



Caractérisation de la qualité de l'air intérieur dans 8 lycées de la Région Grand Est

Respirons mieux au Lycée



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 à tous sous licence libre «**ODbL v1.0**».
- 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

Rédaction : Aline LANGENFELD, Ingénieure d'études
Relecture : Christelle SCHNEIDER, Ingénieure d'études
Approbation : Bérénice JENNESON, Responsable Unité Surveillance et Etudes réglementaire

Référence du modèle de rapport : SURV-FE-026_5

Référence du projet : MSP-00633

Référence du rapport : SURV-EN-878

Référence rapports individuels lycée : SURV-EN-750, SURV-EN-751, SURV-EN-752, SURV-EN-753, SURV-EN-754, SURV-EN-787, SURV-EN-810, SURV-EN-812, SURV-EN-817, SURV-EN-812, SURV-EN-823, SURV-EN-871, SURV-EN-879, SURV-EN-880, SURV-EN-881

Date de publication : 13/11/2023

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

RÉSUMÉ.....	4
INTRODUCTION	6
1. DESCRIPTIF DU BATIMENT	7
2. DESCRIPTION DES CAMPAGNES DE MESURE	10
2.1. PARAMETRES SUIVIS	10
2.2. TECHNIQUES DE MESURE.....	12
2.2.1. Température, humidité relative et ventilation	12
2.2.2. Le dioxyde de carbone.....	12
2.2.3. Tubes à diffusion passive	12
2.2.4. La balise Fireflies.....	14
2.2.5. Le pDR-1500.....	14
2.2.6. Les badges Kodalpha.....	14
2.3. STRATEGIE D'ECHANTILLONAGE	15
2.3.1. Stratégie d'échantillonnage spatiale.....	15
2.3.2. Stratégie d'échantillonnage temporelle	16
3. STRATEGIE DE COMPARAISON	16
3.1. VALEURS DE REFERENCE	16
3.1.1. Les paramètres de confort.....	16
3.1.2. Le dioxyde de carbone.....	17
3.1.3. Le benzène et le formaldéhyde.....	17
3.1.4. Les autres composés organiques volatils	18
3.1.5. Le NO ₂	19
3.1.6. Les poussières fines.....	19
3.1.7. Le radon	20
3.2. DONNEES COMPARATIVES	20
4. RESULTATS.....	24

4.1.	PARAMETRES DE CONFORT ET DE CONFINEMENT	24
4.1.1.	Température et humidité relative	24
4.1.2.	Confinement :	26
4.2.	LE FORMALDEHYDE.....	28
4.2.1.	Salles de cours	28
4.2.1.	Salles spécifiques	29
4.3.	LE BENZENE	30
4.4.	LES COMPOSES ORGANIQUES VOLATILS.....	31
4.5.	LE DIOXYDE D'AZOTE	37
4.6.	LES POUSSIÈRES FINES.....	38
4.7.	LE RADON.....	39
	CONCLUSION.....	40

RÉSUMÉ

La région Grand Est a initié une démarche de Développement Durable « Lycées en transition » qui comporte plusieurs axes dont le projet « Respirons mieux au lycée ». Par ailleurs, au sein du 3^{ème} Plan Régional Santé Environnement (PRSE3), l'action 7.1 « Prévenir les risques liés à la qualité de l'air intérieur / contribuer à l'amélioration de la QAI dans les établissements accueillant des personnes sensibles » comprend une sous action 7.1.1 « Agir pour une meilleure qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant du public dont les lycées ». Dans ce cadre, ATMO Grand Est a été sollicitée par la région Grand Est, la Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement (DREAL) du Grand Est et l'Agence Régionale de Santé (ARS) du Grand Est afin de mettre en œuvre des campagnes de mesures de la qualité de l'air intérieur dans des lycées comme cela avait été fait lors de la première édition en 2018-2019.

Ce sont ainsi 8 lycées volontaires et engagés dans le projet « Respirons Mieux au Lycée » qui ont fait l'objet de deux campagnes de mesures sur 2022 (une campagne en période hors chauffe et une en période de chauffe), à chaque fois dans quatre salles de cours (dont une à deux salles spécifiques) pour les paramètres suivants :

- Les paramètres de confort ;
- Le dioxyde de carbone ;
- Le formaldéhyde ;
- Le benzène ;
- Les composés organiques volatils (par tubes passifs et par capteurs) ;
- Le dioxyde d'azote ;
- Les poussières fines inférieures à 2,5 µm ;
- Le radon (pour les communes ayant un potentiel de catégorie 3).

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

- La problématique du confort d'été est commune à de nombreux lycées puisque des températures élevées ont été observées dans différents établissements lors des campagnes hors chauffe. Des problèmes de surchauffe ont également été observés lors de la campagne en période de chauffe avec un air sec pouvant provoquer des irritations et des gênes des voies respiratoires.
- Lors des campagnes en période de chauffe, 9% des pièces ont un indice de confinement supérieur à 3 (très élevé ou extrême). Il est recommandé de mettre en place une stratégie d'aération adaptée pour ces pièces et des actions de sensibilisation peuvent également être envisagées. Le renouvellement d'air dans les lycées est en revanche satisfaisant en période hors chauffe en lien avec l'ouverture des fenêtres.
- Pour le formaldéhyde, la valeur limite de 100 µg/m³ est respectée dans les différentes salles instrumentées et les niveaux mesurés sont globalement faibles. Seules 2 pièces dépassent la valeur guide de 30 µg/m³, il s'agit de salles de cours avec présence de formaldéhyde par formation photochimique ou émission par des meubles et/ou sols.
- Concernant le benzène, les valeurs mesurées sont faibles pour l'ensemble des établissements. La valeur limite de 10 µg/m³ est respectée dans l'ensemble des salles et seules 2 salles sur 35 dépassent la valeur guide de 2 µg/m³. Ces dépassements concernent un atelier de mécanique et

un atelier de carrosserie avec présence de véhicules roulants. Pour ce lycée, il est recommandé d'effectuer des travaux afin d'améliorer la ventilation des locaux.

- Les mesures en composés organiques volatils ont permis de mettre en évidence l'impact des activités réalisées en période d'occupation ainsi que le transfert de pollution entre deux bâtiments contigus.
- Pour le dioxyde d'azote, les concentrations mesurées sont modérées et respectent la valeur guide de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, hormis pour un lycée situé au cœur d'une agglomération et à proximité d'axes à fort trafic routier (une attention particulière doit être portée aux horaires d'aération en évitant les pics de trafic routier) ainsi qu'un atelier avec des véhicules roulants (des travaux d'amélioration de la ventilation doivent être entrepris).
- Enfin pour le radon, dont la mesure a été effectuée dans 2 lycées situés dans des zones à potentiel radon 3, une valeur est supérieure au seuil de $300 \text{ Bq}/\text{m}^3$. Cette problématique était toutefois déjà connue par l'établissement. A noter que ces mesures ont été réalisées à titre indicatif et ne se substituent pas à la réglementation spécifique à ce paramètre lorsque les bâtiments sont situés dans des zones à risque de radon.

L'ensemble des résultats ainsi que les recommandations associées ont été restituées aux lycées sous la forme d'un rapport individuel et lors des comités de pilotage du projet. Ils permettent d'alimenter les plans d'actions individuels de chaque lycée dont la rédaction et la mise en œuvre doivent être finalisées à la fin de l'année scolaire 2023/2024. L'ensemble des problématiques mises en évidence lors de ces études sont communes à l'ensemble des lycées de la région Grand Est et pourront être prises en compte pour la mise en place de la surveillance réglementaire de la qualité de l'air intérieur dans ces établissements.



Figure 1 : Illustration des rapports diffusés dans les lycées

INTRODUCTION

Dans son Programme Régional de Surveillance de la Qualité de l'Air 2017-2023 (PRSQA), ATMO Grand Est, association agréée pour la surveillance et l'étude de la pollution atmosphérique sur la Région Grand Est, décrit la mise en œuvre de la stratégie régionale de surveillance de la qualité de l'air intérieur. Un des axes de cette stratégie vise notamment, pour l'air intérieur, à coupler l'évaluation des concentrations en air intérieur avec l'évaluation de l'origine des pollutions constatées. Le bâtiment, à travers sa conception (matériaux, isolation, renouvellement de l'air, système de ventilation, ameublement, services) peut en effet influencer notablement la qualité de l'air intérieur.

Dans le cadre du 3^{ème} Plan Régional Santé Environnement (PRSE3), l'action 7.1 « prévenir les risques liés à la qualité de l'air intérieur / contribuer à l'amélioration de la QAI dans les établissements accueillant des personnes sensibles » comprend une sous action 7.1.1 « Agir pour une meilleure qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant du public dont les lycées ». Le groupe de travail correspondant a souhaité mettre en œuvre de mesures en air intérieur dans les lycées, ce qui s'est concrétisé dans le cadre du projet : « Respirons mieux au lycée ! » de la région Grand Est. Ce projet est inclus dans la démarche de Développement Durable « Lycées en transition » de la région qui comprend cinq autres axes permettant aux lycées volontaires d'intégrer leur action dans une démarche globale.

Ces campagnes visent à l'accroissement des connaissances passant par un élargissement du spectre de polluants surveillés pour une anticipation des obligations réglementaires à venir. Elles répondent à plusieurs objectifs :

- Connaître et évaluer la qualité de l'air intérieur dans huit lycées grâce à deux campagnes de mesures organisées à des périodes contrastées.
- Analyser l'impact du bâti, des activités pratiquées et des différentes sources de pollution sur les données observées afin de définir des axes de réflexion pour la rédaction et la mise en place d'actions dans chaque lycée.

Un descriptif des bâtiments concernés est tout d'abord exposé dans le rapport, suivi d'un état des lieux détaillé de la mise en œuvre du protocole de mesures. Les différents outils réglementaires à disposition sont ensuite présentés, puis utilisés pour l'interprétation des résultats obtenus lors des différentes campagnes.

1. DESCRIPTIF DU BATIMENT

Un échantillon représentatif de huit lycées engagés dans le projet « Respirons mieux au lycée » a été sélectionné pour cette étude en prenant en compte les techniques constructives, l'environnement extérieur et la typologie de chaque établissement. Le tableau ci-dessous présente la répartition des lycées par département ainsi que leur typologie.

Tableau 1 : Typologie des différents lycées

Département	Identification du lycée	Type	Typologie	Nombre de bâtiments comportant des salles de cours	Effectif moyen
Aube	A	Professionnel / Des métiers	urbaine	1	472
Meurthe-et-Moselle	B	Professionnel / Des métiers	périurbaine	2	525
	C	Professionnel / Des métiers	périurbaine	3	798
	D	Général et technologique	urbaine dense	3	1962
Meuse	E	Polyvalent	rurale	1	781
Moselle	F	Polyvalent	rurale	1	510
Haut-Rhin	G	Professionnel	rurale	1	140
Vosges	H	Général	rurale	2	471

La moitié des lycées se situe en secteur rural. Le lycée D se trouve au cœur d'une agglomération à proximité de voies importantes de circulation. Différents types de lycées (général, professionnel...) sont représentés ainsi que différentes tailles et différentes configurations d'établissements.

Les caractéristiques constructives des lycées sont indiquées dans le tableau ci-après :

Tableau 2 : Caractéristiques constructives des lycées

Lycée	Bâtiment	Date de construction / restructuration	Nature de la construction	Chauffage	Ventilation	Nature principale des revêtements dans les salles de classe
A	Principal	1979	Dur	Gaz	/	Dalles plastiques / panneaux plâtres / faux plafond
B	EX1	Années 70	Dur	Gaz	/	Dalles plastiques / panneaux plâtres / faux plafond
	AT1	Années 70	Dur	Gaz	/	Sols en ciment
C	A	1971	Dur	Gaz	/	Linoléum / peinture / faux plafond
	B	1971	Dur	Gaz	/	Linoléum / peinture / faux plafond
	C	1991	Dur	Gaz	/	Linoléum / peinture / faux plafond
D	Lobau	1865 / 1995	Dur	Urbain	/	Bois, carrelage, pvc / peinture / peinture
	Vallin	1865	Dur	Urbain	/	Bois, carrelage, pvc / peinture / peinture
	Tiercelins	1865 / 1995	Dur	Urbain	/	Bois, carrelage, pvc / peinture / peinture
E	Principal	1968	Dur	Gaz	/	Linoléum, béton, carrelage / peinture / faux plafond, métal
F	Ex1	Années 60	Dur	Gaz	/	Dalles plastiques / peinture / faux plafond
G	Principal	1972	Dur	Gaz	Ventilation naturelle par conduit	Linoléum / crépi / faux plafond
H	Bâtiment « collège » comprenant l'aile de sciences collège et lycée	1954	Dur	Gaz	/	Carrelage / peinture / faux plafond
	Gymnase	1954	Dur	Gaz	Ventilation naturelle par conduit	Résine / peinture / lambris
	Lycée	1995	Dur	Gaz	/	Carrelage / peinture / faux plafond

Peu de lycées sont équipés de système de ventilation spécifique. Des extractions d'air simple flux sont présentes dans les sanitaires mais ne permettent pas d'assurer la ventilation des salles de classes. Le renouvellement d'air est donc principalement effectué par l'ouverture des fenêtres.

L'inventaire des produits d'entretien utilisés a été réalisé pour chaque établissement.

Lorsque le lycée avait plusieurs salles spécifiques (laboratoires, travaux pratiques, ateliers), deux de ces salles ont été sélectionnées pour chaque établissement. Des questionnaires ont été remis lors des campagnes de mesures afin de recenser les activités réalisées dans les salles de cours ainsi que leur occupation.

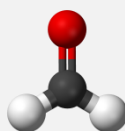
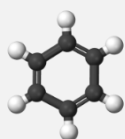
Les photos ci-dessous présentent différents types de salles ayant fait l'objet de mesures :



Figure 2 : Photos de différentes salles de classe

2. DESCRIPTION DES CAMPAGNES DE MESURE

2.1. PARAMETRES SUIVIS



De nombreuses études sur la qualité de l'air intérieur ont déjà été menées, et ceci dans différents lieux de vie : habitats, écoles, bureaux, etc. Elles ont toutes mis en évidence une **spécificité de la pollution de l'air intérieur**. Il s'avère qu'en phase gazeuse les composés chimiques présents sont principalement des **Composés Organiques Volatils (COV)** regroupant une multitude de substances de familles chimiques distinctes. Sont ainsi décelés dans les ambiances intérieures de manière plus significative que d'autres familles chimiques, certains aldéhydes (dont le formaldéhyde majoritairement et de manière quasi-systématique retrouvé), certains hydrocarbures aromatiques dont le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes communément appelés BTEX, mais également des COV appartenant aux terpènes, cétones, alcools, éthers de glycol, esters...

