

**VALEURS REPÈRES D'AIDE À LA GESTION
DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR
LE FORMALDÉHYDE**

2 Mai 2019

La Commission spécialisée des risques liés à l'environnement (CSRE) a tenu sa réunion le 2 mai 2019 et a voté l'avis : 12 participants, 0 conflit d'intérêt, vote pour : 12, abstention : 0, contre : 0.

Rapport produit par la Commission spécialisée sur les risques liés à l'environnement du HCSP

Le 2 mai 2019

Haut Conseil de la santé publique

14 avenue Duquesne

75350 Paris 07 SP

www.hcsp.fr

Sommaire

SOMMAIRE	3
1. INTRODUCTION ET PROBLEMATIQUE	11
2. EFFETS SUR LA SANTE	13
2.1 TOXICOCINETIQUE	13
2.2 TOXICITE AIGUË.....	14
2.3 TOXICITE CHRONIQUE	15
2.4 GENOTOXICITE.....	16
2.5 EFFETS SUR LA REPRODUCTION	16
2.6 EFFETS CANCERIGENES	16
2.7 POPULATIONS SENSIBLES OU VULNERABLES.....	18
3. GENERALITES SUR LE FORMALDEHYDE ET SES SOURCES EN AIR INTERIEUR	20
3.1 PRODUCTION ET USAGES	20
3.2 SOURCES EN AIR INTERIEUR.....	21
3.3 AIR EXTERIEUR.....	25
4. DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS MEASUREES DANS LES DIFFERENTS MILIEUX.....	26
4.1 PRELEVEMENTS PASSIFS.....	26
4.2 PRELEVEMENTS ACTIFS.....	30
4.3 MESURES AVEC DES ANALYSEURS EN CONTINU	33
4.4 COMPARAISON DES DIFFERENTES METHODES DE PRELEVEMENTS	42
5. VALEURS GUIDES ET VALEURS REPERE POUR L'AIR INTERIEUR EXISTANTES	47
5.1 AU NIVEAU NATIONAL	47
5.2 VALEURS D'ORGANISMES INTERNATIONAUX OU EN VIGUEUR DANS D'AUTRES PAYS	49
6. DISPOSITIONS REGLEMENTAIRES	52
7. PROPOSITIONS DE VALEURS REPERES POUR LE FORMALDEHYDE	54
7.1 VALEURS REPERE ET DE GESTION POUR L'AIR INTERIEUR	54
7.2 VALEUR D'ACTION RAPIDE (VAR).....	55
7.3 PROPOSITION DE STRATEGIE DE PRELEVEMENT ET DE MESURE.....	56
7.4 BILAN GENERAL SUR LES VALEURS (REPERE ET DE GESTION PROVISoire).....	58
7.5 CAS DES IMMEUBLES NEUFS	58
8. VALEURS LIMITES D'EXPOSITION PROFESSIONNELLE (VLEP).....	59
BIBLIOGRAPHIE	61
ANNEXES	66

Liste des figures

FIGURE 1 : CONTRIBUTION DES SOURCES A L'EXPOSITION DANS LES ECOLES ELEMENTAIRES (PROJET INCITAIR) – LA ROCHELLE, 2016	24
FIGURE 2 : VARIATION DE LA CONCENTRATION EN FORMALDEHYDE DURANT LA SEMAINE DE PRELEVEMENT DANS LA SALLE DE CLASSE N°9 - LCSQA 2009	33
FIGURE 3 : ÉVOLUTION DE LA CONCENTRATION EN FORMALDEHYDE MESUREE AVEC L'INTERSCAN (LCSQA, 2009)....	35
FIGURE 4 : ÉCOLE LAVOISIER - ÉVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN FORMALDEHYDE (IN'AIR SOLUTIONS) - LA ROCHELLE 2016.	36
FIGURE 5 : ÉCOLE LAVOISIER - ÉVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN FORMALDEHYDE SUR UNE JOURNEE - LA ROCHELLE 2016.....	37
FIGURE 6 : ÉCOLE GRANDES VARENNES - ÉVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN FORMALDEHYDE (IN'AIR SOLUTIONS) - LA ROCHELLE 2016.....	37
FIGURE 7 : CONCENTRATIONS EN FORMALDEHYDE MESUREES AVEC NEMO DANS LA SALLE 15 DE L'ECOLE 1 – ETHERA (2015).	38
FIGURE 8 : CONCENTRATIONS EN FORMALDEHYDE MESUREES AVEC NEMO – ECOLE ANCIENNE 2 - GRENOBLE (2018)	39
FIGURE 9 : CONCENTRATIONS EN FORMALDEHYDE MESUREES AVEC NEMO – ECOLE ANCIENNE 1 - GRENOBLE (2018).	40
FIGURE 10 : CONCENTRATIONS EN FORMALDEHYDE MESUREES AVEC NEMO – ECOLE RECENTE - GRENOBLE (2018).	40
FIGURE 11 : SUIVI DU FORMALDEHYDE INTERIEUR ET EXTERIEUR SUR LE PREMIER SEMESTRE 2015 DANS LES BUREAUX – PRIMEQUAL 2016.	41
FIGURE 12 : COMPARAISON ENTRE LES PRELEVEMENTS ACTIFS (4 MESURES DE 2 HEURES PENDANT 3 JOURS) ET PASSIF (4,5 JOURS) DANS LA SALLE 9 - LCSQA 2009.	43
FIGURE 13 : COMPARAISON ENTRE LES PRELEVEMENTS ACTIF DANS LA SALLE 9 (PAS DE TEMPS 2 HEURES) ET PASSIF (4,5 JOURS) DANS TOUTES LES SALLES DE CLASSE - LCSQA 2009.....	43

Liste des tableaux

TABEAU I : PROPRIETES PHYSIQUES DU FORMALDEHYDE.....	20
TABEAU II : CONCENTRATIONS EN FORMALDEHYDE MESUREES DANS L'AIR INTERIEUR DE LOGEMENTS LORS DE LA COMBUSTION DE BOUGIES ET D'ENCENS (EBENE, 2017)	24
TABEAU III : DISTRIBUTION DES CONCENTRATIONS EN FORMALDEHYDE DANS LES LOGEMENTS EN FRANCE METROPOLITAINE (CAMPAGNE OQAI) ET EN ILE-DE-FRANCE (DONNEES UNIVERSITE PARIS-DESCARTES).....	27
TABEAU IV : CONCENTRATIONS EN FORMALDEHYDE MESUREES DANS L'AIR INTERIEUR EN FRANCE DANS LES CRECHES ET ECOLES.....	28
TABEAU V : CONCENTRATION EN FORMALDEHYDE DANS LES BUREAUX PROJET OFFICAIR – (2010 – 2014).....	30
TABEAU VI : CONCENTRATIONS EN FORMALDEHYDE MESUREES DANS L'AIR INTERIEUR DE LOGEMENTS EN FRANCE SUR DES PAS DE TEMPS COURTS.	30
TABEAU VII : RESULTATS DES MESURES REALISEES DANS LES CLASSES ET COMPARAISON AVEC LES MESURES PAR TUBES PASSIFS – ETHERA, 2015	44

Liste des acronymes

Aasqa	Association agréée de surveillance de la qualité de l'air
ACGIH	American conference of governmental industrial hygienists
ADOQ	Activités DOMestiques et Qualité de l'air intérieur
Afsset	Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail
ALARA	As low as reasonably achievable
Anses	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ATSDR	Agency for toxic substances and disease registry
CEA	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives
Circ/Iarc	Centre international de recherche sur le cancer
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
COMEAP	Committee on the Medical Effects of Air Pollutants
COV	Composé organique volatil
CSRE	Commission spécialisée risques liés à l'environnement
CSTB	Centre scientifique et technique du bâtiment
CVCA	Chauffage, Ventilation et Conditionnement d'Air
DGPR	Direction Générale de la Prévention et des Risques
DGS	Direction Générale de la Santé
DNPH	dinitrophenylhydrazine
DPX	DNA-Protein Crosslinks : adduits ADN-protéines
ERP	Établissements Recevant du Public
HCSP	Haut Conseil de la Santé Publique
HPLC-UV	Chromatographie en phase liquide à haute performance avec une détection UV
Iarc	International agency for research on cancer
Index	Critical appraisal of the setting and implementation on indoor exposure limits in European Union
Ineris	Institut national de l'environnement industriel et des risques
INRS	Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des

accidents du travail et des maladies professionnelles

IRCE LYON	Institut de Recherches sur la Catalyse et l'Environnement de Lyon
LCPP	Laboratoire central de la préfecture de police
LCSQA	Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air
LHVP	Laboratoire d'hygiène de la ville de Paris
MAK	Maximale arbeitsplatz-konzentration (concentration maximale des lieux de travail)
MEEDDM	Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer
MHLW	Ministry of Health, Labour and Welfare
NIPH	Norwegian Institute of Public Health
OEHHA	Office of environmental health hazard assessment
OQAI	Observatoire de la qualité de l'air intérieur
PNSE	Plan national santé environnement
ppm	Partie par million
ppb	Partie par billion
QAI	Qualité de l'Air Intérieur
RIVM	National institute for public health and the environment (Netherlands)
Scoel	Scientific committee on occupational exposure limit values
TLV-STEL	Threshold limit value – Short term exposure limit
US-EPA	United states – Environmental protection agency
VAR	Valeur d'action rapide
VG	Valeur guide
VGAI	Valeur guide d'air intérieur
VLCT	Valeur limite d'exposition court terme
VLEP	Valeur limite d'exposition professionnelle
VME	Valeur moyenne d'exposition professionnelle
VRAI	Valeur repère pour l'air intérieur
VTR	Valeur toxicologique de référence

Résumé

Le formaldéhyde (FOR) est un gaz irritant de l'appareil respiratoire et des muqueuses oculaires. En 2004, le Centre international de recherche sur le cancer l'a classé cancérigène certain pour l'Homme (groupe 1), sur la base d'un excès de cancers du nasopharynx observé lors d'expositions professionnelles. Le formaldéhyde, qui est génotoxique, se caractérise par une forte réactivité avec les tissus biologiques au site de contact, ce qui explique son faible passage dans le sang.

C'est une substance ubiquitaire des espaces clos. Les principales sources d'émission sont les produits de construction, de décoration et d'ameublement (plus particulièrement les panneaux de particules), les produits domestiques (produits nettoyants, peintures, vernis, colles, cosmétiques...) et les combustions sous toutes leurs formes : cuisinières, chaudières, cheminées d'agrément ainsi que le tabagisme ou l'utilisation d'encens. La contribution de l'air extérieur aux concentrations intérieures est en général faible.

L'exposition humaine se fait majoritairement par inhalation. La contribution de l'air des espaces clos prédomine dans l'exposition globale de la population, en raison du temps passé dans ces environnements et des faibles valeurs extérieures habituellement mesurées. L'ensemble des données disponibles en France montre que, quel que soit le type de bâtiment (logements, bureaux ou locaux ouverts au public), les niveaux de concentration moyens dans les espaces clos sont, en règle générale, de l'ordre de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La cinétique des concentrations en FOR montre néanmoins une grande variabilité des teneurs dans l'air intérieur et peut conduire à des expositions supérieures à $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant plus d'une heure.

Dans un objectif de surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant du public, la réglementation fixe certaines valeurs guides pour l'air intérieur (VGAI). Celle pour le formaldéhyde, en vigueur depuis le 1^{er} janvier 2015, est fixée pour une exposition de longue durée (> 1 an) à $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et doit être abaissée à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à partir du 1^{er} janvier 2023.

Compte tenu des connaissances disponibles à la date de rédaction de son dernier rapport sur le FOR (février 2018) et des pratiques internationales de construction des VTR, l'Anses propose dorénavant une VGAI unique court terme (mesurée sur 1 à 4 heures) à $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour protéger la population générale des effets, tant aigus que chroniques liés à une exposition au FOR. En effet, il est considéré que le risque de cancer résulte de la répétition de processus inflammatoires provoqués, au long cours, par des expositions possiblement de courte durée. Cette valeur, cohérente avec celle proposée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) en 2010, est à respecter en permanence. Cela signifie qu'il faudrait idéalement pouvoir évaluer les concentrations en FOR en continu afin de s'assurer de l'absence d'un dépassement de cette VGAI.

Cette valeur guide, strictement fondée sur des critères sanitaires, n'informe pas sur les « valeurs d'action », c'est-à-dire les niveaux de concentration à partir desquels des actions

doivent être mises en œuvre afin de protéger la santé. C'est pourquoi la Direction Générale de la Santé (DGS) et la Direction Générale de la Prévention et des Risques (DGPR) ont demandé au Haut Conseil de la santé publique (HCSP) d'élaborer des « valeurs de référence » pour fixer les niveaux à ne pas dépasser dans les bâtiments neufs ou rénovés, et pour engager, si nécessaire, des actions correctives dans les Établissements Recevant du Public (ERP), avec une modulation de ces actions et de leur délai de mise en œuvre en fonction des concentrations mesurées.

Le HCSP a d'abord mis à jour, dans le cadre de cette saisine, le document cadre, initialement rédigé en 2009, exposant les principes communs qui guident l'élaboration de ces valeurs, appelées « valeurs repères d'aide à la gestion pour la qualité de l'air intérieur ». Le présent document correspond à l'application de ce cadre méthodologique au formaldéhyde.

Après prise en compte de l'effet critique retenu par l'Anses pour fixer sa VGAI (irritation oculaire), considérant les niveaux moyens d'exposition de la population dans les différents espaces clos et les cinétiques rapportées du FOR dans les documents disponibles, considérant également les dispositions réglementaires qui encadrent actuellement le FOR et les méthodes de mesure actuellement disponibles, le HCSP recommande de retenir deux valeurs repères d'aide à la gestion pour le formaldéhyde :

- Une **valeur repère de qualité d'air intérieur (VRAI)** fixée à **100 µg/m³** (mesures réalisées sur 1 à 4 h successives, tout au long de la journée, en période d'occupation).

Le HCSP recommande que cette VRAI de 100 µg/m³ soit immédiatement applicable et respectée dans tous les bâtiments, avec un délai maximum pour la mise en œuvre des actions correctives fixé à 6 mois.

Ce délai de 6 mois tient compte des contraintes classiques associées à la réalisation de certains travaux : réalisation de diagnostics, délais associés aux marchés publics, demandes d'attribution de budgets spécifiques, planification à articuler avec les activités de certains établissements, etc. Néanmoins, toutes les actions raisonnablement faisables et permettant de diminuer les expositions des populations, notamment des personnes les plus sensibles (enfants, personnes souffrant de troubles respiratoires...), devront être mises en œuvre dans les meilleurs délais. Exemples : aération manuelle renforcée, mise en place de dispositifs de ventilation mécanique supplémentaires, identification des principales sources d'émissions, réorganisation de certaines activités, nouvelle répartition des personnes en fonction des pièces disponibles, etc.

Pour s'assurer du respect de la VRAI, il est nécessaire de réaliser des mesures par prélèvements actifs sur des pas de temps de 1 à 4 h.

Ainsi, dans le cas particulier du formaldéhyde, et en raison de son mode d'action, la VRAI et la VGAI sont semblables et mesurées sur un pas de temps court.

- Une **valeur de gestion provisoire** fixée à **30 µg/m³** (mesures sur une période de 4,5 à 7 jours).

Afin de limiter le nombre, et par conséquent le coût des mesures à mettre en œuvre, compte tenu des instruments de mesure actuellement normalisés, considérant les études de surveillance et les différents documents analysés, le HCSP recommande de fixer une valeur de gestion provisoire à 30 µg/m³. Au regard des données disponibles, le non dépassement de la valeur de 30 µg/m³ en moyenne sur une semaine (en pratique : de 4,5 à 7 jours) assurerait le respect en continu de la VRAI de 100 µg/m³.

