

2025



Evaluation de la qualité de l'air intérieur au sein d'un bâtiment de l'Université de Lorraine à Epinal



CONDITIONS DE DIFFUSION

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

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

PERSONNES EN CHARGE DU DOSSIER

Rédaction : *Aline LANGENFELD, Ingénieure d'Etudes Unité Etudes, Programmes et Europe*

Relecture : *Agnès Bertrand, Chargée d'Etudes Unité Etudes, Programmes et Europe*

Approbation : *Raphaèle DEPROST, Responsable Unité Etudes, Programmes et Europe*

Référence du modèle de rapport : SURV-FE-026

Référence du projet : 901131

Rapport intermédiaire : 901131_Rapport_1_16022026

Date de publication : 20/04/2026

ATMO GRAND EST

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

Tél : 03 69 24 73 73

Mail : contact@atmo-grandest.eu

SOMMAIRE

INTRODUCTION	3
I. POLLUANTS MESURES	4
II. DESCRIPTIF DU BATIMENT	5
1. SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	5
2. CARACTERISTIQUE DU BATIMENT.....	6
III. STRATEGIE DE MESURE	6
1. METHODE DE MESURE	6
2. LIEU DE MESURE	6
3. PERIODES DE MESURE	7
IV. RESULTATS DE L'ÉTUDE	7
1. CONFORT ET RENOUVELLEMENT D'AIR DANS LE BATIMENT	7
a. <i>Température et humidité relative</i>	7
b. <i>Confinement</i>	9
2. NIVEAUX DE POLLUTION DANS LE BATIMENT ET SOURCES POTENTIELLES	10
a. <i>Les aldéhydes</i>	10
b. <i>Les composés organiques volatils</i>	11
c. <i>Les moisissures</i>	13
CONCLUSION	15
PERSPECTIVES	15

INTRODUCTION

Dans le cadre de sa mission de surveillance et d'amélioration de la qualité de l'air, ATMO Grand Est a été sollicitée par l'université de Lorraine pour intervenir sur un cas spécifique : **l'apparition d'odeurs persistantes dans un bureau** au sein de l'IUT Hubert Curien à Epinal. Ce bureau présentait des problèmes d'humidité élevée, mais des travaux ont été effectués et une ventilation mécanique a été mise en place afin de réguler celle-ci.

Afin d'évaluer la qualité de l'air intérieur (QAI), d'identifier la source des odeurs et de disposer de recommandations pour l'améliorer, l'Université de Lorraine a souhaité mettre en place un diagnostic. L'objectif a été notamment de vérifier si la QAI est conforme aux valeurs de référence en vigueur.

Ce rapport présente les résultats de la campagne de mesures, permettant de répondre aux objectifs fixés.

I. POLLUANTS MESURES

La qualité de l'air intérieur fait l'objet de nombreuses études dans différents lieux de vie, tels que les habitations, les écoles ou les bureaux. Elle se distingue de la pollution atmosphérique extérieure par la composition spécifique des polluants présents, principalement sous forme gazeuse. Les Composés Organiques Volatils (COV) constituent une part importante de ces polluants et regroupent de nombreuses substances de familles chimiques distinctes. Parmi elles, certains aldéhydes, comme le formaldéhyde, ainsi que des hydrocarbures aromatiques tels que le benzène, le toluène, l'éthylbenzène et les xylènes (appelés BTEX), sont particulièrement significatifs. Les COV incluent également des terpènes, cétones, alcools, éthers de glycol et esters. Ces composés peuvent provenir de multiples sources, telles que les matériaux de construction, les produits de décoration, les mobiliers, les produits d'entretien, les peintures, les vernis, les colles, les revêtements de sols ou encore les appareils à combustion (voir ANNEXE 1). Les valeurs de référence sont présentées en ANNEXE 2.

Composés organiques volatils

Parmi ces COV, deux composés suscitent un intérêt particulier en raison de leurs effets sur la santé : le **formaldéhyde** et le **benzène**. Ces deux substances sont classées cancérogènes avérées par le CIRC^{1,2} (groupe 1). Le formaldéhyde est surtout associé à des irritations oculaires et respiratoires, mais une exposition chronique augmente aussi le risque de cancers des voies respiratoires supérieures. Le benzène, de son côté, est reconnu pour ses effets sur le sang et la moelle osseuse, pouvant provoquer des maladies graves comme certaines leucémies. Les études épidémiologiques ont permis à l'ANSES³ 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 (décret n°2022-1690 du 27 décembre 2022 modifiant le décret n° 2012-14 du 5 janvier 2012 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).

Dioxyde de carbone et paramètres de confort

Un indicateur indirect du renouvellement de l'air est la concentration en **dioxyde de carbone (CO₂)**. Bien que le CO₂ ne soit pas directement nocif aux concentrations rencontrées dans les bâtiments, son accumulation indique un confinement important et peut refléter la présence accrue d'autres polluants. Des études ont montré qu'un confinement élevé peut être associé à une prévalence accrue de symptômes respiratoires, d'inflammations ou de gênes sur la concentration et la vigilance⁴.

Les conditions intérieures telles que la **température**, l'**humidité relative** et la **ventilation** influencent fortement la concentration et le devenir des polluants. Une ventilation efficace permet de réduire l'accumulation de polluants et de maintenir un environnement plus sain, tandis qu'un confinement ou une mauvaise ventilation peut entraîner une exposition prolongée et des effets sanitaires potentiels (diminution des performances des élèves⁵).

¹ Benzene, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 120, 2018

² Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 88, 2006

³ ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail), 2016. Qualité de l'air intérieur : repères sanitaires pour les Composés Organiques Volatils, Rapport d'expertise collective.

⁴ Concentration de CO₂ dans l'air et effets sur la santé, ANSES, Juillet 2013

⁵ The relationship between classroom temperature and children's performance in school, P. Wargocki, 2019

II. DESCRIPTIF DU BATIMENT

1. Situation géographique

L'IUT Hubert Curien se situe à Epinal, en zone urbaine.

