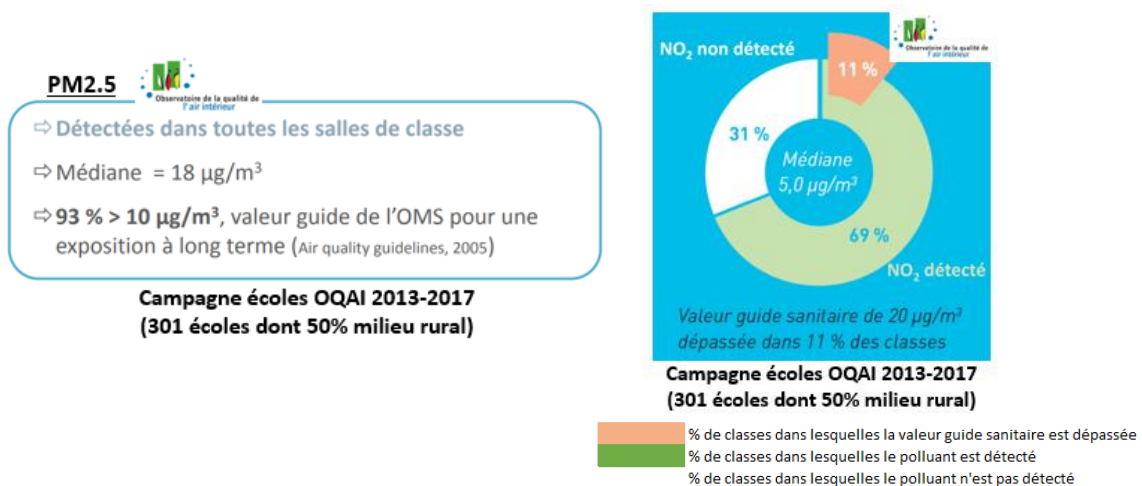
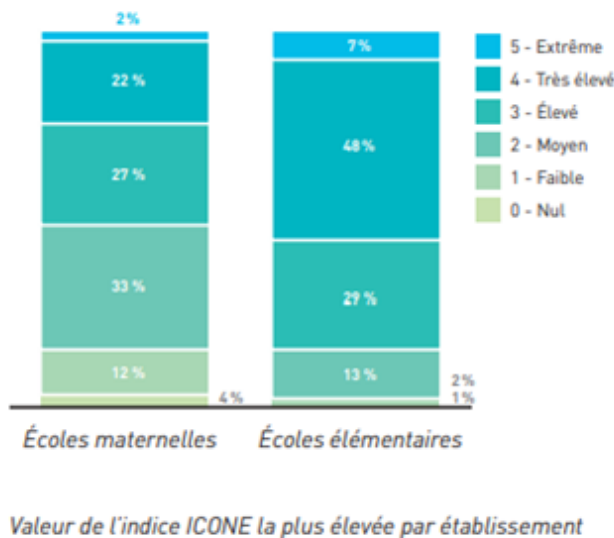


Figure 40 : Fréquence de détection et pourcentages de dépassement des valeurs de référence pour les polluants qui en disposent



5 % des écoles ont au moins une salle de classe présentant un confinement extrême, à savoir un indice ICONE de 5, valeur pour laquelle des investigations complémentaires doivent être menées selon la réglementation en vigueur. 36 % des écoles ont au moins une salle de classe présentant un confinement très élevé. Les proportions selon le type d'écoles sont présentées sur la ci-contre.

Figure 41 : Valeur de l'indice ICONE la plus élevée par établissement

2.1.4. FACTEURS D'INFLUENCE

Les paramètres influençant le transfert de la pollution de l'air extérieur dans les environnements intérieurs comprennent les facteurs suivants (ANSES⁹) :

- A l'extérieur du bâtiment, le transfert dépend de la distance par rapport aux sources émettrices, de l'orientation et des dimensions de l'édifice (hauteur, rapport hauteur-largeur de la voie, etc.), de la forme urbaine (bâtiments avec espaces intermédiaires, non contigus), des aménagements à proximité (effets écrans de bâtiments et espaces végétalisés) et des conditions météorologiques (direction et vitesse du vent, température extérieure, etc.) ;

⁹ AVIS et RAPPORT de l'Anses relatif à une caractérisation des transferts de pollution de l'air extérieur vers l'intérieur des bâtiments. Mai 2019.

- Les caractéristiques propres du bâtiment notamment le type de construction qui influe sur les caractéristiques de l'enveloppe et notamment les infiltrations à travers les défauts d'étanchéité ou la nature des matériaux de construction et de décoration (adsorption/désorption ou réactivité de surface) ;
- Le type de ventilation ou de climatisation apparait comme un paramètre clé puisqu'il définit notamment une localisation des prises d'air neuf et la présence ou non de filtres au passage de l'air dans le bâtiment où à l'intérieur du bâtiment ;
- Le comportement des occupants influe également sur les transferts à travers la fréquence et la durée d'aération par ouverture des ouvrants (fenêtres et portes).

A noter que l'air intérieur est impacté directement par des sources internes (émissions propres des matériaux de construction et de décoration, du mobilier, des produits de consommation, combustion etc.). Dans cette étude, les polluants recherchés ne sont pas liés aux matériaux et revêtements.

Le paramètre pouvant influencer sur le NO₂ est la présence de source de combustion de gaz, qui concerne l'école Scheppler, la Maison de l'Enfance (chaudières en sous-sol) et la crèche Belin (local chaufferie très éloignée de la partie crèche). La principale hypothèse de la source de pollution intérieure en NO₂ est le transfert de l'air extérieur pour l'ensemble des bâtiments (les chaufferies sont éloignées des salles instrumentées).

Pour les PM_{2.5}, il n'y a pas de cuisson dans les salles instrumentées, ni de tabagisme. Les activités d'entretien par balayage peuvent remettre en suspension les particules, tout comme l'occupation quotidienne (activités, jeux...). Tous les bâtiments sont concernés par l'usage quotidien et les influences extérieures. L'influence de l'entretien par balayage concerne tous les bâtiments excepté l'école Scheppler.

Dans cette étude, les systèmes de ventilation mécanique ont été particulièrement étudiés avec des opérations de maintenance entre les deux phases.

2.1.5. RAPPELS SUR LES SYSTEMES DE VENTILATION MECANIQUE

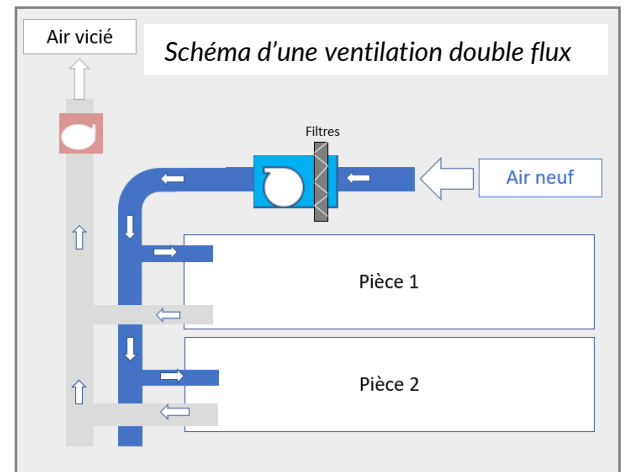
Une VMC simple flux utilise un extracteur aspirant l'air des pièces par des bouches situées au plafond et conduits. La dépression ainsi créée force l'air extérieur à entrer dans le bâtiment par des entrées d'air généralement située dans les fenêtres. La circulation de l'air est ainsi à sens unique.



Bouches d'extraction et entrée d'air à la maison de l'enfance (VMC simple flux)

Une **VMC double flux** fonctionne sur le même principe qu'une VMC simple flux (extraction forcée d'air vicié, créant une dépression dans la pièce), mais insuffle de l'air préalablement traité dans ces mêmes pièces. Le traitement s'effectue dans une centrale de traitement de l'air (CTA). La CTA prend l'air à l'extérieur et avant introduction dans les salles, le tempère via un échangeur thermique et le purifie via des filtres.

Il existe plusieurs niveaux de filtration. En principe des filtres grossiers sont utilisés comme pré-filtres pour éliminer les grosses particules et les pollens. Il s'en suit une filtration selon le niveau de pureté souhaité.



Les filtres sont décomposés par classes selon leur capacité de filtration : la nouvelle classification de la norme ISO 16890 segmente les filtres selon leur efficacité sur les 3 tailles standards de particules fines utilisés par l'OMS pour l'évaluation de la pollution :

- ISO ePM 1 = efficacité sur les particules inférieures à 1 µm (microns) / e=efficacité
- ISO ePM 2.5 = efficacité sur les particules inférieures à 2.5 µm (microns)
- ISO ePM10 = efficacité sur les particules inférieures à 10 µm (microns)
- ISO Grossier (sables, cheveux etc...)

Pour chaque classe, le pourcentage de particules filtrées est ajouté (le filtre doit retenir au moins 50% des particules pour qu'une classe soit validée). Exemple de l'école Solange Fernex : ePM1080% : le filtre retient un minimum de 80% de particules de taille inférieure à 10 µm (micron).

2.1.1. STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

Pour l'air intérieur, les prélèvements ont eu lieu d'un lundi matin à un vendredi fin d'après-midi couvrant une semaine d'occupation classique.

VOLET B	Nom établissement	Localisation	Phases de mesures
Établissement 1	Crèche collective Belin	11 Rue de Genève - Strasbourg	P1 : 22/11 – 26/11/2021 P2 : 04/04 - 08/04/2022
Établissement 2	Ecole maternelle Louise Scheppler	3 rue de Fouday - Strasbourg	P1 : 06/12 – 10/12/2021 P2 : 04/04 - 08/04/2022
Établissement 3	Ecole maternelle Solange Fernex	16 rue de l'Elbe - Strasbourg	P1 : 17/01 – 21/01/2022 P2 : 09/05 – 13/05/2022
Établissement 4	Maison de l'enfance	24 Rue de Wasselonne - Strasbourg	P1 : 21/02 – 25/02/2022 P2 : 09/05 – 13/05/2022

Tableau 16 : phases de prélèvements – SCOL'AIR volet B

Deux phases de prélèvement ont eu lieu à deux périodes différentes (chauffe et hors chauffe). Cela a permis d'étudier les transferts intérieur/extérieur avant et après entretien du système de ventilation (les informations les actions d'entretien/maintenance sont décrites dans la parties résultats pour chaque établissement) mais surtout de pouvoir comparer les teneurs observées aux valeurs de référence. En effet, pour pouvoir se référer à des valeurs guides long terme, il est recommandé d'effectuer deux séries de prélèvements, chacune dans des conditions climatiques contrastées (chauffe et hors chauffe), et en période d'occupation normale (exposition réelle des personnes). La moyenne des deux séries de prélèvements permet alors d'approcher un état annuel de la qualité de l'air prenant en compte les variabilités temporelles des concentrations dans l'air.

Les prélèvements se sont déroulés dans **4 pièces par établissement** avec 1 ou 2 pièces/étage en alternant les côtés cour et rue dans la mesure du possible (dépendant de la configuration des bâtiments). Les phases de mesures sont précisées ci-dessus (tableau 16) et les pièces ci-dessous (tableau 17).

	BELIN	SCHEPPLER	SOLANGE FERNEX	MAISON DE L'ENFANCE
pièce 1	RDC côté cour	RDC salle de jeux côté cour	RDC petite et moyenne section côté cour	niveau 0 Palais des bébés côté rue
pièce 2	RDC – TAMARIKI côté cour	RDC salle 1 côté cour	RDC grande salle de motricité côté route	niveau 1 : salle activité donnant sur cour
pièce 3	étage - Grand atelier côté cour	étage salle 4 moyens côté cour	RDC moyenne et grande section côté rue	niveau 2 salle COCOONING côté rue
pièce 4	étage les ZAROKS côté cour	étage salle 5 grands côté cour	étage salle de jeux côté route	niveau 3 salle de jeux côté cour.
EXT	Extérieur route et cour			

Tableau 17 : liste des pièces instrumentées – SCOL'AIR volet B



Figure 42 : Photos de certaines salles instrumentées (scol'air volet B)

2.1.2. MOYENS DE PRELEVEMENTS ET DE MESURES

Pour le NO₂, il s'agit des tubes passifs décrit au 1.1.3.



Pour les PM_{2.5}, des préleveurs bas débit Microvol ont permis le prélèvement automatique sur des filtres des particules. L'air est aspiré au travers d'une tête de prélèvement spécifique à la taille des particules recherchées (par exemple PM_{2.5}). Les particules de diamètre supérieur sont impactées sur de la graisse de silicone et donc éliminées. Les particules restantes suivent le flux d'air pour être collectées sur un filtre. Le débit de fonctionnement est de 3L/minute. Les filtres en quartz et membrane téflon sont pesés en laboratoire avant et après prélèvement.

La concentration finale est obtenue à partir de la masse de particules quantifiée et du volume prélevé. Ce mode de prélèvement fournit une moyenne sur l'ensemble de la période d'exposition.



Polluants	Méthode analytique	Norme	Laboratoire d'analyse
PM _{2,5}	gravimétrie	NF EN 12341	MicroPolluants Technologie

Tableau 18 : méthodes de prélèvements des PM_{2.5}

Figure 43 : Microvol – prélèvement des PM_{2.5}

Les teneurs en CO₂ ont été mesurées toutes les 10 minutes avec un class'air. Cet appareil est équipé d'une sonde de type infrarouge non dispersif, la technologie de référence pour la mesure du CO₂.



Figure 44 : Class'Air – mesures du CO₂

La température et l'humidité relative ont été suivies en continu par des sondes Ebro EBI 20-T-Ex déployées dans les sites intérieurs et extérieurs.



Figure 45 : Sonde EBRO/EBI

2.2. RESULTATS

2.2.1. CONDITIONS METEOROLOGIQUES

Le tableau ci-dessous dresse le bilan des pluies (quantité d'eau tombée durant un jour) et vents observés au cours des phases de mesures. Les données de vents proviennent de la station de mesures A35 située au niveau de l'autoroute A35 et les données de pluviométrie de la station de Schiltigheim.

