

## Étude de cas

# UNE VENTILATION DÉFECTUEUSE ASSOCIÉE À DES ÉMISSIONS DE MATÉRIAUX À L'ORIGINE D'UNE DÉGRADATION DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

LAURENCE ROBERT,  
INRS,  
département  
Ingénierie des  
procédés

→ **LA PROBLÉMATIQUE:** De nombreux salariés de bureaux se plaignent de maux aspécifiques (céphalées, irritations oculaires, respiratoires ou dermatologiques...), pouvant être parfois la conséquence directe d'une dégradation de la qualité de l'air intérieur (QAI) de leur environnement de travail. C'est dans ce contexte et à la suite de malaises répétés d'une salariée et des plaintes récurrentes de ses collègues pour céphalées, que l'INRS, à la demande de la Carsat Bourgogne Franche-Comté, a été amené à réaliser une caractérisation de la qualité de l'air intérieur dans l'environnement de travail d'un site professionnel. Il s'agit d'un ensemble de bâtiments communicants très hétérogènes, tant du point de vue de la date de construction, que des matériaux de revêtement et d'agencement mis en œuvre. Les plaintes des divers salariés concernent la zone la plus contemporaine de l'ensemble, dont la construction date de 1962 avec une réfection totale en 1992.

### → LA RÉPONSE DE L'INRS:

Cet ensemble de bureaux étant la juxtaposition de différents immeubles datant de périodes de construction différentes, il présente deux principaux types de systèmes de ventilation (Cf. Figure 1):

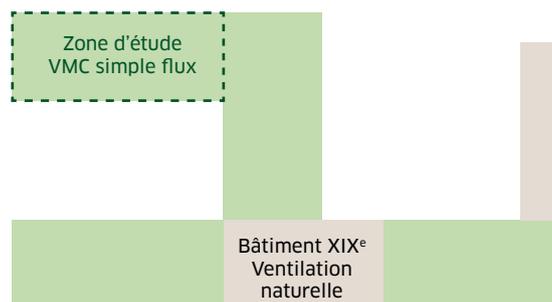
- une ventilation naturelle favorisée par des infiltrations d'air, ainsi que par le tirage thermique naturel dû à la présence de cheminées pour les bureaux installés dans le bâtiment très ancien (XIX<sup>e</sup> siècle, zone classée);
- une ventilation mécanique simple flux dans le reste de la structure. L'air est acheminé de l'extérieur à travers les zones de bureaux *via* des grilles d'amenées d'air présentes sur toutes les huisseries des fenêtres et est extrait au niveau des blocs sanitaires. C'est précisément le cas de la zone concernée par les plaintes des salariés

et qui fait l'objet de la présente étude de caractérisation.

### Un entretien inexistant

Face à la suspicion de qualité de l'air dégradée, la première démarche a été de réaliser un diagnostic du bâtiment, de façon à passer en revue l'ensemble des points qui pouvaient révéler les causes éventuelles d'une dégradation de la qualité de l'air intérieur (QAI): problèmes liés à la ventilation ou sources polluantes spécifiques. Cette première étape a été menée avant tout déploiement de la métrologie.

L'inspection visuelle du système de ventilation mécanique a révélé un état vétuste et un entretien inexistant. Ainsi, le groupe d'extraction, installé dans les combles du bâtiment concerné pour assurer l'évacuation de l'air au niveau des blocs sanitaires de chacun des étages de ce bâtiment (RDC à R+3), était en fonctionnement mais décapoté (Cf. Photos 1 et 2). Dans une telle situation, au lieu d'aspirer l'air dans le bâtiment *via* les blocs sanitaires, l'air est directement extrait des combles vers l'extérieur. Une simple vérification visuelle de cet équipement a permis d'améliorer l'efficacité du système de ventilation de la zone. Le capotage a



↑ FIGURE 1 Représentation de l'ensemble tertiaire et de la zone d'étude



← PHOTO 1  
(À GAUCHE)  
Groupe  
d'extraction  
du bâtiment  
correspondant  
à la zone d'étude.