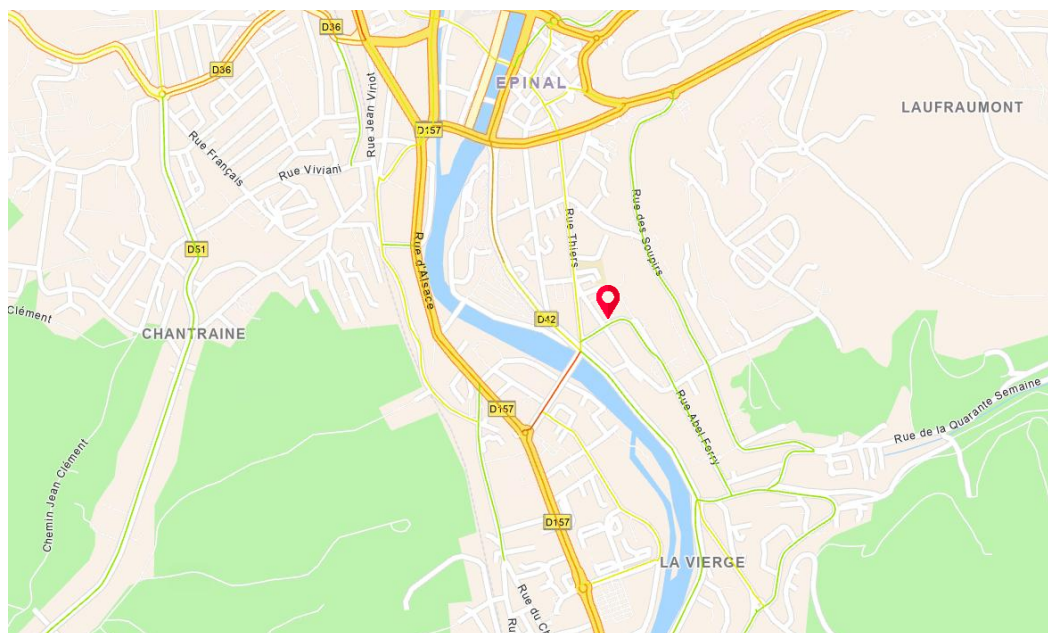


Figure 1 : Situation géographique de l'établissement

Le tableau ci-dessous présente les principales sources potentielles de pollution à proximité du site étudié.

Informations	
Axe routier important à moins de 200 m (Trafic Moyen Journalier Annuel > 7000 véhicules/jour) ?	NON
Parking à trafic important à moins de 200 m (> 1000 places) ?	NON
Parking garages souterrains ou rampe d'accès, attenante (ou dessous) à l'établissement ?	NON
Zone industrielle à moins de 1 km ?	NON
Station-service à moins de 200 m ?	NON
Pollution de sol suspectée ?	NON

Tableau 1 : Informations sur l'environnement géographique de l'établissement

2. Caractéristique du bâtiment

Année de construction	Typologie	Chauffage	Ventilation	Fenêtres	Rénovation
Environ 1900	Bâtiment en dur	Réseau urbain (eau chaude)	Centrale de traitement d'air	Double vitrage	Extension de l'établissement en 1993

Tableau 2 : Caractéristiques du bâtiment

III. STRATEGIE DE MESURE

1. Méthode de mesure

Le tableau ci-dessous précise les mesures effectuées pour chaque pièce. Une description des techniques de mesure est disponible en ANNEXE 3 :

Bâtiment	Pièce	Aldéhydes (dont formaldéhyde)	Composés Organiques Volatils	BTEX	Dioxyde de carbone, température et humidité	Moissures
Bâtiment principal	Bureau (odeur)	X	X		X	X
	Bureau (témoin)	X	X		X	X
Extérieur				X		X

Tableau 3 : Stratégie de mesures

Les paramètres de confort, le dioxyde carbone, les aldéhydes et les composés organiques volatils (COV) ont été mesurés dans les 2 pièces. Pour les composés organiques volatils (COV), les 10 COV majoritaires seront analysés ainsi que les BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes). Un prélèvement en air extérieur sera également réalisé (uniquement pour les BTEX) afin d'appréhender les transferts de l'extérieur vers l'intérieur.

2. Lieu de mesure

Les prélèvements ont eu lieu dans la salle impactée par l'odeur (bureau QLIO), ainsi que dans une salle témoin non impactée attenante (bureau directrice).

Le tableau ci-dessous détaille les différentes pièces investiguées par établissement.

Pièce	Revêtement sol	Revêtement mur	Revêtement plafond	Mobilier	Remarque
Bureau QLIO	Parquet	Toile de verre + peinture	Faux plafond	Bois aggloméré	Rénovation 2024
Bureau directrice	PVC	Toile de verre + peinture	Faux plafond	Bois aggloméré	

Tableau 4 : Pièces sélectionnées

Bureau QLIO



Bureau directrice



Figure 2 : Photos des pièces instrumentées

3. Périodes de mesure

La campagne de mesures a été réalisée du 8 au 12 décembre 2025.

IV. RESULTATS DE L'ÉTUDE

1. Confort et renouvellement d'air dans le bâtiment

a. Température et humidité relative

Le confort hygrothermique (température et humidité relative) est subjectif et dépendant d'autres paramètres (vitesse de l'air, habillement...) mais il est possible de définir des plages jugées acceptables.

Le ministère de la santé, préconise un taux optimal d'humidité relative dans l'air entre 40 et 60 %, et une température s'élevant entre 18° et 22°C. L'INRS préconise dans les bureaux en période hivernale, une température entre 21 et 23°C.

Une humidité trop faible (<30%) peut donner une sensation de sécheresse gênante sur les plan respiratoire, cutané et oculaire. **A l'inverse une humidité relative trop importante (>70%) peut favoriser le développement de moisissures.**

Sites	Température (°C)			Humidité relative (%)		
	Moyenne	Maximum	Minimum	Moyenne	Maximum	Minimum
Bureau QLIO	16,9	18,3	16,0	61	67	54
Bureau directrice	17,3	19,1	16,4	69	73	56
Extérieur	9,6	19,9	4,2			

Tableau 5 : Résultats des températures et humidités relatives relevées

En raison de la faible fréquentation des pièces, les valeurs ont été calculées sur l'ensemble de la période de mesure, en intégrant toutes les données disponibles.