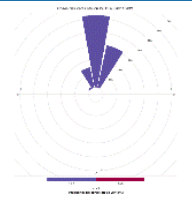
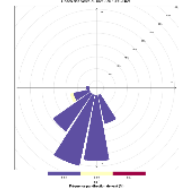
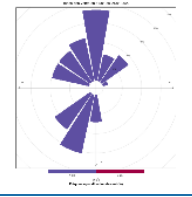
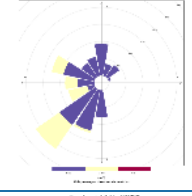
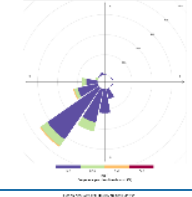
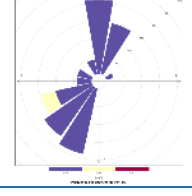
Données météo Scol'Air volet B sur les 5 jours de mesures	Cumul pluie (mm)	Nbre jour pluie > 1 mm	% vitesse vents m/s	Principales directions	T°C moy.	Roses des vents
P1 Belin 22/11 – 26/11/2021	1,0	1	100%]1-3] m/s	NNO vers NNE (100%)	2,3	
P1 Scheppler 06/12 – 10/12/2021	274,5	3	99%]1-3] m/s]	S vers OSO (85%)	3,5	
P1 Fernex 17/01 – 21/01/2022	213,3	2	100%]1-3] m/s	S vers SO (34%) N-NE (34%) ONO vers NNO (31%)	2,5	
P1 Maison de l'enfance 21/02 – 25/02/2022	412,7	5	78%]1-3] m/s 22%]3-5]	S à O (59%) N-NE (17%)	7,0	
P2 Belin et Scheppler 04/04 - 08/04/2022	1012,1	4	85%]1-3] m/s 14%]3-5]	S à O (90%)	9,1	
P2 Fernex et Maison de l'enfance 09/05 – 13/05/2022	129,1	1	96 %]1-3] m/s 4%]3-5]	S-SSO-SO (48%) N-NE (25%)	20,6	

Tableau 19 : Données météo – Scol'Air volet B

Les vents sont globalement faibles : généralement compris entre 0 et 3 m/s et avec des orientations diverses selon les périodes. Les principales directions observées en 2022 (année prise au 1.1.4) qui sont le Nord/Nord-Est et le Sud-Ouest sont représentées sur ces campagnes.

La phase 1 de Scheppler et la phase 2 de Belin/Scheppler se démarquent avec aucun vent de direction Nord et Est. Les vents ont été orientés entre le Sud et l'Ouest. L'école Scheppler se situant au Nord-Est de l'autoroute (M35), les vents observés ont pu être impactant. Belin et la Maison de l'enfance étant entourés de nombreux hauts bâtiments, les vents ont peu d'influence localement.

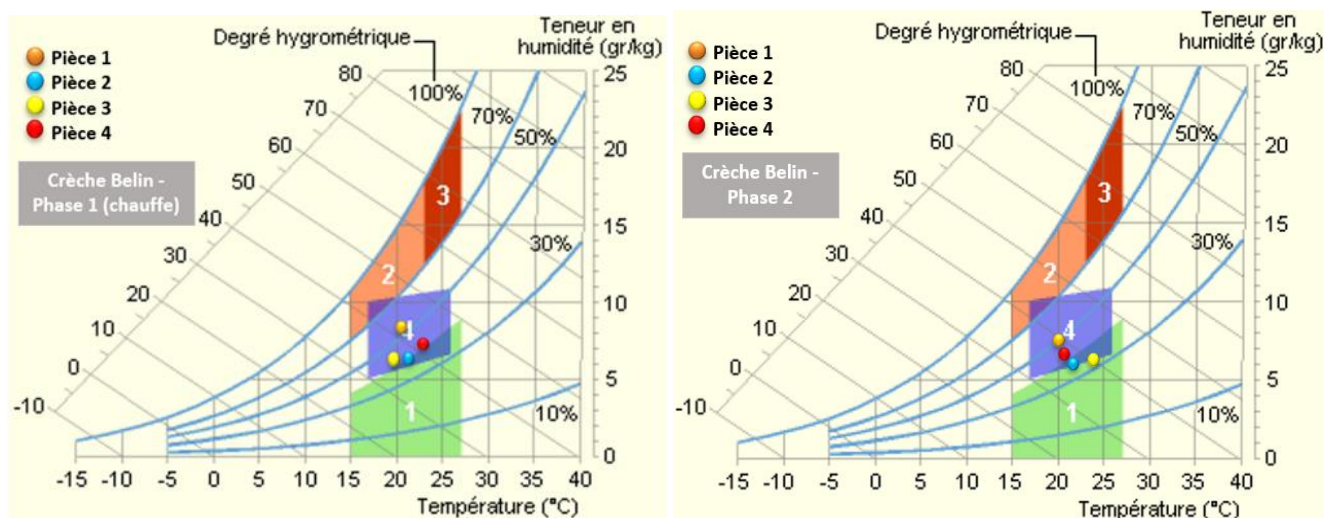
Les vents de Sud, Sud-Ouest et d'Ouest peuvent transporter les polluants de l'Avenue du Rhin vers l'école Solange Fernex. Ils ont été détectés au cours des deux phases.

La phase 1 de Belin est très sèche avec seulement 1 mm de pluie sur toute la semaine. La phase 2 de Solange Fernex et de la Maison de l'enfance, compte 129 mm de précipitations mais uniquement sur un jour (13/05/2022). A l'inverse, la phase 1 de la maison de l'enfance, et les phases 2 de Belin et Scheppler sont très pluvieuses avec respectivement 5 jours avec des précipitations (tous les jours pour un cumul de 413 mm) et 4 jours (cumul de 1012 mm). Les phases 1 de Scheppler et de Solange Fernex sont intermédiaires avec des pluies réparties sur 3 jours (274 mm) et 2 jours (213 mm).

Les mesures durant la phase 1 de Belin et la phase 2 de Solange Fernex/maison de l'enfance ont été peu impactées par les pluies, ce qui ne permet pas de diluer les concentrations et favorise donc la stagnation dans l'air (avec de faibles vitesses de vents associées).

2.2.2. CRECHE BELIN

2.2.2.1. Température et humidité relative



- 1 : Zone à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.
- 2 et 3 : Zones à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et de micro-champignons.
- 3 : Zone à éviter vis-à-vis des développements d'acariens.
- 4 : Polygone de confort hygrothermique

Figure 46 : diagrammes de Fauconnier - Crèche Belin

Les points correspondent aux moyennes des paramètres de températures et d'humidités en période d'occupation (journées). Les salles sont majoritairement situées dans la « zone de bon confort hygrothermique et de préservation du bâtiment ». Quelques-unes sont parfois à la limite de la zone de sécheresse.

Tableau 20 : températures et humidités moyennes – crèche BELIN

	BELIN	T°C	Humidité %
Phase 1	Pièce 1	21.0	53.2
	Pièce 2	21.9	36.5
	Pièce 3	19.5	40.3
	Pièce 4	23.1	38.3
	ext	2,3	
Phase 2	Pièce 1	20.3	47.9
	Pièce 2	22.3	34.2
	Pièce 3	24.2	31.1
	Pièce 4	21.2	39.0
	ext	9,1	

2.2.2.2. ICONE

Les indices de confinement ont été calculés à partir des plannings d'occupation des salles.

BELIN	n° salle	valeur indice	nature du confinement	informations
Phase 1	pièce 1	3	élevé	néant
	pièce 2	1	faible	néant
	pièce 3	1	faible	néant
	pièce 4	2	moyen	néant
Phase 2	pièce 1	2	moyen	néant
	pièce 2	1	faible	néant
	pièce 3	1	faible	néant
	pièce 4	1	faible	néant

Tableau 21 : indices de confinement – crèche BELIN

Les indices de confinement, varient de 1 à 3 et sont par conséquent tous inférieurs à 4 (indice à partir duquel un message de sensibilisation est associé). La pièce 1 (indice 3) a des pics atteignant 1950 ppm après quelques heures d'occupation. Les niveaux redescendent très rapidement dès la fin d'occupant et de l'aération. Une aération plus fréquente de cette salle au cours de l'occupation est recommandée.

Les indices en phase 2, après les opérations de maintenance sur la VMC, sont moins élevés pour les pièces 1 et 4. Ils passent respectivement de 3 à 2 et de 2 à 1. L'aération, plus fréquente et longue en phase 2, en lien avec conditions climatiques sont plus clémentes, favorise le renouvellement de l'air et la dilution des teneurs en CO₂.

A noter que lors de la campagne nationale écoles (2013-2017 de l'OQAI) 41 % des écoles avaient au moins une classe avec un ICONE très élevé (≥ 4).

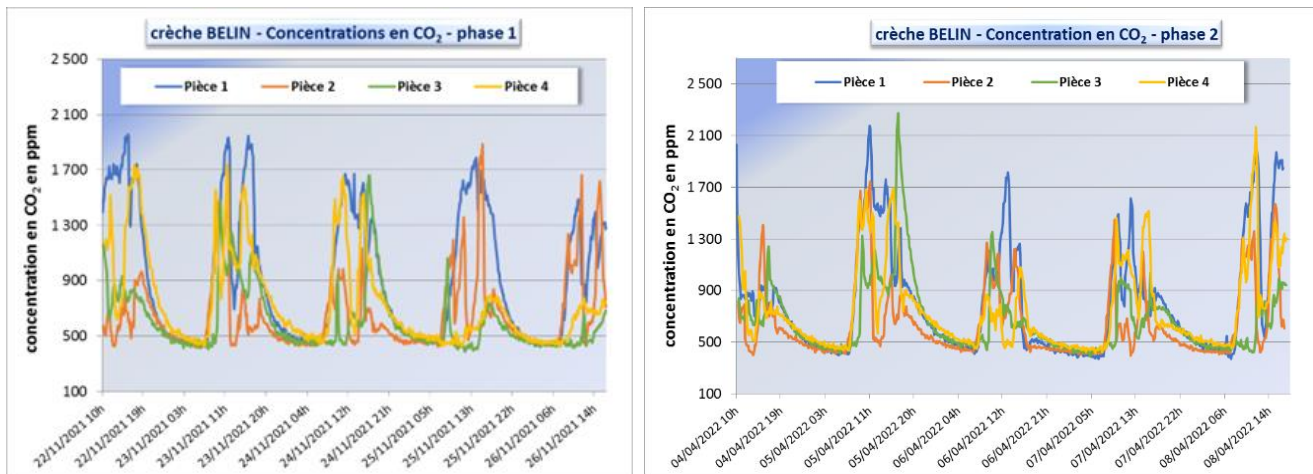
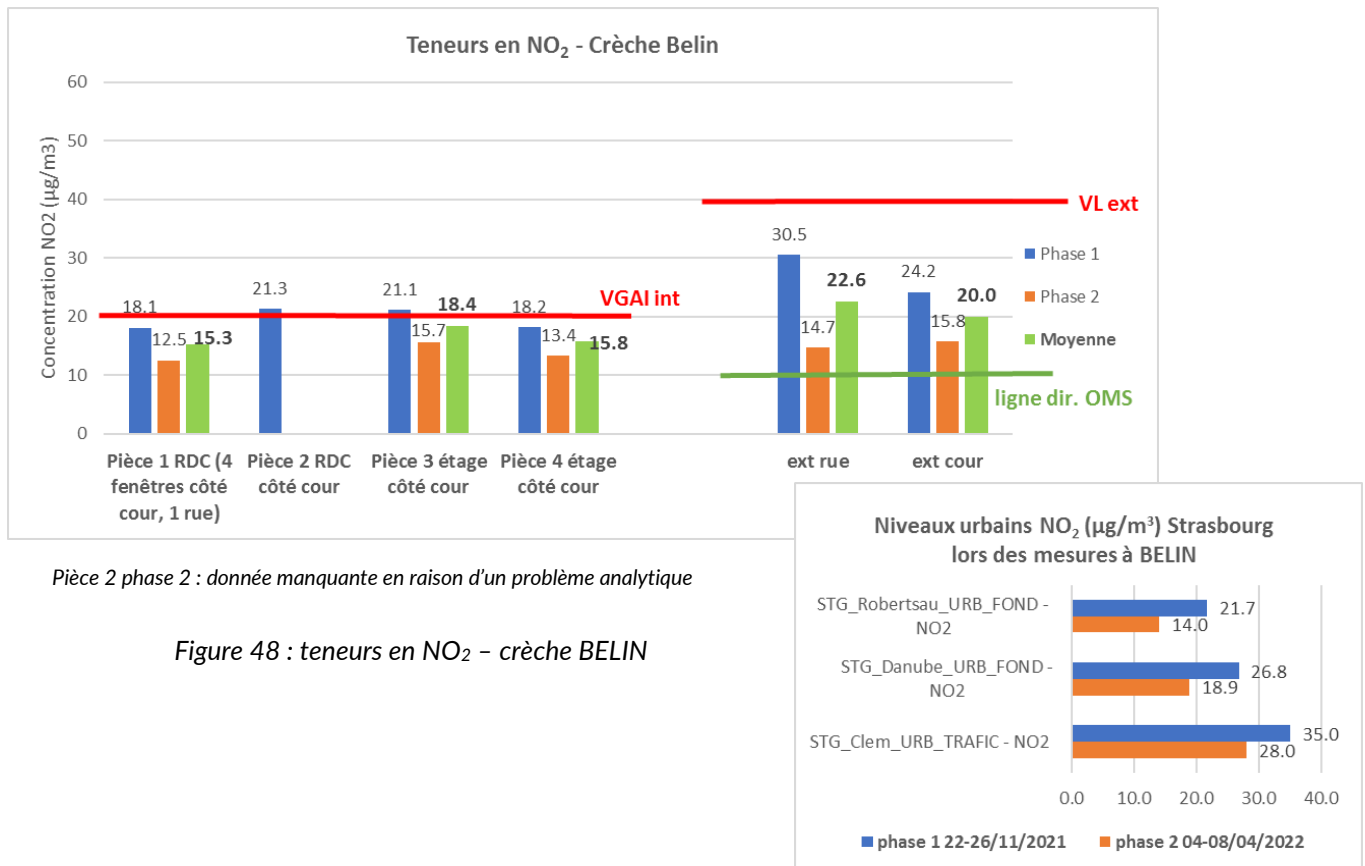


Figure 47 : évolution des teneurs en CO₂ - crèche BELIN

2.2.2.3. Concentrations en NO₂

Les concentrations en dioxyde d'azote pour la crèche BELIN sont présentées ci-dessous :



Pièce 2 phase 2 : donnée manquante en raison d'un problème analytique

Figure 48 : teneurs en NO₂ - crèche BELIN

La crèche Belin respecte dans chaque pièce (moyenne des 2 phases) le seuil de 20 µg/m³ (valeur guide pour l'air intérieur - VGAI).

Les concentrations extérieures sont plus élevées en phase 1 (hiver - chauffe) par rapport à la phase 2 printanière (hors chauffe) en lien avec la variabilité saisonnière du NO₂ (mauvaises conditions de dispersion de ce polluant en hiver). De ce fait, les concentrations intérieures influencées par l'extérieur suivent la même tendance.

Les teneurs intérieures sont assez similaires (notamment en phase 2) aux teneurs relevées à l'extérieur côté cour en lien avec la l'orientation des pièces et donc l'aération par les ouvrants donnant sur la cour. Les teneurs extérieures sont inférieures à la valeur limite annuelle réglementaire (fixée à 40 µg/m³) mais dépassent à titre indicatif la ligne directrice de l'OMS (10 µg/m³).

Les niveaux extérieurs se situent entre les niveaux de fond urbain et de trafic urbain Strasbourgeois aux mêmes périodes. La présence d'une chaudière gaz ne peut pas dans ce cas être une source de NO₂ car le local chaufferie est très éloigné de la partie crèche.