Cette valeur de gestion provisoire ne sera plus utilisée lorsque de nouveaux instruments de mesure en continu seront normalisés et disponibles à un coût raisonnable.

Lors d'une mesure en prélèvement par diffusion d'une semaine (4,5 à 7 jours), le dépassement de 100 µg/m³, puisqu'il correspond nécessairement à au moins un dépassement de la VRAI, entraînera la mise en œuvre des actions correctives dans un délai fixé à 6 mois.

Lors d'une mesure en prélèvement par diffusion d'une semaine (4,5 à 7 jours), le dépassement de la valeur de gestion provisoire (30 µg/m³) sans dépassement de la valeur de 100 µg/m³, ne garantissant pas le respect de la VRAI (mesurée sur un temps de 1 à 4 h), entraînera la mise en œuvre d'une identification des sources et d'un plan d'action approprié. Il sera ensuite réalisé une nouvelle campagne de mesures pour vérifier le respect de la VRAI ou à défaut de la valeur de gestion provisoire. Dans tous les cas, le délai entre la mesure initiale et la nouvelle mesure ne devra pas dépasser un an

Dans le cas des bâtiments neufs livrés et équipés à partir de 2020, les concentrations mesurées doivent être les plus faibles possibles, et, dans tous les cas, inférieures à la VRAI, ou à défaut à la valeur de gestion provisoire. Il en est de même pour ceux faisant l'objet d'opérations de rénovation de grande ampleur. À cette fin, les architectes et les maîtres d'œuvre veilleront à agir particulièrement sur les sources d'émission de FOR intérieures au bâtiment, matériaux de construction et d'aménagement intérieur.

- **Méthode de mesure**

Le contrôle du respect de la VRAI doit être réalisé par des prélèvements successifs de 1 à 4 h durant la période d'occupation.

Le contrôle du respect de la valeur de gestion provisoire peut être réalisé par l'intermédiaire d'un prélèvement par diffusion de 4,5 à 7 jours à l'aide d'une méthode normalisée.

Au cours de ces dernières années, plusieurs dispositifs de mesure en continu et à lecture directe ont été développés, et pour certains commercialisés, afin de renseigner l'évolution des concentrations en air intérieur. Le recours à des instruments de ce type est particulièrement intéressant pour des mesures dynamiques permettant, en plus de la comparaison aux valeurs repères, l'identification des épisodes de plus forte exposition au cours d'une période donnée et ainsi, notamment, appuyer la recherche de sources. Les

caractéristiques techniques et les performances de ces instruments restent toutefois à ce jour insuffisamment documentées et validées pour être retenues dans le cadre d'une surveillance réglementaire.

1. Introduction et problématique

En zone tempérée, la population passe plus de 80 % de son temps dans des espaces intérieurs, d'où l'importance d'y maintenir une bonne qualité d'air. Dans ces espaces intérieurs, les personnes sont exposées à de multiples polluants émis par les activités des occupants, le bâtiment lui-même, ses équipements ou encore sa décoration (revêtements muraux, de sol, meubles...). Certains polluants proviennent aussi de l'environnement extérieur immédiat.

La loi portant engagement national pour l'environnement a rendu obligatoire la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant un public sensible (articles L. 221-8 et R. 221-30 et suivants du code de l'environnement). Les établissements concernés sont ceux recevant un public nombreux ou vulnérable et notamment ceux accueillant des enfants.

Après les premières échéances fixées au 1^{er} janvier 2015, la question de la qualité de l'air intérieur (QAI) a fait l'objet de modifications réglementaires. Les textes récents imposent aux collectivités, avant le 1^{er} janvier 2018, de réaliser une surveillance de la QAI dans les lieux qui accueillent des enfants de moins de 6 ans et les écoles élémentaires. Cette surveillance comprend obligatoirement la réalisation d'une évaluation des moyens d'aération et de ventilation de chaque établissement, puis la réalisation soit d'un autodiagnostic suivi d'un plan d'actions, soit la mise en place de campagnes de mesures des polluants de l'air intérieur qui peuvent conduire, le cas échéant, à des propositions d'actions correctives. Les mesures de polluants seront en particulier à mettre en regard des valeurs-guides pour l'air intérieur et de valeurs déclenchant des investigations complémentaires. Si ces valeurs ont un caractère réglementaire dans les établissements accueillant des publics vulnérables, elles peuvent aussi être utilisées pour apprécier la qualité de l'air intérieur dans des locaux d'habitation.

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) travaille depuis 2004 à l'élaboration de valeurs guides d'air intérieur (VGAI). Des VGAI ont été proposées pour un certain nombre de substances dont le formaldéhyde. Un premier rapport relatif au formaldéhyde a été publié en 2007. L'évolution des connaissances, notamment en termes de toxicité, a conduit l'Anses à mettre à jour son rapport en 2018.

La VGAI proposée, uniquement pour des expositions à court terme désormais, est une valeur en deçà de laquelle il est raisonnable de penser, en l'état actuel des connaissances, que personne, dans la population générale, ne risque de subir les conséquences délétères du polluant considéré. Si elle constitue une valeur cible, la VGAI n'a pas été construite pour indiquer un seuil à partir duquel des actions de protection de la santé doivent être mises en place.

Afin d'éclairer les gestionnaires ou exploitants d'établissements sur les niveaux de concentration à partir desquels des actions sont à entreprendre, les Ministères en charge de

la santé de l'environnement ont défini pour quatre substances, dont le formaldéhyde, **des valeurs guides et d'actions réglementaires**.

C'est pourquoi la Direction générale de la santé (DGS) et la Direction générale de la prévention et des risques (DGPR) ont demandé au Haut Conseil de la santé publique (HCSP) de procéder à la mise à jour des valeurs repères d'aide à la gestion de la qualité de l'air intérieur, pour le formaldéhyde suite à l'actualisation de la VGAI de l'ANSES. Ces valeurs sont nécessaires, d'une part pour fixer des niveaux à ne pas dépasser dans les bâtiments neufs ou rénovés, et d'autre part pour engager des actions correctives dans les bâtiments existants, avec une modulation de ces actions et de leur délai de mise en œuvre en fonction des concentrations mesurées.

Les valeurs repères d'aide à la gestion du HCSP (HCSP, 2019) prennent en compte les facteurs suivants :

- La nature des risques sanitaires induits par le polluant et l'effet critique retenu pour la construction de la VGAI ;
- Les teneurs observées dans les espaces clos,
- Les teneurs mesurées en moyenne dans l'air extérieur,
- La nature des sources d'émission et les moyens de les réduire ou de les éliminer.

2. Effets sur la santé

L'ensemble des informations et des données toxicologiques provient de diverses monographies publiées par des organismes reconnus pour la qualité scientifique de leurs documents (Iarc, OMS, US EPA, ATSDR, Anses, INRS).

Les références bibliographiques aux auteurs sont citées pour permettre un accès direct à l'information scientifique mais n'ont pas fait l'objet d'un nouvel examen critique dans le cadre de ce rapport. Les effets du formaldéhyde chez l'homme sont suffisamment bien documentés pour caractériser ses dangers. Dans les paragraphes ci-après, seuls les effets liés à l'inhalation sont présentés.

2.1 Toxicocinétique

Le formaldéhyde est une substance endogène intermédiaire du métabolisme cellulaire. Il est produit lors du métabolisme d'acides aminés. Sa concentration physiologique sanguine est d'environ

100 $\mu\text{mol/L}$ (BfR, 2006).

Plus de 90 % de la dose inhalée est retenue dans les voies nasales chez le rat. Chez le singe, l'absorption se produit principalement dans les voies aériennes supérieures mais également dans la trachée et les bronches principales. Chez le rat, la distribution de la radioactivité après inhalation d'aldéhyde formique marqué (15 ppm/20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 6 h) se fait principalement dans l'œsophage, les reins, le foie, les intestins et les poumons. En fait, ce n'est pas le formaldéhyde lui-même qui est distribué, mais ses métabolites ou les produits de sa réaction avec diverses substances nucléophiles. En effet, dès les muqueuses respiratoires, il est rapidement oxydé en formiate et en dioxyde de carbone par divers systèmes enzymatiques largement distribués et nécessitant notamment la présence de glutathion. Le formiate est alors également incorporé dans les biosynthèses métaboliques (INRS, 2011).

Quelle que soit la voie d'exposition, l'absorption semble limitée aux couches de cellules immédiatement adjacentes au point de contact. Ce qui limite son passage systémique et explique notamment que les concentrations sanguines varient très peu en cas d'exposition au formaldéhyde (ATSDR, 1999).

Après injection intraveineuse chez le rat, la demi-vie plasmatique de l'aldéhyde inchangé est très brève (environ 1 min 30). Après inhalation de doses faibles ou modérées, une quantité d'aldéhyde formique négligeable est donc attendue au niveau systémique (Franks, 2005) et aucune augmentation de la concentration sanguine normale n'a effectivement été montrée chez le rat (15 ppm/20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant 2 heures), le singe (6 ppm/7,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 6 h/jour, 5 j/semaine pendant 4 semaines) et l'homme (1,9 ppm/2,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant 40 minutes). Néanmoins, les lésions caustiques au site de contact peuvent favoriser le passage systémique (INRS, 2011).

Ainsi, le formaldéhyde se caractérise par une forte réactivité avec les macromolécules biologiques. De ce fait, lorsqu'il est inhalé, la plupart du formaldéhyde est retenue au niveau du nez, des muqueuses orales, de la trachée et des bronches proximales, premiers sites de contact chez l'homme, avec également les muqueuses oculaires. Cette forte réactivité au site de contact explique son faible passage systémique, une demi-vie dans le sang excédant rarement une minute et demi et le fait que ses effets se limitent essentiellement à l'appareil respiratoire après inhalation chez l'Homme.

2.2 Toxicité aiguë

Le formaldéhyde est toxique par inhalation, ingestion et contact cutané, les symptômes étant principalement liés à ses propriétés irritantes : il est modérément irritant pour la peau mais sévèrement irritant pour les yeux. Les vapeurs induisent une irritation des voies respiratoires et des muqueuses oculaires. C'est également un sensibilisant cutané.

Le formaldéhyde présent dans l'air est très irritant pour les yeux, le nez et la gorge à de faibles concentrations de l'ordre de 0,25 à 2 mg/m³ (0,2 à 1,6 ppm). L'irritation oculaire peut apparaître avant que l'odeur ne soit perçue.

Plusieurs études d'exposition contrôlée par inhalation ont montré chez l'homme le pouvoir irritant du formaldéhyde. Les symptômes pris en compte sont l'irritation des yeux accompagnée ou non de larmoiements, ainsi que l'irritation nez / gorge et la sécheresse buccale. Ces symptômes apparaissent, dans la plupart des études, dès 0,25 à 0,375 mg/m³ (0,2 à 0,3 ppm) ; le plus souvent, l'inconfort des patients augmente en même temps que la concentration d'exposition jusqu'à 2,5 ou 3,75 mg/m³ (2 ou 3 ppm) (Andersen et Molhave, 1983 ; Bender *et al.*, 1983 ; Kulle, 1993 ; Day, 1984).

En ce qui concerne les effets du formaldéhyde sur la fonction respiratoire, les résultats sont beaucoup moins clairs et parfois contradictoires. Une dizaine d'études décrivent l'absence d'effets chez des volontaires sains, sensibilisés ou asthmatiques, exposés à des concentrations variant de 0 à 3 ppm (3,75 mg/m³) sur des périodes allant de 10 minutes à 4 heures, et soumis ou non à des exercices physiques. Seules quelques études, réalisées en milieu professionnel, ont permis d'observer une diminution du VEMS (Volume Expiratoire Maximum par Seconde) pour des expositions courtes (20 et 30 minutes) à des concentrations de 2,4 mg/m³ (1,9 ppm) et 6,4 mg/m³ (5,2 ppm) (INERIS, 2010).

L'irritation oculaire, qu'elle soit sensorielle ou tissulaire, est un effet précoce par rapport à l'irritation nasale et respiratoire. Les résultats des études chez l'Homme indiquent que l'irritation oculaire est l'effet le plus sensible induit par une exposition au formaldéhyde. Elle est observée à des concentrations inférieures à celles associées à l'irritation nasale et respiratoire (Paustenbach *et al.*, 1997 ; Afsset, 2008 ; Doty *et al.*, 2004 ; OMS, 2010 ; Anses, 2017). Selon le rapport « Valeurs guides de qualité d'air intérieur, formaldéhyde » publié par l'Anses en 2018, il apparaît pertinent de retenir l'irritation oculaire comme effet critique.

Deux nouvelles études d'exposition contrôlée ont permis de déterminer une relation dose-réponse associant l'exposition au formaldéhyde et la survenue d'effets aigus chez l'Homme : Lang *et al.* (2008) et Mueller *et al.* (2013).

Dans l'étude de Lang *et al.* (2008), les sujets ont été exposés à 10 niveaux de concentrations de formaldéhyde différents, de façon continue pendant 4 heures avec ou sans pics d'exposition de 15 minutes. Les concentrations varient de 185 à 615 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, correspondant aux concentrations les plus faiblement testées parmi les études d'exposition contrôlée disponibles.

L'étude de Mueller *et al.* (2013) complète les résultats obtenus par Lang *et al.* (2008). Elle dispose d'un nombre de sujets plus élevé (41 individus) exposés pendant 1 semaine, mais n'a été conduite que chez des sujets de sexe masculin. De plus, la répartition des sujets en deux groupes distincts « hypersensibles » et « hyposensibles » à l'irritation sensorielle nasale n'est pas jugée pertinente. En effet, le test d'irritation au CO_2 utilisé pour cette répartition est considéré comme un test à la douleur, non pertinent pour identifier des individus sensibles aux effets du formaldéhyde. Enfin, l'étude a été conduite sur 1 semaine au lieu de 2 consécutives dans l'étude de Lang *et al.* (2008).

L'étude de Lang *et al.* (2008) est donc retenue par l'Anses comme étude clé pour la proposition des valeurs de références aiguës pour la population professionnelle et générale.

2.3 Toxicité chronique

Les effets irritants liés à une exposition chronique au formaldéhyde sont similaires à ceux observés lors d'une exposition aiguë.

Chez l'Homme, des irritations des yeux, de la gorge et des voies respiratoires, une fatigue et des maux de tête ont été rapportés en milieu professionnel et en population générale, dans de nombreuses études réalisées notamment chez des habitants de « mobile homes », sans indication sur la durée de résidence. Ces symptômes apparaissent dès 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en population générale (IPCS, 2002 ; Ritchie *et al.*, 1987).

Des effets sur la capacité respiratoire, des phénomènes de sensibilisation et des pathologies asthmatiques, pouvant entraîner des hospitalisations, ont été observées dans des études épidémiologiques chez des enfants de 6 mois à 3 ans lors d'expositions domestiques au formaldéhyde à des concentrations pouvant être aussi faibles que 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Santé Canada, 2005). Il est cependant difficile de conclure au rôle exclusif du formaldéhyde dans ces phénomènes du fait d'un effet possible de confusion par d'autres polluants présents dans l'air intérieur (Paustenbach, 1997 ; IPCS, 2002 ; Afsset, 2008 ; OMS, 2010 ; Golden, 2011).

Parmi les études épidémiologiques récentes s'intéressant spécifiquement à la pollution de l'air intérieur, quatre études ont identifié une relation statistiquement significative entre la survenue de symptômes respiratoires et les expositions aux plus fortes concentrations en formaldéhyde ; cinq études n'ont toutefois pas retrouvé une telle relation (Anses, 2018).

Certaines études ont mis en évidence des phénomènes de sensibilisation et des pathologies asthmatiques, mais présentaient un certain nombre de biais de confusion, rendant de ce fait difficile l'interprétation des résultats. De plus, de nombreuses autres études ont échoué à mettre en évidence de telles relations (Anses, 2018).