Les températures mesurées sont relativement faibles pour des bureaux, ce qui s'explique par la faible occupation des locaux. En revanche, lors des périodes de présence, une augmentation des températures est observée. Un bon réduit nocturne (réduction de la température pendant la nuit afin de réduire la consommation de chauffage) est également mis en évidence, permettant de limiter les consommations énergétiques tout en maintenant un fonctionnement adapté du bâtiment.

Les humidités relatives, quant à elles, se situent dans la limite haute des préconisations. Une attention particulière devra toutefois être portée afin d'éviter des niveaux trop élevés, susceptibles de favoriser le développement de moisissures et de champignons, notamment en cas de ventilation insuffisante ou de conditions climatiques défavorables. Une augmentation de la température permettrait un assèchement des pièces.

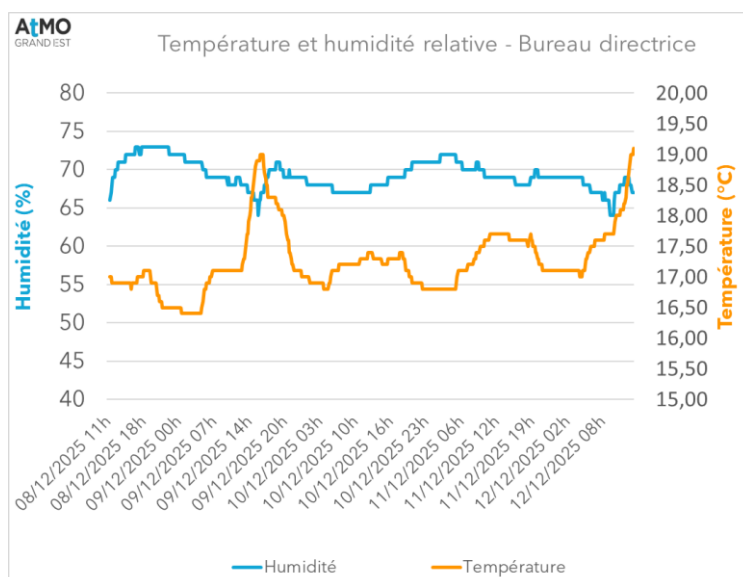
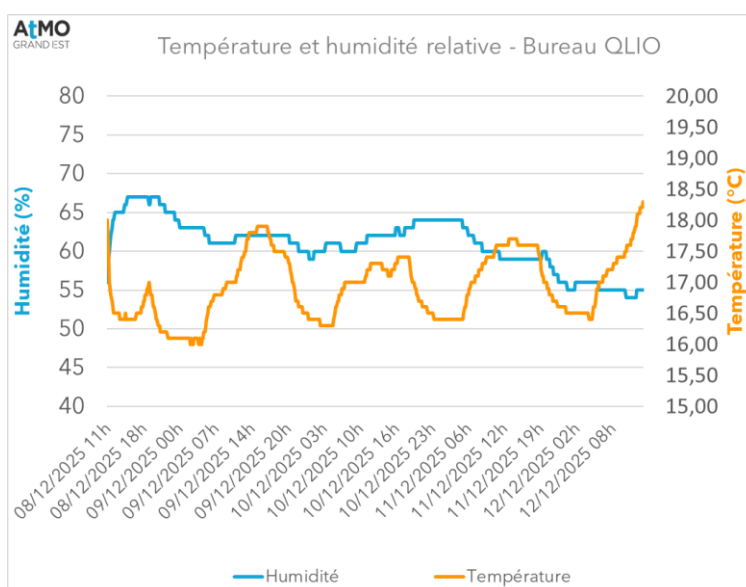
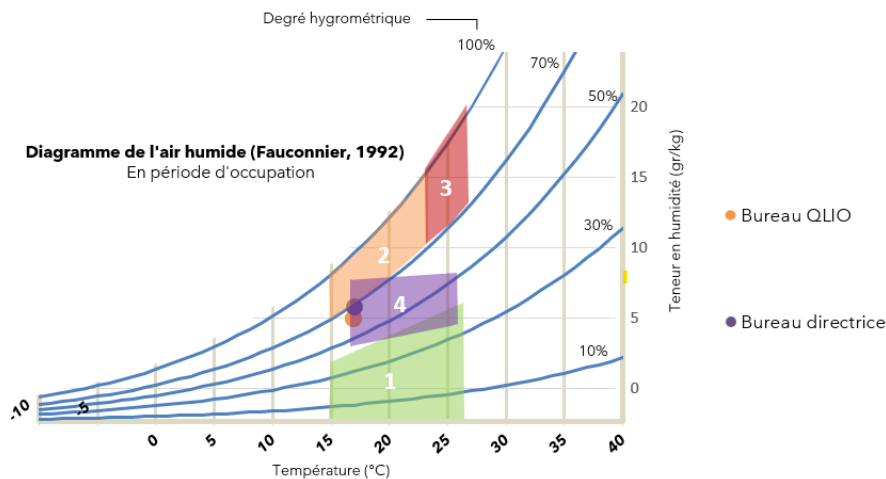


Figure 3 : Variation de la température et de l'humidité relative dans les 2 pièces



1 : Zone à éviter vis-à-vis des problèmes de sécheresse.

2 et 3 : Zones à éviter vis-à-vis des développements de bactéries et de micro-champignons.

3 : Zone à éviter vis-à-vis des développements d'acariens.

4 : Zone de bon confort

Figure 4 : diagramme de Fauconnier

Les pièces se situent à la limite de la zone 4 de bon confort hygrothermique en raison de l'humidité relative élevée et de températures faibles.

b. Confinement

Un indicateur du confinement est la mesure du dioxyde de carbone (CO_2). En effet, émis par la respiration des personnes présentes, son accumulation au sein de locaux traduit le manque de renouvellement de l'air.