→ **L'influence principale des teneurs observées est le transfert depuis l'extérieur du fait de l'aération et l'insufflation d'air mécanique par le système de VMC double flux dont la prise d'air est en toiture.**

A noter que lors de la campagne nationale écoles (2013-2017 de l'OQAI) la médiane en NO₂ a été de 5 µg/m³

2.2.2.4. Concentrations en PM2.5

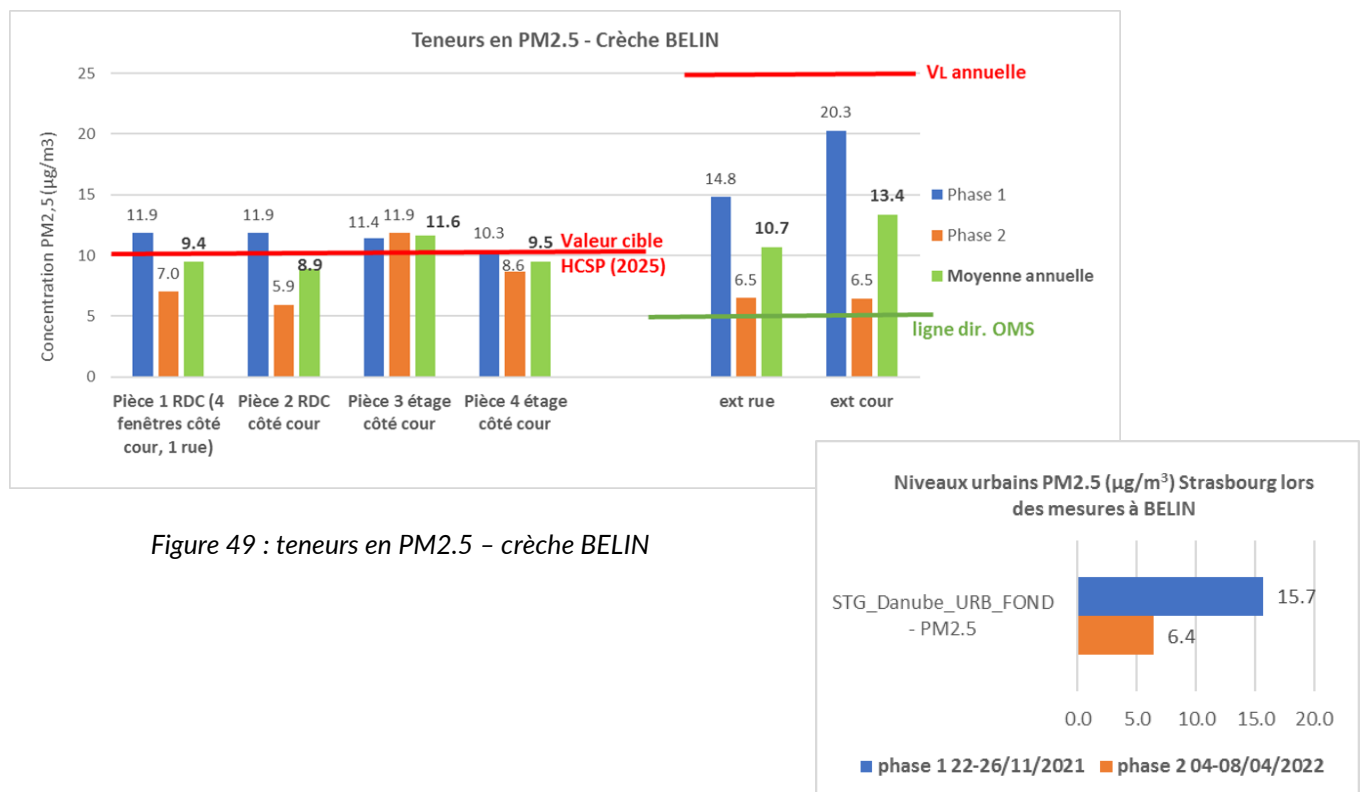


Figure 49 : teneurs en PM2.5 – crèche BELIN

La crèche Belin respecte dans 3 pièces (moyenne des 2 phases) le seuil de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur cible préconisée par le Haut Conseil de la santé publique à compter de 2025). La pièce 3 ($11,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dépasse légèrement ce seuil.

Les concentrations intérieures et extérieures sont plus élevées en phase 1 (hiver - chauffe) par rapport à la phase 2 printanière (hors chauffe), avec le côté rue moins élevé que le côté cour. Les $\text{PM}_{2,5}$ sont émises, entre autres, par les activités résidentielles-tertiaires telles que le chauffage (combustion). Les nombreux bâtiments entourant la cour peuvent émettre des $\text{PM}_{2,5}$ à cette période.

Sur la phase 1, les teneurs intérieures sont plus faibles que les teneurs extérieures avec un abattement d'environ 50%. Sur la phase 2 hors chauffe, les teneurs intérieures sont légèrement plus élevées sauf dans la pièce 3 dont la concentration est doublée par rapport à l'extérieur. A noter que les teneurs extérieures en phase 2 sont faibles sur la région de Strasbourg.

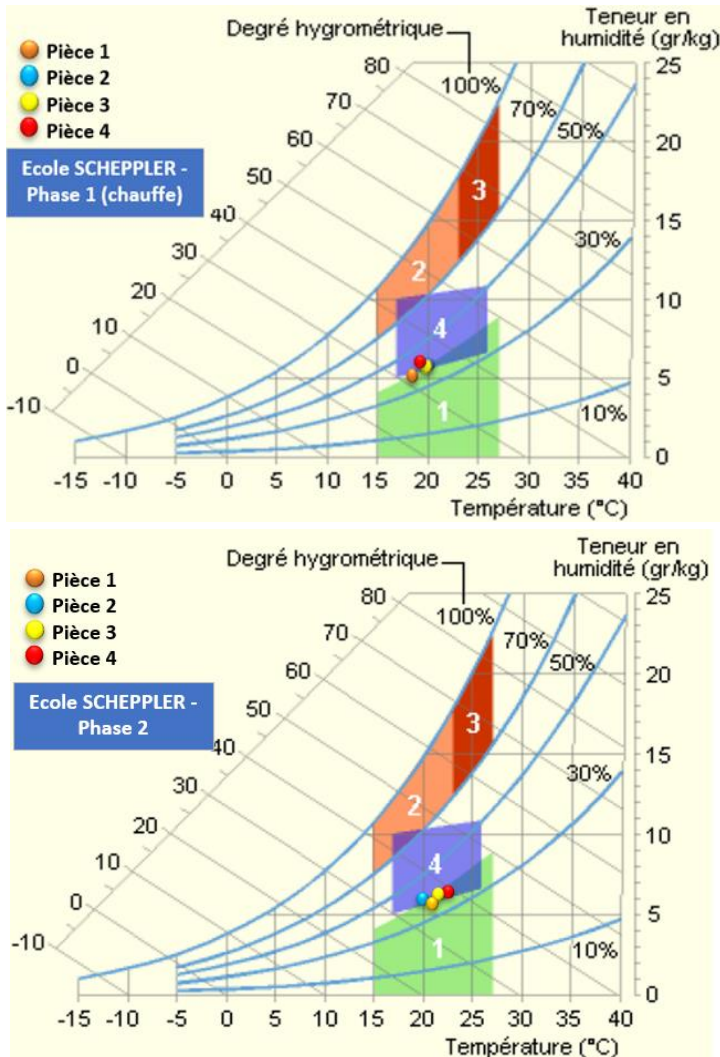
Lors de la campagne nationale écoles (2013-2017) de l'OQAI, la médiane a été de $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et 93% des classes dépassaient le seuil de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les teneurs extérieures sont inférieures à la valeur limite annuelle réglementaire (fixée à $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mais dépassent à titre indicatif la ligne directrice de l'OMS (fixée à $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Sur la phase de chauffe, la cour concentre plus les $\text{PM}_{2,5}$ que le côté rue. Par rapport à l'ambiance de fond urbain de Strasbourg (Station Danube, NORD), les niveaux sont identiques lors de la phase 2. Les niveaux de la phase 1 sont très proches pour le côté rue et supérieurs côté cour.

→ Les concentrations observées proviennent de particules s'étant infiltrées, en provenance de l'extérieur mais également de sources intérieures (remise en suspension de poussières).

2.2.3. ECOLE SCHEPPLER

2.2.3.1. Température et humidité relative



SCHEPPLER		T°C	Humidité %
Phase 1	Pièce 1	18.5	39.4
	Pièce 2	20.0	40.3
	Pièce 3	19.7	40.0
	Pièce 4	19.2	44.3
	ext	3.5	
Phase 2	Pièce 1	21.5	33.2
	Pièce 2	20.1	37.6
	Pièce 3	21.8	36.2
	Pièce 4	23.2	34.3
	ext	9.1	

Tableau 22 : températures et humidités moyennes - Ecole Scheppler

L'école Scheppler se situe dans le polygone de bon confort et de préservation du bâtiment mais en limite de la zone de sécheresse sur les deux périodes (chauffe phase 1 et hors chauffe phase 2).

Figure 50 : diagrammes de Fauconnier - Ecole Scheppler

2.2.3.2. ICONE

Ecole Louise Scheppler	n° salle	valeur indice	nature du confinement	informations
Phase 1 chauffe	pièce 1	0	nul	néant
	pièce 2	1	faible	néant
	pièce 3	1	faible	néant
	pièce 4	2	moyen	néant
Phase 2	pièce 1	1	faible	néant
	pièce 2	1	faible	néant
	pièce 3	2	moyen	néant
	pièce 4	2	moyen	néant

Tableau 23 : indices de confinement - école Scheppler

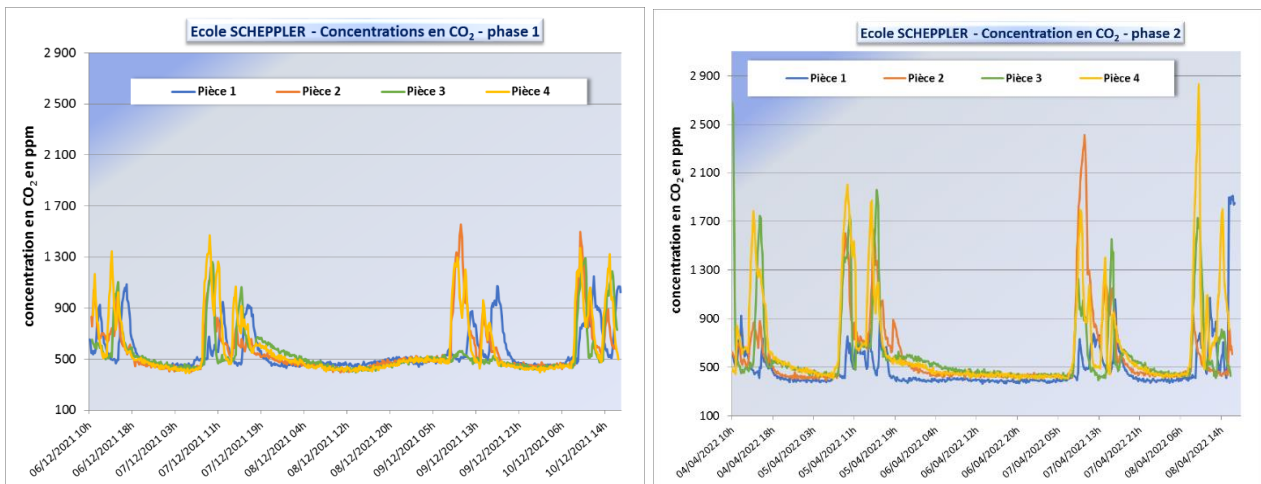


Figure 51 : évolution des teneurs en CO₂ – école Scheppler

Les indices de confinement sont tous inférieurs à 4 (indice à partir duquel un message de sensibilisation est associé).

A l'inverse de l'établissement précédent (Belin), les indices n'ont pas diminué lors de la phase 2 (phase pourtant plus propice à l'aération et après maintenance de la VMC). Ils sont supérieurs pour deux salles (numéros 1 et 3).

En phase 2, les niveaux augmentent rapidement sous occupation, dépassant par moment le seuil de 1700 ppm et descendent rapidement lors de l'aération et la fin d'occupation. En phase 1, les teneurs se maintiennent constamment en dessous de 1700 ppm. A noter que lors de la campagne nationale écoles (2013-2017 de l'OQAI) 41 % des écoles avaient au moins une classe avec un indice ICONe très élevé (≥ 4).

2.2.3.3. Concentrations en NO₂

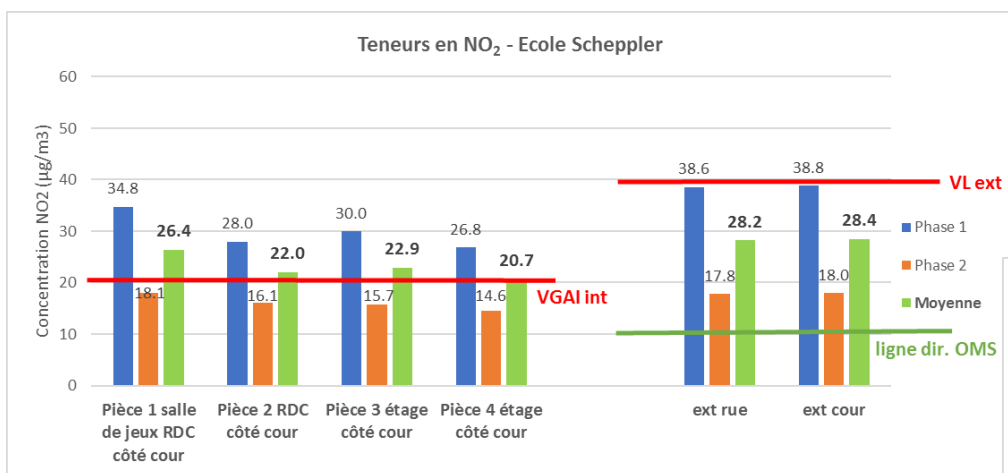
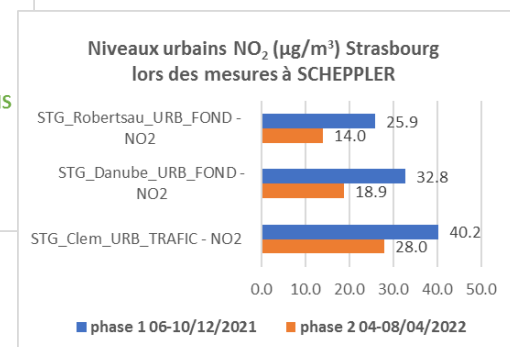


Figure 52 : teneurs en NO₂ – école Scheppler



L'école Scheppler dépasse pour toutes les pièces (moyenne sur 2 phases) le seuil de 20 µg/m³ (valeur guide pour l'air intérieur - VGAI - maximum = 26,4 µg/m³ pièce 1 RDC côté cour).

Les teneurs extérieures de la phase 1 sont particulièrement élevées malgré 3 jours avec des ondées. Les vents sont en revanche orientés de l'autoroute vers l'école. Lors de la phase 2, il a plu davantage avec une quasi même orientation globale des vents.

Les pièces ont toutes des concentrations inférieures aux niveaux extérieurs excepté pour la pièce 1 en phase 2 où les teneurs sont quasi-similaires. Les concentrations extérieures sont similaires d'un environnement à l'autre et varient très peu en fonction des phases. Elles sont pour l'ensemble inférieures à la valeur limite annuelle réglementaire (fixée à 40 µg/m³) en phase 2 et inférieures mais très proches en phase 1. En revanche, elles dépassent toutes à titre indicatif la ligne directrice de l'OMS (10 µg/m³).