← PHOTO 2  
(À DROITE)  
Extracteur  
décapoté, venant  
extraire l'air des  
combles au lieu de  
l'air du bâtiment.



← PHOTO 3  
Disparité  
des bouches  
d'extraction mises  
en œuvre dans le  
bâtiment.

donc été remis en place avant tout autre action de diagnostic ou de métrologie.

La disparité et l'installation défectueuse, voire inexistante, des bouches d'extraction d'air, a confirmé le manque d'entretien du réseau aéralique (Cf. Photo 3). Il est à noter que dans un réseau de ventilation parfaitement dimensionné, la longueur et les singularités des gaines ainsi que la mise en œuvre des bouches d'aération participent au bon équilibrage des pertes de charge du réseau aéralique, et assurent une extraction identique à chaque bouche, ce qui n'était pas le cas sur le site. Enfin, il a été constaté la présence de grilles d'amenée d'air sur les huisseries des fenêtres dans les blocs sanitaires. Dans une telle configuration, l'air extrait dans les sanitaires et censé cheminer préalablement à travers les bureaux, est court-circuité. Il est directement acheminé depuis l'extérieur au niveau des ouvrants des toilettes, sans balayer le reste de l'étage. Lorsqu'une ventilation mécanique simple flux avec balayage est mise en œuvre, il est important de bien positionner les extracteurs et les grilles d'amenée d'air.

L'inspection a permis, en outre, de noter dans la zone d'étude la présence significative de panneaux de fibres à densité moyenne, désigné par panneaux de MDF, utilisés lors de la rénovation des locaux en 1992, tant pour l'agencement des bureaux que pour un aspect décoratif (Cf. Photos 4 et 5). Ces panneaux de MDF ont majoritairement été fabriqués avec un liant synthétique à base de résine

urée-formol et sont très émissifs en formaldéhyde. Un point de vigilance a donc été porté sur cet aspect lors de la mise en œuvre de la métrologie.

### Caractérisation de la QAI

La caractérisation de la qualité de l'air intérieur menée dans ce contexte a compris trois volets spécifiques: une évaluation quantitative de la ventilation, une fois le groupe d'extraction concerné capoté, une mesure de la concentration en formaldéhyde de l'air dans plusieurs endroits (zone d'étude et zones témoins), ainsi qu'une estimation du débit d'émission de formaldéhyde provenant des panneaux de MDF.

En ce qui concerne la ventilation, le recours à plusieurs outils a permis une caractérisation complète. L'emploi de fumigène, qui peut servir à visualiser les sens des écoulements de l'air, a été particulièrement utile pour détecter une anomalie fondamentale dans la mise en œuvre des grilles d'amenée d'air présentes sur les fenêtres des bureaux. En effet, l'ouverture sur l' huisserie et celle sur le châssis de la fenêtre ne coïncident pas, en raison d'une erreur de conception. Ainsi, l'air extérieur ne s'introduit pas correctement dans les bureaux (Cf. Photo 6) même après remise en fonctionnement du groupe d'extraction.

L'utilisation d'un cône de mesure associé à un anémomètre a renseigné la valeur des débits extraits<sup>1</sup> à chaque bouche. Enfin, le taux de renouvellement de l'air (TRA) au niveau du poste de travail a été mesuré





↑ PHOTO 4 Utilisation de panneaux de MDF perforés comme dalle de faux plafond.



↑ PHOTO 5 Utilisation de panneaux de MDF pour l'agencement des bureaux : placards, plinthes, parement de certains murs.



↑ PHOTO 6 Anomalie sur les ouvertures du châssis et sur l' huisserie.

pour permettre de caractériser précisément la ventilation des bureaux (Cf. Encadré 1).