Parmi les COV, deux composés suscitent un intérêt particulier au regard de leur effets sur la santé : **le formaldéhyde et le benzène**. Ils sont classés **cancérogènes avérés par le CIRC (groupe 1)**. Les études épidémiologiques ont permis à l'ANSES d'établir des seuils sanitaires à ne pas dépasser sur le long terme pour prévenir des effets néfastes sur la santé. Ces seuils ont été repris par décret dans le cadre de la surveillance réglementaire de certains ERP (arrêté du 27 décembre 2022 fixant les conditions de réalisation de la mesure à lecture directe de la concentration en dioxyde de carbone dans l'air intérieur au titre de l'évaluation annuelle des moyens d'aération).

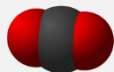
Ces substances chimiques peuvent être émises par de nombreuses sources telles que les matériaux de construction et de décoration, mobiliers, produits d'entretien, peintures, vernis, colles, revêtements de sols, appareils à combustion (voir ANNEXE 1).



Les rejets de NO_x (NO+NO₂) proviennent essentiellement de l'utilisation de combustibles fossiles (essence, gazole, fiouls, charbon, ...). Tous les secteurs utilisateurs de combustibles sont concernés, en particulier le **transport routier**. Le NO₂ se forme par combinaison de l'azote (principalement atmosphérique) et de l'oxygène de l'air à hautes températures. Au cours d'une combustion, l'azote de l'air s'oxyde en grande partie en NO puis progressivement en NO₂ à l'air libre.

Quelques procédés industriels (production d'acide nitrique, production d'engrais azotés, ...) et activités non liées à la consommation d'énergie (agriculture) émettent des NO_x.

Dans l'environnement intérieur, les oxydes d'azote sont essentiellement émis par les **appareils fonctionnant au gaz** comme les cuisinières à gaz, chaudières, chauffe-eau mais également par le tabagisme. Le NO₂ présent à l'extérieur peut également s'infiltrer au sein d'un bâtiment.



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 étude¹ 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/élèves².



Les teneurs en polluants dans l'air intérieur dépendent de plusieurs facteurs complémentaires aux **émissions des matériaux de construction** et à celles liées aux **systèmes de chauffage** : sources d'**émissions extérieures**³, activités humaines (utilisations de produits et d'appareils domestiques, tabagisme⁴...), réactions chimiques⁵, température et humidité relative des locaux⁶, ventilation (mécanique et/ou naturelle)⁷.



Les particules appelées **PM2.5** sont des particules dont le diamètre est de 2.5 micron (µm). Comme toutes particules, elles sont constituées d'un **mélange de différents composés chimiques**. Elles sont émises principalement lors des phénomènes de combustion ou formées par réactions chimiques à partir de gaz précurseurs présents dans l'atmosphère mais encore par des activités de meulage, ponçage, fraisage... Les effets sur la santé des particules sont fonction du type de substances qu'elles contiennent (allergènes, spores, composés chimiques...). Les PM2,5 (diamètre < 2,5 µm) sont susceptibles de pénétrer dans les voies respiratoires.

Les paramètres et polluants mesurés dans le cadre de cette étude sont :

- Les paramètres de confort
- Le dioxyde carbone indicateur du renouvellement d'air
- Les aldéhydes dont le formaldéhyde
- Les composés organiques volatils dont les BTEX
- Le dioxyde d'azote
- Les particules fines inférieures à 2,5 µm
- Le radon dans les lycées situés en catégorie 3

¹ Sundell J., Levin H., Nazaroff W. W., Cain W. S., Fisk W. J., Grimsrud D. T., Gyntelberg F., Li Y., Persily A. K., Pickering A. C., Samet J. M., Spengler J. D., Taylor S. T. and Weschler C. J., 2011. Ventilation rates and health: multidisciplinary review of the scientific literature, *Indoor Air*, 21(3), 205-218.

² OQAI (2004). Impact énergétique et sanitaire du renouvellement d'air dans deux écoles primaires, rapport. 98 p.

³ CSTB, (2001) : Étude expérimentale des conditions de transfert de la pollution atmosphérique d'origine locale à l'intérieur des bâtiments d'habitation, Convention de recherche ADEME, Rapport final.

⁴ Halios, C., Assimakopoulos, V., Helmis, C., Flocas, H : Investigating cigarette-smoke indoor pollution in a controlled environment. *Science of The Total Environment*, Vol 337, Issues 1–3, pages 183-190, 2005.

⁵ Thèse de Mélanie Nicolas (2006) : Ozone et qualité de l'air intérieur : interactions avec les produits de décoration et de construction – CSTB.

⁶ De Bellis, L., Haghighat, F., Material Emission Rates : Literature review and the impact of indoor air temperature and relative humidity. *Buildings and environment*, 1998, Vol. 33, No 5. pp. 261 -277.

⁷ Poupard O., Blondeau P., Iordache V., Allard F. Statistical analysis of parameters influencing the relationship between outdoor and indoor air quality in schools. *Atmospheric Environment*, n° 39, p. 2071-2080, 2005.

2.2. TECHNIQUES DE MESURE

2.2.1. Température, humidité relative et ventilation



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 3 : Sonde EBRO/EBI

2.2.2. Le dioxyde de carbone



Les teneurs en dioxyde de carbone ont été mesurées avec des Class'Air, toutes les 10 minutes.

Figure 4 : Capteur Class'Air

2.2.3. Tubes à diffusion passive

Le suivi des concentrations dans l'air a été effectué au moyen de tubes à diffusion passive pour les polluants gazeux suivants :

- ✓ Les composés organiques volatils dont le benzène ;
- ✓ Les aldéhydes dont le formaldéhyde ;
- ✓ Le NO₂.

Les tubes passifs de type « Radiello » permettant la mesure du benzène sont constitués de 2 tubes cylindriques concentriques (Figure 5) : un tube externe, le corps diffusif, fait office de filtre en arrêtant les poussières et un tube interne, la cartouche, contient le réactif spécifique au composé à absorber.

Pour le NO₂, les tubes de type « Passam » comprennent un seul élément cylindrique bouché à son extrémité (Figure 6).



Figure 5 : Tubes passifs Radiello



Figure 6 : Tubes passifs Passam

La quantité de molécules piégées dans la cartouche est proportionnelle à leur concentration moyenne dans l'environnement durant l'exposition du tube.

Dans la pièce à investiguer, le tube passif est suspendu à l'horizontal pour une durée de 4,5 jours. Pendant le prélèvement, les polluants gazeux traversent le corps diffusif jusqu'à la zone de piégeage formée par la cartouche absorbante.

Après exposition, la cartouche est placée dans un tube en verre et envoyée à un laboratoire d'analyse. Les concentrations dans l'air moyennes des polluants sur l'ensemble de la période d'exposition (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) seront déterminées par analyse différée des échantillons en laboratoire :

- **L'Istituto Clinici Scientifici Maugeri** situé à Peralolo di Vignozza en Italie pour l'analyse des COV (NF EN ISO 16017-2).
- Le laboratoire Interrégional de chimie **LasAir** situé à Paris pour l'analyse du NO_2 par spectrophotométrie à 542 nm.



Figure 7 : Mise en place des tubes passifs dans une salle de classe et à l'extérieur

2.2.4. La balise Fireflies



Figure 8 : Balise Fireflies

La station Fireflies®Q.E.I commercialisée par Azimut Monitoring est un boîtier multicapteur de mesure des COV en continu. Les mesures effectuées par cette balise ne correspondent pas à une méthode de mesure normalisée, plus précise et spécifique, mais permettent de visualiser la dynamique des concentrations intérieures au cours d'une journée ou d'une semaine. Ceci permet la mise en évidence de liens éventuels entre les paramètres mesurés (non visibles avec les mesures habituelles) et par conséquent une meilleure gestion de la qualité de l'air en apportant des préconisations adaptées à la situation.

2.2.5. Le pDR-1500



Figure 9 : pDR-1500

L'analyseur de poussières Thermo pDR-1500 est un néphélomètre qui permet un suivi indicatif en temps réel de la concentration massique des poussières en continu.

2.2.6. Les badges Kodalpha



La mesure de l'activité volumique du radon a été réalisée par un dosimètre radon KODALPHA qui est un détecteur de particules alpha. Il permet de réaliser des mesures "intégrées" de la radioactivité naturelle due au gaz radon. Les mesures ont été effectuées sur une durée de deux mois.

Figure 10 : Dosimètre passif

2.3. STRATEGIE D'ECHANTILLONAGE

2.3.1. Stratégie d'échantillonnage spatiale

Pour chaque lycée, quatre ou cinq salles de cours ou accueillant des élèves ont été sélectionnées dans les différents bâtiments, ailes de bâtiments et différents étages ainsi qu'un point extérieur. Pour les lycées ayant des salles techniques, au moins deux d'entre elles ont été échantillonnées.

Le tableau ci-dessous détaille les différentes pièces investiguées par établissement. A noter que pour trois lycées une des salles de cours classique instrumentée a été remplacée soit par le réfectoire ou par la salle des professeurs.

Tableau 3 : Pièces sélectionnées dans chaque lycée

Lycée	Nom du bâtiment	Niveau	Numéro de la salle
A	Principal	Rez-de-chaussée (RDC)	D4
	Principal	RDC	E3
	Principal	RDC	Meca1
	Principal	RDC	Carr1
B	EX1	1 ^{er} étage	Ex1/104
	AT1	RDC	Salle 3pp
	AT1	1 ^{er} étage	Atelier Chimie
	AT1	RDC	Atelier Carrosserie
C	A	2 ^{ème} étage	A201
	A	2 ^{ème} étage	A204
	B	1 ^{er} étage	B101
	B	RDC	Foyer élèves
	B	RDC	Salle des professeurs
D	Lobau	1 ^{er} étage	L113
	Lobau	1 ^{er} étage	L130
	Technique	RDC	T020
	Technique	1 ^{er} étage	T132
	Vallin	RDC	FabLab
E	Bat E (EX1)	RDC	E27
	Bat I (EX2)	RDC	I211
	Atelier (AT1)	RDC	Atelier
	Atelier (EX4)	RDC	C2
F	Ex1	RDC	101
	Ex1	2 ^{ème} étage	310
	Ex1	3 ^{ème} étage	401
	Ex1	3 ^{ème} étage	412
G	Principal	1 ^{er} étage	Réfectoire
	Principal	1 ^{er} étage	13
	Principal	RDC	36
	Principal	2 ^{ème} étage	27
H	Collège	RDC	B24
	Lycée	3 ^{ème} étage	L34
	Gymnase/Réfectoire	1 ^{er} étage	Réfectoire
	Lycée	RDC	Salle des professeurs
	Gymnase/Réfectoire	RDC	Gymnase

2.3.2. Stratégie d'échantillonnage temporelle

Le tableau ci-dessous précise les dates de réalisation des campagnes pour chaque lycée :

Tableau 4 : Dates des campagnes

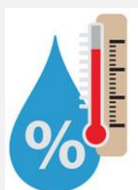
Lycée	Phase en période hors chauffe	Phase en période de chauffe
A	Du 07 au 11 mars 2022	Du 3 au 7 octobre 2022
B	Du 21 au 25 mars 2022	Du 19 au 23 septembre 2022
C	Du 4 au 8 avril 2022	Du 2 au 5 mai 2022
D	Du 21 au 28 février 2022	Du 5 au 9 septembre 2022
E	Du 21 au 28 février 2022	Du 16 au 20 mai 2022
F	Du 07 au 11 mars 2022	Du 5 au 9 septembre 2022
G	Du 31 janvier au 4 février 2022	Du 13 au 17 juin 2022
H	Du 31 janvier au 4 février 2022	Du 2 au 5 mai 2022

Les paramètres de confort, le dioxyde carbone, les aldéhydes, le dioxyde d'azote et les BTEX ont été mesurés dans toutes les salles. En ce qui concerne les composés organiques volatils, la recherche d'un panel plus large de composés organiques volatils (environ une quarantaine) a été effectuée en complément dans deux salles par lycée dont une salle de cours spécifique (laboratoire, atelier ou autre...). Le suivi dynamique des COV légers et lourds ainsi que les poussières fines inférieures à 2.5µm via différents capteurs a été réalisé. Le radon a été mesuré dans les lycées présentant un risque de catégorie 3 (lycée H). A noter que les mesures ont été effectuées uniquement en période de chauffe pour une durée d'environ 2 mois.

3. STRATEGIE DE COMPARAISON

3.1. VALEURS DE REFERENCE

3.1.1. Les paramètres de confort



Au niveau du **confort hygrothermique** (température et humidité relative), bien qu'il soit subjectif et dépendant d'autres paramètres (vitesse de l'air, habillement...), il est possible de définir des **plages jugées acceptables**. Par exemple, le **diagramme de Fauconnier**⁸ 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, l'ADEME préconise un taux optimal d'humidité relative dans l'air entre 40 et 60 %, pour une température s'élevant entre 18°C et 22°C⁹.

⁸ R. Fauconnier, Diagramme des plages de confort température-humidité - article « L'action de l'humidité de l'air sur la santé dans les bâtiments tertiaires » - numéro 10/1992 de la revue Chauffage Ventilation Conditionnement - 1992.

⁹ L'Habitat « Un air sain chez soi » Ademe, Edition : mai 2015.

3.1.2. Le dioxyde de carbone

Le règlement sanitaire départemental indique de ne pas dépasser dans un espace clos 1 000 parties par million (ppm) de CO₂ avec une tolérance jusqu'à 1 300 ppm. On considère que le confinement est élevé à partir de 1700 ppm.



Un **indice de confinement**, appelé **ICONE** (Indice de CONfinement d'air dans les Ecoles), a été développé en 2008 par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)¹⁰. 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 ppm** (en période d'occupation normale de la salle par les enfants).

Le **niveau de confinement de la pièce** est alors exprimé par une note sur une échelle de 0 à 5 (voir ANNEXE 2). La note 0 correspond au confinement nul (niveau de CO₂ toujours inférieur à 1000 ppm), c'est la situation la plus favorable. La note 5 correspond au confinement extrême, c'est la situation la plus défavorable (niveau de CO₂ toujours supérieur à 1700 ppm pendant l'occupation).