Les niveaux extérieurs se situent entre les niveaux de fond urbain et de trafic urbain Strasbourgeois (proche du fond trafic en phase 1).

→ L'influence principale des teneurs observées est le transfert depuis l'extérieur du fait de l'aération et l'insufflation mécanique d'air extérieur.

2.2.3.4. Concentrations en PM2.5

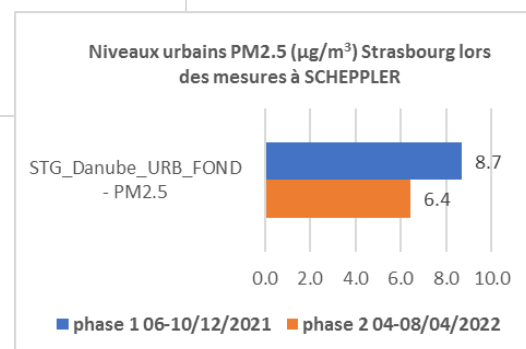
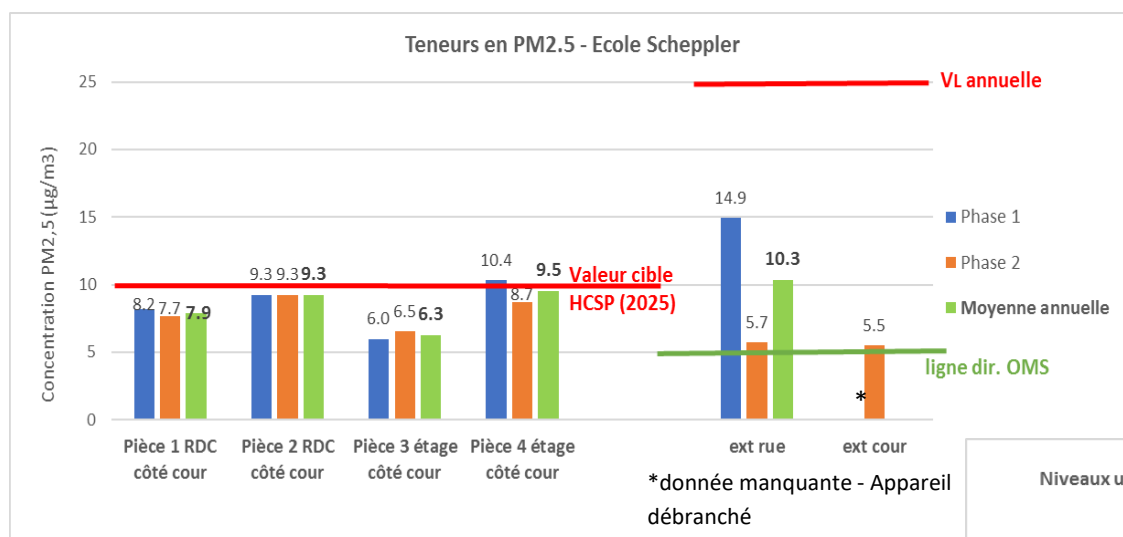


Figure 53 : teneurs en PM2.5 – école Scheppler

L'école Louise Scheppler respecte dans toutes les pièces (moyenne des 2 phases) le seuil de 10 µg/m³ (valeur cible préconisée par le Haut Conseil de la santé publique à compter de 2025).

Les concentrations intérieures en phase 1 sont toutes inférieures à l'extérieur. En phase 2, les niveaux extérieurs sont très faibles (similaires côté rue et côté cour). Les teneurs intérieures (maximum = 9,3 µg/m³ pièce 2 RDC cour) sont toutes supérieures aux niveaux extérieurs en phase 2.

Les teneurs intérieures sont en dessous de la médiane (18 µg/m³) de la campagne nationale écoles (2013-2017).

Les teneurs extérieures sont inférieures à la valeur limite annuelle réglementaire (fixée à $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mais dépassent à titre indicatif la ligne directrice de l'OMS (fixée à $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

→ Les teneurs observées proviennent de particules s'étant infiltrées, en provenance de l'extérieur et de sources intérieures (remise en suspension de poussières).

2.2.4. ECOLE SOLANGE FERNEX

2.2.4.1. Température et humidité relative

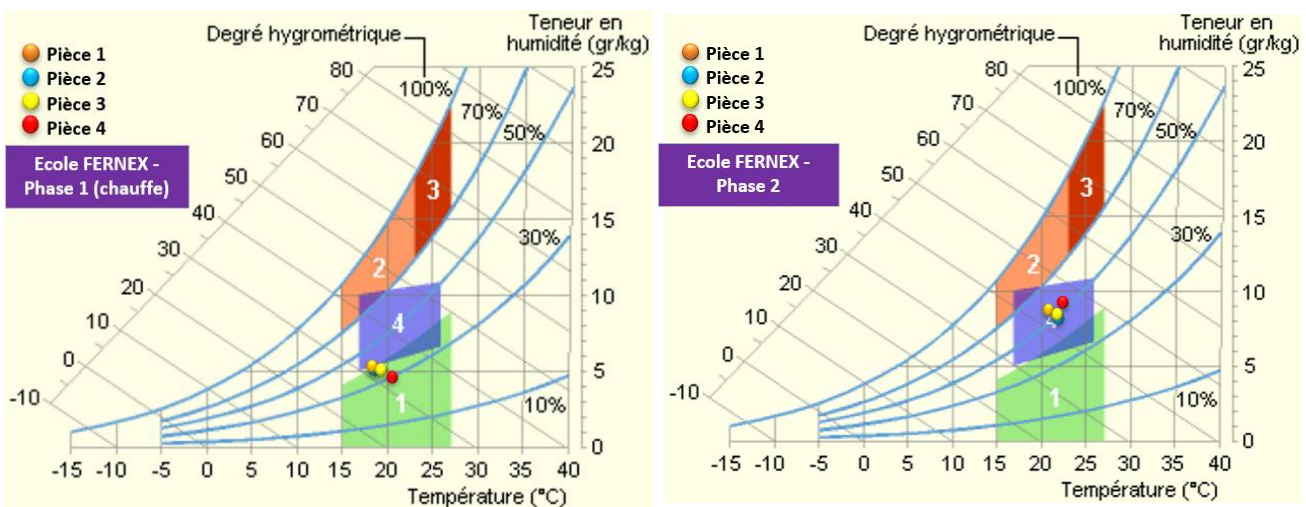


Figure 54 : diagrammes de Fauconnier – Ecole Solange Fernex

Les salles de l'école FERNEX sont dans la zone de sécheresse sur la phase de chauffe et dans la zone de bon confort en phase hors chauffe.

SOLANGE FERNEX		T°C	Humidité %
Phase 1	Pièce 1	18.1	35.2
	Pièce 2	18.5	33.1
	Pièce 3	19.3	32.9
	Pièce 4	20.9	28.1
	ext	2.5	
Phase 2	Pièce 1	21.6	51.8
	Pièce 2	22.3	47.6
	Pièce 3	22.1	49.1
	Pièce 4	22.6	52.2
	ext	20.6	

Tableau 24 : températures et humidités moyennes – Ecole Solange Fernex

2.2.4.2. ICONE

Ecole Solange Fernex	n° salle	valeur indice	nature du confinement	informations
Phase 1 chauffe	pièce 1	0	nul	néant
	pièce 2	0	nul	néant
	pièce 3	0	nul	néant
	pièce 4	0	nul	néant
Phase 2	pièce 1	0	nul	néant
	pièce 2	0	nul	néant
	pièce 3	0	nul	néant
	pièce 4	0	nul	néant

Tableau 25 : indices de confinement – école Solange Fernex

La ventilation mécanique de l'école Solange Fernex semble très efficace, les taux de CO₂ sont bas, ils évoluent toujours en dessous de 1000 ppm et a de ce fait les indices sont de valeur 0.

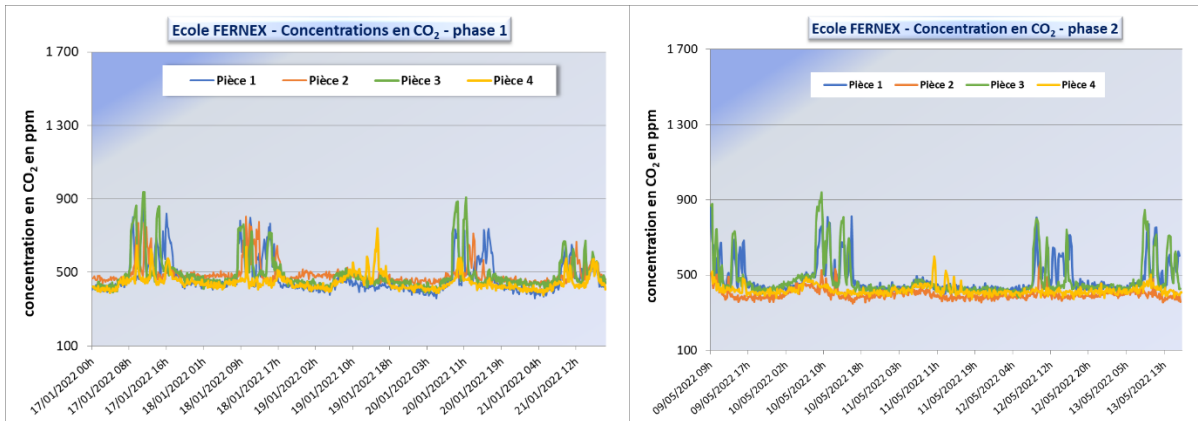
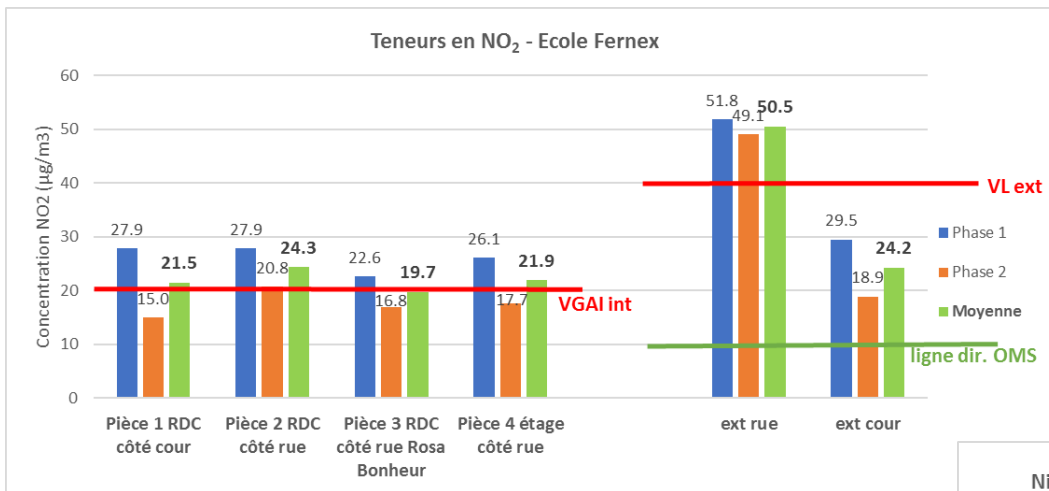


Figure 55 : évolution des teneurs en CO₂ – école Solange Fernex

2.2.4.3. Concentrations en NO₂



Remarque : la station Strasbourg Danube est située rue Emmanuel Levinas au niveau de la cour de l'école Solange Fernex.

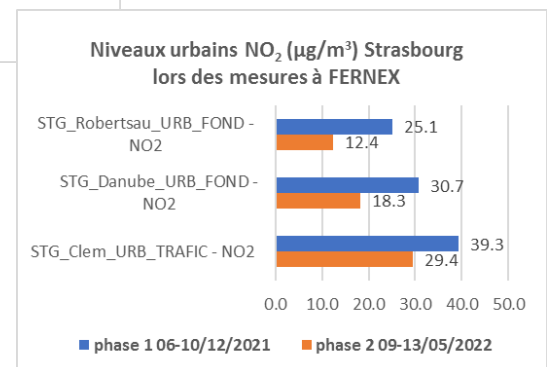
Figure 56 : teneurs en NO₂ – école Solange Fernex

L'école Solange FERNEX dépasse dans toutes les pièces (moyenne des 2 phases) le seuil de 20 µg/m³ (valeur guide pour l'air intérieur – VGAI – maximum = 24,3 µg/m³ pièce 2 RDC côté rue, salle de jeux) et est légèrement en dessous pour la pièce 3 (19,7 µg/m³).

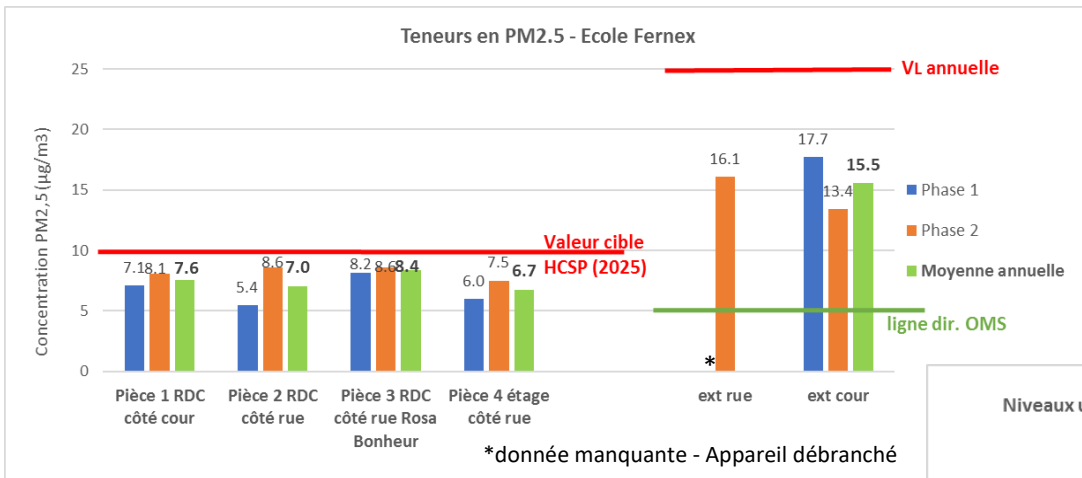
Les concentrations intérieures sont largement inférieures aux niveaux relevés côté rue (Avenue du Rhin) et inférieures ou très proches au côté cour. Les pièces 1-2-4 ont des teneurs assez similaires (sur chaque phase). Les concentrations extérieures sont beaucoup moins élevées côté cour que côté rue. L'éloignement de la cour et la hauteur du bâtiment permettent de contenir les niveaux (émissions du trafic de l'Avenue du Rhin). Côté route, elles sont supérieures à la valeur limite annuelle réglementaire (fixée à 40 µg/m³) et côté cour inférieures. En revanche, elles dépassent toutes à titre indicatif la ligne directrice de l'OMS (10 µg/m³).

Les niveaux extérieurs côté route dépassent ceux observés à la station Clémenceau de Strasbourg (typologie urbaine de fond et d'influence trafic).

→ L'influence principale des teneurs observées est le transfert depuis l'extérieur du fait de l'aération et les insufflations mécaniques d'air neuf capté depuis la cour (air non filtré par rapport au NO₂).