En ce qui concerne la caractérisation de l'air, les paramètres de confort (température, humidité relative et taux de CO<sub>2</sub>) ont été mesurés en continu et une mesure de la concentration en formaldéhyde par prélèvement actif a été conduite dans plusieurs bureaux de la zone concernée, ainsi que dans des bureaux témoins. Ces derniers ont été choisis dans des locaux où aucune gêne des salariés n'avait été enregistrée. Le formaldéhyde a été prélevé pendant une durée de 6h à un débit de 1000 ml/min sur des supports dopés en 2,4-dinitrophénylhydrazine (DNPH). L'analyse des supports a été réalisée par chromatographie liquide haute performance (HPLC). Enfin, de façon à évaluer l'impact des panneaux de bois utilisés dans le bureau incriminé, une cellule FLEC (*Field and Laboratory Emission Cell*) (Cf. Photo 7) a été mise en œuvre conformément

aux exigences de la norme NF EN ISO 16000-10: 2006 « Air intérieur - Partie 10: dosage de l'émission de composés organiques volatils de produits de construction et d'objets d'équipement - Méthode de la cellule d'essai d'émission ». Il s'agit d'une chambre d'exposition d'une surface de 177 cm<sup>2</sup> placée sur le matériau à caractériser. De l'air propre filtré et exempt de toute pollution est introduit dans cette cellule, lèche la surface du matériau et est piégé en sortie sur des supports spécifiques. Les émissions de composés organiques volatils (COV), aldéhydes ou autres composés, sont donc prélevés sur des tubes en sortie de la cellule par un procédé d'échantillonnage actif par pompage.

#### ENCADRÉ 1

#### MÉTHODE DE MESURE DU TAUX DE RENOUVELLEMENT DE L'AIR (TRA)

Le TRA est obtenu par traçage gazeux conformément à la norme NF EN ISO 12569 « Performances thermiques des bâtiments et des matériaux - Détermination du débit d'air spécifique dans les bâtiments - Méthode de dilution de gaz traceurs ». Le gaz utilisé est du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et le TRA est exprimé en vol.h<sup>-1</sup>, ce qui correspond au nombre de fois où l'air est renouvelé dans une pièce par période d'une heure. Le gaz est injecté par détente à partir d'une bouteille de CO<sub>2</sub> sous pression. Pendant l'injection, le volume de la pièce est brassé à l'aide de plusieurs ventilateurs, pour homogénéiser la répartition du traceur. Ensuite, la décroissance de gaz, enregistrée par l'analyseur TESTO 480, permet d'estimer le taux de renouvellement d'air de la zone étudiée. Ces mesures sont réalisées en l'absence de salarié, porte fermée et au niveau du poste de travail.



↑ PHOTO 7 Exemples de mise en œuvre de la cellule FLEC.

		BUREAU 1 ZONE D'ÉTUDE	BUREAU 2 ZONE D'ÉTUDE	BUREAU TÉMOIN 1	BUREAU TÉMOIN 2	VALEURS REPÈRES CONSIDÉRÉES
Moyennes sur la durée de prélèvement		Bureau individuel	Bureau collectif de 3 salariés	Bureau individuel	Bureau individuel	
Température	°C	23,5	22,7	22,8	21,9	20-24 °C
Humidité relative	%	28,2	non mesuré	34,1	36,3	30-60%
CO <sub>2</sub>	ppmv	875	<b>1174</b>	583	761	1000 ppmv
TRA	Vol/h	0,25	0,36	1,44	1,08	
Débit d'air neuf	m <sup>3</sup> /h	10,3	41	100,7	128,2	
Débit d'air neuf rapporté au nombre de salariés	m <sup>3</sup> /h par salarié	<b>10,3</b>	<b>13,7</b>	100,7	128,8	25 m <sup>3</sup> /h par salarié
Formaldéhyde	µg/m <sup>3</sup>	<b>67</b>	<b>41</b>	<b>14</b>	6	10

(\*) Les valeurs en caractère gras correspondent à un dépassement des valeurs de repère correspondantes

↑ TABLEAU 1 Résultats des mesures de caractérisation de la ventilation et des concentrations en formaldéhyde.