2.4 Génotoxicité

Différentes études de génotoxicité ont montré des résultats positifs tant sur bactéries que sur cellules de mammifères *in vitro*. Ces tests ont également mis en évidence la capacité du formaldéhyde à induire des lésions primaires de l'ADN et des adduits ADN-protéine pouvant, en cas de réparation incomplète, produire des mutations (Barker *et al.*, 2005) ou des effets clastogènes (Anses, 2011).

L'ensemble des études *in vitro* et *in vivo* montre que le formaldéhyde semble être un composé génotoxiques direct dont les effets sont principalement observés au niveau du site de contact et pour des concentrations élevées (Afsset, 2008).

Les recherches de micronoyaux, d'aberrations chromosomiques, ou d'échanges de chromatides sœurs sur cellules buccales, nasales ou au niveau des lymphocytes ont parfois montré des résultats positifs. Toutefois, les effets observés n'étaient pas dose-dépendants et variaient avec les expositions (INRS, 2011).

Les résultats des tests du micronoyau sur lymphocytes circulants issus de différentes études chez des travailleurs exposés au formaldéhyde indiquent une corrélation entre le niveau et la durée d'exposition au formaldéhyde et la présence d'une instabilité génétique dans les lymphocytes circulants lorsque ceux-ci sont mis en culture *ex-vivo*. Cependant, ce test ne permet pas de distinguer si les micronoyaux observés proviennent de l'effet du formaldéhyde sur les lymphocytes circulants dans la circulation sanguine, ce qui serait plutôt un marqueur d'exposition au formaldéhyde, ou d'un effet sur les progéniteurs lymphoïdes localisés dans la moelle osseuse qui, en accumulant des mutations généreraient des lymphocytes circulants pourvus d'une plus grande instabilité génétique. Il apparaît donc difficile de conclure avec certitude à un potentiel effet génotoxique systémique du formaldéhyde, le poids de la preuve étant considéré comme moyen ou faible (Anses, 2018).

2.5 Effets sur la reproduction

Comme mentionné dans le rapport de l'Anses, 2018, Duong *et al.* (2011) ont réalisé une revue systématique des données des effets du formaldéhyde sur la reproduction et le développement, ainsi qu'une méta-analyse. Les résultats de cette méta-analyse (par ailleurs cohérents avec ceux de la méta-analyse de Collins *et al.*, 2001) montrent qu'une exposition maternelle au formaldéhyde est associée à des risques d'avortement spontané.

Les auteurs précisent eux-mêmes que des facteurs de confusion (co-expositions avec d'autres composés pouvant induire des effets sur la reproduction dans les études, risque relatif (RR) non ajustés) et des biais de mémorisation peuvent être la cause d'une surestimation de ces RR, qu'ils n'estiment pas pouvoir être en mesure d'évaluer (Duong *et al.*, 2011).

2.6 Effets cancérigènes

Dans sa monographie de 2004, le CIRC conclut que le formaldéhyde est un cancérigène pour l'Homme (classification dans le groupe 1). En 2014, au niveau de la réglementation

européenne, il a été classé cancérigène de catégorie 1B, substance dont le potentiel cancérigène pour l'être humain est « supposé » (ATP 06 - règlement (CE) n°1272/2008).

Parmi les données disponibles, les deux méta-analyses de Blair *et al.* (1990) et Partanen (1993) qui reprennent par des techniques d'analyses un peu différentes les données d'études épidémiologiques (cas-témoins pour l'essentiel), arrivent aux mêmes conclusions. Tous deux considèrent en effet, que c'est pour le cancer du nasopharynx, et dans une moindre mesure celui des cavités nasales, que l'on peut attribuer un rôle causal hautement probable au formaldéhyde, en raison d'une relation exposition-effet et de l'action directe du formaldéhyde sur ces sites (site de contact respiratoire). Dans ce sens, la méta-analyse de Collins *et al.* (1997) met en évidence un risque relatif significativement supérieur à 1 de développement de cancer du nasopharynx.

Le groupe de travail a l'origine de la monographie de l'IARC (2006) sur le formaldéhyde, considère qu'il est improbable que les nombreux résultats positifs pour le cancer du nasopharynx recensés dans différentes études épidémiologiques soient le fait de biais. Il conclut que les résultats des études menées aux USA chez des travailleurs de l'industrie, ainsi que les nombreux autres résultats positifs tirés d'autres études, apportent une preuve épidémiologique suffisante pour démontrer que le formaldéhyde peut être à l'origine de cancers du nasopharynx chez l'Homme.

La génotoxicité du formaldéhyde n'est observée expérimentalement qu'à de fortes concentrations. L'effet cancérigène au niveau du nasopharynx repose sur la cytotoxicité et la génotoxicité du formaldéhyde. Une réévaluation des résultats de l'étude de Monticello *et al.* (1996) par Gaylor *et al.* (2004) a confirmé que la survenue du cancer du nasopharynx résulte de deux événements distincts répondant à une relation dose-réponse à seuil : a) la cytotoxicité du formaldéhyde, à l'origine d'une prolifération régénérative cellulaire, b) la superposition des effets génotoxiques du formaldéhyde dont la formation de DPX (DNA-Protein Crosslinks : adduits ADN-protéines) qui devient irréversible au-delà d'une concentration élevée en formaldéhyde (BfR, 2006).

Les études mesurant le taux de formation de DPX chez l'animal concluent à l'existence d'un seuil de 2,5 mg/m³ au-delà duquel ce taux augmente de façon significative (Anses, 2018).

Les effets cancérigènes du formaldéhyde au niveau du nasopharynx sont donc observés dans un contexte d'exposition répétée à des concentrations élevées, causant préalablement une cytotoxicité se traduisant par des irritations locales.

De nombreuses études conduites chez l'Homme ont évalué l'association entre la mortalité par leucémies et l'exposition professionnelle au formaldéhyde. Les résultats sont équivoques mais tendent à mettre en évidence une association entre leucémies et exposition au formaldéhyde à des concentrations élevées uniquement.

Les études conduites chez l'animal n'apportent pas d'éléments en faveur de la survenue de leucémies aux niveaux d'exposition au formaldéhyde associés à la survenue de cancers au niveau nasal. En effet, l'incidence de leucémies ou de lymphomes chez l'animal est augmentée uniquement dans les groupes aux plus fortes concentrations testées. Les études expérimentales conduites par voie orale aboutissent à la même conclusion.

Malgré les incertitudes sur les données mécanistiques et l'absence de données consolidées chez l'animal, et considérant les résultats des études épidémiologiques chez l'Homme, l'association entre l'exposition au formaldéhyde et la survenue de leucémies chez l'Homme ne peut être écartée. Pour autant, le lien de causalité ne peut être confirmé (biais de confusion ou incertitudes sur la caractérisation de l'exposition notamment). De plus, l'association est observée à des niveaux de concentrations plus élevés que ceux associés à la survenue du cancer du nasopharynx dont le lien de causalité au formaldéhyde est certain selon l'OMS.

Les effets cancérigènes au niveau du nasopharynx constitueraient donc l'effet critique le plus sensible lors d'une exposition chronique au formaldéhyde chez l'Homme par voie aérienne (Anses, 2018). En effet, il s'agit de l'effet cancérigène du formaldéhyde le mieux décrit, pour lequel une relation causale est établie à partir de nombreuses données humaines, animales et mécanistiques. Le développement de cancers du nasopharynx est lié à une altération répétée et prolongée de l'épithélium nasal, donc à des expositions suffisamment importantes et prolongées causant préalablement une irritation. Les données sur le mécanisme d'action permettent de déterminer une relation dose-réponse à seuil, s'inscrivant dans une succession d'évènements clés conduisant à la formation de tumeurs au niveau du nasopharynx et dont les premiers symptômes sont l'irritation oculaire et nasale.

Afin de protéger de la survenue des cancers du nasopharynx, l'effet retenu est donc l'irritation oculaire (Anses, 2018).

2.7 Populations sensibles ou vulnérables

En ce qui concerne les effets irritatifs, il existe une variabilité interindividuelle mais celle-ci ne semble pas très importante chez les adultes non-fumeurs, fumeurs, asthmatiques ou hypersensibles.

Sujets asthmatiques : une étude expérimentale réalisée chez 19 sujets asthmatiques suggère un effet potentialisateur d'une pré-exposition au formaldéhyde sur la réponse bronchique immédiate et tardive lors d'une exposition à des allergènes. Mais ces résultats ne sont pas corroborés par une autre étude réalisée chez 12 sujets asthmatiques et allergiques au pollen. En l'état actuel des connaissances, les actions irritantes ou sensibilisantes du formaldéhyde aggravant les pathologies allergiques n'ont pas été démontrées.

Enfants : une étude comparative suggère des effets respiratoires (diminution de 10 % du débit respiratoire de pointe) chez des enfants exposés à des concentrations en formaldéhyde de 37 µg/m³ sans effet chez l'adulte. Par ailleurs, les études recherchant une relation entre la survenue d'effets respiratoires chez l'enfant et l'exposition au formaldéhyde à leur domicile ou leur école n'ont pas permis de conclure avec certitude à l'existence d'une association, en raison de cofacteurs d'exposition (allergènes animaux, moisissures, trafic routier, facteurs socio-économiques) (Paustenbach, 1997 ; IPCS, 2002 ; Afsset, 2008 ; OMS, 2010 ; Golden, 2011).

Concernant l'irritation oculaire, plusieurs ophtalmologistes contactés par l'Anses, dans le cadre de leurs travaux d'expertise relatifs au formaldéhyde ont indiqué l'existence d'une variabilité interindividuelle concernant l'irritation oculaire aux substances chimiques, notamment au formaldéhyde (Anses, 2018). La sécheresse oculaire est l'un des facteurs aggravants, pouvant être corrélée à l'existence de pathologies (syndrome de l'œil sec par exemple), ou d'états physiologiques spécifiques (ménopause, porteurs de lentilles par exemple). L'étude de Wolkoff *et al.* (2016) liste ainsi un certain nombre de facteurs de risque associés à la sécheresse oculaire dont l'âge.

Il est considéré un seuil d'effet pour l'ensemble des effets irritants aigus et chroniques du formaldéhyde. L'irritation oculaire peut être retenue comme effet critique permettant de protéger de l'ensemble des effets du formaldéhyde, y compris la survenue des cancers du nasopharynx.

3. Généralités sur le formaldéhyde et ses sources en air intérieur

Tableau I : Propriétés physiques du formaldéhyde

Formaldéhyde	cas n° 50-00-0
Facteur de conversion	1 ppm = 1,23 mg/m ³
Seuil olfactif	Entre 0,1 et 1 ppm
masse molaire	30,03 g/mol
pression de vapeur saturante	de 314 à 519 kPa (10 et 25°C),
solubilité	106 mg/l (25°C)
constante de Henry	3,4.10 ⁻⁵ kPa.m ³ /mol
constante de partage octanol carbone	1,07

(INRS, 2011)

3.1 Production et usages

Le formaldéhyde n'est pas commercialisé sous forme gazeuse, et se présente principalement sous forme liquide, le formol :

- Le formol ou la formaline contient 30 à 50 % (en poids, souvent à 37 %) de formaldéhyde dans une solution d'eau et la plupart du temps d'alcool pour éviter sa polymérisation (généralement 10 à 15 % de méthanol).

Le formaldéhyde se présente également sous forme solide, ou polymérisée :

- le paraformaldéhyde (polymère), sous forme de poudre ou de cristaux blancs, contient environ 90 % à 93 % de formaldéhyde et jusqu'à 10 % d'eau ;
- le trioxane (trimère), est un solide cristallin.

Le formaldéhyde est produit industriellement par oxydation catalytique du méthanol en phase vapeur. Deux grands procédés sont principalement mis en œuvre pour la fabrication du formaldéhyde, en réacteur fermé et avec récupération des gaz résiduels :

- La conversion partielle, avec un catalyseur à base d'argent (argent ou cristal d'argent), chauffé à une température de 600 à 720 °C (DGE, 2006). La réaction de déshydrogénation se fait en présence d'air. La conversion de méthanol en formaldéhyde est partielle, ce qui implique une étape de distillation. Les gaz résiduels (N₂ et H₂) sont valorisés dans une chaudière.

- La conversion totale, avec un catalyseur à base d'oxyde de métal (fer modifié, vanadium, molybdène) portés à une température entre 270 et 380 °C. La conversion du méthanol en formaldéhyde est totale. Les gaz sont recyclés vers la réaction et les événements sont traités sur oxydeur catalytique (Afsset, 2009).

Le formaldéhyde a de multiples applications en raison de ses propriétés physico-chimiques en tant que biocide, conservateur ou fixateur. Il est largement utilisé, sous forme solide ou liquide, dans de nombreux secteurs industriels notamment comme intermédiaire chimique de réaction et pour la fabrication de résines destinées à des produits de construction et de consommation d'usage courant (produits de bricolage, meubles, produits d'entretien, cosmétiques etc.).

De nombreux domaines l'utilisent, notamment le domaine vétérinaire, cosmétique, médical, l'industrie du bois et de l'ameublement, l'agriculture, le travail des métaux, l'industrie du nettoyage (fabrication de détergents), le traitement de l'eau, l'industrie textile, l'industrie du cuir, la photographie, les secteurs des adhésifs, des peintures, vernis et revêtements, du papier, (Afsset, 2009).

Le formaldéhyde résulte également de phénomènes de combustion incomplète (fumée de tabac, bougie, feux de cheminée etc.).

3.2 Sources en air intérieur

Dans l'air intérieur, le formaldéhyde est une substance ubiquitaire. Les sources qui sont responsables des teneurs observées sont principalement de trois types (Afsset, 2009) :

- les produits de construction et d'ameublement et plus particulièrement les panneaux de particules, qui sont collés avec des résines aminoplastes (urée-formol UF, mélamine-formol MF et mélamine-urée-formol MUF) et phénoplastes (phénol-formol PF et phénolrésorcinol-formol PRF) ; leur fabrication utilise environ 85 % du formaldéhyde consommé en France ;
- les produits domestiques (produits nettoyants, cosmétiques, peintures, vernis, colles...) dans lesquels le formaldéhyde est souvent utilisé en tant que conservateur ;
- les combustions domestiques pour la cuisson des aliments et le chauffage des locaux, les cheminées d'agrément ainsi que le tabagisme ou l'utilisation d'encens.

Ces dernières années, un certain nombre d'études ont été menées avec pour objectif de mettre en évidence, de manière spécifique, les différentes sources de composés chimiques dans l'air intérieur et notamment le formaldéhyde.

MOBAIR-C et MOBAIR-DE – 2011/2012

Le projet MOBAIR-C mené par l'Institut Technologique Forêt Cellulose Bois-construction Ameublement (FCBA) et le CSTB entre 2010 et 2011, a été consacré aux mobiliers de crèche

et d'écoles (MOBAIR-C). Début 2012 a débuté un projet sur les mobiliers équipant la chambre du bébé et du jeune enfant (MOBAIR-Domestique Enfants).

Les deux grands objectifs de ces projets sont de :

- apporter des connaissances pertinentes sur la contribution du mobilier et des composants dans l'air intérieur principalement des mobiliers des espaces du jeune enfant ,
- élaborer un outil simple d'aide à la décision pour permettre aux acteurs concernés par l'équipement de salles de crèches ou d'écoles maternelles ou des chambres du jeune enfant de choisir les solutions les moins émissives possibles en polluants volatils.

Dans cette étude, les émissions de formaldéhyde de 21 meubles pour crèche et école maternelle et de 38 éléments constituant ces meubles ont été caractérisées. De manière générale, il a été observé que les émissions des meubles sont restées relativement faibles, inférieures à $16 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$ pour le formaldéhyde (hormis pour 2 meubles, $51\text{-}55 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$). Les meubles les plus émissifs en formaldéhyde étaient la « *chaise bois grand import* », notamment du fait de ses pieds en bois lamellé-collé, et une chaise avec une assise multiplis vernie sur une seule face. Pour les meubles en plastique (couchettes, chaises, éléments de motricité), globalement, les émissions de formaldéhyde sont inférieures à celles des meubles en bois (Roux et al., 2011).