2.2.4.4. Concentration en PM2.5



Remarque : la station Strasbourg Danube est située rue Emmanuel Levinas au niveau de la cour de l'école Solange Fernex.

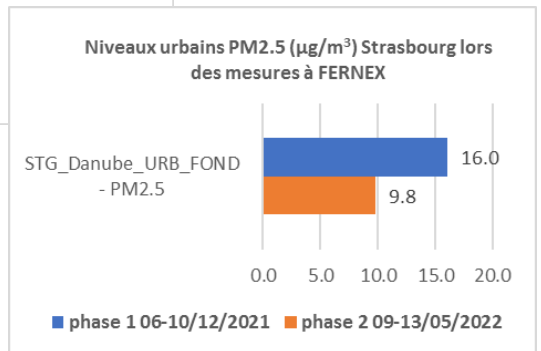


Figure 57 : teneurs en PM2.5 – école Solange Fernex

L'école Solange Fernex respecte en moyennes des 2 phases dans toutes les pièces le seuil de 10 µg/m³ (valeur cible préconisée par le Haut Conseil de la santé publique à compter de 2025).

Les concentrations intérieures sont toutes inférieures à l'extérieur.

Les teneurs intérieures sont largement en dessous de la médiane (18 µg/m³) de la campagne nationale écoles (2013-2017).

Les teneurs extérieures sont inférieures à la valeur limite annuelle réglementaire (fixée à 25 µg/m³) mais dépassent à titre indicatif la ligne directrice de l'OMS (fixée à 5 µg/m³).

→ Les teneurs observées proviennent de particules s'étant infiltrées, en provenance de l'extérieur de sources intérieures (remise en suspension de poussières).

2.2.5. MAISON DE L'ENFANCE

2.2.5.1. Température et humidité relative

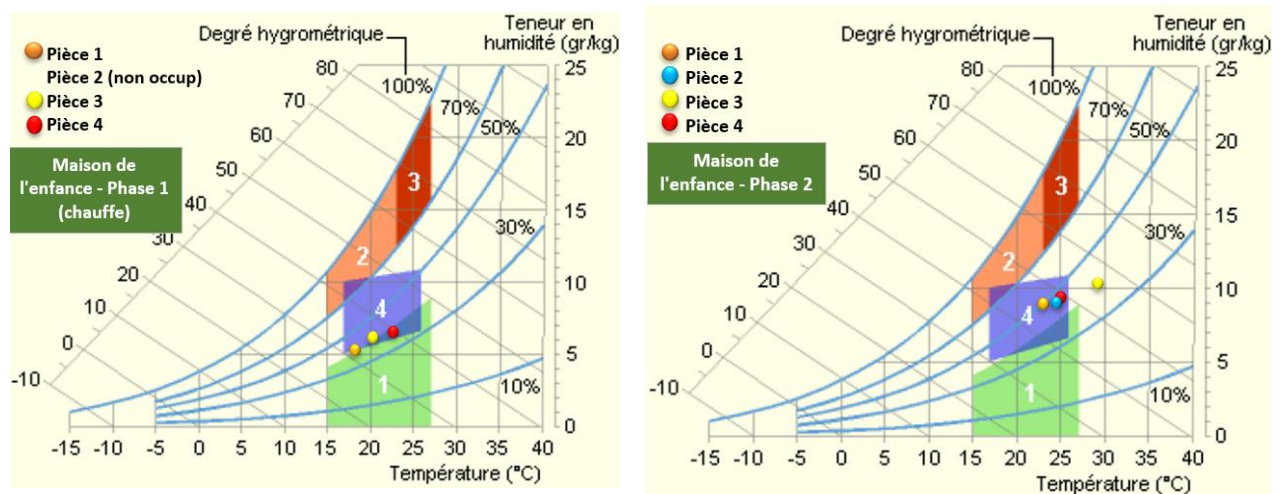


Figure 58 : diagrammes de Fauconnier – maison de l'enfance

Maison de l'enfance		T°C	Humidité %
Phase 1	Pièce 1	18,0	35,8
	Pièce 2		
	Pièce 3	20,5	38,2
	Pièce 4	22,8	33,6
	ext	7,0	
Phase 2	Pièce 1	23,0	47,0
	Pièce 2	24,4	45,1
	Pièce 3	28,8	38,1
	Pièce 4	25,0	43,9
	ext	20,6	

Les salles sont majoritairement situées dans la « zone de bon confort hygrothermique et de préservation du bâtiment ». Quelques-unes sont parfois à la limite de la zone de sécheresse.

Tableau 26 : températures et humidités moyennes – Maison de l'Enfance

2.2.5.2. ICONE

Maison de l'enfance	n° salle	valeur indice	nature du confinement	informations
Phase 1	pièce 1	0	nul	néant
	pièce 2	NON occupée		
	pièce 3	1	faible	néant
	pièce 4	0	nul	néant
Phase 2	pièce 1	0	nul	néant
	pièce 2	0	nul	néant
	pièce 3	0	nul	néant
	pièce 4	0	nul	néant

Tableau 27 : indices de confinement – maison de l'enfance

La maison de l'enfance a des indices de 0 dans la majorité des salles toutes phases confondues sauf dans la pièce 3 (indice = 1 = confinement faible).

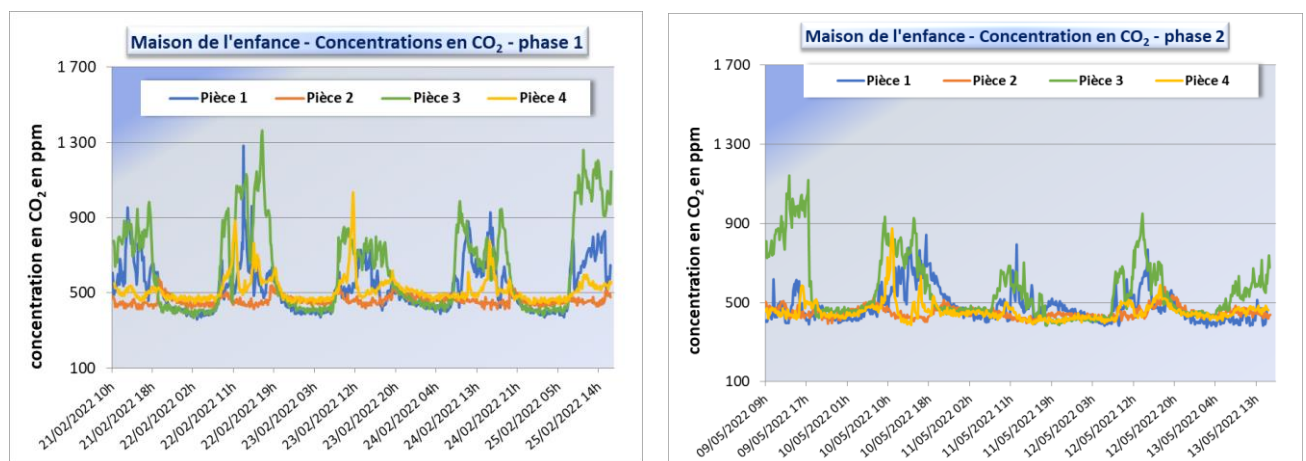


Figure 59 : évolution des teneurs en CO₂ – maison de l'enfance

2.2.5.3. Concentrations en NO₂

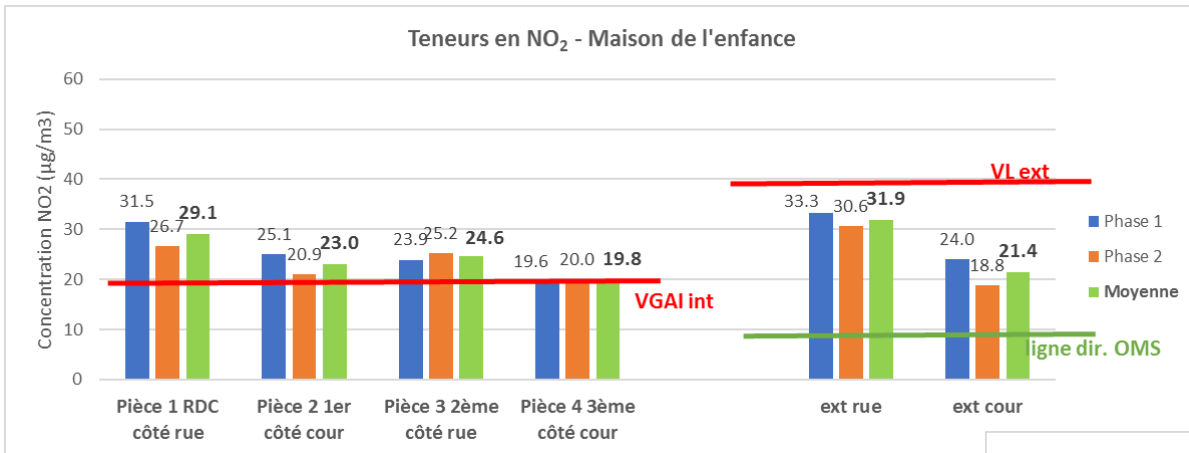
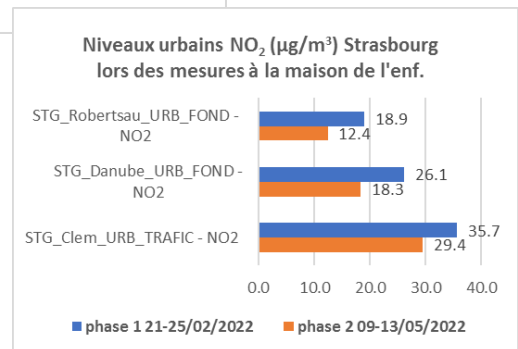


Figure 60 : teneurs en NO₂ - maison de l'enfance

La maison de l'enfance dépasse dans les pièces 1-2-3 (moyenne sur les 2 phases) le seuil de 20 µg/m³ (valeur guide pour l'air intérieur - VGAI - maximum = 29,1 µg/m³ pièce 1 côté rue) et est légèrement en dessous pour la pièce 4 (19,8 µg/m³). Les deux pièces côté rue ont des concentrations inférieures aux teneurs extérieures côté rue mais supérieures à la cour. Les deux pièces côté cour ont sur la phase 2 des teneurs légèrement supérieures à l'extérieur cour (en phase 1 aussi uniquement pour la pièce 2).



Les deux pièces situées côté rue ont des teneurs globalement supérieures aux pièces côté cour. La pièce 1 côté rue du RDC a des teneurs plus élevées que celle située côté rue plus en hauteur au 3ème étage (pièce 3). La pièce côté cour au 4ème et dernier étage présente les teneurs les moins élevées. Les teneurs extérieures sont moins élevées côté cour que côté rue et sont pour l'ensemble inférieures à la valeur limite annuelle réglementaire (fixée à 40 µg/m³). En revanche, elles dépassent toutes à titre indicatif la ligne directrice de l'OMS (10 µg/m³).

Les niveaux extérieurs se situent entre les niveaux de fond urbain et de trafic urbain Strasbourgeois.

- L'influence principale des teneurs observées est le transfert depuis l'extérieur du fait de l'aération et les entrées d'air de la VMC (équilibre entre l'extraction mécanisée et les flux d'air extérieur non traité).
- Dans ce cas de bâtiment avec étages, il est observé une décroissance des niveaux en fonction de la hauteur selon l'orientation des pièces (côté rue-côté cour).

2.2.5.4. Concentrations en PM2.5

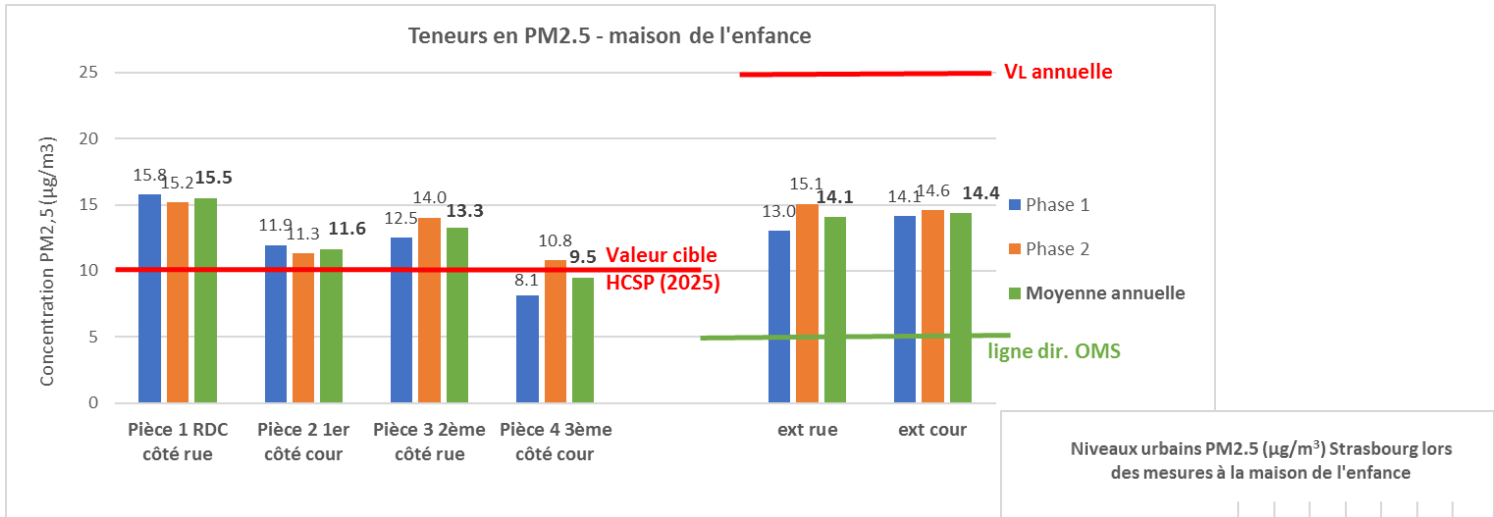


Figure 61 : teneurs en PM2.5 – maison de l'enfance

La maison de l'enfance dépasse dans 3 pièces (moyenne des 2 phases) (1-2-3) le seuil de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur cible préconisée par le Haut Conseil de la santé publique à compter de 2025 - maximum = $15,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - pièce 1 côté rue). La pièce 3 ($9,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) est légèrement en dessous de ce seuil.

Les concentrations intérieures et extérieures sont assez similaires d'une phase à l'autre sur chaque point de mesure.

Les pièces côté rue ont des teneurs plus élevées que celles côté cour. La pièce côté rue du RDC (pièce 1) est celle ayant les teneurs les plus élevées (idem pour le NO_2). La pièce côté cour au 4ème et dernier étage a les teneurs les moins élevées (idem pour le NO_2).

Les teneurs intérieures se positionnent en dessous de la médiane ($18 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de la campagne nationale écoles (2013-2017).

En extérieur, le côté rue est un peu moins élevé que le côté cour en période de chauffe (phase 1) et proche en phase 2 (constat similaire pour BELIN).

Les teneurs extérieures sont inférieures à la valeur limite annuelle réglementaire (fixée à $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mais dépassent à titre indicatif la ligne directrice de l'OMS (fixée à $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

→ Les teneurs observées proviennent de particules s'étant infiltrées, en provenance de l'extérieur et de sources intérieures (remise en suspension de poussières).