Le dioxyde de carbone fait partie des substances à suivre lors de la phase en période de chauffe des campagnes de surveillance dans les ERP. Les modalités de calcul précédemment énoncées figurent dans l'arrêté du 27 décembre 2022 modifiant celui du 1^{er} juin 2016 relatif aux modalités de surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public.

Depuis le 1^{er} janvier 2023, une nouvelle réglementation est sortie, changeant les seuils. Ils sont désormais de 800 ppm et de 1500 ppm comme énoncés dans l'arrêté du 27 décembre 2022 modifiant l'arrêté du 1^{er} juin 2016 relatif aux modalités de présentation du rapport d'évaluation des moyens d'aération.

3.1.3. Le benzène et le formaldéhyde

Parmi l'ensemble des polluants évoqués ci-avant, le benzène, le formaldéhyde ainsi que le CO₂ sont réglementés par le décret n° 2022-1689 du 27 décembre 2022 et le décret n° 2022-1690¹¹ du 27 décembre 2022¹². Les autres polluants mesurés dans le cadre de cette étude ne disposent pas de valeurs réglementaires.

¹⁰ 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.

¹¹ Décret n° 2022-1689 modifiant le code de l'environnement en matière de surveillance de la qualité de l'air intérieur

¹² Décret n° 2022-1690 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectuées au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public

Pour le benzène et le formaldéhyde, la réglementation fixe les valeurs limites à ne pas dépasser dans un espace clos ainsi que les différentes valeurs guides d'exposition à long terme qui sont rentrées progressivement en vigueur à partir de 2013 (Tableau 5).

La **valeur guide** pour l'air intérieur désigne un niveau de concentration de polluants de l'air intérieur, déterminé pour un espace donné à atteindre à long terme pour protéger la santé des personnes.

La **valeur limite** désigne la valeur au-delà de laquelle des investigations complémentaires doivent être menées afin d'identifier et de neutraliser les sources dans le but de ramener les teneurs intérieures en dessous de la valeur repère.

Tableau 5 : Valeurs réglementaires relatives au benzène et au formaldéhyde

	<i>Synthèse des différentes valeurs réglementaires</i>	
	<i>Valeur guide pour une exposition long terme</i>	<i>Valeur limite</i>
<i>Formaldéhyde</i>	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Depuis le 1 ^{er} janvier 2015	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
<i>Benzène</i>	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Depuis le 1 ^{er} janvier 2016	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Dans l'air ambiant, le benzène fait l'objet de seuil, à ne pas dépasser extérieur, fixé par le code de l'environnement – article R221-1 : la valeur limite annuelle est de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour 2010. En février 2018, l'ANSES¹³ a proposé une valeur guide court terme de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le formaldéhyde validé par des mesures de 1h à 4h successives sur la journée. Dans le cas où, les mesures sont effectuées sur un pas de temps plus long de 4,5 à 7 jours, le HCSP¹⁴ propose cependant de retenir une valeur de gestion provisoire à 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Par rapport à la technique de mesure employée pour cette étude impliquant des prélèvements sur 4,5 jours, cette valeur (équivalente à la valeur guide long terme ci-dessus) sera utilisée dans le rapport pour la comparaison des concentrations moyennes obtenues.

3.1.4. Les autres composés organiques volatils

Pour les polluants ne disposant pas de valeurs réglementaires, des valeurs dites de référence seront utilisées. Les composés organiques volatils pour lesquels aucune valeur n'est recensée, ne figurent pas dans le tableau ci-après et l'interprétation est réalisée de façon quantitative.

Des valeurs guides indicatives ont été proposées pour le toluène, le styrène et les xylènes dans une étude de Koistinen et al¹⁵. Le Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) a également proposé des valeurs guides indicatives pour le trichloroéthylène¹⁶ et le tétrachloroéthylène¹⁷. L'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'Environnement et du travail (ANSES) a également établi une valeur guide long terme pour l'acétaldéhyde¹⁸ et le toluène¹⁹.

¹³ Anses : Mise à jour de valeurs guides de qualité d'air intérieur : Le formaldéhyde – Avis de l'Anses – Rapport d'expertise collective – Février 2018 – Edition scientifique.

¹⁴ Haut Conseil de la Santé Publique : Valeurs repères d'aide à la gestion de la qualité de l'air intérieur : le formaldéhyde – 2 mai 2019

¹⁵ Koistinen K, Kotzias D, Kephelopoulou S et al. (2008). The INDEX project : executive summary of a European Union project on indoor air pollutants. Allergy, 63:810-819.

¹⁶ HCSP (2012) – Avis relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour le trichloroéthylène dans l'air des espaces clos, 6 juillet 2012, 3.

¹⁷ HCSP (2010) – Avis relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour le tétrachloroéthylène dans l'air des espaces clos, 16 juin 2010,

¹⁸ Proposition de valeurs guides de qualité de l'air intérieur L'acétaldéhyde, Avis de l'ANSES, Rapport d'expertise collective, avril 2014, Edition scientifique

¹⁹ <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2016SA0043Ra.pdf>

Tableau 6 : Valeurs indicatives pour les autres composés volatils

<i>Polluants</i>	<i>Valeurs indicatives</i>
<i>acétaldéhyde</i>	ANSES : 160 µg/m ³ (2014)
<i>toluène</i>	ANSES : 20 000 µg/m ³ (2018)
<i>(m+p)-xylènes et o-xylène</i>	INDEX : 200 µg/m ³ (2005)
<i>styrène</i>	INDEX : 250 µg/m ³ (2005)
<i>tétrachloroéthylène</i>	HCSP : 250 µg/m ³ (2010) Action rapide : 1380 µg/m ³ (2010)
<i>trichloroéthylène</i>	HCSP : 1 µg/m ³ (2019)

3.1.5. Le NO₂

En France, les valeurs guides (VGAI) sont établies par l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail). A défaut, les VGAI établies par l'OMS en 2010²⁰ ou reconnues à l'échelle européenne peuvent être utilisées.

Il existe également des valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos : le HCSP (Haut conseil de la santé publique) propose à partir des VGAI de l'ANSES, des valeurs dites de « gestion » avec un calendrier d'application associé. En outre, le HCSP propose des outils d'aide à la gestion en formulant des valeurs aux dessus desquelles des actions sont à entreprendre pour améliorer la qualité de l'air intérieur.

L'ANSES a également établi une valeur guide long terme pour le NO₂²¹ établie à 20 µg/m³.

Le tableau ci-dessous recense les valeurs de référence en vigueur :

Tableau 7 : Valeurs guides relatives au NO₂

<i>Valeurs guides pour une exposition long terme</i>		
<i>Polluants</i>	<i>Air intérieur</i> <i>Valeurs Guide</i>	<i>Air Ambiant</i> <i>Valeurs Limites</i> <i>Article R221-1 modifié par le décret n° 2008-1152 du 7/11/2008-art.1)</i>
NO₂	Long terme : 20 µg/m³ ANSES	Moyenne annuelle : 40 µg/m³

3.1.6. Les poussières fines

Il existe des valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos : le HCSP (Haut conseil de la santé publique) propose des valeurs dites de « gestion » avec un calendrier d'application associé. En outre, le HCSP propose des outils d'aide à la gestion en formulant des valeurs aux dessus desquelles des actions sont à entreprendre pour améliorer la qualité de l'air intérieur.

²⁰ OMS 2010 WHO Guidelines for indoor air quality : selected pollutants, World Health Organization

²¹ Anses (2013) Propositions de Valeurs Guides de qualité d'Air intérieur, Dioxyde d'azote (NO₂). Février 2013. Avis et rapport, 143 p.

Afin de prévenir les effets liés à une exposition chronique, le HCSP²² recommande dans l'air intérieur :

- Un objectif cible de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à échéance de 2025, avec des valeurs dégressives, directement applicable. La valeur repère à partir de 2021 est ainsi fixée à 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Une valeur d'action rapide de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dont le dépassement doit déclencher dans les trois mois la mise en œuvre d'actions correctives.

Le tableau ci-dessous recense les valeurs de référence en vigueur :

Tableau 8 : Valeurs guides relatives aux PM_{2,5}

Valeurs guides pour une exposition long terme		
Polluants	Air intérieur Valeurs Guide	Air Ambiant Valeurs Limites Article R221-1 modifié par le décret n° 2008-1152 du 7/11/2008-art.1)
PM _{2,5}	Valeur repère : 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (2023) HCSP Valeur d'action rapide : 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (avis de 2013) HCSP	Moyenne annuelle : 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

3.1.7. Le radon

Le radon est un gaz radioactif d'origine naturelle, issu de la désintégration de l'uranium et du radium présents naturellement dans le sol et les roches. En France, sur la base des recommandations de l'Organisation mondiale de la santé, la Commission européenne a retenu la valeur de 300 Bq/m³ en moyenne annuelle comme valeur de référence en dessous de laquelle il convient de se situer. Lorsque les résultats de mesure dépassent 300 Bq/m³, il est ainsi nécessaire de réduire les concentrations en radon²³.

3.2. DONNEES COMPARATIVES

A ce jour, peu de résultats concernant les lycées sont disponibles au niveau national. Les résultats obtenus dans cette étude pourront cependant être comparés aux résultats de l'étude de 2018/2019 effectuée dans 10 lycées de la région Grand Est ainsi que, à titre indicatif, aux résultats obtenus dans les écoles primaires et maternelles bien que la configuration de ce type d'établissement soit différente de celle des lycées.

ATMO Grand Est a mené, en 2018/2019, une première étude de mesures de la qualité de l'air dans les lycées de la Région Grand Est. Son objectif était de caractériser la qualité de l'air intérieur des lycées de la région Grand Est avec 10 lycées volontaires ainsi que de décrire les conditions de confort. Pour chaque lycées, 4 salles de cours ou accueillant des élèves avait été sélectionnées dans les différents

²² Valeurs repères d'aide à la gestion dans des espaces clos : les particules, HCSP, juillet 2013

²³ <http://www.irsn.fr>

bâtiments, ailes de bâtiments et différents étages ainsi qu'un point extérieur. Pour chaque lycée, une salle spécifique (laboratoire, atelier...) avait été échantillonnée.

Tableau 9 : Paramètres recherchés durant la campagne Lycées

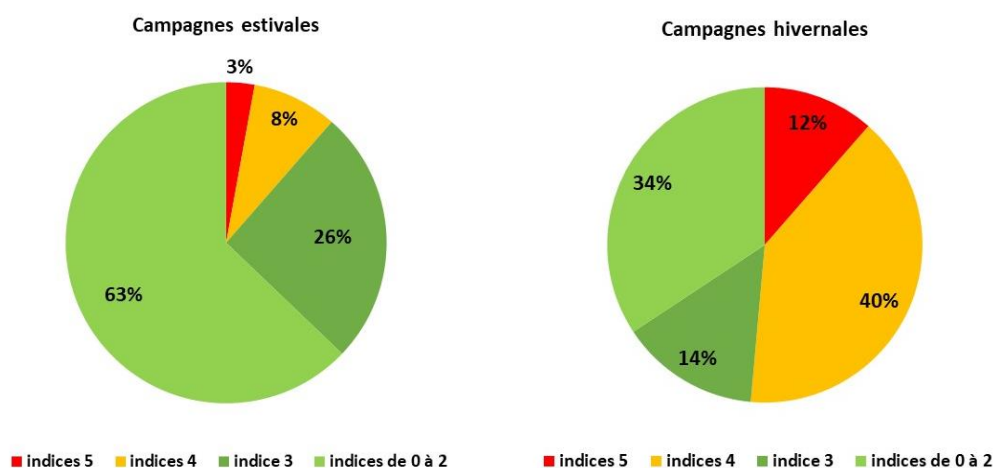
Pollution de l'air	Confort et ambiance	Questionnaires
7 composés organiques volatils (COV) dans toutes les salles + une quarantaine de COV complémentaires dans les salles spécifiques 2 aldéhydes le dioxyde d'azote (NO ₂) le radon.	Température, humidité relative et concentration en dioxyde de carbone (CO ₂) enregistrées en continu dans les salles de classe pendant la semaine.	Des questionnaires ont été complétés par les gestionnaires des bâtiments et les enseignants, afin de décrire les caractéristiques des bâtiments, les activités et l'occupation en classe.

Figure 11 : Résultats de la campagne Lycées 2018/2019

- Résultats des paramètres de confort :

Période	Température (°C)			Humidité relative (%)		
	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne	Maximum	Minimum
Hors chauffe	24,2	25,3	23,1	53,8	59,3	48,2
Chauffe	21,6	23,4	20,0	45,2	51,6	39,7

- Résultats des indices de confinement :



- Résultats pour le formaldéhyde dans les salles de cours :

Période	Moyenne	Médiane	Max	Nombre de pièces inférieures à 10 µg/m ³	Nombres de pièces comprises entre 10 et 30 µg/m ³	Nombres de pièces supérieures à 30 µg/m ³
Hors chauffe	17,8	15,1	44,0			
Chauffe	11,0	11,1	21,5			
Annuelle	14,5	13,2	26,0	6	23	0

- Résultats pour le formaldéhyde dans les salles spécifiques :

Période	Moyenne	Médiane	Max	Nombre de pièces inférieures à 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nombres de pièces comprises entre 10 et 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nombres de pièces supérieures à 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Hors chauffe	30,5	18,5	69	2	6	3
Chauffe	12,9	10,6	25,5			
Annuelle	21,7	17,1	47,2			

- Résultats pour le benzène :

Période	Moyenne	Médiane	Max	Nombre de pièces inférieures à 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nombre de pièces supérieures à 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Hors chauffe	1,0	0,8	2,8	37	3
Chauffe	1,6	1,5	5,2		
Annuelle	1,3	1,2	4		

- Résultats pour le NO_2 :

Période	Moyenne	Médiane	Max	Nombre de pièces inférieures à 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nombre de pièces supérieures à 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Eté	13	11,8	40	34	5
Hiver	13,7	13,6	28,8		
Annuelle	13,2	12,4	34,4		

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 d'école, 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 10 : Paramètres recherchés durant la campagne écoles

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 particules de diamètre inférieur à 2,5 µm (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 (CO₂) 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.