La concentration en CO_2 dans les pièces dépend de plusieurs paramètres, notamment de l'efficacité du système de ventilation en place, de la fréquence et de la durée d'aération par ouverture des fenêtres et portes, ainsi que du nombre d'occupants présents simultanément dans la pièce.

Le règlement sanitaire départemental (RSD) indique de ne pas dépasser dans un espace clos **1000** parties par million (ppm) de CO_2 avec une tolérance jusqu'à **1300** ppm pour les locaux non-fumeurs moins pollués.

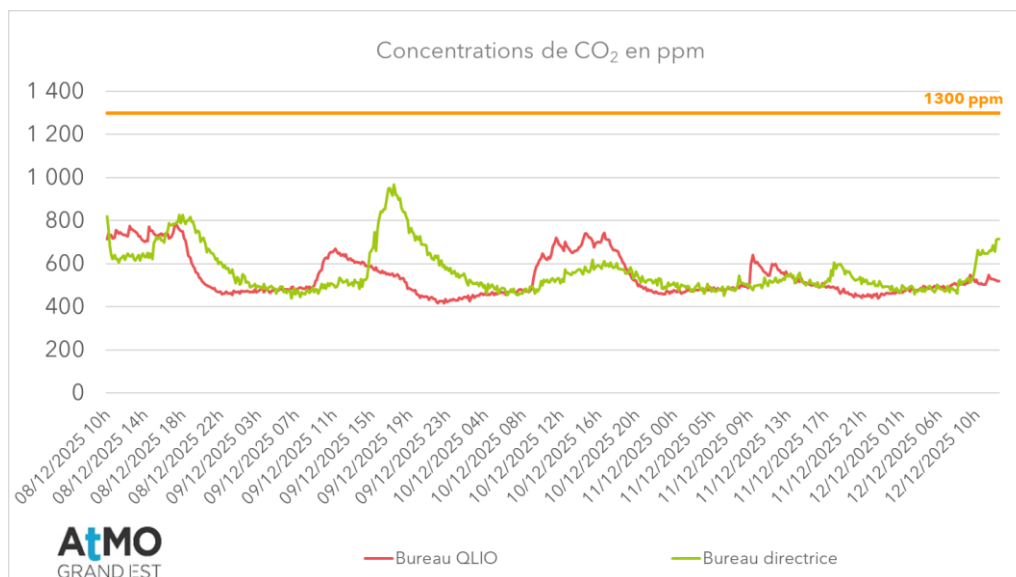


Figure 5 : Variation de la concentration de CO_2 pour les 2 pièces instrumentées

- Le bureau QLIO a été très peu occupée pendant la semaine de mesure. Une augmentation des concentrations en CO₂ est toutefois observable lors de son occupation (par exemple le 08/12 de 16h à 20h). La valeur maximale enregistrée est de 784 ppm, avec une moyenne hebdomadaire de 539 ppm. La pièce ne présente pas de problème de confinement de l'air, ce qui est cohérent avec la faible occupation des locaux.
- Dans le bureau de la directrice, des variations de concentrations en CO₂ sont également observées lors de l'occupation. La valeur maximale relevée est inférieure au seuil fixé par le RSD (1300 ppm) comme pour l'autre bureau (966 ppm). Il intervient lors de la présence de 2 personnes dans la pièce. La pièce ne présente pas de problème de confinement de l'air, ce qui est cohérent avec la faible occupation des locaux.

2. Niveaux de pollution dans le bâtiment et sources potentielles

a. Les aldéhydes

Les aldéhydes présents en air intérieur proviennent notamment des matériaux de construction, des meubles, des produits ménagers, ainsi que des processus de cuisson ou de combustion. Ils incluent des composés comme le formaldéhyde, l'acétaldéhyde ou le benzaldéhyde, fréquemment émis par les colles, résines, peintures et vernis. Leur présence peut entraîner des effets sur la santé tels qu'une irritation des yeux, du nez et de la gorge, des maux de tête ou, pour certains aldéhydes très réactifs, des effets à plus long terme sur le système respiratoire. Une bonne ventilation et le choix de matériaux faibles émetteurs sont essentiels pour réduire leur concentration dans les espaces clos.

Le **formaldéhyde** est soumis à des valeurs guides réglementaires fixées par le décret n° 2011-1727, avec **une valeur limite de 30 µg/m³ depuis 2015 et un plafond de 100 µg/m³**. Il est classé comme **cancérogène certain par le CIRC (Centre international de recherche sur le cancer)** et est également irritant pour les voies respiratoires. Les niveaux de formaldéhyde présentent souvent un profil saisonnier, avec des concentrations plus élevées en été. Ce polluant est inclus dans la réglementation des établissements recevant du public (ERP) selon le décret n° 2011-1728.

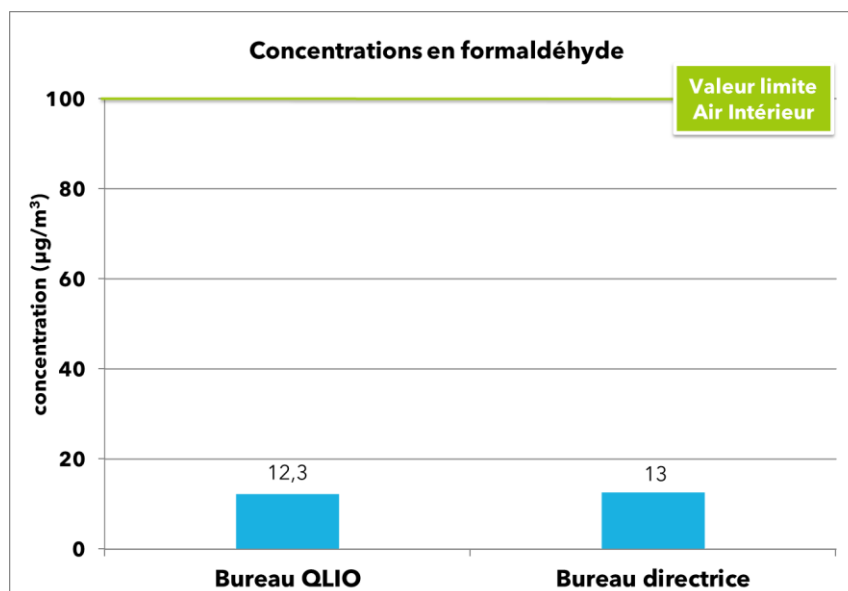


Figure 6 : Concentration en formaldéhyde

Le tableau ci-dessous présente les concentrations retrouvées en aldéhydes dans les 2 pièces investiguées :

Concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Bureau QLIO	Bureau directrice	Valeur guide air intérieur	Campagne européenne Médiane*
Formaldéhyde	12,3	12,6	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	7,5
Acétaldéhyde	2,5	2,4	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	4,5
Hexaldéhyde	3,0	2,9	/	/
Propionaldéhyde	1,6	1,3	/	1,2
Butyraldéhyde	2,5	2,5	/	/
Benzaldéhyde	0,4	0,4	/	/
Valéraldéhyde	0,1	0,1	/	/

Tableau 6 : Concentrations en aldéhydes

- Les **concentrations en formaldéhyde** mesurées dans les bureaux **sont supérieures à la médiane retrouvée dans la campagne européenne** « bureaux » en hiver. Les concentrations sont cependant **inférieures à la valeur guide en air intérieur** fixée à 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (comparaison présentée à titre indicatif car une seule phase de mesure a été réalisée) et **inférieures à la valeur limite** réglementaire de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le formaldéhyde en intérieur résulte principalement des produits de construction et de décoration contenant des composés à base de formaldéhyde (notamment les colles et liants à base d'urée-formol). Le mobilier en bois aggloméré présent dans les bureaux ainsi que la colle utilisée pour le sol PVC dans le bureau de la directrice pourraient être les sources de formaldéhyde.
- Les **concentrations d'acétaldéhyde** sont également **inférieures à celles retrouvées lors de la campagne européenne**.
- En revanche, les **concentrations en propionaldéhyde** dans le bâtiment sont **supérieures à celles retrouvées lors de la campagne européenne**. Le propionaldéhyde est émis principalement par les matériaux de construction ou d'ameublement notamment les peintures, colles, isolants...
- Les niveaux des autres aldéhydes (hexaldéhyde, butyraldéhyde, benzaldéhyde et valéraldéhyde) sont considérés comme faibles à modérés.

b. Les composés organiques volatils

Les Composés Organiques Volatils (COV) regroupent une multitude de familles chimiques (hydrocarbures, terpènes, éthers de glycol, alcool, composés chlorés...). Les COV sont souvent plus nombreux et plus concentrés à l'intérieur qu'à l'extérieur, en lien avec la multiplicité des sources présentes.

Dans l'air intérieur, les COV sont émis par les produits de décoration et de construction, les produits d'entretien, les peintures à phase solvant, les colles, les vernis, le tabagisme, les désodorisants... et peuvent être des polluants secondaires produits par réaction chimique. L'environnement extérieur (industries, chauffages, trafic routier...) peut également influencer les concentrations de certains COV (le benzène par exemple).

Au cours de la campagne, les 10 COV (composés organiques volatils) majoritaires ont été recherchés ainsi que les BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène, (m+p) xylènes et o-xylène).

Le **benzène** est mesuré en air intérieur car **classé cancérigène avéré** (groupe 1) par le **Centre International de Recherche sur le Cancer** (CIRC). Il dispose de **valeurs guides réglementaires** établies par décret (2022-1690) à 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Il dispose également d'une **valeur limite de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Au même titre que le formaldéhyde, ce polluant est intégré dans le cadre de la surveillance réglementaire dans certains ERP (Etablissement Recevant du Public - décret n°2022-1690).

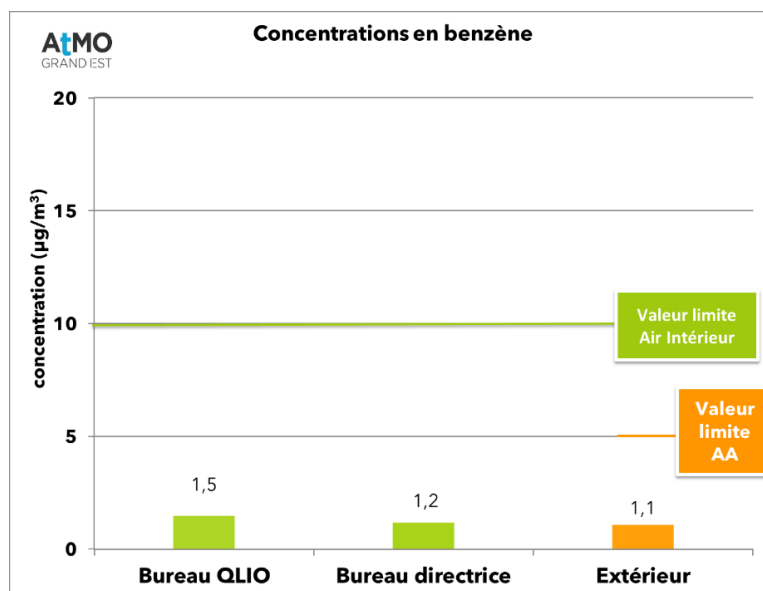


Figure 7 : Concentration en benzène

Concentrations en µg/m ³	Bureau QLIO	Bureau directrice	Valeur guide air intérieur	Campagne européenne Médiane*	Extérieur
Benzène	1,5	1,2	10 µg/m ³	1,8	1,1
Toluène	6,4	10,2	20 000 µg/m ³	3,3	6,4
Ethylbenzène	< 0,3 *	0,3	/	1	< 0,3 *
o-Xylène	0,4	0,4	200 µg/m ³	2,2	< 0,3 *
(m+p) Xylène	0,9	1,3	200 µg/m ³	2,2	< 0,5 *
Benzaldéhyde	0,4	0,9	/	/	/
1-Methyl-4-(1-méthylethényl)-benzène	0,1	1,2	/	/	/
2-Méthyl-butane	0,3	0,3	/	/	/
Acétate de butyle	0,1	1,1	/	/	/
Acide acétique	5,4	5,4	/	/	/
Hexaméthylcyclotrisiloxane	0,1	1,1	/	/	/
n-Pentane et isomères	0,5	0,3	/	/	/
p-Cymène	0,2	1,1	/	/	/
Styrène	0,2	0,6	/	/	/