2.2.6. RECAPITULATIF DES CONCENTRATIONS EN NO₂ ET PM_{2.5} ET COMPARAISONS INTERIEUR/EXTERIEUR

Les tableaux ci-après synthétisent les données obtenues sur l'ensemble de la campagne et permettent de comparer les niveaux intérieurs et extérieur. Le ratio [int]/[ext] se déduit directement des mesures de concentrations réalisées simultanément à l'intérieur et à l'extérieur. Il caractérise les transferts des polluants au passage de l'enveloppe du bâtiment et du réseau de ventilation, ainsi que tous les phénomènes qui se produisent au sein des atmosphères intérieures (aération, émissions internes...). Un ratio est inférieur à 1 lorsque la teneur intérieure est inférieure à celle de l'extérieur. S'il est supérieur, alors c'est l'inverse, les teneurs intérieures sont supérieures à l'extérieur et laisse supposer une origine autre que l'extérieur. Lorsque la concentration extérieure d'un environnement n'était pas disponible (cas des PM_{2.5}), les ratios ont été calculés avec la donnée extérieure disponible ne reflétant pas exactement les conditions réelles. Les cases ont un fond bleu pour le signaler.

Enfin le tableau 25 dresse le bilan de la campagne en présentant le nombre de dépassements de seuils de référence par établissement en moyenne des deux phases.

NO ₂	valeur > 20 µg/m ³ en air intérieur MOY. ANNUELLE	NO ₂ µg/m ³			Ratios conc. int/ext	
	Ratio > 1 valeur > 40 µg/m ³ en air extérieur MOY. ANNUELLE	Phase 1	Phase 2	MOY ann.	Phase 1	Phase 2
crèche Belin 2 niveaux VMC double flux	Pièce 1 RDC (cour et rue)	18.1	12.5	15.3	0.75	0.80
	Pièce 2 RDC côté cour	21.3	-	-	0.88	
	Pièce 3 1 ^{er} étage côté cour	21.1	15.7	18.4	0.87	0.99
	Pièce 4 1 ^{er} étage côté cour	18.2	13.4	15.8	0.75	0.85
	ext rue	30.5	14.7	22.6		
	ext cour	24.2	15.8	20.0		
Ecole Scheppler 2 niveaux VMC double flux ePM1 55%	Pièce 1 salle de jeux RDC côté cour	34.8	18.1	26.4	0.90	1.00
	Pièce 2 RDC côté cour	28.0	16.1	22.0	0.72	0.89
	Pièce 3 1 ^{er} étage côté cour	30.0	15.7	22.9	0.77	0.87
	Pièce 4 1 ^{er} étage côté cour	26.8	14.6	20.7	0.69	0.81
	ext rue	38.6	17.8	28.2		
	ext cour	38.8	18.0	28.4		
Ecole Fernex 2 niveaux VMC double flux ePM10 80% + ePM1 60%	Pièce 1 RDC côté cour	27.9	15.0	21.5	0.95	0.79
	Pièce 2 RDC côté rue	27.9	20.8	24.3	0.54	0.42
	Pièce 3 RDC côté rue Rosa Bonheur	22.6	16.8	19.7	0.44	0.34
	Pièce 4 1 ^{er} étage côté rue	26.1	17.7	21.9	0.50	0.36
	ext rue	51.8	49.1	50.5		
	ext cour	29.5	18.9	24.2		
Maison de l'enfance 4 niveaux VMC simple flux	Pièce 1 RDC côté rue	31.5	26.7	29.1	0.95	0.87
	Pièce 2 1 ^{er} côté cour	25.1	20.9	23.0	1.05	1.05
	Pièce 3 2 ^{ème} côté rue	23.9	25.2	24.6	0.72	0.82
	Pièce 4 3 ^{ème} côté cour	19.6	20.0	19.8	0.82	1.06
	ext rue	33.3	30.6	31.9		
	ext cour	24.0	18.8	21.4		

Tableau 28 : récapitulatif des concentrations en NO₂ et ratios concentrations intérieures/extérieures (scol'air volet B)

Pour le NO₂, globalement, les teneurs intérieures sont inférieures à celles de l'extérieur et sont moins élevées lors de la phase 2 hors chauffe (extérieur et intérieur). Les conditions météorologiques ont également influencé les teneurs extérieures entre les différents établissements et selon les phases.

Les ratios entre les concentrations intérieures et extérieures sont différents entre les deux périodes. Ils sont moins élevés en phase 1 (avant intervention sur les VMC) sauf pour l'école Solange Fernex.

L'école Solange Fernex est l'établissement ayant le plus de réduction entre les concentrations extérieures et intérieures pour les salles situées côté rue (donc les transferts de NO₂ les moins importants). La prise d'air du système double flux localisée dans la cour permet d'insuffler dans toutes les salles, l'air de la cour moins chargé en NO₂. Les teneurs dans les salles de l'école Solange Fernex sont d'ailleurs très proches de celles relevées dans la cour. Les deux salles concernées (motricité et jeux) donnant sur l'Avenue du Rhin sont moins fréquemment aérées que les deux autres salles dédiées à l'enseignement classique. Le différentiel entre les teneurs mesurées sur l'Avenue du Rhin et la cour pourtant à 50 m est conséquent (-61% en phase 2 par rapport à la phase 1), avec en plus des vents dominant allant de la route vers l'école. Cela traduit l'efficacité de la configuration du bâtiment, qui fait écran à l'Avenue du Rhin notamment lorsque les vents sont défavorables.

La crèche Belin avec une prise d'air neuf en toiture très en hauteur permet également de diminuer les niveaux de NO₂ par rapport à l'extérieur.

La maison de l'enfance, équipée d'une ventilation mécanique simple flux présente des transferts plus importants que les autres établissements et deux salles avec des teneurs légèrement plus élevées que leur environnement extérieur qui est la cour.

En l'absence de filtration spécifique du NO₂, les systèmes de ventilation double flux insufflent dans les salles l'air capté au niveau de la prise d'air. De la même manière pour la ventilation simple flux, les salles donnant sur un même environnement aspire le même air (variable toutefois selon la hauteur). Les salles pourraient avoir en théorie les mêmes concentrations, mais l'aération constitue vraisemblablement une action qui module les teneurs surtout lorsque les ouvrants donnent sur un environnement extérieur différent (dans le cas de la double flux). Mis à part quelques salles, les teneurs dans les pièces sont relativement proches dans les trois établissements avec le système double flux. Dans la maison de l'enfance, bâtiment en étages et avec deux voies d'exposition (route et cour), une diminution des teneurs est observée dans les étages. Les pièces côté cour sont de plus, moins exposées au NO₂ surtout celle du dernier étage.

En moyenne des deux phases, l'école Scheppler, à proximité d'une autoroute et avec des vents défavorables lors des deux périodes de mesures (soufflant vers l'école), dépasse la VGAI fixée à 20 µg/m³ pour l'ensemble des salles, la maison de l'enfance et l'école Solange Fernex la dépassent dans 3 salles. La crèche Belin respecte ce seuil et est l'établissement avec les teneurs extérieures les moins élevées.

Calculé avec la valeur ext disponible	valeur > 10 µg/m ³ en air intérieur MOY ANNUELLE	PM2.5 µg/m ³			Ratios conc. int/ext	
		Phase 1	Phase 2	MOY annuelle	Phase 1	Phase 2
Ratio > 1	valeur > 25 µg/m ³ en air extérieur MOY ANNUELLE					
crèche Belin 2 niveaux VMC double flux	Pièce 1 RDC (cour et rue)	11.9	7.0	9.4	0.59	1.09
	Pièce 2 RDC côté cour	11.9	5.9	8.9	0.59	0.92
	Pièce 3 étage côté cour	11.4	11.9	11.6	0.56	1.84
	Pièce 4 étage côté cour	10.3	8.6	9.5	0.51	1.33
	ext rue	14.8	6.5	10.7		
	ext cour	20.3	6.5	13.4		
Ecole Scheppler 2 niveaux VMC double flux ePM1 55%	Pièce 1 salle de jeux RDC côté cour	8.2	7.7	7.9	0.55	1.39
	Pièce 2 RDC côté cour	9.3	9.3	9.3	0.62	1.68
	Pièce 3 étage côté cour	6.0	6.5	6.3	0.40	1.18
	Pièce 4 étage côté cour	10.4	8.7	9.5	0.69	1.58
	ext rue	14.9	5.7 (<LQ)	10.3		
	ext cour	-	5.5 (<LQ)			
Ecole Fernex 2 niveaux VMC double flux ePM10 80% + ePM1 60%	Pièce 1 RDC côté cour	7.1	8.1	7.6	0.40	0.60
	Pièce 2 RDC côté rue	5.4 (<LQ)	8.6	7.0	0.31	0.53
	Pièce 3 RDC côté rue Rosa Bonheur	8.2	8.6	8.4	0.46	0.53
	Pièce 4 étage côté rue	6.0	7.5	6.7	0.34	0.47
	ext rue	-	16.1	-		
	ext cour	17.7	13.4	15.5		
Maison de l'enfance 4 niveaux VMC simple flux	Pièce 1 RDC côté rue	15.8	15.2	15.5	1.21	1.01
	Pièce 2 1er côté cour	11.9	11.3	11.6	0.85	0.78
	Pièce 3 2ème côté rue	12.5	14.0	13.3	0.96	0.93
	Pièce 4 3ème côté cour	8.1	10.8	9.5	0.58	0.74
	ext rue	13.0	15.1	14.1		
	ext cour	14.1	14.6	14.4		

Tableau 29 : récapitulatif des concentrations en PM2.5 et ratios concentrations intérieures/extérieures (scol'air volet B)

Parmi les trois établissements équipés de VMC double flux, dont l'air entrant depuis la cour est filtré, l'école Solange Fernex est remarquable avec des teneurs dans les salles nettement réduites par rapport à la cour. Les deux filtres (PM10 et PM1) ont une réelle efficacité sur cette fraction de particules (PM2.5).

Pour l'école Scheppler, les deux environnements cour et rue semblent similaires (teneurs en NO₂ très proches sur les deux phases et teneurs en PM2.5 sur la phase 2 inférieures à la limite de quantification du laboratoire). Aussi, malgré l'absence de donnée en phase 1 pour la cour, les ratios de la phase 1 (calculés avec les teneurs rue) vont de 0,4 à 0,69 traduisant également de l'efficacité de la filtration.

La phase 2, avec des teneurs extérieures très faibles, met plus en évidence les autres sources des PM2.5 liées aux occupants. Ce constat est également observé pour la crèche Belin (phase 1, teneurs extérieures significatives et nette baisse dans les salles et phase 2, teneurs très faibles mais plus élevées à l'intérieur). L'impact de la filtration est donc plus mesurable lorsque les teneurs extérieures sont élevées. L'entretien de la VMC et notamment le remplacement des filtres entre les deux phases est difficilement quantifiable au regard des teneurs extérieures en phase 2. Les PM2.5 émises en majorité par le secteur résidentiel-tertiaire (chauffage à combustion notamment) sont davantage retrouvées à l'hiver. Les environnements

extérieurs de la crèche Belin et de l'école Scheppler ont une charge de PM2.5 beaucoup moins importante que Solange Fernex et la maison de l'enfance ce qui s'explique en partie par les conditions météorologiques rencontrées (pluies beaucoup plus abondantes pour Belin et Scheppler qui lessivent l'atmosphère). Ces écoles sont toutes en dessous du seuil de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne des deux phases hormis une salle de la crèche Belin mais qui en est néanmoins proche (11,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ – pièce 3).

La maison de l'enfance (VMC simple flux) est plus dépendante des teneurs extérieures. Tout comme le NO_2 , les teneurs en PM2.5 décroissent dans les étages supérieurs.

En moyenne annuelle		Nombre de dépassement				En moyenne annuelle (int) et en moyenne des deux périodes (ext)
Polluant	Seuils ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Ecole Scheppler	Ecole Fernex	Maison Enfance	Crèche Belin	Valeur max ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) du dépassement
NO_2 int	20	4/4	3/4	3/4	0	Scheppler : 26,4 pièce 1 RDC côté cour Fernex : 24,3 pièce 2 RDC côté rue Maison enfance : 29,1 pièce 1 RDC côté rue
NO_2 ext	40	0	1/4	0	0	Fernex : 50,5 côté rue
PM2,5 int	10	0	0	3/4	1/4	Maison enfance : 15,5 – pièce 1 RDC côté rue Belin : 11,6 pièce 3 - étage cour
PM2,5 ext	25	0	0	0	0	-

Tableau 30 : maximum des concentrations en NO_2 et PM2.5 en moyennes annuelles intérieures/extérieures (scol'air volet B)

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Conclusion

L'Eurométropole de Strasbourg (EMS) a été lauréate d'un appel un projet d'aide à l'action des collectivités territoriales en faveur de la qualité de l'air (AACT'AIR) financé par l'ADEME et décliné localement sous le nom de SCOL'AIR.

Le programme SCOL'AIR, qui cible des établissements situés dans des zones sensibles, s'est articulé au travers de deux volets :

- Volet A : il s'agissait d'évaluer les niveaux de pollution extérieure autour de six établissements (écoles/petite enfance) de l'EMS via la mise en place de transects de mesure du dioxyde d'azote (NO₂) en tenant compte des principales voies de circulation ;
- Volet B : l'étude a consisté à évaluer les transferts de polluants de l'extérieur vers l'intérieur dans quatre établissements en mesurant, avant et après l'entretien des systèmes de ventilation mécaniques, les teneurs en particules de diamètre inférieur à 2,5 micromètres (PM2.5) et en NO₂ (dont les sources d'émissions sont principalement extérieures).

Ces deux volets ont comme principaux buts d'améliorer les connaissances et les enjeux de la qualité de l'air à proximité immédiate des axes routiers, et de préconiser des actions d'amélioration pour les établissements ayant présenté les niveaux de concentrations en polluants les plus élevés.

Les résultats ont permis de mettre en évidence les éléments suivants :

Volet A

En moyenne annuelle (moyenne des quatre phases de mesures), **l'ensemble des établissements respecte la valeur limite réglementaire fixée à 40 µg/m³, mais dépassent la ligne directrice de l'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS) récemment réévaluée (en 2021) à 10 µg/m³.** Sur l'ensemble des points de mesures instrumentés, les moyennes annuelles vont de 16,6 µg/m³ (école 1 Erck. Chatrian point n° 5 cour arrière) à 35,6 µg/m³ (école n° 6 Prevert, point 1 sur route).

Globalement, les plus fortes moyennes annuelles sont mesurées à proximité d'axes de circulation à fort trafic. A mesure de l'éloignement des principaux axes de circulation, les teneurs baissent.

L'ensemble des points de mesures investigués au sein des écoles avec les tubes passifs, présentent des ordres de grandeur **similaires à ceux habituellement observés en contexte urbain de fond Strasbourgeois** (stations fixes du réseau de ATMO Grand Est). En dehors des écoles, sur les axes routiers aux alentours, les niveaux sont globalement situés entre des niveaux urbains de fond et trafic.