Étude ADOQ ; CSTB-INERIS-IRCELYON 2013

Le projet ADOQ (Activités DOMestiques et Qualité de l'air intérieur), projet de recherche appliquée, s'est déroulé entre 2009 et 2013. Il a été mené par le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), l'Institut de Recherches sur la Catalyse et l'Environnement de Lyon (IRCE LYON) et l'Ineris. ADOQ étudie l'impact des émissions des produits d'entretien sur la qualité de l'air intérieur.

Afin de répondre à cet objectif, les émissions de polluants liées aux activités domestiques dans l'air intérieur ont été caractérisées et la contribution des composés secondaires sur la qualité de l'air intérieur a été évaluée. La méthodologie employée repose sur la combinaison de mesures en atmosphère réelle (maison expérimentale MARIA) et en atmosphère simulée (évaluation des produits ménagers en chambre d'émission contrôlée). Ainsi les facteurs d'émissions de 54 produits ont été caractérisés en chambre d'émission, puis 19 produits ont été testés dans des conditions réalistes, dans la maison MARIA, sur la base de scénarii préalablement établis.

En ce qui concerne les aldéhydes, le formaldéhyde est le composé majoritairement émis par les produits testés. Les facteurs d'émissions surfaciques mesurés varient entre 0 et $405 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$ la première demi-heure, et entre 0 et $615 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{h}$ la demi-heure suivante. Le formaldéhyde est émis par 49 des 54 produits testés et les facteurs d'émission les plus élevés concernent les dépoussiéreurs et les eaux de javel (Nicolas *et al.*, 2013).

Les concentrations de formaldéhyde mesurées en conditions réelles indiquent des valeurs comprises entre 5 et 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en période estivale et entre 12 et 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en période hivernale. Une augmentation significative des concentrations après une utilisation des produits a été observée pour près de 2/3 des produits testés.

La corrélation observée entre ozone et formaldéhyde souligne le caractère partiellement secondaire du formaldéhyde (Nicolas *et al.*, 2013). Les émissions secondaires de formaldéhyde sont, notamment, issues de l'ozonolyse des terpènes émis par les produits ménagers.

Étude INCITAIR – La Rochelle 2016

Le projet INCITAIR a consisté à développer une méthodologie et des outils pour la prise en compte du critère qualité de l'air (formaldéhyde) dans les marchés publics concernant les écoles (Cormerais et al, 2017).

L'identification des marchés prioritaires nécessite la hiérarchisation des sources de formaldéhyde par la modélisation. Les étapes de cette identification sont les suivantes :

- Recensement des sources potentielles de formaldéhyde dans les écoles (sources permanentes : matériaux, mobilier ; sources intermittentes : produits d'entretien, fournitures)
- Détermination des débits d'émission par ces sources,
- Simulations dynamiques de configuration de salles de classe représentatives : aménagement, occupation, activité. Au total, 256 simulations ont permis d'obtenir les profils hebdomadaires de concentrations en formaldéhyde (variation temporelle = 1 min),
- Identification des familles de sources qui contribuent le plus à l'exposition moyenne (période d'occupation) et à l'exposition de point (max 2 heures) des occupants.

Avec une ventilation de type « aération hiver », les sources d'émission, qui contribuent le plus à l'exposition moyenne au formaldéhyde dans les écoles de La Rochelle sont les matériaux de construction et le mobilier (travaux, fourniture et matériaux, mobilier scolaire). Les sources ponctuelles telles que le ménage semblent avoir peu d'impact sur l'exposition moyenne au formaldéhyde.

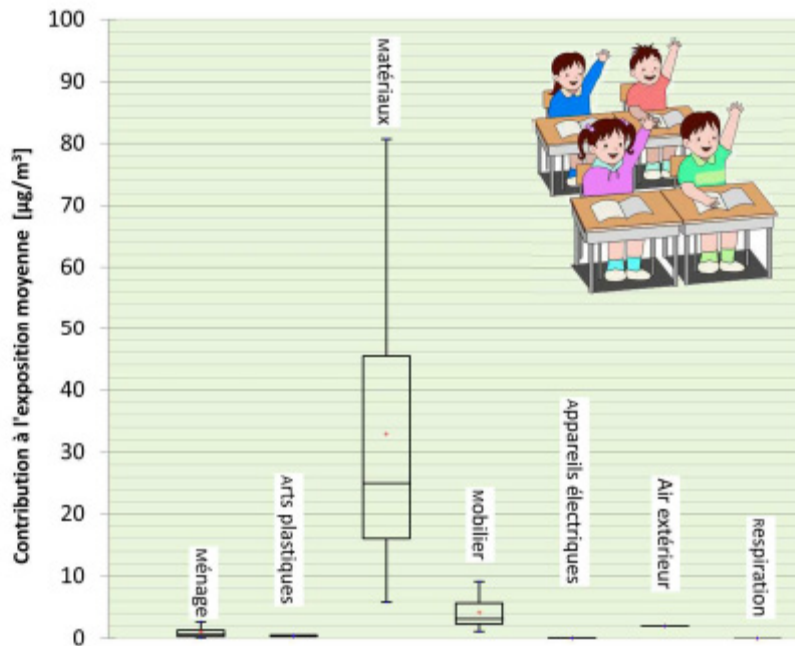


Figure 1 : Contribution des sources à l'exposition dans les écoles élémentaires (projet Incitair) – La Rochelle, 2016

Projet EBENE -2017 ; CSTB-INERIS-LCE

Dans l'étude de Nicolas M. *et al.* (2017), relative à « l'Exposition aux polluants émis par les bougies et les encens dans les environnements intérieurs (EBENE) », les émissions (et risques sanitaires associés), de neuf encens, de neuf bougies parfumées et d'une lampe à catalyse ont été évaluées. Les techniques analytiques utilisées pour le projet associent à la fois des méthodes indirectes nécessitant un prélèvement puis une analyse différée (selon les méthodes normalisées NF ISO 16000-6 et NF ISO 16000-3) et des méthodes directes permettant une analyse en continu des polluants étudiés (COV et formaldéhydes par PTR-ToF-MS). Les essais d'émission ont été réalisés dans une pièce de la maison MARIA du CSTB, vide de tout mobilier et à la décoration minimale. Le formaldéhyde fait partie des principaux polluants émis par les produits testés.

Tableau II : Concentrations en formaldéhyde mesurées dans l'air intérieur de logements lors de la combustion de bougies et d'encens (EBENE, 2017)

Produits testés	Polluant	Concentrations mesurées lors de la combustion	Concentrations mesurées 1 heure après la combustion
Encens	Formaldéhyde	Entre 10 et 47 µg/m ³	Entre 8,8 et 34 µg/m ³
Bougies		Entre la limite de détection et 5 µg/m ³	Entre 0,8 et 11,8 µg/m ³

3.3 Air extérieur

Une contribution extérieure peut s'ajouter dans certains environnements proches du trafic routier ou en période de forte photochimie atmosphérique, suite à des réactions impliquant de nombreux composés organiques.

Selon l'inventaire des données de mesures AASQA réalisé par l'INERIS, les concentrations sont comprises entre 1,6 et 4,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en milieu urbain et entre 1,3 et 3,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en milieu industriel (INERIS, 2009).

4. Distribution des concentrations mesurées dans les différents milieux

Les données de concentration dans l'air intérieur sont autant que possible des données françaises récentes. Elles sont présentées selon le mode de prélèvement mis en œuvre :

- Le mode de prélèvement passif permet d'estimer les niveaux d'exposition sur un pas de temps long (4,5 jours pour les écoles ; 7 jours pour les logements) ; Ce mode de prélèvement est utilisé à ce jour pour répondre à la réglementation en vigueur ;
- Le mode de prélèvement actif permet d'estimer les niveaux d'exposition sur un pas de temps court (entre 1 et 4 heures) ;
- Le mode de prélèvement au moyen d'analyseurs en continu permet de mesurer en continu les concentrations en formaldéhyde et ainsi observer leur cinétique sur la période considérée.

4.1 Prélèvements passifs

4.1.1 Cas général des habitats

L'Observatoire français de la qualité de l'air intérieur (OQAI) a pour objectif d'améliorer les connaissances sur la pollution intérieure, ses origines et ses dangers, afin de mettre au point des recommandations en matière de qualité de l'air intérieur. La première campagne nationale sur la qualité de l'air dans l'habitat en France a porté sur 554 logements en 2004-2006 (OQAI, 2006). Pour le formaldéhyde, les prélèvements ont été réalisés sur 7 jours à l'aide de tubes passifs de type Radiello imprégnés au 2,4 DNPH (2,4 -diphényl hydrazine). Les données issues de cette campagne de mesures indiquent des concentrations en formaldéhyde dans les chambres variant de 1,3 à 86,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (moyenne sur 7 jours) avec une médiane à 19,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Dans un contexte différent, le Laboratoire santé publique et environnement de l'Université Paris- Descartes et la Direction de l'action sociale de l'enfance et de la santé de la Mairie de Paris ont entrepris en 2003 le suivi d'une cohorte de plus de 4 000 nouveau-nés franciliens. L'environnement domestique de 200 de ces nouveau-nés a été caractérisé (Dassonville et al, 2009). Les concentrations mesurées variant de 6,6 à 66,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sont proches de celles de l'OQAI.

Tableau III : Distribution des concentrations en formaldéhyde dans les logements en France métropolitaine (campagne OQAI) et en Ile-de-France (OQAI, 2006)

Concentrations de formaldéhyde en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Logements français OQAI (n=554), 2003-2005	Logements de nouveau-nés franciliens (n=206), 2003
Minimum	1,3	6,6
Médiane	19,6	19,4
Percentile 75	28,3	27,0
Maximum	86,3	66,5

À partir de 2012, dans le cadre des actions de l'OQAI dédiés aux bâtiments performants en énergie, des données de concentrations ont été publiées pour 63 logements de bâtiments PREBAT (Plateforme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans le bâtiment). Des mesures ont été réalisées dans la chambre et le séjour sur deux périodes différentes de l'année (période de chauffe et sans chauffe). La concentration médiane est de $17,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (maximum à $38,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (OQAI 2016) avec une différence significative en période de chauffe ($p < 0,001$).

Les articles publiés sur les 10 dernières années (2009-2016) dans la littérature rapportent des concentrations médianes en formaldéhyde mesurées sur 7 jours dans l'air intérieur de logements en France comprises entre 7 et $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Anses, 2018). Les valeurs maximales mentionnées sont comprises entre $61,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (maisons neuves individuelles BB) et $113 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cohorte PELAGIE : 150 maisons :120 en zone rurale et 30 en zone urbaine – entre septembre 2012 et octobre 2013 en Bretagne) (Dallongeville, 2015).

4.1.2 Écoles et crèches

Le formaldéhyde est le polluant qui a été le plus étudié en France dans les établissements scolaires et les locaux de la petite enfance. D'une manière générale, les mesures sont le plus souvent intégrées sur des périodes de l'ordre de 4,5 jours et réalisées au moyen de capteurs à diffusion radiale. (Radiello®).

Tableau IV : Concentrations en formaldéhyde mesurées dans l'air intérieur en France dans les crèches et écoles

Étude source	Lieu de l'étude	Description de l'étude	Détail du prélèvement	Concentrations mesurées [min – max]
Étude pilote de l'OQAI (OQAI, 2004)	Strasbourg, Aix-Marseille et Nord-Pas-de-Calais	9 écoles entre mars et juillet 2001 du lundi au vendredi	Prélèvement passif (Radiello®),	13 à 67 µg/m ³
Aspa, 2005	Strasbourg et son agglomération	Lieux d'accueil de la petite enfance (143), des écoles maternelles (157) et primaires (222) entre 2004 et 2005	Prélèvement passif (Radiello®), mesures réalisées sur 48h	(24 %) > 30 µg/m ³ (n = 127), (5 %) > 50 µg/m ³ (n = 27) > 100 µg/m ³ (n = 3)
ATMO Rhône Alpes, 2009	Région Rhône-Alpes	50 établissements, crèches et écoles maternelles 3 salles/établissement 4 semaines en 2006 : juin, octobre, décembre, mars	Prélèvement passif (Radiello®), Support Florisil imprégné de 2,4 DNPH, s Sur 5 jours	Médiane : 16,4 µg/m ³ max : 35,9 µg/m ³
Roda <i>et al.</i> (2011)	Paris (Ile de France, Cohorte de naissance PARIS)	28 crèches	Prélèvement passif (Radiello®), Support Florisil imprégné de 2,4 DNPH, sur 5 jours Désorption à l'acétonitrile	Hiver : 10,2 µg/m ³ (médiane) Été : 14,6 µg/m ³ (médiane) [4,8 – 40,1]
Michelot <i>et al.</i> (2011)	France campagne pilote de la surveillance réglementaire	13 régions - 160 écoles et crèches - 431 salles de classes septembre 2009 à mai 2010	Prélèvement passif (Radiello®) sur 4,5 jours Analyse par HPLC-UV Mesure sur 2 périodes (été et hiver)	N = 431 15,9 µg/m ³ (médiane) [3,7–75,1] Écart moyen entre la mesure « été » et « hiver » : 4 µg/m ³
Ramalho <i>et al.</i> (2015)		310 écoles et crèches - 896 salles de classes 2009-2011		Écoles maternelles n=297 19 µg/m ³ (médiane) [2–98]

Étude source	Lieu de l'étude	Description de l'étude	Détail du prélèvement	Concentrations mesurées [min – max]
				Écoles élémentaires n=769 17 µg.m ³ (médiane) [1,6 - 70]
Annesi-Maesano <i>et al.</i> (2012) Banerjee <i>et al.</i> (2012)	Bordeaux, Clermont-Ferrand, Créteil, Marseille, Strasbourg et Reims (Étude ISAAC- volet français)	108 écoles – 401 classes (CM1 et CM2) Mars 1999 et octobre 2000	Prélèvement passif (Radiello®) sur 5 jours (Débit de diffusion : 20,4 mL.min ⁻¹) Analyse par HPLC	n=540 21,54 µg/m ³ (moyenne ; SD 15,54) [12-55]
Verrièle <i>et al.</i> (2014)	(Nord et Alsace ; Etude MERMAID)	10 écoles avec une faible consommation énergétique (primaire, secondaire et supérieure) 2013	Prélèvement passif (Radiello®) imprégné de 2,4 DNPH sur 4,5 jours Extraction à l'acétonitrile Analyse HPLC-UV	13 µg/m ³ (médiane) [9 – 37]
Canha, 2016	France Campagne OQAI	600 classes en France étudiées entre 2013 et 2016	Prélèvement passif (Radiello®) imprégné de 2,4 DNPH sur 4,5 jours	19,2 µg/m ³ (médiane) 66,2 µg/m ³ (maximum)
Ineris, 2018	France	Bilan de la Surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant du public (ERP).	Prélèvement passif (Radiello®) imprégné de 2,4 DNPH sur 4,5 jours	n = 8524 16,1 µg/m ³ (médiane) [0,3 – 161] n = 19 (0,2 %) > 100 µg/m ³

4.1.3 Bureaux

Après le logement, le bureau est le second lieu de vie pour de nombreux travailleurs. Les espaces de bureaux ont été bien moins étudiés que les logements ou les lieux accueillant les jeunes enfants.

OFFICAIR – 2010-2014

OFFICAIR est un projet collaboratif européen, financé par l'Union Européenne dans le cadre du septième Programme Cadre Recherche et Développement.