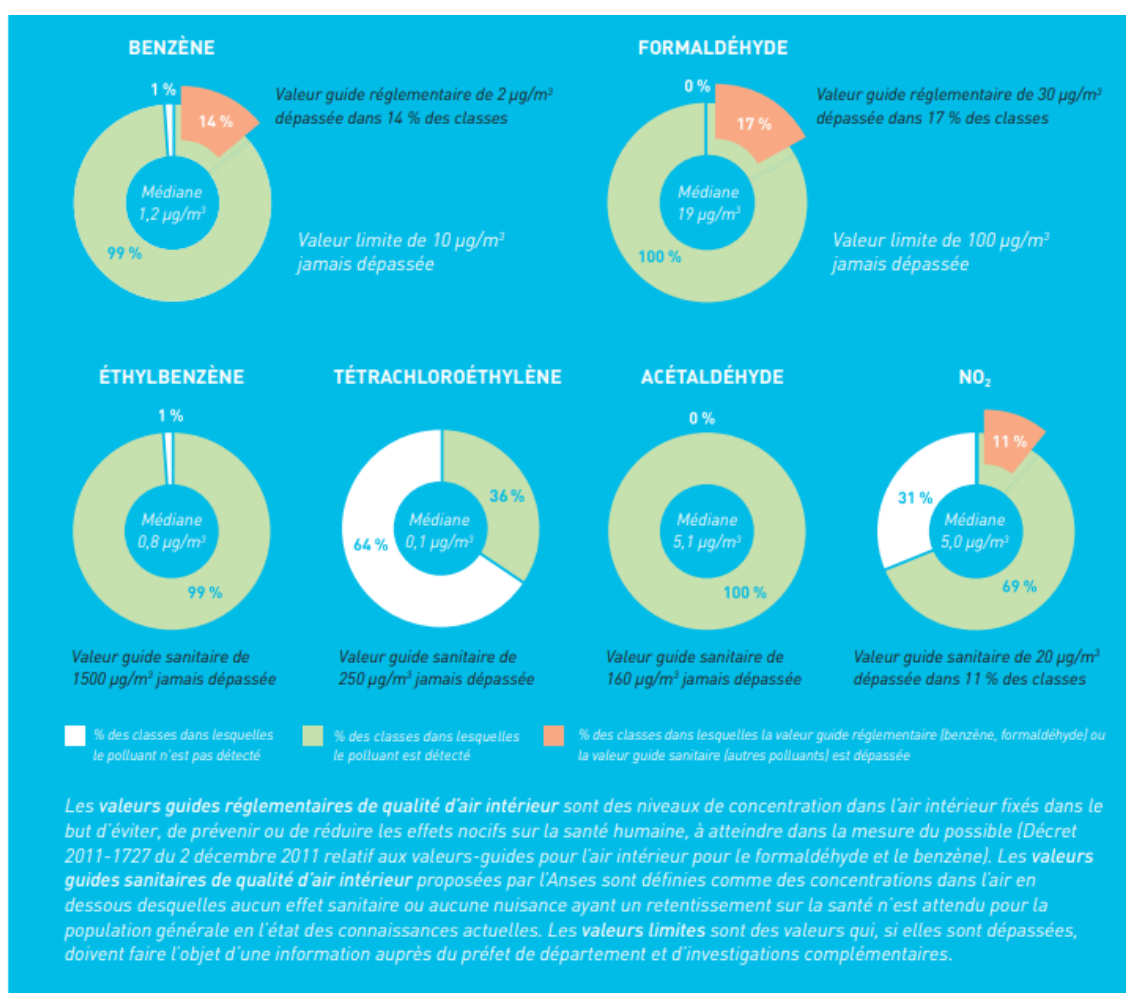


Figure 12 : Fréquence de détection et pourcentages de dépassement des valeurs de référence pour les polluants qui en disposent

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.

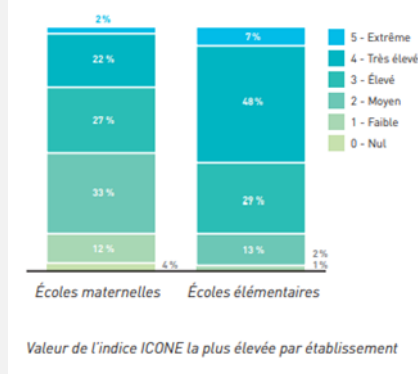


Figure 13 : Valeur de l'indice ICONE la plus élevée par établissement

4. RESULTATS

4.1. PARAMETRES DE CONFORT ET DE CONFINEMENT

4.1.1. Température et humidité relative

Les données de température et humidité relative observées pour chaque établissement durant les campagnes de mesure sont présentées dans les tableaux ci-après. Les résultats détaillés sont disponibles en ANNEXE 3.

Tableau 11 : Résultats obtenus pour les paramètres de confort pour les campagnes en période hors chauffe

Lycée	Température (°C)			Humidité relative (%)		
	Moyenne	Maximun	Minimun	Moyenne	Maximun	Minimun
A	19,9	21,8	17,9	59,3	67,0	47,3
B	20,8	21,9	18,6	47,2	54,4	41,7
C	22,7	24,4	21,0	46,2	52,9	39,3
D	26,3	29,3	22,6	55,4	64,1	46,8
E	25,7	28,5	23,1	55,6	64,8	49,4
F	26,3	28,5	23,0	55,6	64,1	47,9
G	24	25,2	22,7	44,2	53	32
H	22	23,9	19,5	50,8	62	46

Pour les campagnes en période hors chauffe, les températures dans 3 lycées sur 8 dépassent 25°C en moyenne sur l'établissement et sont, pour 1 autre, supérieures à 23°C. Les préconisations de l'Ademe (18 à 22 °C) sont largement dépassées. Les températures les plus élevées sont observées dans le lycée D dont la campagne de mesure a été réalisée du 5 au 9 septembre 2022 et pour laquelle les températures extérieures étaient également élevées (moyenne en occupation : 23°C ; maximum : 29,4°C).

Ces résultats mettent en évidence la problématique du confort d'été qui est observée dans quasiment tous les lycées et dont les conséquences sont plus ou moins marquées en fonction de la période des campagnes de mesures (période de canicule ou non). En ce qui concerne l'humidité relative, 1 lycée (A) est proche de la valeur haute des recommandations de l'Ademe (40 à 60%). 5 lycées (A, D, E, F, H) ont des maximums supérieurs à 60% d'humidité relative. Des valeurs élevées d'humidité relatives peuvent favoriser le développement de champignons et de moisissures ainsi que des sensations d'inconfort. Des moisissures ont été observées dans un lycée (F) en lien avec des problèmes récurrents d'infiltrations.



Figure 14 : Moisissures observées dans une salle de classe du lycée F

Tableau 12 : Résultats obtenus pour les paramètres de confort pour les campagnes en période de chauffe

Lycée	Température			Humidité (%)		
	Moyenne	Maximun	Minimun	Moyenne	Maximun	Minimun
A	20,3	22,8	14,8	34,8	50,8	23,0
B	25,1	26,5	21,1	27,4	33,1	22,2
C	20,1	21,9	18,1	45,2	57,8	26,6
D	21,9	23,8	18,7	46	54,8	32,6
E	20,8	23,4	18,1	43,2	49,1	34,7
F	22,4	25,7	16,2	27,9	38,2	20,3
G	20,1	21,0	18,1	39,4	50,3	30,8
H	17,7	19,8	15,1	46,7	55,5	37,3

Pour la phase en période de chauffe, les températures moyennes par établissement se situent entre 17,7°C (lycée H) et 25,1 °C (lycée B). La température recommandée de 22°C est dépassée dans 2 lycées (B et F). Pour le lycée H, 1 salle a une température moyenne inférieures à 18°C. Pour les lycées B, D, E et F, une salle présente une température moyenne supérieure à 23°C. Des problèmes de régulation au niveau du chauffage peuvent expliquer ces valeurs. Pour les taux d'humidité, ils sont plus faibles que lors des campagnes en période hors chauffe avec 4 lycées ayant une humidité relative inférieure à 40% (cela concerne 16 salles sur 32 instrumentées au total) ce qui peut provoquer des problèmes inhérents à la sécheresse de l'air (irritations/gênes des voies respiratoires).

4.1.2. Confinement :

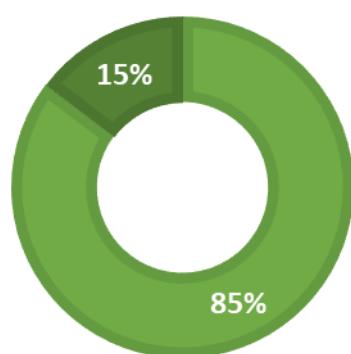
Le tableau ci-dessous présente la répartition des différents indices de confinement pour chaque lycée. A noter que les résultats détaillés lycée par lycée sont disponibles en ANNEXE 4.

Tableau 13 : Répartition des indices de confinement pour chaque lycée

Campagnes	Valeur de l'indice	Nature de l'indice	A	B	C	D	E	F	G	H
Hors chauffe	0	Nul	1	3	2	2	4		3	1
	1	Faible	1		2	3		1	1	1
	2	Moyen						2		2
	3	Elevé	2	1	1			1		
	4	Très élevé								
	5	Extrême								
Chauffe	0	Nul	1	4	1		1	2		1
	1	Faible	1		1	1	1	1	2	1
	2	Moyen	1		2	3	2	1	1	1
	3	Elevé			1				1	
	4	Très élevé	1			1				1
	5	Extrême								

CAMPAGNES HORS CHAUFFE

Valeur de l'indice ICONNE par salle



■ indices de 0 à 2 ■ indice 3 ■ indice 4 ■ indice 5

Pour les campagnes en période hors chauffe, peu de problèmes de confinement ont été relevés, puisque 85 % des indices de confinement sont répartis entre 0 et 2. Les 15% restants présentent cependant un indice de 3 ce qui correspond à un confinement élevé. A noter que pour les campagnes réalisées en période de forte chaleur, les températures ont favorisé l'ouverture des fenêtres.

Figure 16 : Répartition de l'indice ICONNE lors des campagnes en période hors chauffe

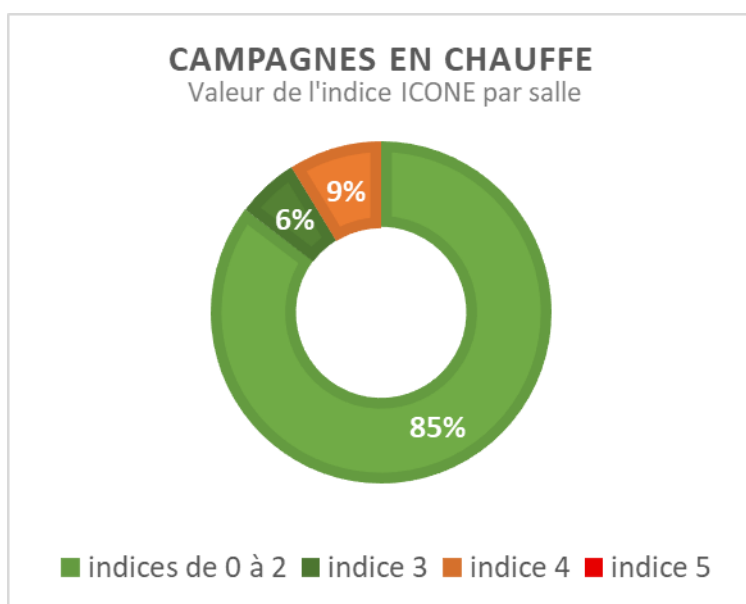


Figure 17 : Répartition de l'indice ICONE lors des campagnes en période de chauffe

Pour les campagnes en période de chauffe, 85 % des salles de classe présentent des indices de 0 à 2 comme lors des campagnes hors chauffe. **9 % des salles montrent un problème de confinement avec des indices de 4.** 3 lycées sur 8 ont au moins une salle de classe avec un indice de 4.

Les principaux problèmes de confinement ont été relevés dans le lycée A (salle D4 avec indice 4), le lycée D (salle L113 avec indice 4) et le lycée H (salle L34 avec indice de 4).

Comme cela est précisé en ANNEXE 2, dans le cadre de la réglementation l'observation d'un indice 4 dans une salle classe conduit à un message de sensibilisation du maître d'ouvrage.

A noter que les salles de cours ont un indice de confinement moyen plus élevé que les salles spécifiques. Les salles spécifiques ont souvent un effectif réduit (salles de travaux pratiques) ou des volumes d'air disponible plus grand (atelier, hangar). La problématique de l'effectif important dans les salles de classe par rapport au volume d'air disponible a été remontée lors des comités de pilotage des différents lycées.

Globalement sur cette campagne de mesures, les valeurs des indices ICONE sont inférieures à celles obtenues lors de la campagne Lycées 2018/2019 (effectuée dans 10 lycées). Cela s'explique par la crise sanitaire du coronavirus arrivée en 2020, ayant eu pour impact une aération contrôlée et fréquente des salles de classe. Un protocole d'aération ainsi que de la sensibilisation du personnel et des lycéens ont été mis en place dans les différents établissements ce qui a permis de diminuer les confinements observés. La crise sanitaire a également permis d'équiper les lycées en capteurs permettant la mesure de CO₂.

Certains lycées, notamment ceux ayant des indices de confinement élevés, ont mis en place des stratégies d'aération (obligation d'aérer toutes les X heures, pendant Y minutes) afin d'améliorer le renouvellement d'air.

Les résultats des valeurs des indices ICONE calculés avec les seuils de la nouvelle réglementation de surveillance de la qualité de l'air dans certains établissements recevant du public sont présents en ANNEXE 5.

4.2. LE FORMALDEHYDE

Les activités réalisées dans les salles spécifiques pouvant avoir un impact sur les concentrations mesurées, les résultats obtenus dans ces salles font l'objet d'un paragraphe spécifique.