Les points « cour » en dehors de la zone de surveillance ont des teneurs en NO₂ inférieures à 20 µg/m³ (VGAI pour l'air intérieur) sauf dans le cas de l'école St-Jean (légèrement supérieures). Les points « cour » situés dans les zones de surveillance ont des teneurs inférieures ou légèrement supérieures à ce seuil (cas des écoles du Rhin et Chatrian).

Les distances depuis les axes, l'orientation des vents, mais aussi les structures des bâtiments avec des cours intérieures, parfois entourées de bâtiments à étages, concourent à un abattement considérable des teneurs en NO₂.

Volet B

Les indices de confinement sont compris entre 0 et 3 sur une échelle de 5 (avec une majorité de salles indices ayant des indices inférieures ou égaux à 2), traduisant **un bon renouvellement de l'air en général par actions mécaniques (systèmes de VMC) et humaines (aération)**. **L'école Solange Fernex avec des indices constamment à 0/5 a un air très bien renouvelé par le système de VMC double flux**. Ces résultats sont très satisfaisants au regard de ceux de la campagne nationale écoles de l'OQAI. **Les pièces sont situées majoritairement dans la zone de bon confort hygrothermique et de préservation du bâtiment** mais plutôt en **partie basse proche de la zone de sécheresse**. Quelques pièces se positionnent d'ailleurs dans cette zone, le plus couramment en période de chauffe.

S'agissant des polluants :

NO₂

Les teneurs intérieures sont globalement inférieures aux teneurs extérieures de l'environnement le plus proche (côté route ou côté cour) sauf dans deux salles de la maison de l'enfance situées côté cour (VMC simple flux). **La majorité des salles ont des teneurs (moyenne des 2 phases) dépassant la VGAI de 20 µg/m³**. Le seul établissement qui respecte ce seuil dans toutes les salles est la crèche Belin.

Le maximum des teneurs moyennes intérieures concerne la maison de l'enfance dans la pièce 1 du RDC côté rue (29,1 µg/m³). Sur une phase le maximum est dans cette même pièce (en période hivernale de chauffe). Le minimum est de 15,3 µg/m³ en moyenne annuelle dans la pièce 1 de la crèche Belin (RDC côté cour).

Les teneurs extérieures sont plus élevées sur les côtés rues/routes par rapport aux côtés cours et également plus élevées en hiver, en lien avec la source d'émission principale de ce composé qui est le trafic routier et la variabilité saisonnière (apport supplémentaire des installations de chauffage et moins bonnes conditions de dispersion en hiver). **Elles sont en dessous du seuil de 40 µg/m³ (valeur limite annuelle) sauf dans le cas de l'école Solange Fernex pour le point côté route, les teneurs dépassent cependant la ligne directrice de l'OMS fixée à 10 µg/m³**.

En l'absence de sources internes (chaudière gaz hors des pièces), les teneurs en NO₂ proviennent de l'extérieur par transfert quel que soit le type de ventilation mécanique. L'aération constitue une autre voie d'entrée pour ce polluant d'origine extérieure. Celle-ci doit être adaptée et limitée lorsque les salles donnent sur un environnement défavorable (route). Les prises d'air des systèmes de ventilation double flux bien positionnées (le plus en hauteur possible et/ou sur l'environnement le plus préservé donc hors côté route) ont permis de réduire les teneurs intérieures en NO₂. Les établissements disposant de ce type de ventilation semblent en effet plus préservés à l'intérieur au regard de leurs teneurs extérieures qu'un établissement à proximité d'une route équipé d'une VMC simple flux. La hauteur de l'établissement est un autre paramètre clé, en effet les salles situées dans les étages supérieures sont moins exposées et d'autant plus si elles donnent sur un environnement hors route.

L'influence d'une opération d'entretien de la VMC est difficile à évaluer sur l'évolution des teneurs en NO₂, composés gazeux, entre les deux phases sur cet échantillon de 4 établissements.

PM2,5

Les teneurs intérieures sont inférieures à l'extérieur sur les deux phases à l'école Solange Fernex et majoritairement en phase de chauffe pour l'ensemble des établissements (sauf pièce 1 maison de l'enfance). En phase printanière ce constat est variable, mais dans certains cas les teneurs extérieures s'avèrent particulièrement faibles.

La majorité des salles ont des teneurs (moyenne des 2 phases) respectant la valeur cible du HCSP de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La maison de l'enfance est concernée par trois salles dépassant ce seuil et la crèche BELIN une salle.

Le maximum des teneurs moyennes intérieures concerne la maison de l'enfance dans la pièce 1 du RDC côté rue (15,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - pièce ayant également le maximum pour le NO_2). Sur une phase le maximum est observé dans cette même pièce (en période hivernale de chauffe). Le minimum est de 6,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne dans la pièce 3 de l'école Scheppeler (étage côté cour).

Contrairement au NO_2 , **les teneurs extérieures sont parfois plus élevées dans les cours que sur les routes, ou proches. Elles sont plus élevées en hiver.** Ces deux constats sont en adéquation avec la source d'émission principale de ce composé qui est le secteur résidentiel (combustion domestique des installations de chauffage). **Elles sont en dessous du seuil de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur limite annuelle) mais dépassent la ligne directrice de l'OMS fixée à 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.**

Sur cet échantillon de 4 établissements, les VMC double flux sont globalement plus efficaces sur la réduction des teneurs en particules depuis l'environnement extérieur que la VMC simple flux. Tout comme pour le NO_2 , il est difficile de dégager une tendance sur l'influence des opérations d'entretien entre les deux phases de mesures, tant l'environnement extérieur a pu être faible (en phase 2) et les salles aussi influencées par des sources internes.

De façon générale, sur ces deux volets, les distances par rapport aux sources d'émissions, l'orientation des vents dominants et les configurations des bâtiments ont un fort impact sur les teneurs en polluants d'origines extérieures.

Plusieurs réunions de type COTECH-COPIL ont permis de restituer les résultats et de construire conjointement des recommandations comportementales et techniques afin d'améliorer la qualité de l'air.

Recommandations

Aération

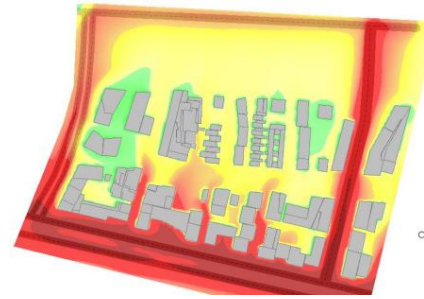
Cette aération permet de diminuer les teneurs de l'ensemble des polluants (comme le formaldéhyde inhérent aux environnements intérieurs et le dioxyde de carbone) et de réguler l'humidité relative. En cas de pic de pollution ou d'une localisation dans une zone identifiée comme présentant des niveaux de pollution extérieure pollués, elle peut être adaptée en privilégiant les façades les moins exposées aux sources de pollution extérieures (côté cour/jardin notamment ou celles le plus éloignées des sources) et les horaires où les concentrations sont à priori moins élevées (par exemple pour les polluants issus du trafic routier, tels que le NO_2 ou les poussières fines, une aération en fin de matinée en dehors des pics de circulation est à privilégier.



AERER

Qualité de l'air et urbanisme

Le positionnement des prises d'air neuf d'une ventilation mécanique doit être étudié en amont et intégrer l'environnement le moins exposé à la pollution. Les salles occupées par des populations sensibles (jeunes enfants par exemple) sont à privilégier en étages et sur un côté moins exposé. Le recours à une VMC double flux pour les ERP situés à proximité de routes est recommandé si les prises d'air peuvent être positionnées sur le côté hors route.



Utilisation de la modélisation pour la construction d'une école afin de diminuer au maximum la pollution

Dans le même temps, afin de limiter les émissions de polluants inhérents à l'air intérieur (formaldéhyde notamment), le choix des matériaux de construction/revêtements et les éléments de mobilier/décoration devront être choisis en privilégiant des produits labélisés (labels prenant en compte la qualité de l'air intérieur).



Exemples de labels dont les référentiels tiennent compte de la qualité de l'air intérieur



Étiquetage des émissions en polluants volatils des produits de construction - France

Entretenir et maintenir le système de ventilation

S'assurer que les portes soient bien détalonnées (au moins 1 cm d'espace sous les portes) afin de favoriser la bonne circulation naturelle de l'air dans tout le bâtiment.

Vérifier régulièrement le fonctionnement des bouches par un simple test : en approchant une feuille de papier sur une bouche d'extraction, elle doit se plaquer contre la bouche (et inversement pour les bouches d'insufflation dans un système double-flux).

Pour une VMC simple flux, les entrées d'air et les bouches d'extraction doivent être nettoyés une fois par trimestre. Pour une VMC double flux, le contrôle doit porter sur la centrale de traitement de l'air et les réseaux de gaines. Il est impératif de remplacer régulièrement tous les filtres d'insufflation et d'extraction (poussières, pollens...) afin de garantir leur efficacité et l'intégrité du système (si une couche de poussière fait obstruction au passage de l'air, le moteur de la VMC force plus que nécessaire...).



Et surtout, ne pas obstruer les bas des portes, les bouches d'extraction ou de soufflage et les entrées d'air. L'espace devant ces dispositifs doit être libéré. Tout cela est nécessaire afin de garantir la bonne circulation de l'air.

Ajouter des filtres moléculaires dans les VMC double-flux

Ces filtres à base de charbon actifs permettent de fixer les gaz présents dans l'air dont le NO₂. Dans les établissements présentant des dépassements de la VGAI, il pourrait permettre de passer sous ce seuil ou de l'approcher.



Charbon actif imprégné

Limiter la remise en suspension des poussières lors des activités d'entretien :

Par un nettoyage de type humide en évitant les lingettes imprégnées qui émettent d'autres polluants et en favorisant l'aspiration plutôt que le balayage.



Sensibiliser les personnels à la qualité de l'air et aux bons gestes

Une meilleure compréhension des enjeux notamment sanitaire permettrait de mieux appréhender les bonnes pratiques et de les standardiser à l'échelle de l'établissement, dans une démarche collective.

Faire participer les enfants aux besoins d'aération avec la mise en place de capteur de CO₂ à diodes de couleur.

Ces systèmes, peu encombrant et bon marché, permettent une identification simple et ludique du niveau de confinement. Les teneurs en CO₂ sont associées à des seuils (à définir par l'utilisateur en lien avec les réglementations en vigueur) et l'aération est alors réalisée à l'unanimité à des moments pertinents tout en évitant dans la mesure du possible les horaires où le trafic routier est le plus intense.

SENSIBILISATION par code couleur :
3 diodes s'activent selon les taux de CO₂ :

-  Vert < 800 ppm
-  Orange : entre 800 et 1500 ppm
-  Rouge > 1500 ppm (il faut aérer !!)

Les seuils varient en fonction de la réglementation en vigueur.



ANNEXES

ANNEXE 1

Afin d'approfondir la question de l'exposition des établissements sensibles à la pollution de l'air dans l'agglomération, les services de l'Eurométropole de Strasbourg se sont appuyés sur un outil développé dans le cadre du programme Strasbourg Ville et Métropole respirables en 5 ans : **une carte stratégique de la qualité de l'air pour une identification claire des zones les plus touchées par la pollution atmosphérique.**

Cette carte, élaborée par ATMO Grand Est et dont le principe est acté dans le Plan National Santé-Environnement 3 (PNSE3), apporte des éléments d'aide à la décision notamment en matière d'urbanisme et d'aménagement du territoire. Elle permet de visualiser et d'illustrer les zones les plus touchées par la pollution atmosphérique, en particulier par les particules (PM10 et PM2,5) et le dioxyde d'azote NO₂, et devant faire l'objet d'une attention particulière en termes d'amélioration de la qualité de l'air en vue de réduire les expositions et inégalités environnementales et sanitaires. Utilisant des données relevées sur une période de 5 ans, cette carte s'affranchit des variations météorologiques qui peuvent influencer les concentrations. La mise à jour régulière de la carte stratégique air permet de visualiser les bénéfices de la reconquête de la qualité de l'air et progressivement d'objectiver les impacts et bénéfices de la stratégie de reconstruction de la ville sur la ville permise grâce au contexte d'amélioration de la qualité de l'air.

Le renforcement du volet Air-Climat-Énergie du PLU permet ainsi de prendre en compte ces données et d'orienter les aménagements et les constructions, dès le stade de leur conception, vers une prise en compte des enjeux sanitaires liés à la qualité de l'air intérieur et extérieur. Dans les secteurs à enjeux délimités au règlement graphique, tout projet d'aménagement sur de l'existant ou dans des zones d'extension devra être compatible avec les principes fixés dans le dispositif réglementaire Air-Climat-Énergie du PLU : éviter d'exposer les populations les plus sensibles aux polluants, éviter d'ajouter de nouvelles personnes dans les zones les plus polluées, éviter les émissions liées aux modes de chauffage les plus polluants, réduire l'exposition des populations par des mesures d'éloignement des sources d'émissions et enfin réduire les émissions de polluants en privilégiant les modes de chauffages les plus vertueux.