Ce projet a démarré le 1er novembre 2010 et s'est achevé le 31 octobre 2013. Il a impliqué 8 pays européens dont la France (Mandin, 2017). Les immeubles français étaient situés à Paris, Meylan et Strasbourg. Les mesures ont eu lieu durant une semaine en été (2012), puis une semaine en hiver (2012-2013). du lundi au vendredi, dans 37 bâtiments.

Tableau V : Concentration en formaldéhyde dans les bureaux projet OFFICAIR – (2010 – 2014)

Polluant	Ventilation	Été		Hiver	
		Médiane tous immeubles (n=37) en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Médiane immeubles français (n=9) en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Médiane tous immeubles (n=35) en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Médiane immeubles français (n=9) en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Formaldéhyde	80 % des bâtiments mécaniquement 5 % naturellement 100 % des immeubles français	14,0	16,0	7,5	6,4

4.2 Prélèvements actifs**4.2.1 Cas général des habitats**

Des prélèvements ont été réalisés sur un pas de temps court (de 20 min à 1h30) dans des logements de la ville de Strasbourg et sa banlieue (Marchand, 2006, 2008). La méthodologie de mesure mise en œuvre dans ces études est celle validée pour la comparaison aux VGAI de l'ANSES établies en 2018 : le prélèvement actif par pompage sur cartouche imprégnée de 2,4-DNPH, désorption au solvant et analyse par HPL/UV.

Tableau VI : Concentrations en formaldéhyde mesurées dans l'air intérieur de logements en France sur des pas de temps courts.

Étude source	Ville	Descriptif de l'étude	Données sur la technique de mesure	Concentration mesurée [min – max]
Marchand <i>et al.</i> 2006	Strasbourg et sa banlieue	22 logements situés à la campagne 4 catégories définies en	Prélèvement actif de 20 à 90 min par pompage sur	n= 16 35.7 – 46.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne

Étude source	Ville	Descriptif de l'étude	Données sur la technique de mesure	Concentration mesurée [min – max]
		fonction de la surface au sol : 6 maisons de 20 à 50 m ² ; 6 maisons de 50 à 80 m ² ; 3 de 80 à 120 m ² et 7 de plus de 120 m ² Septembre 2004 et janvier 2005	cartouche imprégnée de 2,4- DNPH, désorption au solvant et analyse par HPL/UV	[13.3 – 123.4] Lors de l'expérience de tabagisme (5 cigarettes) 217 µg/m ³ en moyenne [213 – 221.1]
Marchand <i>et al.</i> 2008	Strasbourg et sa banlieue	(Partie d'une étude cas- témoin sur des sujets asthmatiques) 112 logements 2 prélèvements simultanés dans la chambre et dans le salon de chaque logement Février 2004 à mai 2004 et octobre 2004 à mai 2005	Prélèvement actif de 30 à 95 min Tube avec 2 cartouches imprégnées de 2,4-DNPH, désorption au solvant et analyse par HPL/UV	n= 162 (2 ^{ème} série de mesure) 29.2 µg/m ³ (SD ± 14.6) (médiane) [7-83]

Il est également intéressant de noter que l'analyse statistique des données concernant les variables socio-économiques des ménages a fait ressortir le statut d'emploi comme prédicteur des concentrations en formaldéhyde (Brown, 2015). Ainsi, les ménages à faibles revenus seraient plus susceptibles d'avoir des concentrations plus élevées en formaldéhyde. L'étude citée fait également ressortir que les concentrations en formaldéhyde à l'intérieur étaient également associées aux bâtiments nouvellement construits.

Étude SPSE

Dans le cadre de plaintes faisant état de symptômes respiratoires, des prélèvements ont été réalisés par le Service Parisien de Santé Environnementale (SPSE) dans les logements, sur un pas de temps d'1 heure (en règle générale, un voire deux points de mesure par logement, dépendants de la plainte des occupants). Entre 2012 et 2018, 64 prélèvements ont été réalisés (données non publiées communiquées par le SPSE). Les concentrations mesurées sont comprises entre 3,4 et 79,8 µg/m³. La médiane des concentrations est de 27,3 µg/m³ et le percentile 90 est de 58 µg/m³. La concentration maximale (79,8 µg/m³) a été mesurée dans un salon/séjour.

Études exploitant les données produites dans ADOQ – INERIS 2015, 2019

À partir des concentrations mesurées en conditions réelles dans la maison expérimentale MARIA, les expositions liées à des usages domestiques des produits testés ont été évaluées.

Concernant les concentrations mesurées, bien que les niveaux en formaldéhyde soient initialement importants dans les pièces étudiées, du fait de la présence d'autres sources telles que les produits de construction et du mobilier, une augmentation significative apparaît fréquemment après utilisation des produits ménagers. Par exemple des niveaux supérieurs à 100 µg/m³ ont été mesurés l'été lors de l'utilisation d'une lingette de nettoyage des vitres. De plus, un doublement des niveaux peut être noté dans le cas de deux vaporisateurs salle de bains avec des valeurs atteignant 17 et 30 µg/m³. Dans des conditions plus maîtrisées (en hiver), l'impact des activités domestiques est plus limité mais bien présent. Globalement, les niveaux notés après les actions sont compris entre 10 et 35 µg/m³.

Pour s'approcher de conditions réelles d'utilisation, des scénarii « multi-produits dans une pièce » ont été testés. Des mesures ont été réalisées pendant 2 heures après la fin des scénarii. En ce qui concerne le formaldéhyde, les niveaux des augmentations sont observés dans certains cas, avec des valeurs comprises entre 12 et 23 µg/m³ juste après l'action (Nicolas *et al.*, 2013).

À partir des concentrations mesurées après les utilisations des produits testés, des concentrations moyennes journalières (CMJ) ont été extrapolées selon différents scénarii d'utilisation ; elles sont comprises entre 0,06 et 8,6 µg/m³ pour la moyenne ; le percentile 90 pouvant aller jusqu'à 17 µg/m³ pour un scénario d'exposition très forte. L'application de bonnes pratiques classiques (aérer après utilisation, rincer les surfaces nettoyées) dans le cas d'un scénario d'exposition forte permet de ramener les risques calculés à des niveaux non-préoccupants. Par ailleurs, concernant des usages et des bâtiments qui peuvent être considérés comme s'approchant des conditions moyennes, au regard des données disponibles, les concentrations attribuables aux produits ménagers, calculées dans le cadre d'ADOQ et portant sur des produits considérés individuellement, représentent une faible part des concentrations moyennes mesurées dans les logements français, inférieure à 1 %. Néanmoins, peu de données sont disponibles pour évaluer les expositions : les résultats ci-dessus sont donc associés à de forts niveaux d'incertitudes. Une étude de l'INERIS (en cours de finalisation) actualisera ces premières évaluations en proposant des séances de ménage complètes.

4.2.2 Écoles et crèches

Les mesures sur des temps courts, de l'ordre de 1 à 4 heures, sont peu fréquentes dans les établissements scolaires et les locaux de la petite enfance.

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air – 2009

Dans le but de mieux appréhender l'incertitude liée à la stratégie d'échantillonnage du formaldéhyde en air intérieur, notamment sur le plan de la représentativité spatiale, une

campagne de mesures dans une école a été menée au mois de juin 2009 à la demande du MEEDDM, quatre salles de classe ont été sélectionnées.

Les **prélèvements actifs** ont été réalisés par pompage sur cartouche de type Sep Pack® contenant comme adsorbant un agent dérivatisant imprégné sur la cartouche d'adsorption. Les prélèvements actifs ont été réalisés tous les jours toutes les deux heures environ, débit fixé à 100 mL.min⁻¹ soit deux prélèvements le matin de 08h30 à 11h00 et de 11h00 à 13h30 et deux l'après-midi de 13h30 à 15h00 et de 15h00 à 16h30.

Les concentrations mesurées par prélèvement actif lors des différentes journées varient entre 17 et 56 µg/m³. Les variations journalières ne sont pas répétables d'un jour sur l'autre cependant les moyennes journalières sont globalement similaires et de l'ordre de la concentration qui avait été mesurée avec l'Interscan (analyseur en continu basé sur un mode de détection électrochimique) lors de la visite préliminaire, soit 30 µg/m³.

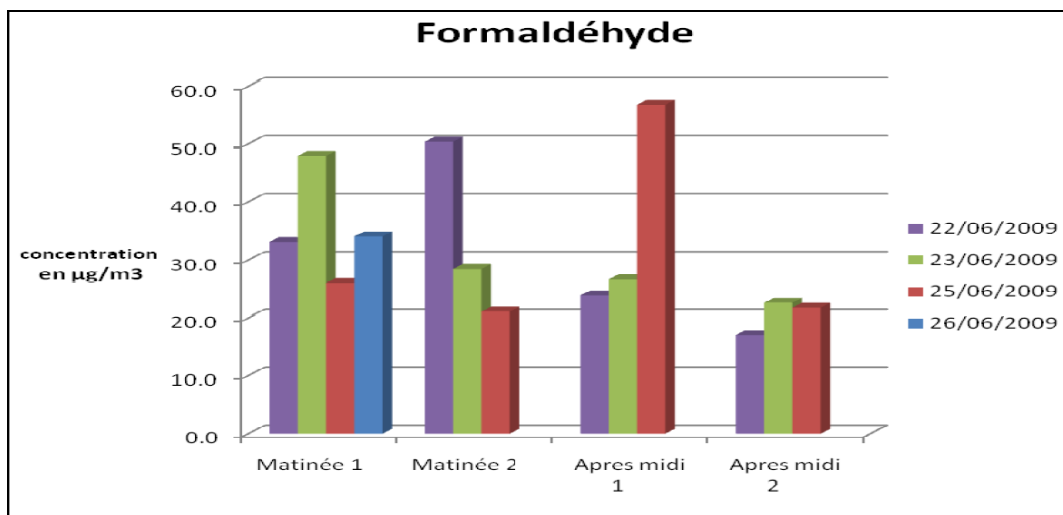


Figure 2 : Variation de la concentration en formaldéhyde durant la semaine de prélèvement dans la salle de classe n°9 - LCSQA 2009

4.3 Mesures avec des analyseurs en continu

Pour le formaldéhyde, les contraintes technico-économiques ont mené à des mesures intégrées sur plusieurs jours (4,5 jours pour les écoles ; 7 jours pour les logements) (Kirchner, 2006). Or ces mesures intégrées ne permettent pas de mettre en évidence la cinétique des concentrations en formaldéhyde ainsi que l'identification des pics de pollution et des activités émettrices associées, contrairement aux mesures en continu.

Différents appareils de mesures en continu sont actuellement commercialisés ou en phase de développement, parmi lesquels on peut citer :

- **L'Interscan** : la mesure est basée sur un mode de détection électrochimique. Les molécules de formaldéhyde passent au travers d'un milieu diffusif et réagissent électro-chimiquement à la surface d'une électrode. Cette réaction donne naissance à un courant dont l'intensité est directement proportionnelle à la concentration en formaldéhyde.
- **L'analyseur AL4021 Aerolaser** : Le principe du dispositif consiste à faire réagir le formaldéhyde présent dans l'air, avec un réactif spécifique pour former un dérivé pouvant être analysé en phase liquide par spectroscopie de fluorescence.
- **L'analyseur In'Air Solutions** : l'air est prélevé en continu à un débit constant de 20 mL./min-1. La méthode est basée sur les trois mêmes étapes que L'analyseur AL4021 Aerolaser piégeage du formaldéhyde gazeux dans une solution aqueuse, réaction chimique entre le formaldéhyde et un agent dérivatif sélectif, et détection par fluorescence du produit de réaction. Le temps de réponse est de 10 min. L'analyseur de formaldéhyde détecte une concentration entre 0,8 ppb (1 µg/m³) et 400 ppb (500 µg/m³).

Le capteur **NEMo**[®] se base sur la technologie de mesure développée par Ethera sous licence CEA/CNRS (Chevallier, 2012). Le dispositif de mesure est composé d'un matériau nanoporeux réagissant avec le formaldéhyde et dont la densité optique augmente lors de cette réaction. Celui-ci est associé à un système de détection optique permettant de mesurer la variation de densité optique du matériau dans le temps. Cette technologie permet la lecture optique directe tout au long de l'exposition pour des concentrations de l'ordre du µg/m³ (ppb).

Ces analyseurs ont été utilisés dans différentes études :

4.3.1 Écoles et crèches

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air – 2009

Dans le cadre de la campagne (2009-2011) de surveillance de la qualité de l'air dans les écoles et les crèches françaises, le LCSQA a lancé une étude dont l'objectif était d'organiser une campagne de mesure dans une école pour mieux appréhender l'incertitude liée à la stratégie d'échantillonnage du formaldéhyde élaborée dans les protocoles.

Pour préciser la représentativité temporelle, des mesures en continu ont été mises en œuvre, dans une salle tout au long d'une journée de classe pour tenter d'identifier des variations de concentration en fonction des activités des élèves. Le prélèvement en continu a été réalisé à l'aide de l'Interscan.

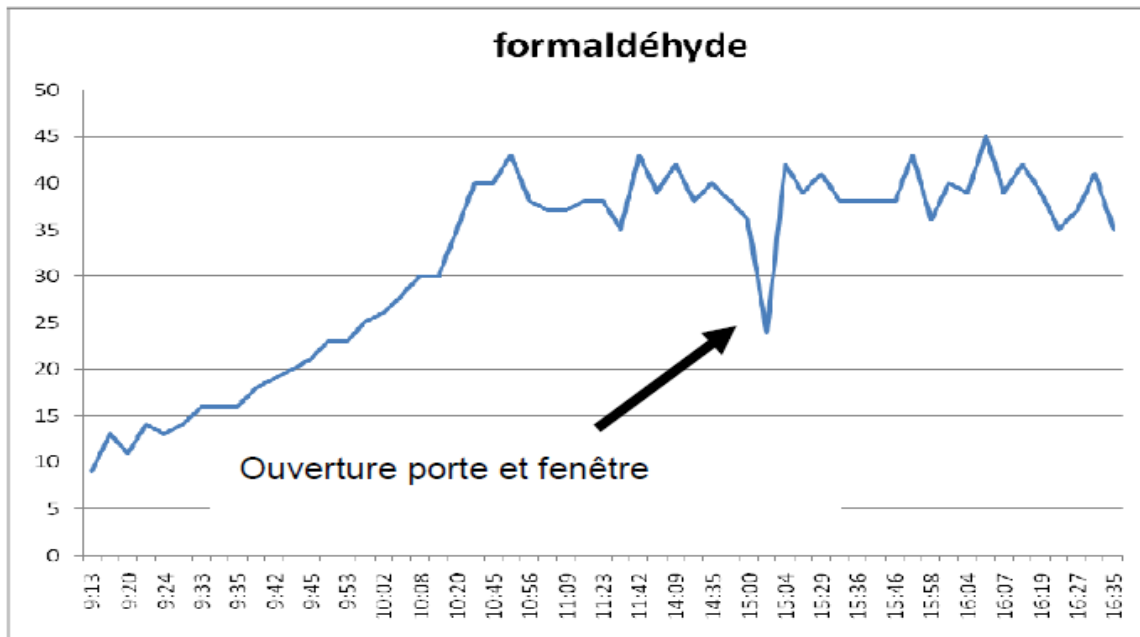


Figure 3 : Évolution de la concentration en formaldéhyde mesurée avec l'Interscan (LCSQA, 2009)

La concentration en formaldéhyde augmente au cours de la journée de classe, pendant environ 2 heures. Cette augmentation des concentrations en formaldéhyde dans la classe est en lien avec son occupation par les élèves, leur activité, mais peut également s'expliquer par une mise en route de l'appareil, pouvant être longue ainsi que l'ont montré les tests réalisés par le LCSQA en 2008.

Les niveaux de formaldéhyde atteignent une valeur relativement stable d'environ 40 µg/m³ durant le reste de la journée.