4.2.1. Salles de cours

Le tableau ci-dessous présente les résultats statistiques obtenus à partir des données de chaque salle de classe :

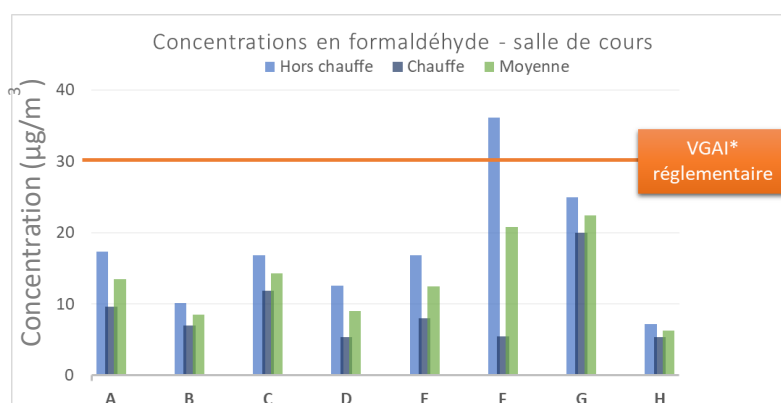
Tableau 14 : Données obtenues pour le formaldéhyde dans les salles de cours

Période	Nombre valeurs	Moyenne	Médiane	Max	Nombres de pièces supérieures à 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Hors chauffe	17	17,4	14,6	38,4	
Chauffe	17	8,7	6,9	21,7	
Annuelle	17	13,0	10,8	30,1	

Les résultats obtenus sont globalement faibles. En effet, les concentrations sont inférieures à celles de la campagne Lycées 2018/2019 (10 lycées) pour laquelle une médiane annuelle de 13,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ avait été obtenue. Les concentrations sont également inférieures à celles de la campagne nationale écoles de 2013-2017 (301 écoles), même s'il ne s'agit pas de la même typologie d'établissement scolaire, pour laquelle une médiane de 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ avait été obtenue.

La valeur limite de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour laquelle il est nécessaire de mettre en œuvre des actions dès qu'un dépassement est observé dans une salle de classe lors d'une campagne de mesure, n'a pas été dépassée puisque le maximum s'élève à 38,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Aucune moyenne annuelle ne dépasse 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ cependant 2 salles du lycée F dépassent la valeur de 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en période hors chauffe. Comme cela est observé habituellement, les résultats obtenus lors de la phase en période de chauffe sont inférieurs à ceux des campagnes hors chauffe.

Les valeurs moyennes par établissement sont présentées sous le tableau ci-dessous. Les valeurs détaillées pièce par pièce sont disponibles en ANNEXE 6.



*VGAI : Valeur Guide de qualité de l'Air Intérieur

Figure 18 : Concentrations moyennes en formaldéhyde par établissement (salles de cours)

Les établissements présentant les valeurs les plus élevées notamment en période hors chauffe sont le lycée F et le lycée G.

Le lycée F est celui pour lequel la valeur maximale de $38,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a été observée dans la salle 310 lors de la campagne hors chauffe. La salle 310 est orientée au sud-est sud-ouest et plus exposée aux rayonnements UV ce qui peut favoriser la formation de formaldéhyde par photochimie. En effet, le formaldéhyde peut être produit dans l'air par la photo-oxydation de nombreux composés organiques volatils. La présence d'ozone provenant de l'air extérieur (dont les concentrations sont plus élevées en été et notamment en période de canicule) en réaction avec certains composés organiques volatils contribue également à sa formation. Cette valeur est largement inférieure à $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dans ce même établissement, la valeur dans la salle 401 en période hors chauffe est de $33,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. L'augmentation de température entraîne une augmentation de l'émission de formaldéhyde par les meubles et les matériaux qui en contiennent.

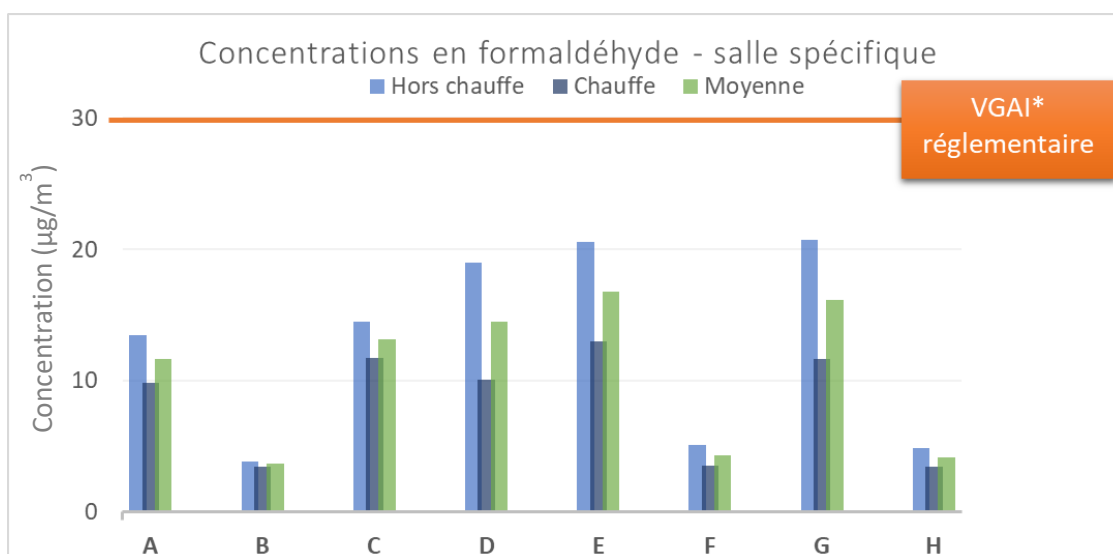
En période de chauffe, les valeurs dans le lycée sont très faibles et inférieures à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ce qui permet d'obtenir une moyenne annuelle inférieure à la valeur guide de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le lycée G a des valeurs inférieures à $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les sources possibles de formaldéhyde dans les 2 salles de cours de ce lycée sont les meubles (tables et chaises) et/ou les sols présents dont les colles utilisées peuvent relarguer du formaldéhyde.

4.2.1. Salles spécifiques

Tableau 15 : Données obtenues pour le formaldéhyde dans les salles spécifiques

Période	Nombre valeurs	Moyenne	Médiane	Max	Nombres de pièces supérieures à $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Hors chauffe	15	13,7	14,9	26,7	0
Chauffe	15	8,6	8,4	17,9	
Annuel	15	11,1	11,6	22,3	0

Les concentrations en formaldéhyde dans les salles spécifiques sont du même ordre de grandeur que dans les salles de cours classiques avec une médiane annuelle de $11,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Une valeur maximale de $26,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a notamment été observée dans une des salles de classe en période hors chauffe. La valeur limite de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ n'est pas dépassée. La valeur moyenne en période hors chauffe est plus élevée qu'en période de chauffe en lien avec la formation de formaldéhyde par photochimie et le relargage des matériaux en présence de chaleur. Pour les 15 salles spécifiques concernées, aucune n'obtient une moyenne annuelle supérieure à $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le graphique ci-dessous présente les détails par établissement.



* **VGAI** : Valeur Guide de qualité de l'Air Intérieur

Figure 19 : Concentrations moyennes en formaldéhyde par établissement (salles spécifiques)

Les concentrations obtenues pour le formaldéhyde sont très variables en fonction des salles spécifiques. Les salles spécifiques des lycées D, E et G sont celles présentant les concentrations les plus élevées notamment en période hors chauffe.

Les salles, où les concentrations les plus élevées sont retrouvées, sont la salle 27 (lycée G), la salle C2 (lycée E) ainsi que la salle T132 (lycée D). La salle 27 est une salle de travaux pratiques pour les métiers « médecin ». La salle C2 est une salle informatique. La salle T132 est un atelier de fonderie fine. Le formaldéhyde est présent dans les produits ménagers, les panneaux en bois agglomérés, en fibres, en bois, les colles, les livres et magazines neufs et les photocopieurs (liste non exhaustive).

Pour les campagnes en période de chauffe, les concentrations en formaldéhyde mesurées sont nettement plus faibles dans ces pièces. Comme indiqué dans le paragraphe précédent, la présence d'autres composés organiques volatils lors de conditions estivales peut également favoriser la formation de formaldéhyde par photochimie et expliquer les niveaux mesurés.

4.3. LE BENZENE

Le tableau ci-dessous présente les résultats obtenus à partir des données de chaque salle de classe :

Tableau 16 : Données obtenues pour le benzène dans les salles des lycées

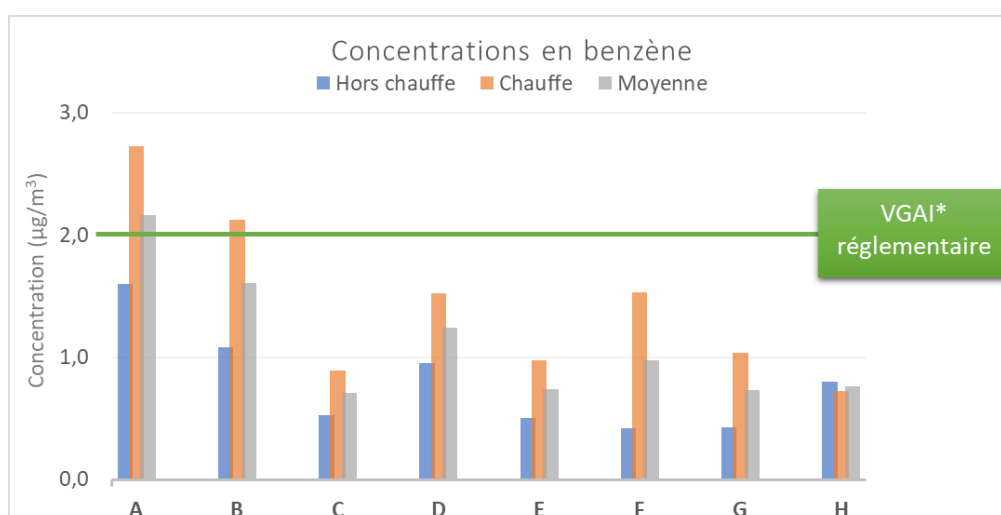
Période	Nb. valeurs	Moyenne	Médiane	Max	Nombre de pièces inférieures à 2 µg/m³	Nombre de pièces supérieures à 2 µg/m³
Hors chauffe	32	0,8	0,6	2,5		
Chauffe	32	1,4	1,1	5,0		
Annuelle	32	1,1	0,8	3,8	30	2

La médiane obtenue dans les salles de classe des huit lycées et de $0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ toute période confondue ce qui est inférieur à ce qui a été obtenue lors de la campagne Lycées 2018/2019 (médiane $1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et à ce qui a été déterminé lors de la campagne nationale écoles (médiane de $1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Les valeurs mesurées sont plus fortes en période de chauffe conformément à ce qui est habituellement observé pour ce polluant. Une valeur maximale de $5,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a été observée lors de la période de chauffe dans une pièce.

La valeur limite de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ n'a été dépassée dans aucune salle de classe. Seules 2 salles de classe sur 32, soit 6,3%, dépassent en moyenne annuelle la valeur guide de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (lycée A). Lors de la campagne Lycées 2018/2019, 7,5 % des salles de classe ont dépassé cette valeur. Les valeurs mesurées pour le benzène sont donc globalement similaires à la précédente campagne.

L'ensemble des résultats pour le benzène est disponible en ANNEXE 7.

Le graphique ci-après présente les concentrations obtenues pour le benzène en moyenne pour chaque établissement :



*VGAI : Valeur Guide de la qualité de l'Air Intérieur

Figure 20 : Concentrations moyennes en benzène par établissement

Les concentrations les plus élevées pour le benzène ont été observées dans le lycée A. En effet, la valeur maximale observée dans les lycées ($5,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – phase de chauffe) correspond à celle de la salle Meca1 du lycée A. Les 2 salles qui dépassent la VGAI sont 2 salles spécifiques de mécanique et de carrosserie. La source du benzène dans ces pièces est la présence de carburant dans les voitures. Ces éléments ont été indiqués dans la présentation des résultats lors du COPIL du lycée et des actions vont être réalisées afin de supprimer la source.

4.4. LES COMPOSES ORGANIQUES VOLATILS

Les concentrations en composés organiques volatils dont les aldéhydes sont globalement faibles. Cependant quelques COV ont présenté des concentrations parfois plus élevées et supérieures à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ qui sont répertoriées dans les tableaux 17.

Pour rappel, pour chaque lycée deux salles ont fait l'objet de mesures complémentaires pour une quarantaine de composés organiques volatils. Les deux salles choisies ont été préférentiellement les salles spécifiques de chaque lycée.

Tableau 17 : Données obtenues pour les composés organiques volatils dans le lycée A

Lycée	Campagne	Salle	Composé	Concentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$
A	Chauffe	Carr2	n-octane et isomères	24
			n-heptane et isomères	66
		Meca1	m- + p-xylène	22
			1,2,4-triméthyl-benzène	28
			n-dodécane et isomères	29
			n-octane et isomères	35
			toluène	45
			n-heptane et isomères	68
	Hors chauffe	Carr2	styrène	23
			toluène	25
			n-dodécane et isomères	28
			n-heptane et isomères	100
		Meca1	n-heptane et isomères	61

Pour le lycée A :

Lors de la **période de chauffe**, l'analyse complète des COV dans les salles Meca1 et Carr2 a mis en évidence :

- ✓ La présence d'**alcanes** (n-heptane, n-octane, n-dodécane) ainsi que **du toluène, du 1,2,4-triméthyl-benzène** et des **xylènes** dans la salle **Meca1**. Le toluène est présent dans les carburants, les gaz d'échappement, les solvants, peintures, vernis, colles. Le 1,2,4-triméthylbenzène est un constituant de solvants pétroliers utilisés pour la formulation de diluants, peintures, vernis mais également un constituant de carburant. Les xylènes sont présents dans les peintures, vernis, colles. **Ces polluants sont liés aux activités de mécanique pratiquées dans la pièce de travaux pratiques à côté de la salle Meca1 ainsi qu'au stockage de produits.**
- ✓ La présence d'**alcanes** (n-heptane, n-octane) dans la salle **Carr2**. Les sources des alcanes sont citées ci-dessus. Dans le cadre de l'atelier de carrosserie attenant, l'origine est plutôt la peinture. Ces polluants sont liés aux activités de carrosserie (peinture) pratiquées dans la pièce de travaux pratiques à côté de la salle.

Lors de la **période hors chauffe**, l'analyse complète des COV dans les salles Meca1 et Carr2 a mis en évidence :

- ✓ La présence d'**alcanes** (n-heptane) dans la salle **Meca1**. Les sources possibles des alcanes sont présentées ci-dessus. Il s'agit des mêmes polluants que lors de la phase de chauffe. Il est observé une baisse de la concentration en toluène par rapport à la phase précédente. La présence de ces polluants lors de cette période de mesures confirme les sources de pollution à savoir les activités pratiquées et le stockage de produits.