Tableau 7 : Concentrations en aldéhydes

* < LQ : valeur inférieure à la limite de quantification

Les concentrations mesurées dans le bureau QLIO ne montrent aucune particularité notable par rapport à celles du bureau de la directrice ou de l'extérieur. Les valeurs observées pour le benzène, l'éthylbenzène et le o-xylène sont du même ordre de grandeur à l'intérieur comme à l'extérieur. Cela signifie que les composés détectés proviennent principalement de sources extérieures. En revanche, cette tendance ne s'observe pas pour le toluène dans bureau de la directrice, où la concentration est légèrement supérieure à l'extérieur. Cette spécificité n'est toutefois pas

retrouvée dans le bureau QLIO, où les niveaux restent comparables aux valeurs extérieures. Concernant le (m+p) xylène, les concentrations mesurées en intérieur sont supérieures à celles relevées à l'extérieur. Elles sont néanmoins faibles. Ce composé est émis des peintures, vernis et colles.

Dans l'ensemble, **aucune accumulation spécifique de COV n'est observée dans le bureau QLIO**. Le **toluène** est le seul composé dont les concentrations dépassent légèrement les valeurs médianes européennes habituellement mesurées dans les bureaux, tout en restant **très largement en dessous de sa valeur guide**. Ce composé est émis des peintures, vernis, colles ou mastics siliconés utilisés dans le bâtiment.

Cependant, cet élément ne permet pas d'expliquer l'odeur persistante signalée dans le bureau QLIO : le bureau de la directrice, où **aucune gêne olfactive** n'est rapportée, présente pourtant une concentration en toluène plus élevée que celle mesurée dans le bureau QLIO.

De plus, le seuil olfactif du toluène est d'environ **2,5 ppm**, soit près de **9,4 mg/m³**, un niveau **plus de mille fois supérieur** aux concentrations mesurées dans le bureau QLIO. À de telles valeurs, le toluène est totalement indétectable pour l'odorat humain, ce qui rend impossible qu'il soit responsable de l'odeur ressentie.

Ainsi, les mesures montrent que **les COV analysés ne peuvent pas expliquer l'odeur persistante** relevée dans le bureau QLIO. Les concentrations se situent toutes dans des plages faibles et ne présentent **aucune différence marquée** entre les deux bureaux, d'autant que le bureau de la directrice, pourtant **plus chargé pour certains composés**, ne présente aucune odeur. L'ensemble des éléments converge donc vers l'idée que **la source de l'odeur n'est pas liée aux COV mesurés**, et qu'elle doit être recherchée dans **un autre type d'émission** ou dans **un phénomène non chimique**.

c. Les moisissures

Dans un environnement de bureaux, la présence de moisissures résulte généralement d'un déséquilibre des conditions intérieures, notamment d'un excès d'humidité ou d'une ventilation insuffisante. Les moisissures sont des champignons microscopiques dont les spores, naturellement présentes dans l'air extérieur, peuvent s'introduire dans les locaux via les ouvertures, les systèmes de ventilation ou encore être transportées par les occupants. Dans des espaces clos comme les bureaux, ces spores trouvent parfois des surfaces propices à leur développement, particulièrement en cas de condensation, d'infiltration ou de stagnation d'eau.

Le développement de ces champignons dégrade la qualité de l'air intérieur et peut entraîner des irritations oculaires ou respiratoires, des réactions allergiques ou l'aggravation de pathologies telles que l'asthme et la rhinite. Certaines espèces sont également susceptibles de produire des substances potentiellement toxiques, justifiant une attention particulière dans les espaces de travail.

Les résultats d'analyses microbiologiques en environnement intérieur, sont exprimés en **unités formant colonies par mètre cube d'air (UFC/m³)**.

Les analyses ont été incubées à deux températures afin de distinguer les différents groupes de moisissures présents dans les bureaux. L'incubation à **20-25 °C** révèle principalement la **flore environnementale**, composée d'espèces **mésophiles**, généralement associées à des irritations ou à des réactions allergiques. À l'inverse, l'incubation à **30-35 °C** favorise la croissance de moisissures **thermotolérantes**, capables de se développer à des températures proches de celles du corps humain. Certaines de ces espèces sont connues pour pouvoir provoquer des infections respiratoires chez les personnes sensibles ou immunodéprimées.

Température d'incubation	Pièce	Dénombrement en UFC/m ³	Moisissure et quantité (en UFC/m ³)
30-35°C	Bureau QLIO	7	Geotrichum sp. (5) Champignon non fructifiant (2)
	Bureau directrice	8	Penicillium sp. (2) Champignon non fructifiant (6)
	Extérieur	5	Fusarium sp. (1) Champignon non fructifiant (4)
20-25°C	Bureau QLIO	136	Cladosporium (12) Aspergillus (12) Geotrichum (32) Autres (80)
	Bureau directrice	156	Cladosporium (16) Aspergillus (12) Geotrichum (36) Autres (92)
	Extérieur	168	Cladosporium (4) Penicillium (12) Geotrichum (44) Autres (108)

Tableau 8 : Concentrations en moisissures

Les concentrations de moisissures relevées à l'intérieur sont du même ordre de grandeur que celles mesurées à l'extérieur. Or, en principe, les concentrations intérieures devraient être plus faibles, notamment grâce à la filtration naturelle (portes, fenêtres, systèmes de ventilation). Des valeurs similaires entre intérieur et extérieur peuvent indiquer :

- Un **apport important de spores depuis l'extérieur** : les systèmes de ventilation ou les ouvertures (portes, fenêtres) pourraient laisser pénétrer les spores extérieures sans filtration efficace.
- Une **source interne de contamination** : des moisissures pourraient se développer à l'intérieur (murs humides, climatisation mal entretenue, infiltrations d'eau, etc.), contribuant ainsi à maintenir des concentrations élevées.