Excepté une chute brutale de la concentration vers 15h00 qui pourrait être imputable à l'ouverture de la porte et des fenêtres au cours de la récréation (notons que l'ouverture des portes à 11h30 à l'heure du repas n'a pas entraîné de diminution significative des concentrations mesurées), aucune modification particulière, fonction de l'activité dans la classe (coloriage, écriture...) n'a pu être observée (LCSQA, 2009).

Étude IMPACTAIR – La Rochelle 2016

Le projet IMPACTAIR s'inscrit dans un programme global dont l'objectif principal est de répondre à un enjeu de santé publique en améliorant la qualité de l'air intérieur (QAI) dans les crèches, les maternelles et les écoles élémentaires de la ville de La Rochelle (Cormerais, B., 2017). Le plan méthodologique était de réaliser des mesures passives, des mesures actives conformément à la méthode de référence ISO 16000-3 et des mesures en continu.

Les mesures en continu ont été réalisées à l'aide de l'analyseur In'Air Solutions dans deux salles de classes. Les prélèvements ont été réalisés durant 5 semaines en considérant différentes hypothèses :

- Semaine 1 : contribution du bâti (salle vide) ;
- Semaine 2 : contribution de l'ameublement (salle meublée) ;
- Semaine 3 : protocole d'aération en présence des enfants (salle + meubles + consignes d'aérations habituelles) ;
- Semaine 4 : protocole d'aération en présence des enfants (salle + meubles + consignes spécifiques d'aérations - OQAI) ;
- Semaine 5 : protocole d'aération en présence des enfants (salle + meubles + occupation avec indicateurs lumineux de confinement).

École Lavoisier

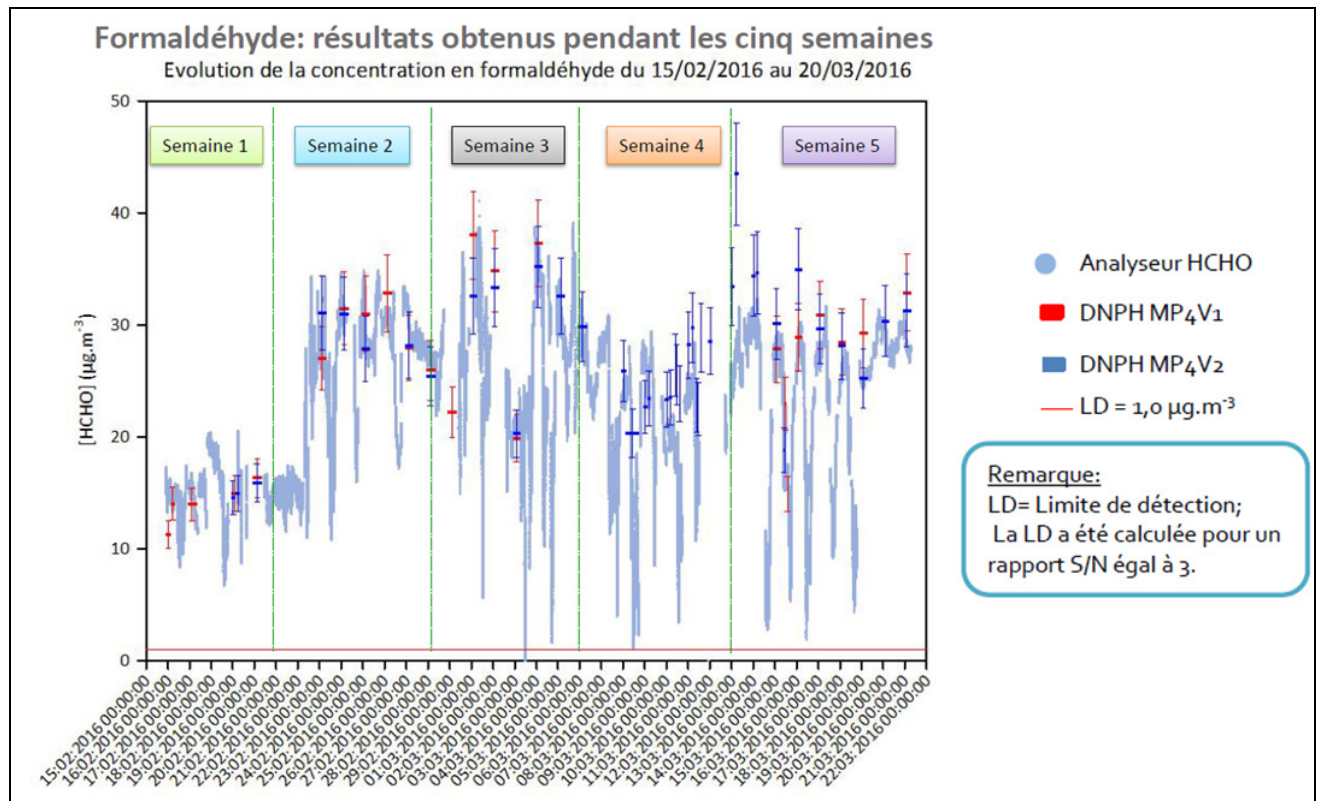


Figure 4 : École Lavoisier - Évolution des concentrations en formaldéhyde (In'Air Solutions) - La Rochelle 2016.

Un zoom sur la journée du 16 mars 2016 a été réalisé.

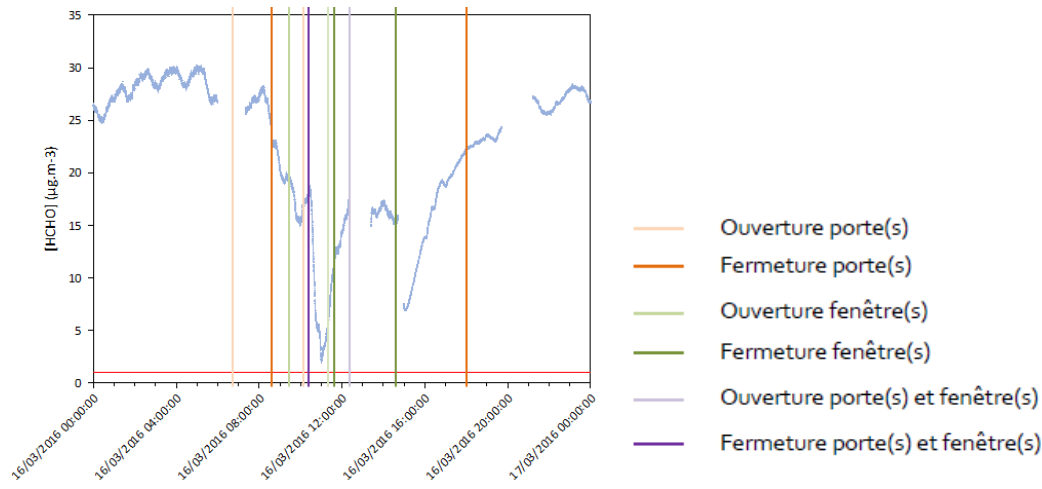


Figure 5 : École Lavoisier - Évolution des concentrations en formaldéhyde sur une journée - La Rochelle 2016.

L'ouverture de la porte à 06h45 permet de diminuer progressivement la concentration en formaldéhyde. Une diminution plus importante de la concentration a lieu après avoir ouvert une fenêtre vers 10h30. Au bout de 30 minutes (à 11h00) la concentration commence à ré-augmenter suite à la fermeture des portes et des fenêtres. L'effet de l'ouverture des fenêtres à 12h30 n'est pas visible de suite. Cela peut être dû aux activités de ménage. Par ailleurs, la concentration en formaldéhyde diminue vers 14h-14h15, après la fin du ménage. La concentration, ré-augmente ensuite progressivement pour atteindre un pallier la nuit, la fenêtre ayant été fermée.

École Grandes Varennes

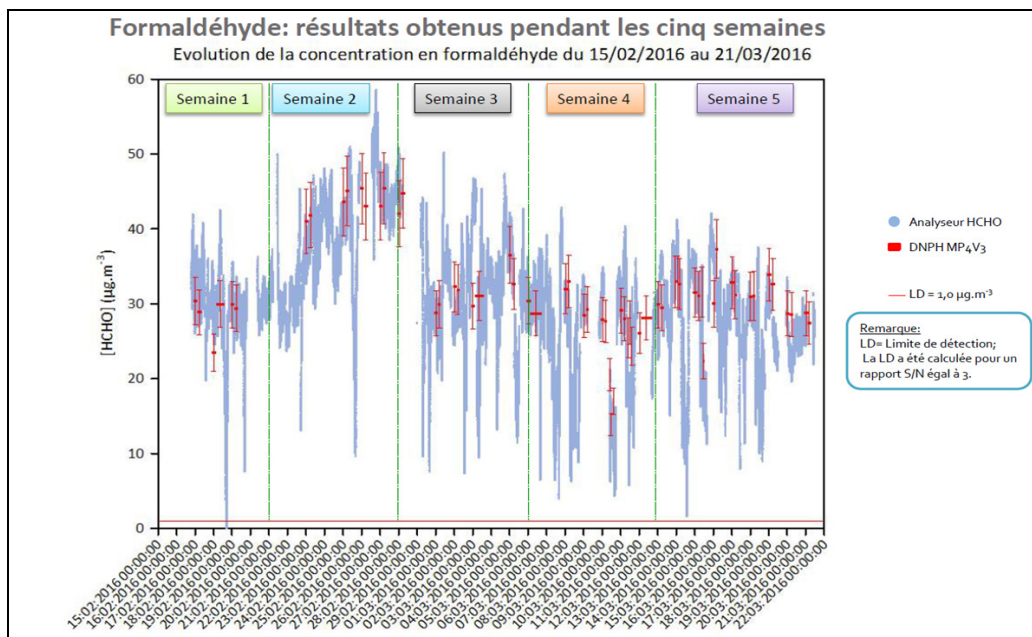


Figure 6 : École Grandes Varennes - Évolution des concentrations en formaldéhyde (In'Air Solutions) - La Rochelle 2016

La cinétique des concentrations en formaldéhyde est variable d'une semaine à l'autre mais nous notons que les teneurs sont globalement comprises entre 1,1 et 41,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'école Lavoisier, et entre 1,6 à 58,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'école Grandes Varennes.

Les résultats ne montrent aucune augmentation significative de polluants en lien avec des activités potentiellement polluantes et sont cohérents avec les résultats d'« Incitair », à savoir que la pollution est principalement issue du bâti et du mobilier. Par ailleurs, les pratiques habituelles d'aération ne sont pas suffisantes pour un renouvellement d'air satisfaisant et l'ouverture des fenêtres entraîne une diminution rapide du formaldéhyde mais de courte durée.

ETHERA -2015

Dans le cadre du programme de validation de son analyseur en continu NEMO[®], la société Ethera a mis en œuvre des mesures en continu sur deux sites. Les 2 sites étudiés sont des écoles primaires ayant des systèmes de ventilation différents : la première est un Bâtiment Basse Consommation (BBC) récent, équipé d'un système asservi sur la présence de public. La deuxième école est plus ancienne et repose sur une ventilation naturelle. Les mesures ont été réalisées pendant la dernière semaine de l'année scolaire 2014-2015, soit du lundi 29/06/2015 au lundi 06/07/2015. Les principales sources de formaldéhyde étaient les matériaux de constructions (sols, murs, plafonds) et les meubles (tables, chaises, armoires principalement). À noter la présence dans les pièces de matériel d'arts plastiques (crayons, feutres, colles...). Le nettoyage était réalisé chaque matin avant l'arrivée des élèves, et les pièces étaient aérées pendant ces opérations.

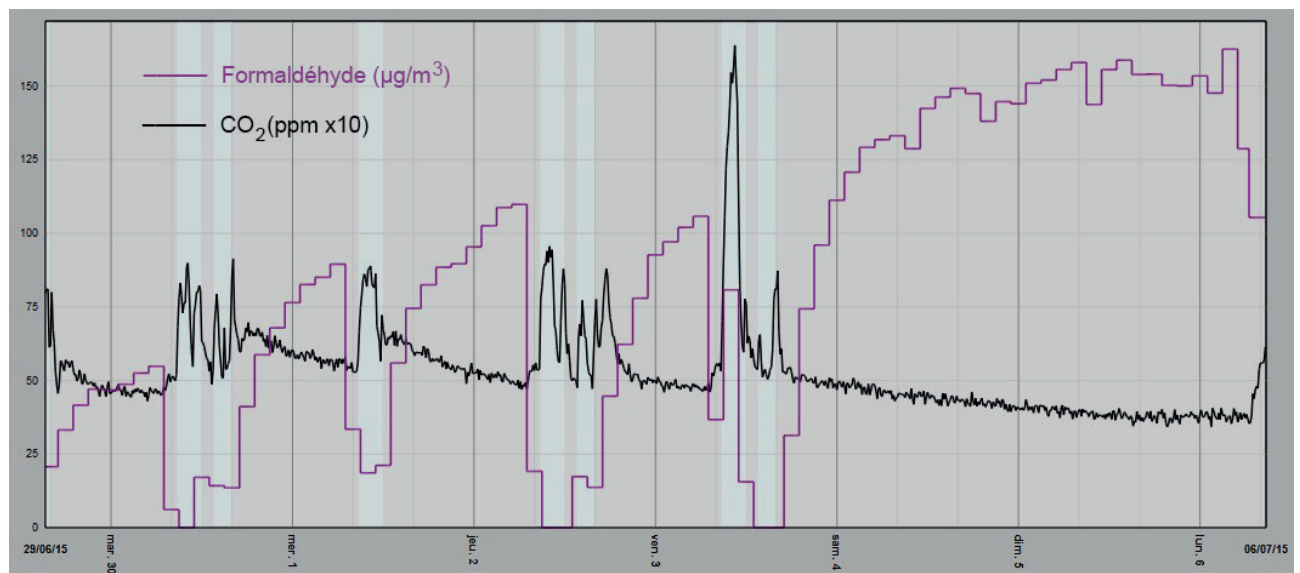


Figure 7 : Concentrations en formaldéhyde mesurées avec NEMO dans la salle 15 de l'école 1 – Ethera (2015).

Les heures de présence des élèves sont représentées par les colonnes bleu clair. Il est à noter que la mesure est à 0 sur le graphe lorsque la concentration du formaldéhyde dans la pièce est inférieure à la limite de quantification, soit entre 2 et 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ selon les conditions environnementales

La concentration en formaldéhyde dans la pièce n'est pas constante tout au long de la semaine. La présence de cycles jour/nuit, où la concentration est faible pendant la journée et élevée la nuit, s'explique par le fait que la ventilation est déclenchée par un capteur de présence (100 % du débit nominal pendant la présence des élèves et du personnel (journée), 10 % du débit nominal en leur absence (nuit)).

Ce phénomène est accentué par les bonnes pratiques mises en place dans l'établissement, à savoir une aération des pièces lors du nettoyage des locaux ayant lieu avant l'arrivée des élèves. L'effet de cette aération sur la concentration en formaldéhyde se traduit par la diminution du taux de formaldéhyde ayant lieu tous les matins aux alentours de 7h00 (sauf weekend et lundi 06/07/2015, premier jour des vacances scolaires).

On peut également remarquer la présence d'une activité émettrice le 03/07/2015 entre 10h et 12h. Pendant cette période, deux classes d'élèves ont été regroupées dans la même salle pour faire des activités d'arts plastiques, générant un pic de formaldéhyde (Francois R, 2016).

Ville de GRENOBLE –2018

La ville de GRENOBLE a réalisé 4 campagnes de mesures dans les écoles à l'aide du capteur NEMO du laboratoire ETHERA.

Les mesures réalisées correspondent à des périodes continues comprenant la présence et l'absence des élèves dans les classes. Les campagnes de mesures ont été réalisées dans deux écoles anciennes, une école neuve et une école récente. L'objectif de ces campagnes était également de mettre en évidence les différences de concentrations en formaldéhyde selon les équipements d'aménagement.