- ✓ La présence d'**alcanes** (n-heptane, n-dodécane) ainsi que du **toluène** et du **styrène** dans la salle **Carr2**. Le styrène est présent dans les carburants. Les sources possibles des autres polluants sont présentées ci-dessus. Ces polluants sont liés aux activités de carrosserie pratiquées dans la pièce de travaux pratiques à côté de la salle. Il s'agit des mêmes polluants que lors de la phase de chauffe.

Tableau 18 : Données obtenues pour les composés organiques volatils dans le lycée B

Lycée	Campagne	Salle	Composé	Concentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$
B	Chauffe	Atelier carrosserie	toluène	91
			n-heptane et isomères	74
			n-butyl acétate	47
			isopropyl acétate	45
			m- + p-xylène	38
			1,2,4-triméthyl-benzène et autres aromatiques C9	38
			n-octane et isomères	33
			styrène	33
		Atelier chimie	n-heptane et isomères	30
			toluène	25
	Hors chauffe	Atelier carrosserie	toluène	310
			n-nonane et isomères	170
			isopropyl acétate	130
			n-heptane et isomères	110
			m- + p-xylène	59
			1,2,4-triméthyl-benzène et autres aromatiques C9	58
			n-décane et isomères	51
			n-butyl acétate	41
			n-octane et isomères	33
			2-méthylpentane	30
			styrène	29
		Atelier Chimie	éthyl acétate	20

Pour le lycée B :

Lors de la **période de chauffe**, l'analyse complète des COV dans les ateliers carrosserie et chimie a mis en évidence :

- ✓ La présence de **toluène, d'heptane, d'acétate (n-butyl et isopropyl acétate), de xylènes, d'octane, de 1,2,4-triméthylbenzène et de styrène** entre autres dans **l'atelier carrosserie**. Le toluène est un liquide incolore présent dans les peintures, vernis, colles, encre, désodorisants. Le n-heptane et ses isomères est un solvant pour colles, encres, caoutchoucs et matières plastiques. Les acétates sont des solvants utilisés comme diluant pour peintures, colles, laques et vernis. Les xylènes sont présents dans les peintures, les vernis, les colles ainsi que dans les insecticides. L'octane est le principal composé de l'essence. Le 1,2,4-triméthylbenzène est utilisé dans la production de résines et sert d'additif pour carburant. Le styrène est présent dans les matières plastiques et les matériaux isolants. **Ces polluants sont liés aux activités de carrosserie pratiquées dans la pièce ainsi que du stockage des produits.**
- ✓ La présence **d'heptane, de toluène** dans **l'atelier de chimie**. Les sources possibles de l'heptane et le toluène sont présentées ci-dessus. L'atelier de chimie ne se situe pas à côté de l'atelier carrosserie donc un possible transfert n'est pas envisagé.

Lors de la **période hors chauffe**, l'analyse complète des COV dans les ateliers carrosserie et chimie a mis en évidence :

- ✓ La présence de **toluène, d'alcanes (nonane, heptane, décane, octane, 2-méthylpentane), d'isopropylacétate, de xylène, de 1,2,4-triméthylbenzène, de butylacétate et de styrène** dans l'**atelier carrosserie**. Les sources possibles du toluène, de l'heptane, du décane (même sources que le undécane), de l'octane, du xylène, du 1,2,4-triméthylbenzène sont présentées ci-dessus. Le nonane est un solvant de peintures, de colles, de plastiques. L'isopropylacétate est présent dans les plastiques, les peintures, les revêtements. Le butylacétate est un solvant utilisé comme diluant pour peintures, encres d'imprimerie, colles, laques et vernis. Les concentrations retrouvées en période hors chauffe sont supérieures aux concentrations en période de chauffe. La présence de ces polluants lors de cette période de mesures confirme les sources de pollution à savoir les activités pratiquées et le stockage de produits.
- ✓ A noter la **présence d'éthylacétate en plus faible quantité dans l'atelier de chimie**. L'éthylacétate est présent dans les solvants pour peintures, vernis, encre d'imprimerie, adhésifs et matières plastiques.

Tableau 19 : Données obtenues pour les composés organiques volatils dans le lycée C

Lycée	Campagne	Salle	Composé	Concentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$
C	Chauffe	A201	méthyl phénol	23
		A204	n-dodécane et isomères	33
	Hors chauffe	A201	n-dodécane et isomères	37
			2-éthyl-1-hexanol	35
			n-undécane et isomères	30
			n-décane et isomères	23
			éthyl acétate	22
			n-butanol	22
		A204	éthyl acétate	20

Pour le lycée C :

Lors de la **période de chauffe**, l'analyse complète des COV dans les salles A204 et A201 a mis en évidence:

- ✓ La présence d'**alcanes** (n-dodécane) dans la **salle A204**. Les alcanes sont présents dans les solvants pour colles, vernis, cires, nettoyeurs pour sols et le white-spirit.
- ✓ La présence de **méthylphénol** dans la **salle A201**. Le méthylphénol est utilisé comme bactéricide, insecticide et fongicide dans les désinfectants.

Lors de la **période hors chauffe**, l'analyse complète des COV dans les salles A204 et A201 a mis en évidence :

- ✓ La présence d'**éthylacétate** dans la **salle A204**. L'éthylacétate est présent dans les solvants pour peintures, vernis, encre d'imprimerie, adhésifs et matières plastiques.
- ✓ La présence d'**alcanes** (n-dodécane, n-undécane et n-décane) ainsi que du **2-éthyl-1-hexanol, de l'éthylacétate** et du **butanol** dans la **salle A201**. Les utilisations des alcanes sont citées ci-dessus. Le butanol est présent dans les peintures, vernis, résines naturelles ou synthétiques. Le 2-éthyl-1-hexanol est utilisé principalement dans la fabrication d'un plastifiant (DEHP).

Dans la pièce A204, différentes activités sont effectuées dans la pièce comme du collage, de la peinture et des impressions qui peuvent être sources de COV.

Dans la pièce A201 qui est une salle de travaux pratiques pour les métiers des soins à la personne, différents produits émetteurs de COV peuvent être utilisés (désinfectants, nettoyeurs...).

Tableau 20 : Données obtenues pour les composés organiques volatils dans le lycée D

Lycée	Campagne	Salle	Composé	Concentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$
D	Chauffe	T020	n-undécane et isomères	150
			n-décane et isomères	83
			n-heptane et isomères	73
			éthyl acétate	44
			n-dodécane et isomères	34
			3-méthylcyclohexane	27
	Hors chauffe	T132	n-octane et isomères	26
		T132	n-octane et isomères	30

Pour le lycée D :

Lors de la **période de chauffe**, l'analyse complète des COV dans les salles T132 et T020 a mis en évidence :

- ✓ La présence d'**alcanes** (undécane, décane, heptane, dodécane), d'**éthylacétate** ainsi que de **3-méthylcyclohexane** dans la salle **T020** probablement émis par les activités dans la salle et dans les pièces contiguës ainsi que le stockage de produits. Les sources des alcanes sont les vernis, les laques, les encres et les diluants. Le 3-méthylcyclohexane est présent dans les solvants et les fluides correcteurs.
- ✓ La présence d'**alcanes** dans la salle **T132** notamment le n-octane ainsi que ses isomères probablement liés aux activités dans la salle. Le n-octane est le principal composé de l'essence et il est présent dans les solvants de peinture, encres, colles, plastiques. Il est probablement émis par les activités dans la salle et dans les pièces contiguës ou le stockage de produits.

Lors de la période **hors chauffe**, l'analyse complète des COV dans les salles T132 et T020 a mis en évidence :

- ✓ La présence d'**alcanes** dans la salle **T132** notamment le n-octane probablement liée aux activités dans la salle. Les sources du n-octane sont citées ci-dessus.
- ✓

Tableau 21 : Données obtenues pour les composés organiques volatils dans le lycée E

Lycée	Campagne	Salle	Composé	Concentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$
E	Chauffe	Atelier	styrène	130
			n-décane et isomères	30
			n-undécane et isomères	27
		C2	styrène	76
			n-décane et isomères	23
			n-undécane et isomères	20

Pour le lycée E :

Lors de la **période de chauffe**, l'analyse complète des COV dans les salles C2 et l'atelier a mis en évidence:

- ✓ La **présence de styrène dans l'atelier usinage et dans la salle C2**. La source de ces concentrations est probablement la réalisation de moules par stratification au contact avec des résines polyester contenant du styrène sur le plateau technique du CCRC dans le même bâtiment que l'atelier d'usinage et la salle C2. Lors des prélèvements, deux groupes ont travaillé à la réalisation de moule en résine polyester. Un transfert de pollution entre la partie CCRC et le lycée a été observé.
- ✓ La **présence de composés de la famille des alcanes (n-décane, n-undécane) dans l'atelier usinage et la salle C2**. Les alcanes sont présents dans les solvants pour colles utilisés pour les sols plastique ou les meubles, vernis, cires.

Tableau 22 : Données obtenues pour les composés organiques volatils dans le lycée F

Lycée	Campagne	Salle	Composé	Concentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$
F	Chauffe	Salle 412	cyclohexane	37
		Salle 310	éthylbenzène	91
			2-éthyl-1-hexanol	74
			2-méthoxyéthanol	47
			2-éthoxyéthyl acétate	45
			éthyl acétate	38
			m- + p-xylène	38
			3-méthylpentane	33
			o-xylène	33
	Hors chauffe	Salle 412	cyclohexane	210

Pour le lycée F :

Lors de la **période de chauffe**, l'analyse complète des COV dans les salles 310, 401 et 412 a mis en évidence :

- ✓ La **présence d'éthylbenzène, d'éther de glycol (2-éthyl-1-hexanol, 2-méthoxyéthanol), de xylènes, d'esters (acétate) dans la salle 310**. L'éthylbenzène est lié au processus de combustion de matières organiques, à l'application de peintures, vernis, laques et à sa présence naturelle dans le pétrole brut. Les éthers de glycol sont présents dans les peintures, les laques, les vernis, les produits d'entretien. Les xylènes sont présents dans les peintures, les vernis, les colles et les insecticides. Les esters sont présents dans les peintures, les colles et vernis, les revêtements muraux et sols, les feutres.
- ✓ La **présence de cyclohexane dans la salle 412**. Le cyclohexane a été utilisé lors de TP de chimie dans cette salle.

Lors de la période hors chauffe, l'analyse complète des COV dans les salles 401 et 412 a mis en évidence:

- ✓ La **présence à fortes concentrations de cyclohexane dans la salle 412**. Un TP de chimie a eu lieu le 8 septembre utilisant du composé.

Tableau 23 : Données obtenues pour les composés organiques volatils dans le lycée H

Lycée	Campagne	Salle	Composé	Concentration $\mu\text{g}/\text{m}^3$
H	Chauffe	Salle des professeurs	2-méthylpentane	23

Pour le lycée H :

Lors de la **période de chauffe**, l'analyse complète des COV dans la salle des professeurs a mis en évidence:

- ✓ La **présence d'hexane et de ses dérivés** (2-méthylpentane) dans la **salle des professeurs**. L'hexane et ses dérivés sont des composés présents dans l'essence. La présence du parking des professeurs à côté de la salle peut être en lien avec la présence des composés dans la salle.

Le suivi dynamique des COV légers et lourds dans ces mêmes salles a permis de mettre en évidence la relation entre présence des élèves et augmentation des concentrations en COV. Les principales sources des COV dans les salles spécifiques sont les activités pratiquées dans les salles comme le confirme les mesures effectuées par tubes passifs.

À la suite des différentes présentations des résultats effectuées dans les lycées, des actions ont pu être entreprises afin de diminuer l'émission de polluants. Par exemple, dans le lycée E, l'utilisation des résines polyester contenant du styrène sur le plateau technique contigu aux salles de classes a été interdit durant les semaines de cours. Dans le lycée A, où de fortes concentrations de polluants liées à l'activité des ateliers de carrosserie et garage ont été observées, la réalisation de vidéos tutoriels sur les bonnes pratiques à avoir dans les ateliers a été actée ainsi que l'achat de différents dispositifs (aspiration de fumée gaz d'échappement à la source, systèmes mobiles d'aspiration et filtration des fumées de soudure, turbine d'aspiration de poussière dans l'air).

4.5. LE DIOXYDE D'AZOTE

Les résultats obtenus pour le dioxyde d'azote dans les lycées ont été reportés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 24 : Données obtenues pour le dioxyde d'azote dans les salles des lycées

Période	Nb. valeurs	Moyenne	Médiane	Max	Nombre de pièces inférieures à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Nombre de pièces supérieures à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Hors chauffe	32	6,4	4,4	26,9	30	2
Chauffe	32	9,8	7,6	36,5		
Annuelle	32	8,1	6,0	31,7		

Les valeurs observées dans les lycées sont faibles. La médiane s'élève à $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ce qui est moins élevé que lors de la campagne Lycées 2018/2019 ($12,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Cela s'explique par la proportion d'établissements ruraux (4/8) lors de cette campagne contrairement à la campagne Lycées 2018/2019 où 2 lycées sur 10 étaient dans un environnement rural. La valeur guide de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est dépassée dans 2 salles de classe ce qui représente 6% des pièces (13% lors de la campagne Lycées 2018/2019).

L'ensemble des résultats pour le dioxyde d'azote est disponible en ANNEXE 8.