		BUREAU ZONE D'ÉTUDE	BUREAU ZONE D'ÉTUDE
		Avant action sur les huisseries	Après action sur les huisseries
Débit d'air neuf obtenu par traçage gazeux	m <sup>3</sup> /h	8,2	18,3
Formaldéhyde Concentration moyenne sur 6 heures	µg/m <sup>3</sup>	114	30

↑ TABLEAU 2 Résultats du TRA et de la concentration en formaldéhyde après actions sur les huisseries d'un bureau de la zone d'étude.

L'analyse des supports a été ensuite confiée à un laboratoire d'analyse. Comme pour les mesures ambiantes, les taux d'émissions sont exprimés en µg/m<sup>2</sup>/h.

### Résultats

Le tableau 1 recense l'ensemble des résultats obtenus dans quatre bureaux. Ces prélèvements d'air ont été effectués dans différentes zones de l'ensemble de ce complexe tertiaire. Deux bureaux de la zone d'étude ont été instrumentés, ainsi que deux bureaux dans des zones où aucune plainte ni gêne des salariés n'avait été enregistrée. Ces deux derniers bureaux ont servi de témoins et sont désignés comme Témoin 1 et Témoin 2. Un point extérieur a complété ces prélèvements, qui ne révèle aucune pollution.

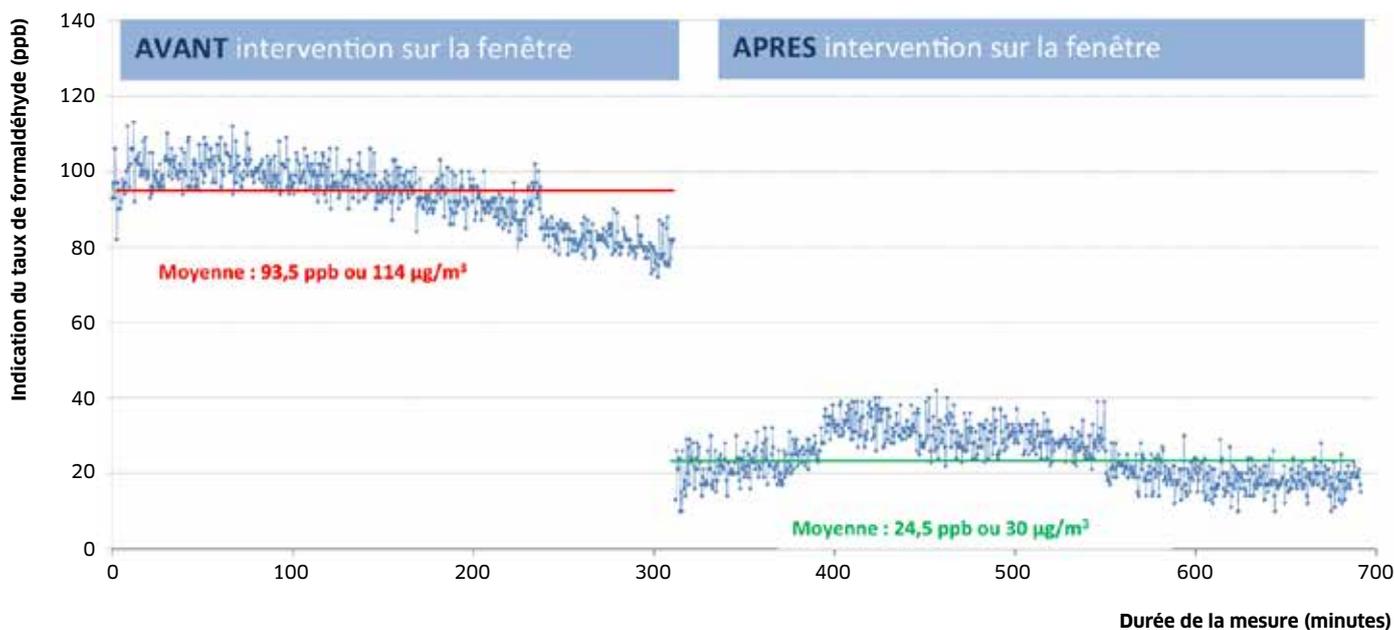
On note que les débits d'air sont nettement insuffisants dans les bureaux de la zone d'étude: 10,3 au lieu de 25 m<sup>3</sup>/h pour le bureau 1 et 41 au lieu de 75 m<sup>3</sup>/h pour le bureau 2 accueillant trois salariés. Ces résultats sont corroborés par des taux de CO<sub>2</sub> élevés, particulièrement dans le bureau 2, dénotant un confinement, c'est-à-dire un renouvellement de l'air insuffisant au regard du nombre d'occupants. En revanche, on constate des taux de renouvellement nettement plus importants dans les bureaux « témoins », qui sont dus à la présence de cheminées assurant un renouvellement de l'air par tirage thermique naturel, mais aussi à la non-étanchéité