La présence des mêmes espèces (Cladosporium, Geotrichum) à l'intérieur et à l'extérieur suggère un échange constant entre ces environnements. Par ailleurs, l'absence de différence marquée entre les concentrations mesurées dans le bureau QLIO et celles du bureau de la directrice ne suggère pas la présence d'une source de contamination spécifique au bureau QLIO.

À titre strictement indicatif, certaines concentrations (notamment de l'ordre de 10 000 UFC/m³ et au-delà) sont couramment considérées, dans la pratique des investigations de qualité de l'air intérieur, comme traduisant une situation anormale lorsqu'elles sont observées de manière persistante en air intérieur et/ou lorsqu'elles sont supérieures aux concentrations extérieures. Ces éléments justifient, le cas échéant, la poursuite des investigations et la recherche de sources d'humidité ou de dysfonctionnement du bâtiment, conformément aux principes définis par Santé publique France.

Pour limiter la prolifération des moisissures, il est recommandé de :

- Réaliser des tests de moisissures en arrêtant la VMC et en fermant les portes, afin d'observer si une augmentation ou une diminution des concentrations se produit, ce qui permettrait d'identifier une éventuelle source interne dans les pièces.
- Vérifier et entretenir les systèmes de ventilation (filtres, gaines) pour réduire l'apport de spores extérieures.
- Nettoyer régulièrement les surfaces pour éviter l'accumulation de poussières et de spores.
- Maintenir une température adaptée dans les pièces, même en dehors des périodes d'occupation, afin de favoriser leur assèchement.

CONCLUSION

Les investigations menées ont permis de caractériser précisément la situation en comparant les concentrations en COV, BTEX et aldéhydes du bureau QLIO, concerné par une odeur persistante, à celles du bureau de la directrice à titre de comparaison ainsi qu'aux valeurs mesurées en extérieur. Les résultats obtenus ne permettent pas de répondre clairement à la problématique initiale :

- **Les COV mesurés dans cette étude ne sont pas impliqués** dans l'odeur ressentie. Leurs concentrations sont en effet **plus élevées dans le bureau de la directrice**, qui ne présente **aucune odeur**, que dans le bureau QLIO. Les concentrations mesurées pour ces composés sont faibles et proches de celles relevées en extérieur.
Le **toluène**, bien que légèrement supérieur à la médiane européenne, demeure plus de mille fois inférieur à son seuil olfactif. Il ne peut donc pas être perçu et ne peut expliquer la gêne signalée. Aucune accumulation spécifique ne se démarque, ce qui permet d'écarter l'hypothèse d'un polluant mesuré comme origine de l'odeur.
- Les concentrations en aldéhydes, dont le formaldéhyde, restent **modérées**, conformes aux valeurs guides et comparables entre les deux pièces. Elles ne correspondent pas à des composés connus pour produire une odeur similaire à celle décrite.
- Les **paramètres de confort** (température, humidité relative et concentration en CO₂) montre que la température, bien que légèrement basse en raison de la faible occupation des locaux, demeure cohérente avec un bâtiment faiblement chauffé ou utilisé ponctuellement. L'humidité relative, quant à elle, se situe dans la partie haute de la plage recommandée, ce qui nécessite une vigilance accrue afin d'éviter qu'elle ne favorise, à terme, des phénomènes d'odeurs ou de dégradation biologique. Les niveaux de CO₂ restent largement inférieurs aux seuils réglementaires de confinement, ce qui indique un renouvellement d'air suffisant dans les deux bureaux et exclut également une cause liée à une mauvaise ventilation.
- L'analyse des **moisissures** montrent une faible différence entre les concentrations à l'extérieur et à l'intérieur. Cela indique un fort transfert avec l'extérieur. Le système de ventilation pourrait être en cause.

L'ensemble des éléments met en évidence que **les COV analysés ne peuvent pas expliquer l'odeur persistante** dans le bureau QLIO. Le fait que le bureau de la directrice, présentant des concentrations parfois plus élevées, ne présente aucune odeur ce qui confirme cette hypothèse. De plus, le bureau QLIO ne présente pas plus de moisissures que le bureau de la directrice, ne suggérant pas la présence d'une source interne supplémentaire dans ce bureau.

PERSPECTIVES

Au vu des résultats, les investigations à mener devraient prioritairement cibler :

- L'analyse des **phénomènes liés à l'humidité** :
 - Rechercher d'éventuels résidus issus d'épisodes d'humidité passés (zones humides anciennes, infiltrations, condensation) ;
 - Vérifier la présence de moisissures dans l'air.
- L'identification de **sources non chimiques** :
 - Examiner l'état des matériaux sensibles à l'humidité (revêtements, colles, mousses, mobiliers) susceptibles d'avoir subi une dégradation entraînant des émissions odorantes ;
 - Remplacer, si nécessaire, les éléments détériorés par des matériaux à faibles émissions (labellisés A+ ou équivalent).

ANNEXE 1 : Liste non exhaustive de polluants en air intérieur

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 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 :

- **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.
- **Éthylbenzène** : peintures, vernis, colles de moquettes, pesticides.
- **Xylènes** : peintures, vernis, colles, insecticides.