Le graphique ci-après présente les résultats moyens obtenus pour chaque établissement :

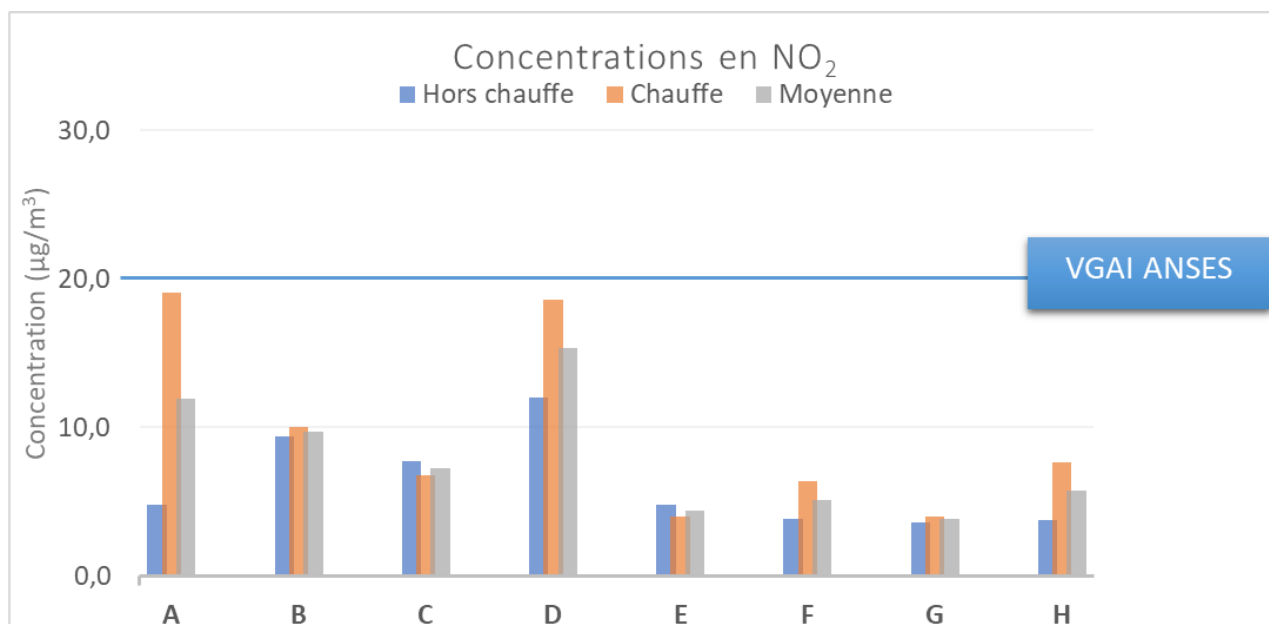


Figure 21 : Concentrations moyennes en dioxyde d'azote par établissement

Le lycée D présente la concentration moyenne la plus élevée. En effet, pour ce lycée une salle qui est du côté route dépasse la valeur guide de 20 µg/m³. L'environnement urbain dans lequel est situé le lycée avec une route à fort trafic explique ces résultats. Les concentrations mesurées à l'extérieur sont supérieures à celles de la salle de classe. L'aération et les phénomènes de transfert air extérieur/air intérieur sont les principales voies d'entrée de ce polluant. Dans ce lycée, la mise en place d'une stratégie d'aération en fonction des plages horaires (éviter les horaires de fort trafic routier) a été mis en place.

Le lycée A présente une concentration supérieure à la valeur guide de 20 µg/m³ dans une salle de cours dédiée à la mécanique en période de chauffe. La mise en route de voitures dans cette salle explique ces résultats. La réalisation de vidéos tutoriels sur les bonnes pratiques dans les ateliers va être effectué afin de réduire les concentrations observées.

4.6. LES POUSSIÈRES FINES

Dans le cadre de cette étude, 4 lycées ont été équipés d'analyseur de poussières pour une totalité de 11 salles. Les salles instrumentées faisaient l'objet de problématique de poussières avec des activités génératrices de poussières (ponçage, meulage...). Certaines données sont manquantes car les analyseurs ont été débranchés lors de la semaine de mesure.

Le suivi dynamique des PM2.5 a permis de mettre en relation les activités pratiquées dans les salles et l'augmentation des poussières fines dans l'air. Sur les 11 salles instrumentées, 6 présentes des dépassements de la valeur guide du HCSP à 50 µg/m³. Les dépassements peuvent aller de quelques minutes à plusieurs heures en fonction des salles. Pour la majorité des salles, les dépassements n'excèdent pas 30 min. L'aération naturelle ou mécanique suffit à réguler rapidement les concentrations en PM2,5 dans l'air. Une salle dans le lycée D montre des temps de dépassement de plusieurs heures parfois. Les sources sont des activités de type fonderie fine avec le meulage, fraisage, polissage, travail

du plâtre et de la résine et la fonderie de matériaux métalliques comme le laiton. Le système d'aspiration actuel n'est pas suffisant pour faire diminuer les PM_{2,5} présents dans l'air lorsque les activités de fonderie fine sont pratiquées. A la suite du diagnostic, des travaux vont être demandés afin de mettre en place des moyens d'aspiration efficaces.

4.7. LE RADON

Dans le cadre de cette étude, deux lycées ont fait l'objet d'analyse de radon étant dans des zones à potentiel radon de catégorie 3. Il s'agit des lycées G et H. Les mesures ont été effectuées en période en période de chauffe sur une durée d'environ 2 mois. **Ces résultats sont présentés à titre indicatif et ne substituent pas aux mesures réglementaires.**

Un dépassement du seuil de précaution de 300 Bq/m³ a été observé dans le lycée H dans un local peu utilisé (vestiaire des professeurs d'EPS). La problématique du radon était déjà connue dans l'établissement et des mesures réglementaires devaient être effectuées dans les prochains mois.

CONCLUSION

Les campagnes de mesures réalisées en 2022 dans 8 lycées de la région Grand Est ont permis de mettre en évidence les éléments suivants :

Pour les paramètres de confort :

- En période hors chauffe, des températures élevées dans de nombreuses salles de classe démontrant la **problématique du confort d'été**.
- Pour la campagne de chauffe, des températures élevées dans 2 lycées révèlent un problème de **surchauffe**. 3 salles ont, elles, des **températures inférieures à 18°C** dont 2 salles spécifiques (ateliers).
- Les taux d'humidité sont globalement assez faibles dans 17 salles présentant des **taux d'humidité inférieurs à 40%** ce qui peut provoquer des irritations et des gênes des voies respiratoires. Certaines salles de classe présentent toutefois une surchauffe.

Pour le confinement :

- Pour la campagne hors chauffe, aucunes salles de classe ne présentent un indice de confinement de 4 (qualifié de très élevé) ou 5 (qualifié d'extrême). Les températures clémentes ont favorisé l'ouverture des fenêtres.
- Pour la **période de chauffe, 9% des salles de classe ont un indice de 4**. Les problèmes de confinement se concentrent dans les salles de classe classiques.

Pour le formaldéhyde :

- Les valeurs mesurées pour le formaldéhyde sont globalement faibles. A noter qu'aucun dépassement de la valeur limite ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$) n'a été observé.
- La valeur guide $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a été dépassée dans 2 salles de cours. Les **valeurs plus fortes dans les salles de cours** ont été observées lors de la période hors chauffe. La formation de formaldéhyde par photochimie cumulée à son émission directe par des matériaux de construction par exemple et renforcée sous l'effet de la chaleur, permet d'expliquer ce résultat.

Pour le benzène :

- Les concentrations sont faibles pour l'ensemble des établissements avec des valeurs inférieures à la valeur limite de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cependant pour un lycée (A), un **dépassement de la valeur guide de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est observé dans 2 pièces**.
- Les valeurs les fortes ont été observées dans le lycée A en raison de la présence de **véhicules** avec des réservoirs partiellement remplis de carburant.

Pour les autres composés organiques volatils :

- Plusieurs composés ont été mis en évidence dans les salles dédiées à un enseignement spécifiques en lien avec les **travaux pratiques réalisés**.

- **Les valeurs les plus élevées** sont observées dans **les salles spécifiques** en lien avec la multiplicité de produits utilisés.
- Une forte concentration en **styrène** dans le lycée E a mis en évidence **le transfert entre deux bâtiments** du polluant lors de son utilisation par un centre de formation contigu au lycée.
- Lors de **travaux pratiques en chimie**, une forte concentration en **cyclohexane** a été observée dans le lycée F.

Pour le dioxyde d'azote :

- Alors que les valeurs sont modérées dans la majorité des établissements, le lycée A et le lycée D présentent des concentrations plus élevées dans 1 pièce chacun en lien avec la présence de **véhicules roulants** (Lycée A) et le **trafic routier à proximité** (lycée D).

Pour le radon :

- Une des valeurs est supérieure à 300 Bq/m³.

Les résultats obtenus dans les lycées **sont globalement satisfaisants mais certains points d'attention et de vigilance** ont été mis en évidence et font l'objet de recommandations transmises aux lycées. Ces éléments ont été exposés dans les rapports individuels et lors des comités de pilotage de chaque lycée, avec l'objectif de rédiger et mettre en place des plans d'actions en 2024 :

- Pour le confinement certains lycées mettent en place des **stratégies d'aération** et des politiques de sensibilisation alors que d'autres lycées s'orientent vers l'achat de capteurs et le traitement des données de ceux-ci.
- En ce qui concerne l'impact du trafic routier pour le lycée D, il sera **pris en compte dans la stratégie d'aération du lycée**.
- **Les salles spécifiques doivent faire l'objet d'une aération/ventilation particulière notamment lors de la réalisation des activités.**
- En ce qui concerne le lycée A et les dépassements en benzène et dioxyde d'azote observés dans les ateliers mécanique et carrosserie, une demande de travaux a été faite auprès de la région Grand Est afin d'améliorer la qualité de l'air. De même pour le lycée D, une demande de travaux a été formulée pour l'amélioration de l'aération dans la salle T020.
- Pour le lycée E et la présence de styrène due à une activité pratiquée dans des locaux de formation contigu au lycée, l'interdiction d'utiliser les produits contenant du styrène lors des semaines de cours a été mis en place.
- En ce qui concerne les travaux/chantier, une **vigilance sur les produits utilisés ainsi que sur les périodes de réalisation en lien avec l'occupation** est à avoir et est commune à tous les lycées.

Les points d'attention et préconisation soulevés lors de cette étude dans 8 lycées en complément de la précédente étude dans 10 lycées serviront de référence pour l'ensemble des lycées du Grand Est pour lesquels la surveillance de la qualité de l'air intérieur doit être mise en œuvre et concourront ainsi à améliorer la qualité de l'air intérieur pour les occupants.

ANNEXE 1

SOURCES D'EMISSION DES POLLUANTS

Les aldéhydes

Les aldéhydes sont des composés organiques comportant une double liaison entre un atome de carbone et un atome d'oxygène, l'atome de carbone étant lié exclusivement à des atomes d'hydrogène ou de carbone.

- **formaldéhyde** : produits de construction et de décoration contenant des colles ou des liants urée-formol (panneaux de particules, panneaux de fibres, panneaux de bois brut et aggloméré, parquets, laines minérales, moquettes, mobiliers, stratifiés...), peintures et colles en phase aqueuse, vernis, sources de combustion (fumée de tabac, encens, bougies, cheminées...), livres et magazines neufs, photocopieurs, imprimantes laser, produits d'entretien, désinfectants, vernis, colles, revêtements de sol ;

Le formaldéhyde est également omniprésent dans l'industrie de la finition textile (utilisation de résines, traitements pour en augmenter la résistance, brillance, empêcher le rétrécissement, faciliter le lavage...).

Le formaldéhyde peut également être formé par réaction chimique de l'ozone avec certains matériaux de construction et revêtements.

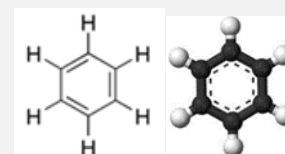
- **acétaldéhyde** : photochimie, fumées de tabac, encens, bougies, photocopieurs, panneaux de bois brut, panneaux de particules ;
- **benzaldéhyde** : peintures à phase solvant, photocopieurs, parquet traité ;
- **isovaléraldéhyde** : parquet traité, panneaux de particules ;
- **propionaldéhyde** : fumée de cigarettes, plantes, désodorisants, désinfectant (lingettes, produits liquides, gel...), peinture à phase solvant, conservateur dans des produits de type peinture, bois...
- **butyraldéhyde** : photocopieurs, imprimantes, laser, solvants.
- **valéraldéhyde** : livres et magazines neufs, peintures à phase solvant, panneaux de particules.
- **hexaldéhyde** : panneaux de particules, livres et magazines neufs, produits de traitement du bois, panneaux de bois brut, revêtements muraux comme la peinture à base de solvant, utilisation de produits ménagers, de parfums ou désodorisants d'intérieur...



Les autres COV (liste non exhaustive)

Les BTEX

Le **benzène**, le **toluène**, l'**éthylbenzène** et les **xylènes** regroupés sous le terme **BTEX** sont des hydrocarbures aromatiques gazeux composés d'un noyau aromatique et de ramifications, se formant naturellement lorsque des matières organiques (composées de carbone et d'hydrogène) sont exposées à des phénomènes de combustion ou de pyrolyse.



Aussi, leurs principales sources d'émissions sont la combustion de dérivés du pétrole (fioul, charbon, essence etc), l'évaporation de carburant (réservoirs automobiles, phases de stockage-transport-distribution), la fumée de cigarettes, la combustion de biomasse (bois pour le chauffage notamment). Mais chacun de ces composés peut être émis également par :

- **xylènes** : peintures, vernis, colles, insecticides.
- **éthylbenzène** : peintures, vernis, colles de moquettes, pesticides.
- **benzène** : synthèse chimique d'hydrocarbures aromatiques substitués (éthylbenzène, phénol, cyclohexane...), produits de bricolage, d'ameublement, de construction et de décoration, fumée de cigarette, encens, bougies parfumées, désodorisant.
- **toluène** : produits d'entretien, solvant organiques, peintures, vernis, colles, encres, colle de moquettes, désodorisants, tapis.

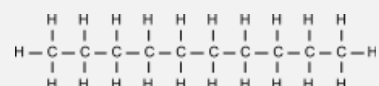
Autres hydrocarbures aromatiques :

- **Styrène** : matières plastiques, matériaux isolants.
- **1,2,4-triméthylbenzène et isomères** : intermédiaire de synthèse. Constituant de solvants pétroliers (white-spirit ordinaire, solvant naphta, solvants aromatiques, etc. ...) utilisés pour la formulation de diluants, peintures, vernis, encres, pesticides. Constituants de carburants et de goudrons.

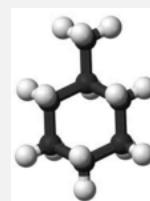
Alcanes :

Les alcanes sont des hydrocarbures constitués uniquement d'atomes de carbone (C) et d'hydrogène (H), liés entre eux par des liaisons simples.

- **n-heptane et isomères** : solvant pour colles, encres, caoutchoucs et matières plastiques. Solvant d'extraction.
- **n-décane** : white spirit, colles pour sol, cires, vernis à bois, sol, moquettes, tapis, huile pour parquet, solvant.



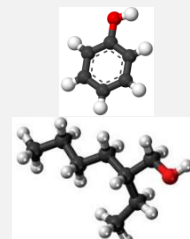
- **n-undécane** : white-spirit, colles pour sol, cires, vernis à bois, nettoyeurs pour sol, moquettes, tapis, huile pour parquet, solvant.
- **méthylcyclohexane** : un solvant des éthers de cellulose (les éthers de cellulose étant utilisés pour contrôler la viscosité d'un milieu, en tant qu'épaississants ou bien gélifiants par exemple dans l'industrie alimentaire, dans l'industrie pharmaceutique, dans les peintures, les colles ou encore les cosmétiques).