des ouvertures et aux importants détalonnages des portes communiquant sur les couloirs.

La présence de formaldéhyde dans les deux bureaux de la zone d'étude est significative: 41 et 67 µg/m<sup>3</sup>. Ces valeurs sont toutes les deux supérieures à la valeur guide de l'air intérieur long terme: VGAILT de 10 µg/m<sup>3</sup> et pour l'une supérieure à la VGAICT (court terme) de 50 µg/m<sup>3</sup>. Les concentrations dans les bureaux témoins, nettement plus faibles de 6 et 14 µg/m<sup>3</sup>, attestent d'une pollution caractéristique de cette zone.

Dans le bureau 1, la caractérisation de l'émission des panneaux de MDF par la cellule FLEC, ainsi qu'une mesure de la concentration en formaldéhyde ambiant réalisée dans l'environnement intérieur du placard, ont confirmé l'émission de formaldéhyde par les panneaux. Le débit d'émission surfacique en formaldéhyde des étagères des placards a été estimé à 123 µg/m<sup>2</sup>/h. La concentration en formaldéhyde de l'air emprisonné dans le placard a été mesurée à 137 µg/m<sup>3</sup>, contre 67 µg/m<sup>3</sup> dans le même bureau. L'ensemble de ces différentes mesures a permis de mettre en évidence deux phénomènes importants qui impactent significativement la qualité de l'air dans ce bureau:

- les panneaux de MDF contribuent significativement aux émissions de formaldéhyde, même après plusieurs années de mise en œuvre;
- le placard représente une zone morte fortement concentrée en formaldéhyde, qui échange avec



↑ FIGURE 2  
Représentation de la baisse du taux de formaldéhyde avant et après l'action sur la fenêtre (percement d'un orifice dans le châssis).

la pièce à la fois de façon lente et diffuse dans le temps, mais aussi de façon plus prononcée à chaque ouverture des portes de ces espaces de rangement.

La contribution de ce matériau en bois compressé associée à une ventilation insuffisante, a favorisé une dégradation de la QAI dans ce bâtiment. La très forte sensibilité d'une salariée, ayant à plusieurs reprises fait des malaises dans un des bureaux instrumentés, a permis de découvrir récemment cette situation de dégradation de qualité de l'air intérieur.

### Actions de prévention

Les services techniques de l'entreprise ont eu la possibilité de réaliser un orifice dans le châssis d'une fenêtre d'un bureau de façon à rendre opérationnelle sa grille d'amenée d'air. Grâce à l'emploi d'un détecteur temps réel AQPRO utilisant une cellule électrochimique spécifique au formaldéhyde, la concentration en formaldéhyde de ce bureau a pu être suivie avant et après les modifications opérées. Le taux de renouvellement de l'air par traçage a également été mesuré avant et après intervention sur la fenêtre. Les principaux résultats sont répertoriés dans le tableau 2.