Les concentrations moyennes mesurées sur l'ensemble de la période de mesure varient de 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (pour l'école ancienne n°2, en rez de chaussé, du 26/02/18 au 02/03/18) à 51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (pour l'école ancienne n°1, du 07/05/18 au 11/05/18). En considérant le temps de présence des enfants, les concentrations moyennes sont comprises entre 4 et 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

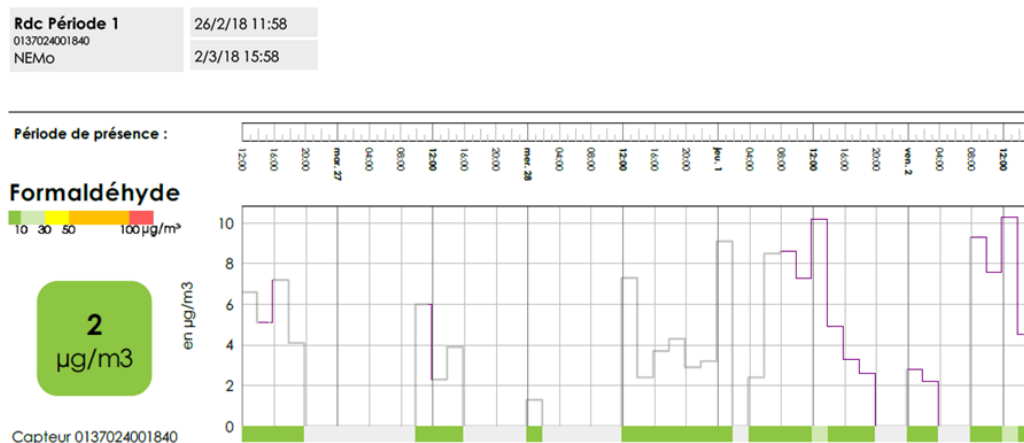


Figure 8 : Concentrations en formaldéhyde mesurées avec NEMO – école ancienne 2 - Grenoble (2018)

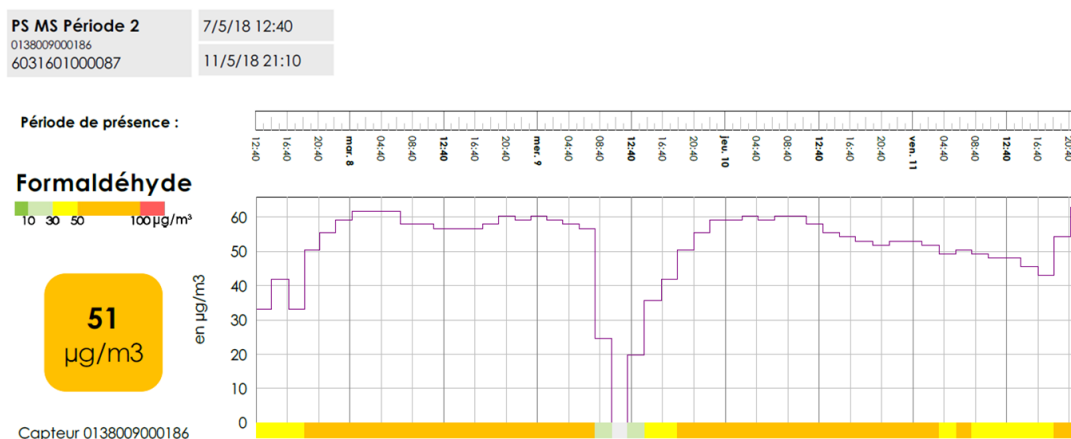


Figure 9 : Concentrations en formaldéhyde mesurées avec NEMo – école ancienne 1 - Grenoble (2018).

Les concentrations les plus élevées, de l'ordre de 70 µg/m³ ont été relevées dans l'école ancienne n°1 mais également au niveau de l'école récente. Ces pics de concentration se traduisent par des concentrations moyennes supérieures à 30 µg/m³.

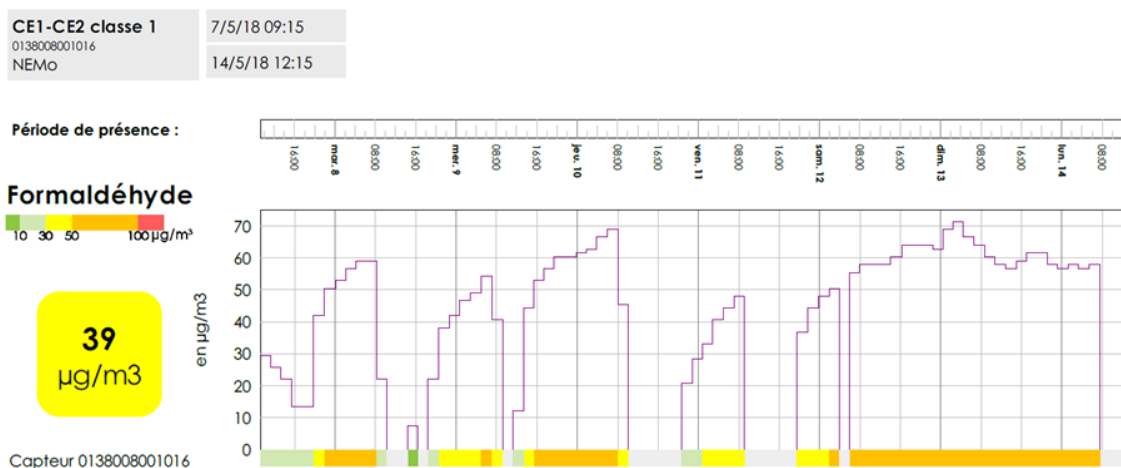


Figure 10 : Concentrations en formaldéhyde mesurées avec NEMo – école récente - Grenoble (2018).

4.3.2 Bureaux

PRIMEQUAL – 2016

Dans le cadre du programme de recherche inter-organisme pour une meilleure qualité de l'air (PRIMEQUAL) ont été présentés les résultats du suivi dynamique du formaldéhyde sur une période comprise entre janvier 2012 et juin 2015.

La démarche consistait à suivre avec un pas de temps fin, de 1 à 20 min, l'évolution de la concentration de polluants cibles tel que le formaldéhyde dans un espace de bureau. Il est à noter que cet espace de bureaux est équipé d'un système d'extraction d'air sans balayage. L'espace a été également instrumenté pour suivre en temps réel l'occupation, la gestion des ouvrants, les paramètres climatiques intérieurs et extérieurs ainsi que d'autres paramètres d'intérêt.

Le moyen de mesures du formaldéhyde est l'analyseur AL4021 (Aerolaser). Dans cette étude, le formaldéhyde a été mesuré en intérieur à l'extraction (analyseur AL4021 Aerolaser) 1 min / 20 min et en extérieur. La ventilation était permanente par extraction (230 m³/h) avec 6 à 12 occupants variable au cours de la journée. Le formaldéhyde a été mesuré pendant 437 jours entre 2012 et 2015.

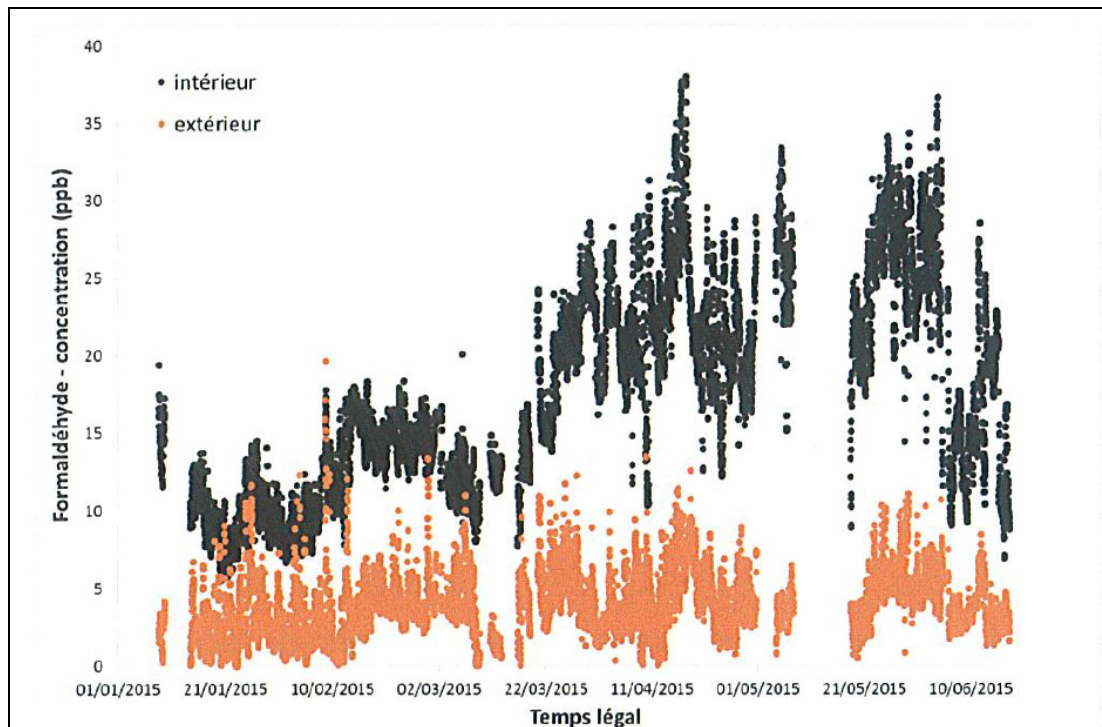


Figure 11 : Suivi du formaldéhyde intérieur et extérieur sur le premier semestre 2015 dans les bureaux – Primequal 2016.

La variabilité de la concentration intérieure en formaldéhyde a été caractérisée à différentes échelles temporelles.

Le formaldéhyde montre des variations importantes au cours d'une même journée, liées en partie à l'ouverture des ouvrants et à l'occupation, mais également aux fluctuations de l'humidité et de la température.

L'ouverture des fenêtres permet de diminuer de façon modérée la concentration intérieure en formaldéhyde, en moyenne d'environ 20 % pour une fenêtre ouverte et jusqu'à 40 % pour plus de 3 fenêtres ouvertes. L'influence de l'ouverture des fenêtres n'est cependant pas systématique et dépend d'autres facteurs. (Ramalho.O *et al.* 2016).

Concernant l'influence des occupants, leur présence a tendance à faire légèrement augmenter les teneurs en formaldéhyde lorsque les ouvrants sont fermés (concentrations en formaldéhyde de 17 ppb (21 µg/m³) quand espace inoccupé et de 19 ppb (23 µg/m³) quand espace occupé). Néanmoins, la présence d'occupant semble ne pas avoir d'influence sur les teneurs en formaldéhyde quand les ouvrants sont ouverts.

4.4 Comparaison des différentes méthodes de prélèvements

Certaines des études précédemment citées ont également mis en œuvre des inter-comparaisons de concentrations mesurées à l'aide des différents modes de prélèvements disponibles pour le formaldéhyde, avec comme objectif d'une part de valider les méthodes mises en œuvre et d'autre part d'assurer une meilleure connaissance des expositions réelles des occupants dans les espaces intérieurs.

4.4.1 Comparaison prélèvements actifs/prélèvements passifs

Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air – 2009

L'un des objectifs de cette étude était de comparer la moyenne des concentrations mesurées dans les salles de classe identifiées selon les recommandations du protocole avec la moyenne des concentrations mesurées dans toutes les salles de classe de l'établissement, afin d'évaluer l'impact du choix des salles à instrumenter sur la représentativité de la campagne de mesures.

Quatre salles de classe à instrumenter ont été sélectionnées afin d'être comparées à dix salles de classes présentant des configurations similaires (volume, mobilier, revêtements).

En complément, une comparaison des concentrations mesurées sur une période de 4,5 jours à l'aide de prélèvements de type passifs et actifs a été réalisée.

Les **prélèvements actifs** ont été réalisés par pompage sur cartouche de type Sep Pack® contenant comme adsorbant un agent dérivatisant imprégné sur la cartouche d'adsorption. Toutes les deux heures environ, soit deux prélèvements le matin entre 08h30 et 11h00 et de 11h00 à 13h30 et deux l'après-midi de 13h30 à 15h00 et de 15h00 à 16h30.

Les **prélèvements passifs** ont été réalisés à l'aide de tubes à diffusion radiale, de type Radiello®. Les tubes passifs ont été positionnés au centre de la pièce ainsi que dans chaque coin à 2 mètres de hauteur et doublés pour s'assurer de la reproductibilité des résultats. Les concentrations varient de 14,4 µg/m³ à 20,7 µg/m³ pour les 8 classes investiguées.

Les concentrations mesurées par prélèvements actifs sur un pas de temps de 2 heures sur les 3 journées de mesures ont été comparées à la mesure réalisée par capteurs passifs sur un pas de temps de 4,5 jours **dans la même salle de classe**.

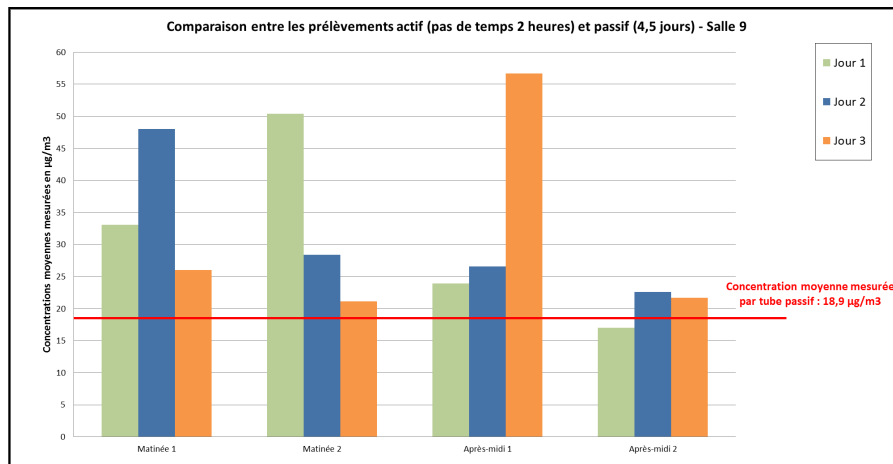


Figure 12 : Comparaison entre les prélèvements actifs (4 mesures de 2 heures pendant 3 jours) et passif (4,5 jours) dans la Salle 9 - LCSQA 2009.

Les concentrations moyennes mesurées par prélèvements actifs sont plus élevées que la concentration moyenne par prélèvement passif. En effet, les concentrations moyennes journalières calculées avec les 4 mesures actives sont de l'ordre de 31,1 à 31,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ supérieures à la moyenne mesurée par tube passif de 18,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. À noter également que si nous considérons l'incertitude de 30 % liée à la mesure par tubes passifs, la teneur moyenne reste plus faible que celle des prélèvements actifs. Cette différence peut néanmoins s'expliquer par le fait que les deux méthodes de prélèvements ne sont pas réalisées sur des périodes identiques.