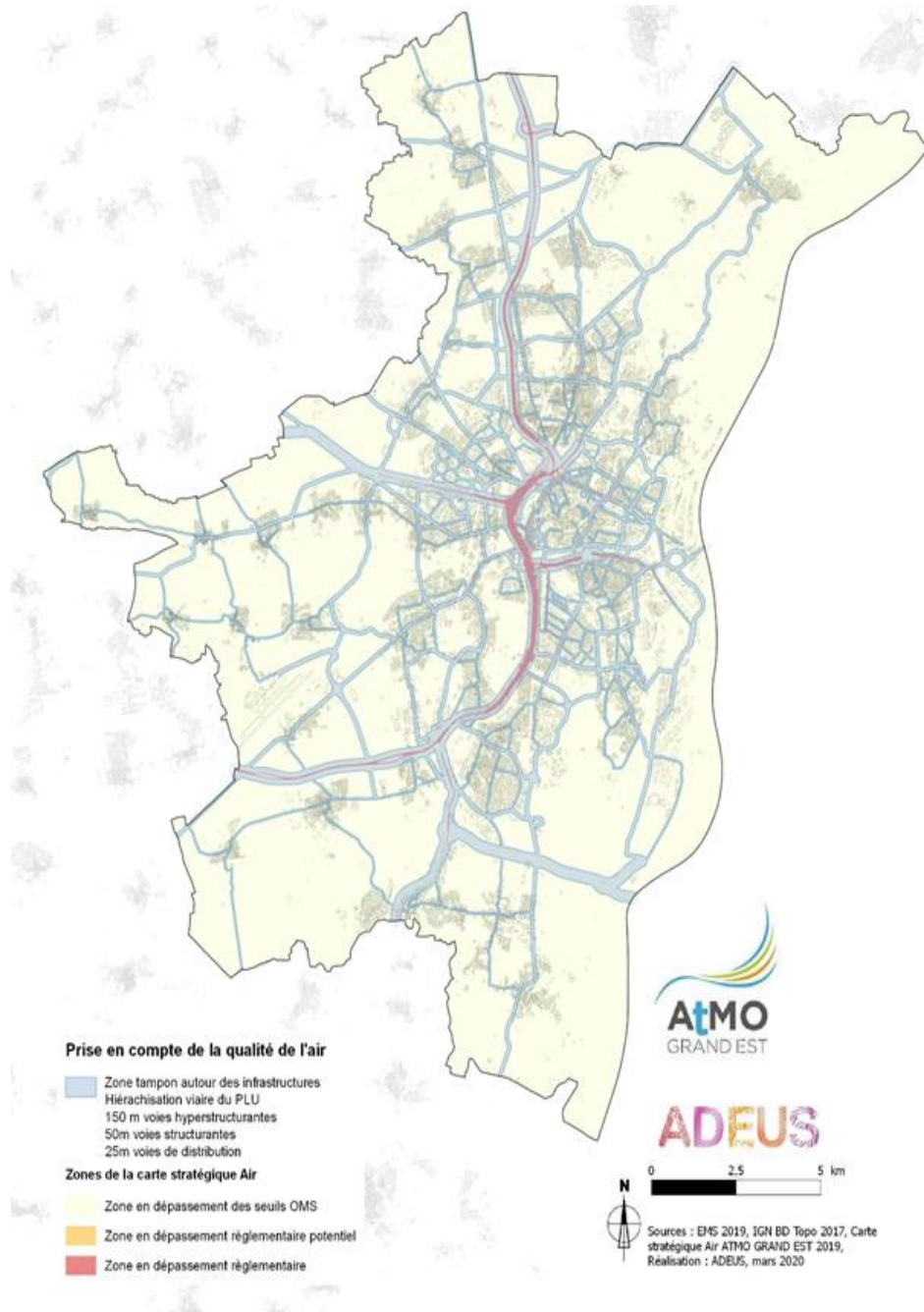
Trois secteurs à enjeux, constituant un zonage « Prise en compte de la qualité de l'air », ont donc été identifiés sur les plans de vigilance du règlement graphique du PLU, et leur délimitation a été réalisée sur la base de deux critères :

- la **carte stratégique Air (CSA)**, qui identifie les secteurs en dépassements réglementaires et en dépassements réglementaires potentiels (en rouge et orange) par rapport aux valeurs limites réglementaires de qualité de l'air¹⁰ ;
- la carte de la **hiérarchisation des infrastructures routières** contenue dans le volet déplacement du Programme d'Orientations et d'Actions (POA) du PLU qui hiérarchise trois types de réseaux viaires (réseau de distribution, réseau structurant et réseau

¹⁰ Pour information, la carte stratégique air fournit une 3ème classe intitulée « Zone en dépassement seuils OMS », représentée par une couleur jaune, et qui regroupe tous les secteurs où les valeurs médianes de polluants se situent au-dessus des valeurs guides OMS et à moins de 90% de la valeur limite de qualité de l'air. Cette zone concerne tout le territoire de l'Eurométropole de Strasbourg pour la version de la carte portant sur les années 2015 à 2019.

hyperstructurant), qui correspondent, dans le dispositif Air-Climat-énergie du PLU et plus précisément en matière de qualité de l'air, aux secteurs de surveillance aux abords des axes routiers (en bleu).

Ce nouveau zonage est représenté sur la carte ci-dessous :



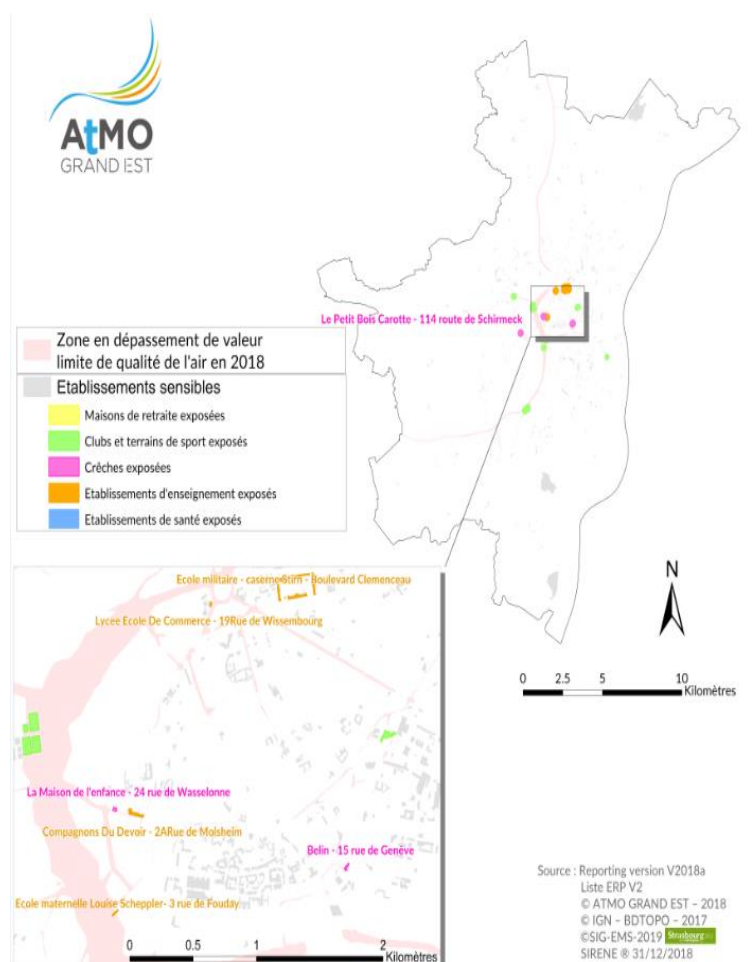
Les nouvelles règles suivantes seront associées à ce zonage, dans le cadre de la modification n° 3 du PLU :

- dans les zones rouge et orange : toute nouvelle construction d'établissement ou d'équipement sensible ou tout changement de destination vers cet usage est interdit
- dans la zone bleue : la construction est possible, sous réserve de justifier de la prise en compte des enjeux de santé liés à la qualité de l'air dans le projet en termes d'aménagement global et de conception des bâtiments. Il s'agit par exemple de ne pas construire les espaces extérieurs face aux axes de circulation, et d'installer un système de ventilation double flux.

La délimitation de la zone bleue est définie sur la base de la hiérarchisation viaire du PLU :

- 150 m autour des voies hyperstructurantes
- 50 m autour des voies structurantes
- 25 m autour des voies de distribution

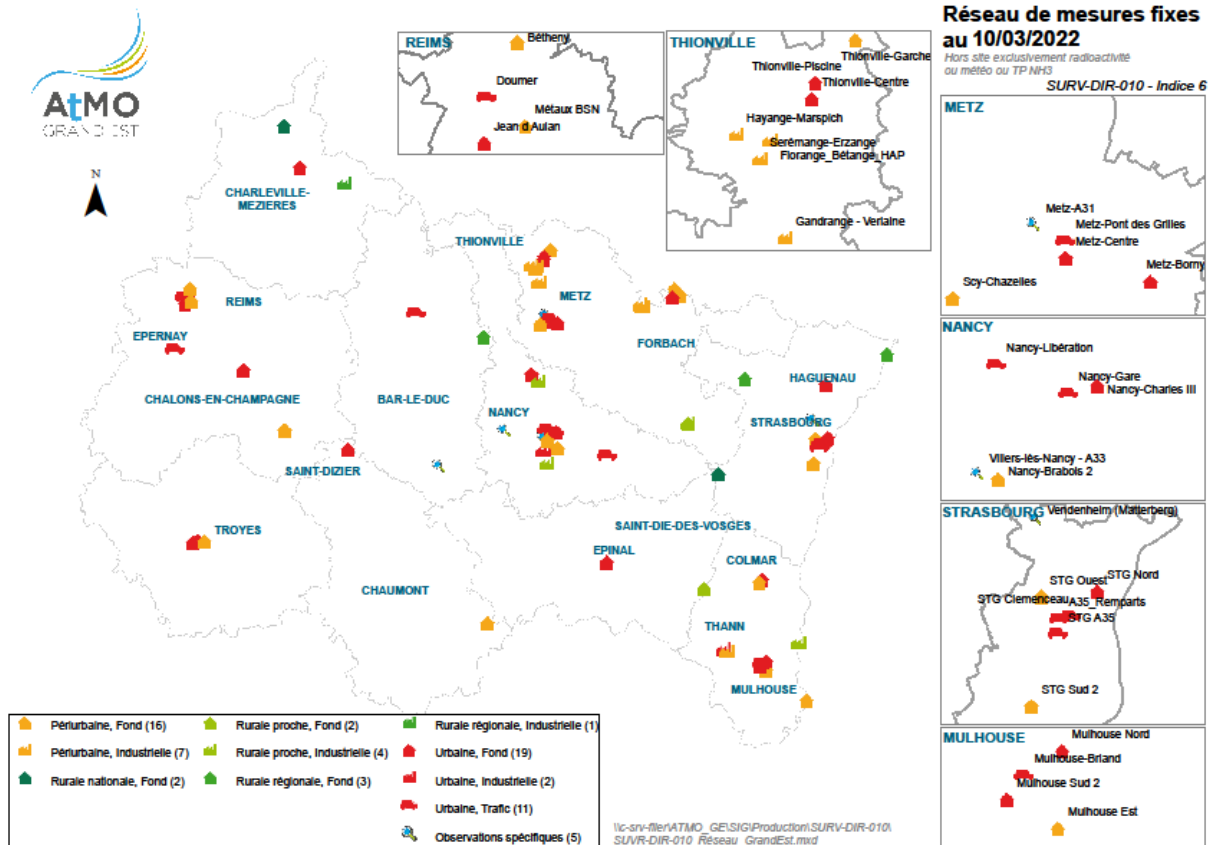
En 2019, la **cartographie des établissements sensibles** impactés par des dépassements de valeur limite, a fait l'objet d'une **remise à plat** (cf. carte ci-dessous).



ANNEXE 2

NOM COURT	ALIAS	ADRESSE	INFLUENCE	TYPLOGIE
STG_Robertsau	Strasbourg Nord	rue de la papeterie	Fond	Urbaine
STG_Clemenceau	Strasbourg Clemenceau	Angle Faubourg de Pierre - Bd Clemenceau	Trafic	Urbaine
STG_A35	Strasbourg A35	Rue de l'Abbé Lemire	Trafic	Urbaine
Stg_Neudorf	Strasbourg (Neudorf - Ecoquartier Danube)	Rue Emmanuel Levinas	Fond	Urbaine

Stations de mesures du réseau d'ATMO Grand Est situées à Strasbourg



La surveillance de la qualité de l'air sur la région Grand Est s'articule autour d'un réseau de près de 75 stations de mesures. Les données de concentrations de ces stations alimentent les plateformes de modélisation d'ATMO Grand Est qui fournissent une information spatialisée en tout point du territoire.

ANNEXE 3

CSTB (2012) : Guide d'application pour la surveillance du confinement de l'air dans les établissements d'enseignement, d'accueil de la petite enfance et d'accueil de loisirs

ICONE	Nature du confinement	INFORMATIONS
0	Confinement nul	Néant
1	Confinement faible	
2	Confinement moyen	
3	Confinement élevé	
4	Confinement très élevé	<p>Message de sensibilisation destiné au maître d'ouvrage : Veiller à ce que l'utilisation des pièces soit conforme au taux d'occupation prévu. Lorsque ces salles sont équipées d'un dispositif spécifique de ventilation, il est souhaitable de faire intervenir un spécialiste pour procéder à une inspection de l'installation. En l'absence de dispositif spécifique de ventilation, il est souhaitable d'améliorer les conditions d'aération de ces salles en procédant à des ouvertures plus fréquentes des fenêtres durant les périodes d'occupation.</p>
5	Confinement extrême	<p>Message de sensibilisation destiné au maître d'ouvrage : Veiller à ce que l'utilisation des pièces soit conforme au taux d'occupation prévu. Lorsque ces salles sont équipées d'un dispositif spécifique de ventilation, il est recommandé de faire intervenir un spécialiste pour procéder à une inspection de l'installation. En l'absence de dispositif spécifique de ventilation, il est recommandé d'améliorer les conditions d'aération de ces salles en procédant à des ouvertures plus fréquentes des fenêtres durant les périodes d'occupation.</p> <p>Actions à mener par le maître d'ouvrage ou l'exploitant de l'établissement : Nécessité de mener toute expertise nécessaire pour identifier les causes du confinement extrême dans l'établissement.</p> <p>Actions à mener par l'organisme en charge de la réalisation des mesures sur site : Information au préfet du lieu d'implantation de l'établissement dans un délai de quinze jours après réception de l'ensemble des résultats d'analyse.</p>

NOUVEAUX ICONE		<i>n° salle</i>	ANCIEN indice	NOUVEL indice	nature du confinement	informations
Ecole maternelle Louise Scheeppler	Phase 1 chauffe	<i>pièce 1</i>	0	0	nul	néant
		<i>pièce 2</i>	1	1	faible	néant
		<i>pièce 3</i>	1	2	moyen	néant
		<i>pièce 4</i>	2	3	élevé	néant
	Phase 2	<i>pièce 1</i>	1	1	faible	néant
		<i>pièce 2</i>	1	2	moyen	néant
		<i>pièce 3</i>	2	2	moyen	néant
		<i>pièce 4</i>	2	3	élevé	néant
Ecole maternelle Solange Fernex	Phase 1 chauffe	<i>pièce 1</i>	0	0	nul	néant
		<i>pièce 2</i>	0	0	nul	néant
		<i>pièce 3</i>	0	0	nul	néant
		<i>pièce 4</i>	0	0	nul	néant
	Phase 2	<i>pièce 1</i>	0	0	nul	néant
		<i>pièce 2</i>	0	0	nul	néant
		<i>pièce 3</i>	0	0	nul	néant
		<i>pièce 4</i>	0	0	nul	néant

NOUVEAUX ICONE		<i>n° salle</i>	ANCIEN indice	NOUVEL indice	nature du confinement	informations
Maison de l'enfance	Phase 1	<i>pièce 1</i>	0	0	nul	néant
		<i>pièce 2</i>	NON occupée			
		<i>pièce 3</i>	1	1	faible	néant
		<i>pièce 4</i>	0	1	faible	néant
	Phase 2	<i>pièce 1</i>	0	0	nul	néant
		<i>pièce 2</i>	0	0	nul	néant
		<i>pièce 3</i>	0	1	faible	néant
		<i>pièce 4</i>	0	0	nul	néant
Multiaccueil Belin	Phase 1	<i>pièce 1</i>	3	4	Très élevé	Cf. tableau CSTB ci-dessus
		<i>pièce 2</i>	1	2	moyen	néant
		<i>pièce 3</i>	1	2	moyen	néant
		<i>pièce 4</i>	2	3	élevé	néant
	Phase 2	<i>pièce 1</i>	2	3	élevé	néant
		<i>pièce 2</i>	1	1	faible	néant
		<i>pièce 3</i>	1	2	moyen	néant
		<i>pièce 4</i>	1	2	moyen	néant



AtMO

GRAND EST

Metz - Nancy - Reims - Strasbourg

Air • Climat • Energie • Santé

Espace Européen de l'Entreprise – 5 rue de Madrid – 67300 Schiltigheim

Tél : 03.69.24.73.73 – contact@atmo-grandest.eu

Siret 822 734 307 000 17 – APE 7120 B

Association agréée de surveillance de la qualité de l'air