Alcools :

Un alcool est un composé organique dont l'un des carbones est lié à un groupement hydroxyle (-OH).

- **butanol** : solvant dans les industries des laques, peintures, vernis, encres et résines, solvant de nettoyage, produits dégraissants.
- **phénol** : utilisé dans l'industrie des matières plastiques, pour la fabrication de plastifiants, d'adhésifs, de durcisseurs, de dissolvants, d'isolants.
- **2-éthylhexanol** : l'utilisation la plus répandue est la fabrication du diester bis(2-éthylhexyl) phtalate (DEHP), un plastifiant.



Acétates (esters) :

- **n-butyl acétate** : solvant utilisé comme diluant pour peintures, encres d'imprimerie, colles, laques et vernis. Agent d'extraction dans l'industrie pharmaceutique. Solvant utilisé pour la fabrication de cuirs artificiels, plastiques, films photographiques. Arômes et parfums pour l'industrie alimentaire. Cosmétiques (dissolvant pour vernis à ongles...).

Ethers de glycols :

- **2-phénoxyéthanol** : solvant pour peintures, vernis, laques, encres d'imprimerie, colorants. Biocide pour produits ménagers et industriels.
- **2-butoxyéthanol** : Solvant dans l'industrie des peintures, vernis, encres d'imprimerie et dans l'industrie cosmétique. Constituant de produits divers : dégraissant. Produits d'entretien ménager et industriels. Produits utilisés dans l'industrie mécanique et métallurgique (lubrifiants, dégraissants...). Produits phytosanitaires : fongicides, herbicides. Produits de traitement des bois.

Terpènes :

- **alpha-pinène, limonène et autres terpènes** : désodorisants, parfums d'intérieur, produits d'entretien

ANNEXE 2

NATURE DU CONFINEMENT ET INFORMATION ASSOCIEES D'APRES L'INDICE ICONE

ICONE	nature du confinement	INFORMATIONS
0	Confinement nul	néant
1	Confinement faible	
2	Confinement moyen	
3	Confinement élevé	
4	Confinement très élevé	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.
5	Confinement extrême	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. 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. 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.

ANNEXE 3

RESULTATS POUR LES PARAMETRES DE CONFORT

		HORS CHAUFFE						CHAUFFE					
		Température (°C)			Humidité (%)			Température (°C)			Humidité (%)		
		Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max	Min	Moyenne	Max	Min
A	D4	19,6	21,7	17,1	64	78	47	20,4	22,2	17	42	57	26
	E3	21,5	24,5	17,9	63	72	47	21,6	24,4	14,8	35	63	23
	Meca1	17,5	20	15,9	62	70	48	20,8	23,4	13,5	32	44	21
	Carr1	20,8	20,9	20,7	48	48	47	18,3	21,1	13,7	30	39	22
B	Ex1/104	21,2	22,8	18	49	54,1	42,8	25,1	26,5	21,1	27,4	33,1	22,2
	Salle 3pp	22,2	23,6	20,2	42,9	51	37,1	21,8	22,2	21,2	34	34,4	32,5
	Atelier Chimie	20,1	20,5	19,7	51,8	56	49,1	18,5	19,2	17,5	46,4	54,9	38,2
	Atelier Carrosserie	19,8	20,7	16,6	45	56,5	37,8	17,1	17,7	16,1	37,9	42	31,3
C	A201	22,5	23,9	20,3	46,2	51,4	40,6	18,2	19,5	17,0	47,7	60,2	29,3
	A204	23,9	25,1	22,6	42,7	49,0	36,6	22,1	23,7	20,2	38,0	46,0	24,0
	B101	20,7	23,5	18,4	54,0	62,8	46,1	19,9	22,5	17,5	45,2	61,0	26,0
	Foyer élèves	23,7	25,1	22,6	41,7	48,2	33,7	20,3	22,0	17,8	49,7	63,9	26,9
D	L113	26,3	29,3	22,6	55,4	64,1	46,8	21,9	23,8	18,7	46	54,8	32,6
	L130	25,7	28,5	23,1	55,6	64,8	49,4	19,8	23,5	13,5	44,1	61,7	34,2
	T020	25,1	26,4	24	53,9	56,6	50,3	23,3	24,6	21,4	37,1	44,1	29,3
	T132	25,7	29,5	21,5	56,6	74,7	44,9	22,1	24,7	18,2	41,2	44,6	34,4
E	E27	26,9	29,8	24,9	48,2	59,7	38,5	22,5	26,3	18,1	41,1	48,8	32,8
	I211	24,5	24,5	24,5	41,1	44,7	33,1	23,6	25,2	21	41,1	44,7	33,1
	Atelier	27,5	31,3	21	45,5	56,9	32,7	17,4	20,7	16	47,1	51,4	35,7
	C2	25,3	26,8	24	53,6	57	50,9	19,8	21,2	17,4	43,6	51,6	37,2
F	101	23,9	26,9	20,6	62,3	69,4	52	22,4	25,7	16,2	27,9	38,2	20,3
	310	27,4	29	24	55,5	62,5	46,7	22,9	24,8	19,8	31,1	39,9	21,6
	401	26,4	28,2	22,1	56	72,7	48,4	22	23,7	20,2	28,6	37,3	22,3
	412	27,5	29,9	25,3	48,5	51,6	44,4	23,2	24	22,1	24,6	34,8	17,9
G	Réfectoire	24	25,2	22,7	44,2	53	32	20,2	21,1	19,6	43,3	54	33
	13	22	23,9	19,5	50,8	62	46	21,1	22,1	18,4	34	44	27
	36	21,5	23,2	19,9	53,6	65	48	18,2	19,3	15,3	44,1	57	35
	27	23,9	25,4	22,7	47,8	57	43	20,7	21,5	19	36	46	28
H	B24	21,1	23,2	18,8	45,6	52	35	17,7	19,8	15,1	46,7	55,5	37,3
	L34	20,9	23,5	19,3	49,1	56,2	43,6	19,3	21,9	15,9	47,3	58,6	33,1
	Réfectoire	22,6	24,5	19,8	39,7	46,9	30,1	20,5	22,7	19	32,8	43,8	24,1
	Salle des professeurs	20,8	22,6	20	49,1	52,3	45,3	18,6	19,1	17,7	39,3	44,6	34,1

ANNEXE 4 : RESULTATS POUR LE CONFINEMENT

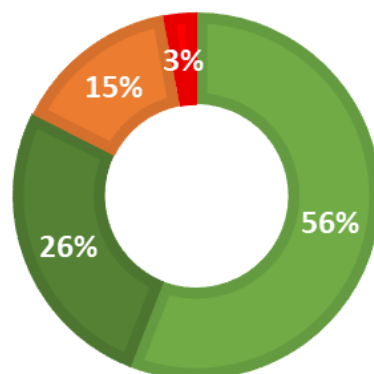
		HORS CHAUFFE	CHAUFFE
		ICONE	ICONE
A	D4	3	4
	E3	3	2
	Meca1	1	1
	Carr1	0	0
B	Ex1/104	3	0
	Salle 3pp	0	0
	Atelier Chimie	0	0
	Atelier Carrosserie	0	0
C	A201	0	1
	A204	1	2
	B101	3	3
	Foyer élèves	1	2
	Salle des professeurs	0	0
D	L113	1	4
	L130	1	2
	T020	0	1
	T132	0	2
	FabLab	1	2
E	E27	0	2
	I211	0	2
	Atelier	0	0
	C2	0	1
F	101	2	2
	310	3	0
	401	2	1
	412	1	0
G	Réfectoire	0	1
	13	0	2
	36	1	3
	27	0	1
H	B24	2	2
	L34	2	4
	Réfectoire	1	0
	Salle des professeurs	0	1
	Gymnase	Non instrumenté	0

ANNEXE 5 : RESULTATS POUR LE CONFINEMENT AVEC LA NOUVELLE REGLEMENTATION

		HORS CHAUFFE	CHAUFFE
		ICONE	ICONE
A	D4	3	4
	E3	4	3
	Meca1	1	1
	Carr1	1	0
B	Ex1/104	3	1
	Salle 3pp	1	0
	Atelier Chimie	0	0
	Atelier Carrosserie	0	0
C	A201	1	2
	A204	2	2
	B101	3	4
	Foyer élèves	2	3
	Salle des professeurs	0	0
D	L113	2	4
	L130	1	3
	T020	0	2
	T132	0	2
	FabLab	1	2
E	E27	3	3
	I211	0	3
	Atelier	0	0
	C2	0	2
F	101	2	3
	310	1	4
	401	1	2
	412	0	2
G	Réfectoire	0	2
	13	0	2
	36	1	4
	27	0	2
H	B24	2	3
	L34	2	5
	Réfectoire	0	3
	Salle des professeurs	2	3
	Gymnase	Non instrumenté	3

CAMPAGNES EN CHAUFFE

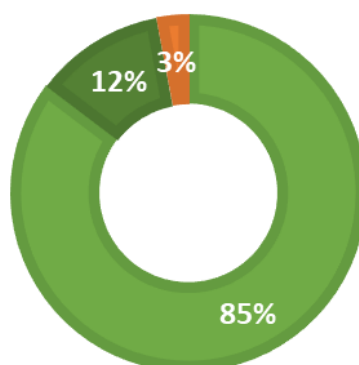
Valeur de l'indice ICONE par salle



■ indices de 0 à 2 ■ indice 3 ■ indice 4 ■ indice 5

CAMPAGNES HORS CHAUFFE

Valeur de l'indice ICONE par salle



■ indices de 0 à 2 ■ indice 3 ■ indice 4 ■ indice 5

ANNEXE 6

RESULTATS POUR LE FORMALDEHYDE

		HORS CHAUFFE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CHAUFFE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MOYENNE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
A	D4	9,8	6,9	8,4
	E3	24,9	12,4	18,7
	Meca1	7,9	10,3	9,1
	Carr1	19,1	9,4	14,3
B	Ex1/104	11,6	8,1	9,9
	Salle 3pp	8,7	5,8	7,2
	Atelier Chimie	1,7	2,8	2,3
	Atelier Carrosserie	6,0	4,2	5,1
C	A201	20,5	15,5	18,0
	A204	14,6	13,0	13,8
	B101	19,1	10,7	14,9
	Foyer élèves	8,5	8,0	8,3
D	L113	13,2	6,9	10,0
	L130	12,0	3,9	8,0
	T020	15,6	11,5	13,6
	T132	22,3	8,6	15,4
E	E27	17,5	8,4	12,9
	I211	16,2	7,6	11,9
	Atelier	14,9	8,1	11,5
	C2	26,3	17,9	22,1
F	101	11,4	2,9	7,2
	310	38,4	6,3	22,4
	401	33,8	4,8	19,3
	412	5,2	3,5	4,3
G	Réfectoire	14,8	9,4	12,1
	13	24,9	18,3	21,6
	36	24,9	21,7	23,3
	27	26,7	13,9	20,3
H	B24	8,4	5,2	6,8
	L34	5,9	5,5	5,7
	Réfectoire	2,2	2,2	2,2
	Salle des professeurs	7,6	4,7	6,1

ANNEXE 7

RESULTATS POUR LE BENZENE

		HORS CHAUFFE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CHAUFFE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MOYENNE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
A	D4	1,0	2,0	1,5
	E3	1,0	1,9	1,4
	Meca1	2,0	5,0	3,5
	Carr1	2,5	2,0	2,3
B	Ex1/104	0,7	1,6	1,1
	Salle 3pp	1,5	2,2	1,9
	Atelier Chimie	0,6	2,3	1,5
	Atelier Carrosserie	1,5	2,4	2,0
C	A201	0,3	0,9	0,6
	A204	0,6	0,9	0,8
	B101	0,6	0,9	0,8
	Foyer élèves	0,6	0,9	0,7
D	L113	0,9	1,6	1,2
	L130	0,4	2,5	1,5
	T020	0,4	0,9	0,7
	T132	2,1	1,1	1,6
E	E27	0,4	1,0	0,7
	I211	0,3	1,1	0,7
	Atelier	0,9	0,9	0,9
	C2	0,4	0,9	0,7
F	101	0,4	1,5	0,9
	310	0,4	0,9	0,6
	401	0,5	1,3	0,9
	412	0,4	2,4	1,4
G	Réfectoire	0,4	1,0	0,7
	13	0,4	0,9	0,6
	36	0,4	1,2	0,8
	27	0,5	1,1	0,8
H	B24	0,7	0,9	0,8
	L34	0,9	0,6	0,8
	Réfectoire	1,1	0,6	0,9
	Salle des professeurs	0,5	0,8	0,7

ANNEXE 8

RESULTATS POUR LE DIOZYDE D'AZOTE

		HORS CHAUFFE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CHAUFFE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MOYENNE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
A	D4	3,6	10,0	6,8
	E3	4,4	13,8	9,1
	Meca1	5,7	36,5	21,1
	Carr1	5,5	15,9	10,7
B	Ex1/104	11,0	10,2	10,6
	Salle 3pp	8,7	11,8	10,3
	Atelier Chimie	9,3	8,7	9,0
	Atelier Carrosserie	8,7	9,5	9,1
C	A201	6,5	5,8	6,1
	A204	8,0	6,9	7,4
	B101	8,9	6,5	7,7
	Foyer élèves	7,7	8,0	7,9
D	L113	26,9	30,9	28,9
	L130	7,4	15,9	11,6
	T020	3,7	13,1	8,4
	T132	10,3	14,5	12,4
E	E27	3,5	4,1	3,8
	I211	3,8	2,9	3,3
	Atelier	6,1	4,6	5,3
	C2	6,0	4,5	5,2
F	101	3,6	6,8	5,2
	310	3,5	6,8	5,2
	401	4,3	6,4	5,4
	412	3,9	5,7	4,8
G	Réfectoire	3,7	4,3	4,0
	13	<LQ*	<LQ*	<LQ*
	36	3,4	3,7	3,5
	27	3,8	4,1	3,9
H	B24	4,0	7,8	5,9
	L34	3,2	7,6	5,4
	Réfectoire	3,7	6,6	5,2
	Salle des professeurs	4,3	8,7	6,5

*inférieur à la limite de quantification



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