On note une amélioration significative, tant sur le débit d'air neuf entrant qui se rapproche de la valeur réglementaire, en passant de 8,2 à plus de 18 m<sup>3</sup>/h, que sur la concentration de formaldéhyde. L'analyseur temps réel utilisé ici permet de révéler les tendances attendues à la suite de l'action corrective entreprise. Dans ce cas précis, la baisse de concentration observée avec l'augmentation du renouvellement d'air de la pièce (Cf. Figure 2) augure de la nette amélioration attendue en termes de QAI, dès que l'ensemble des châssis seront remis en état dans ce bâtiment.

Outre ces actions sur l'ensemble des châssis et des huisseries des fenêtres du bâtiment, qui permettront un balayage efficace de l'air dans cet immeuble, d'autres préconisations ont été proposées à l'entreprise. En ce qui concerne spécifiquement la ventilation, il a été suggéré de revoir avec une entreprise habilitée l'intégralité du réseau de ventilation (dimensionnement et distribution de l'air); de vérifier le bon fonctionnement de chaque groupe d'extraction; et de faire réaliser une réception de l'installation de ventilation par un bureau de contrôle, avec consigne des mesures de ventilation dans un « document d'intervention ventilation ».

Ces valeurs serviront de référence pour toute autre opération ou tout contrôle ultérieur. Enfin, d'autres actions relatives à la réduction des sources de formaldéhyde, comme le remplacement de l'ensemble des matériaux en MDF, ont été préconisées. Pour ce qui est des faux plafonds des couloirs, leur mise en œuvre s'apparentant à des dalles de faux plafond standard, il est aisé de les remplacer par des dalles classiques en plaques de plâtre. En ce qui concerne l'agencement des placards de bureaux, il a été préconisé de les remplacer dans leur intégralité.

En conclusion, cette assistance a pu mettre en exergue les effets couplés d'une ventilation défectueuse et d'émissions encore significatives de formaldéhyde provenant de panneaux de particules mis en œuvre comme élément de décoration et d'agencement, sur la dégradation de la qualité de l'air intérieur (QAI). ●

1. Dans le cas précis des espaces de bureaux, les articles R. 4222-5 et R. 4222-6 du Code du travail précisent que l'apport d'air neuf doit être de 25 m<sup>3</sup>/h/occupant si tant est que la ventilation est mécanique. Lorsque l'aération est en ventilation naturelle, c'est l'ouverture des fenêtres qui doit assurer un apport d'air neuf d'un volume de 15 m<sup>3</sup> minimum.

**JOURNÉE  
TECHNIQUE**



# QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR

## Air des locaux de travail



**12 décembre 2017**

Maison de la RATP - Espace du Centenaire  
189, rue de Bercy, 75012 Paris

La qualité de l'air intérieur (QAI) représente un enjeu de santé largement reconnu. Plus de 19 millions de salariés travaillent aujourd'hui dans le secteur tertiaire. Le temps qu'ils passent dans leur environnement de travail, associé aux nombreuses sources de pollution, induit des expositions multiples, à faibles doses mais sur des temps longs. De ce fait, les sujets des effets sur la santé, de métrologie, de prévention et de réglementation inhérentes à la QAI deviennent importants pour ces environnements.

Cette journée technique organisée par l'INRS en partenariat avec l'OQAI est à destination des différents acteurs du secteur mais aussi des préventeurs. Elle se propose de faire un état des connaissances et d'échanger, tant sur les enjeux de la QAI aujourd'hui (effets sur la santé, valeurs repères à considérer...), que sur les retours d'expérience tels que des campagnes terrain et des solutions de prévention (réduction des émissions, ventilation/aération).

[www.inrs-airinterieur2017.fr](http://www.inrs-airinterieur2017.fr)  
contact : [qai2017@inrs.fr](mailto:qai2017@inrs.fr)

Journée technique organisée par l'INRS  
en partenariat avec :