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 :

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

ANNEXE 2 : Les valeurs de référence

Paramètre	Valeur de référence en air intérieur
Température	Ministère de la santé : Entre 18°C et 22°C INRS : Entre 21°C et 23°C l'hiver, entre 23°C et 26°C l'été (bureau) INRS ⁶ : Entre 18 et 20°C (salle de classe, restauration, bibliothèque, espace administratif) INRS ⁷ : Entre 15 et 17 °C (salle de motricité / gymnase) Norme X35-203 ⁸ : Entre 20 et 22°C (salle de classe, bibliothèque, espace administratif) Norme X35-203 ⁹ : Entre 16 et 18°C (salle de restauration) Norme X35-203 ¹⁰ : Entre 14 et 16°C (salle de motricité / gymnase)
Humidité relative	Ministère de la santé : Entre 40% et 60%
CO₂	Règlement sanitaire départemental : 1000 ppm* avec tolérance à 1300 ppm Indice ICONE (Erreur ! Source du renvoi introuvable.) : < à 3 800 et 1500 ppm* : seuil dans les établissements recevant du public (ERP)
Formaldéhyde	Valeur guide pour une exposition long terme ¹¹ : 30 µg/m ³ Valeur limite ¹² : 100 µg/m ³
Benzène	Valeur guide pour une exposition long terme : 2 µg/m ³ Valeur limite : 10 µg/m ³
Acétaldéhyde	Valeur guide ¹³ : 160 µg/m ³
Toluène	Valeur guide ¹⁴ : 20 000 µg/m ³
(m+p)-xylènes et o-xylène	Valeur guide ¹⁵ : 200 µg/m ³
Styrène	Valeur guide ¹⁶ : 250 µg/m ³

* ppm : parties par million

⁶ <https://batiscolaire.education.gouv.fr/sites/default/files/2022-04/notice-confort-thermique-avril-2022-pdf-38158.pdf>

⁷ <https://batiscolaire.education.gouv.fr/sites/default/files/2022-04/notice-confort-thermique-avril-2022-pdf-38158.pdf>

⁸ <https://batiscolaire.education.gouv.fr/sites/default/files/2022-04/notice-confort-thermique-avril-2022-pdf-38158.pdf>

⁹ <https://batiscolaire.education.gouv.fr/sites/default/files/2022-04/notice-confort-thermique-avril-2022-pdf-38158.pdf>

¹⁰ <https://batiscolaire.education.gouv.fr/sites/default/files/2022-04/notice-confort-thermique-avril-2022-pdf-38158.pdf>

¹¹ 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

¹² 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.

¹³ Proposition de valeurs guides de qualité de l'air intérieur L'acétaldéhyde, Avis de l'ANSES, Rapport d'expertise collective, avril 2014, Edition scientifique

¹⁴ <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2016SA0043Ra.pdf>

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

¹⁶ Koistinen K, Kotzias D, Kephelopoulos S et al. (2008). The INDEX project : executive summary of a European Union project on indoor air pollutants. Allergy, 63:810-819.

ANNEXE 3 : Techniques de mesure

➤ La température, l'humidité relative et le dioxyde de carbone

La température et l'humidité relative ont été suivies en continu par des capteurs Class'Air (Figure 9) ou des sondes Ebro EBI 20-T-Ex (Figure 8) déployées dans les sites intérieurs et extérieurs.

Figure 8 : Sonde EBRO/EBI



Figure 9 : Capteur Class'Air



➤ Les 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.

Les tubes passifs de type « Radiello » permettant la mesure du benzène sont constitués de 2 tubes cylindriques concentriques (Figure 10) : 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.



Figure 10 : Tubes passifs Radiello

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 adsorbante.

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 :

- Le Laboratoire Interrégional de chimie **SYNAIRGIE** situé à Schiltigheim accrédité par le COFRAC (n° 1-2092) par chromatographie liquide haute performance (HPLC) avec détection par absorption pour les aldéhydes.
- Le laboratoire **TERA Environnement** situé à Crolles pour l'analyse des COV par chromatographie en phase gazeuse couplé à un détecteur de spectrométrie de masse GCMS (NF EN ISO 16017-2).

ANNEXE 4 : Données comparatives

- État des lieux de la qualité de l'air dans des bureaux

Entre 2010 à 2014, le projet européen OFFICAIR¹⁷ (On the reduction of health effects from combined exposure to indoor air pollutants in modern offices) impliquant 13 partenaires de 8 pays (Espagne, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Italie, Pays-Bas et Portugal), visait à acquérir des connaissances sur la qualité de l'environnement intérieur, la santé et le confort dans les immeubles de bureaux neufs ou réhabilités depuis moins de 10 ans. Les résultats ont été publiés dans le bulletin n°8 de l'OQEI (décembre 2014)¹⁸.

Tableau 9 : Résultats du projet OFFICAIR (bulletin n°8 de l'OQEI - décembre 2014)

Polluant	Médiane tous immeuble (n=37)	Médiane immeubles français (n=9)	Médiane tous immeuble (n=35)	Médiane immeubles français (n=9)
Benzène	0,95	2,2	1,8	1,5
Toluène	4,7	15	3,3	2,8
Ethylbenzène	1,1	2,7	1,0	0,9
Xylènes	2,5	3,5	2,2	2,2
n-hexane	1,4	3,0	1,2	1,1
α-pinène	3,0	3,5	4,3	3,7
Limonène	3,9	4,5	16	16
Formaldéhyde	14	16	7,5	6,4
Acétaldéhyde	6,1	6,3	4,5	3,5
Propionaldéhyde	2,4	2,4	1,2	0,9
Hexanal	10	12	4,4	4,6
Dioxyde d'azote	16	13	18	19
Ozone	5,6	1,8	<0,8	1,9
PM_{2,5}*	9,2	/	16	/
	ETE		HIVER	

*Les particules n'ont pas été mesurées dans tous les immeubles en raison de contraintes techniques

¹⁷ <http://www.officair-project.eu/>

¹⁸ <https://www.oqai.fr/fr/campagnes/la-campagne-nationale-bureaux>



AIR • CLIMAT • ÉNERGIE • SANTÉ

NOTRE SIÈGE

5 rue de Madrid
67300 Schiltigheim
03 69 24 73 73
contact@atmo-grandest.eu

NOS AGENCES

à Metz
20 rue Pierre-Simon de Laplace
57070 Metz

à Nancy
20 allée de Longchamp
54600 Villers-lès-Nancy

à Reims
9 rue Marie-Marvingt
51100 Reims