Il est cependant à noter que comme évoqué précédemment, il apparaît qu'une concentration moyenne sur 4,5 jours inférieure à 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ serait associée à des concentrations sur 2 heures inférieures à 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

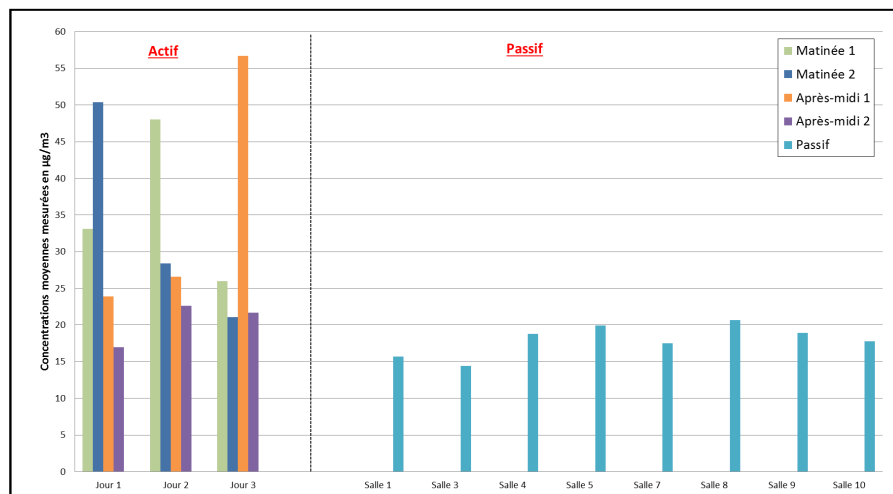


Figure 13 : Comparaison entre les prélèvements actif dans la salle 9 (pas de temps 2 heures) et passif (4,5 jours) dans toutes les salles de classe - LCSQA 2009

Les concentrations en formaldéhyde mesurées en passif pendant 4,5 jours sur l'ensemble des classes est de $18 \pm 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Notons que si l'on prend en compte l'incertitude sur la mesure évaluée à environ 30 %, cette dispersion entre les concentrations mesurées dans les différentes classes n'est pas significative. Cette campagne semble donc indiquer que la représentativité de la stratégie d'échantillonnage spatial proposée dans le protocole de surveillance du formaldéhyde est satisfaisante pour cette école, dans ces conditions opératoires.

4.4.2 Comparaison analyseur en continu/prélèvements passifs

ETHERA -2015

Dans le cadre du programme de validation de son analyseur en continu NEMo®, la société Ethera a mis en œuvre une étude dont l'objectif était de comparer les informations obtenues avec des méthodes de mesures intégrées sur 4,5 jours, telles que Radiello®, avec celles obtenues avec l'analyseur NEMo. Pour rappel, les mesures ont été réalisées dans 2 écoles : la première est un Bâtiment Basse Consommation (BBC) récent, équipé d'un système asservi sur la présence de public ; la deuxième école est plus ancienne et repose sur une ventilation naturelle.

Dans la première école, les données enregistrées par trois appareils NEMO® placés dans une seule classe permettent d'étudier la répétabilité de la mesure en conditions réelles. On note, pour la campagne menée dans l'école N° 1, une très bonne répétabilité des concentrations sur 7 jours équivalente à 2 %.

Le tableau suivant résume les résultats des enregistrements confrontés aux résultats des mesures conventionnelles passives à l'aide de cartouches Radiello® (François *et al.* 2016).

Tableau VII : Résultats des mesures réalisées dans les classes et comparaison avec les mesures par tubes passifs – Ethera, 2015

Ecole n°1 à ventilation asservie à la présence du public								
Salle	Date/heure début	Date/heure fin	Durée (jours)	T° moyenne [min – max] °C	HR moyenne [min – max] %	Type de mesure	C° moyenne [min-max] µg/m3	Écart relatif
Salle 20, NEMo 1	29/06/2015 14h45	06/07/2015 8h45	6,8	27,5 [25,5 ; 29,5]	55,4 [44 ; 61]	Radiello	61,7	23,9 %
						NEMo	76,5 [0 ; 159,8]	
Salle 20, NEMo 2	29/06/2015 14h45	06/07/2015 8h45	6,8	27,1 [25,5 ; 29,0]	54,9 [44 ; 61]	Radiello	61,7	21,8 %
						NEMo	75,1 [0 ; 157,5]	
Salle20, NEMo 3	29/06/2015 14h45	06/07/2015 8h45	6,8	27,8 [26,0 ; 29,5]	54,5 [45 ; 60]	Radiello	61,7	27,4 %
						NEMo	78,6 [0 ; 153,0]	

Ecole n°2 à ventilation naturelle								
Salle	Date/heure début	Date/heure fin	Durée (jours)	T° moyenne [min – max] °C	HR moyenne [min – max] %	Type de mesure	C° moyenne [min-max] µg/m ³	Écart relatif
Salle A	29/06/2015 16h00	06/07/2015 8h15	6,7	27,6 [25,0; 31,0]	51,2 [39 ; 60]	Radiello	30,5	18,1 %
						NEMo	36,0 [0 ; 58,4]	
Salle B	29/06/2015 16h00	06/07/2015 8h15	6,7	29,1 [26,5 ; 31]	45,6 [37 ; 55]	Radiello	20,0	5,9 %
						NEMo	21,6 [0 ; 41,0]	
Salle C	29/06/2015 16h00	06/07/2015 8h15	6,7	27,9 [25,5; 31,5]	50,0 [36 ; 58]	Radiello	27,7	- 5,4 %
						NEMo	26,2 [0 ; 71,9]	

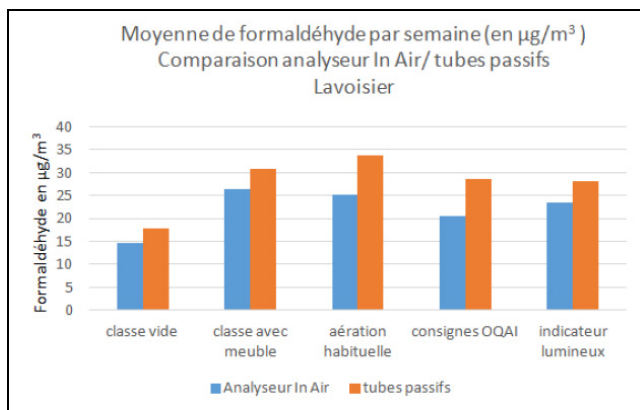
L'écart relatif moyen sur 7 jours par rapport à la mesure de référence Radiello est de 24,4 % dans l'école n° 1 et de 9,8 % dans l'école n° 2. Dans le cas présent, les capteurs passifs retranscrivent en moyenne des concentrations plus faibles que l'analyseur en continu. Il apparaît que lorsque les concentrations mesurées à l'aide de capteurs passifs dépassent les 50 µg/m³ en moyenne, les concentrations maximales mesurées sur un pas de temps de 2 heures dépassent systématiquement les 120 µg/m³. A l'inverse, l'étude montre que des concentrations moyennes inférieures à 30 µg/m³ peuvent être associées à des concentrations maximales sur 2 heures inférieures à 60 µg/m³.

4.4.3 Comparaison des 3 modes de prélèvements

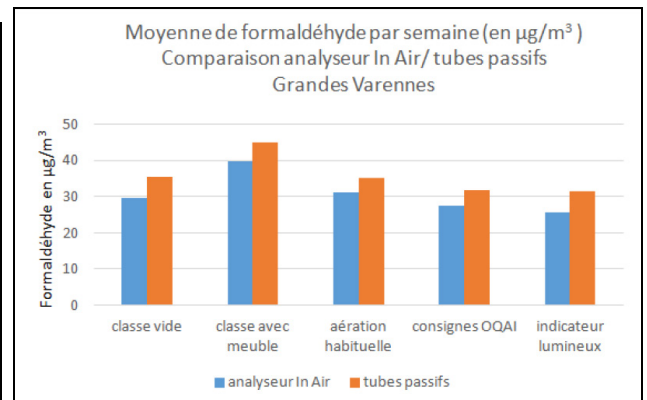
Étude IMPACTAIR – La Rochelle 2016

Les mesures réalisées dans le cadre de l'étude IMPACTAIR menée à la Rochelle en 2016 ont permis une comparaison entre les résultats de prélèvement en continu et les prélèvements passifs sur la durée de la semaine (4,5 jours), mais également entre les résultats de prélèvement en continu et les prélèvements actifs.

Les tests de comparaison pour les deux écoles ont montré une très bonne corrélation entre les résultats des prélèvements passifs et les données de l'analyseur en continu, avec cependant un écart de +20 % (Grandes Varennes) à +25 % (Lavoisier) sur la période de 4,5 jours en faveur des prélèvements passifs Cormerais, B., 2017).

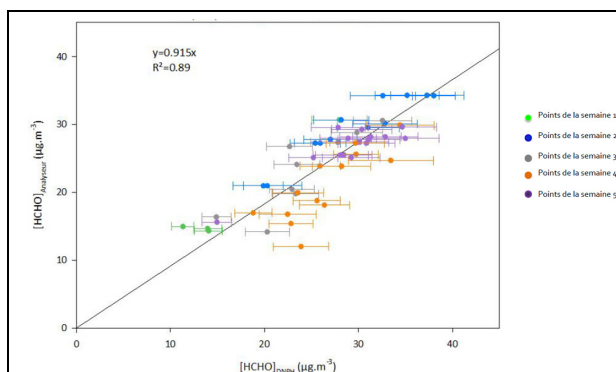


Comparaison des mesures par échantillonneurs passifs et mesures en continu école Lavoisier

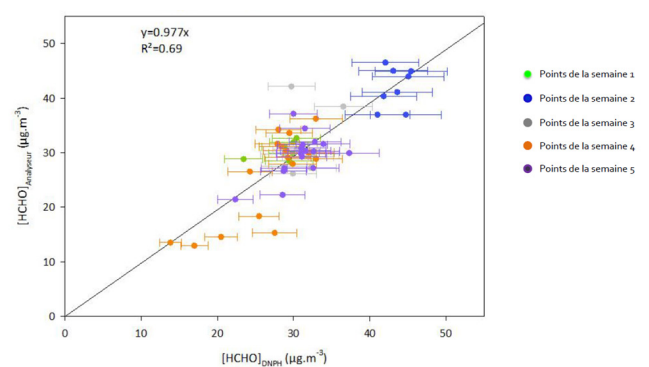


Comparaison des mesures par échantillonneurs passifs et mesures en continu – école Grandes Varennes

Une comparaison de la concentration en formaldéhyde obtenue avec l'analyseur et par prélèvement actif a également été réalisée.



École Lavoisier – Intercomparaison de la concentration en formaldéhyde obtenue avec l'analyseur et par prélèvement actif



École Grandes Varennes – Intercomparaison de la concentration en formaldéhyde obtenue avec l'analyseur et par prélèvement actif

Les tests de comparaison pour les deux écoles ont montré une très bonne corrélation entre les résultats des deux méthodes avec analyseur en continu et prélèvement actif, avec un écart de 3 % (Grandes Varennes) à 10 % (Lavoisier), le prélèvement sur cartouche DNPH surestimant légèrement les résultats (Trocquet *et al.*, 2016)

5. Valeurs guides et valeurs repère pour l'air intérieur existantes

Une **valeur guide de qualité d'air intérieur** (VGAI) correspond à une concentration dans l'air d'une substance chimique en dessous de laquelle aucun effet sanitaire n'est attendu pour la population générale.

De manière générique, la **valeur repère pour l'air intérieur** (VRAI) est la concentration en dessous de laquelle il n'y a pas d'action spécifique à engager. En termes de gestion, elle peut être considérée comme une teneur maximale provisoirement acceptable pour le polluant considéré, compte tenu de la distribution des valeurs observées dans les espaces clos et dans les conditions de leur occupation régulière au long cours. Pour autant, le respect de cette VRAI peut être associé à des conséquences sanitaires, notamment pour les sujets les plus vulnérables, lorsqu'elle est supérieure à la VGAI et cette teneur a vocation à tendre vers la VGAI à terme.

5.1 Au niveau national

5.1.1 Valeurs guides de qualité d'air intérieur de l'Anses relatives au formaldéhyde

En 2007, l'Agence avait recommandé des VGAI de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les expositions court terme et de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les expositions long terme. Cette proposition reposait sur le choix des VTR de l'ATSDR.

Depuis lors de nouvelles données scientifiques ont été publiées. Elles portent sur la toxicocinétique, les effets irritants (études d'exposition contrôlée chez l'Homme), la sensibilisation respiratoire, l'association entre pollution de l'air intérieur et effets respiratoires (études épidémiologiques), la génotoxicité (études conduites chez l'Homme) et les effets cancérogènes du formaldéhyde (cancer du nasopharynx et leucémies). L'analyse de ces données a conduit en 2018 l'Anses à actualiser les valeurs de référence relatives au formaldéhyde et notamment les VGAI.

Compte tenu des connaissances disponibles à la date de rédaction de son dernier rapport et des pratiques internationales de construction des VTR, l'Anses a acté la présence d'un seuil pour les effets irritants aigus et chroniques. Considérant l'irritation oculaire comme effet critique, elle conclue que maintenir les concentrations du formaldéhyde en deçà des valeurs induisant une irritation oculaire permet de protéger contre la survenue des cancers du nasopharynx.

Ainsi, l'Anses propose, concernant la mise à jour des VGAI du formaldéhyde, **une VGAI unique pour une exposition à court terme** en vue de la protection de la population générale, tant vis-à-vis d'effets aigus que d'effets chroniques.

Les raisons justifiant cette proposition sont les suivantes. L'irritation oculaire a été retenue pour la construction des VTR aiguë et chronique. Cet effet constitue le premier événement clé précurseur d'effets irréversibles et plus sévères tels que les effets cancérogènes du formaldéhyde au niveau du nasopharynx. Considérant le mode d'action à seuil de dose pour le développement du cancer du nasopharynx, le respect de la valeur aiguë, protégerait donc de la survenue d'effets à long terme, conclusion qui est associée à un niveau de confiance fort.

Du fait d'une VTR à $123 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et par cohérence avec la valeur guide pour l'air intérieur proposée par l'OMS en 2010 ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), l'Anses propose une **VGAI court terme égale à $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$** .

Pour ce faire, et comme souligné par l'OMS en 2010, la valeur proposée est à respecter pour une exposition à court terme et ce, de manière répétée et continue pour toute la journée.

Commentaires généraux relatifs aux valeurs guides de l'Anses

Les VGAI visent à préserver la population de tout effet néfaste lié à l'exposition à une substance. Leur respect ne garantit néanmoins pas l'absence absolue d'effet à des concentrations inférieures aux valeurs proposées, notamment chez des personnes particulièrement sensibles. Réciproquement, un effet sanitaire n'est pas nécessairement attendu pour l'ensemble des individus en cas de dépassement des VGAI.

Enfin, il faut garder à l'esprit que les VGAI étant élaborées pour des substances évaluées individuellement, il ne peut être exclu que des effets puissent survenir, en raison de possibles synergies, à des niveaux inférieurs du fait d'expositions simultanées à plusieurs polluants ou d'une exposition au même polluant par de multiples voies (cutanée et/ou orale).

5.1.2 Valeurs repères pour l'air intérieur du HCSP

En 2009, le HCSP proposait pour le long terme de retenir quatre valeurs pour le formaldéhyde : une valeur cible à atteindre à terme, une valeur repère d'objectif de qualité, une valeur d'information et de recommandations et enfin une valeur d'action rapide.

- La valeur cible correspondant à la VGAI long terme définie par l'AFSSET en 2007 : **$10 \mu\text{g}/\text{m}^3$** .
- La valeur repère de qualité d'air définie en 2009 de **$30 \mu\text{g}/\text{m}^3$** .

C'est la valeur en dessous de laquelle, il n'y avait pas d'action à engager selon les données disponibles en 2009. La décroissance vers la valeur cible se faisant linéairement au fil des années, avec les bornes suivantes : $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à 5 ans (2014) et $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à 10 ans (2019).

- La valeur d'information et de recommandation en 2009 de **$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$** .
- La valeur d'action rapide de **$100 \mu\text{g}/\text{m}^3$** .

5.2 Valeurs d'organismes internationaux ou en vigueur dans d'autres pays

Pour le formaldéhyde, nombre de pays ont proposé une valeur guide « Air intérieur ». En complément des valeurs guides internationales fixées par des instances supranationales, des valeurs nationales ont été proposées en Europe (Pays-Bas), au Canada et aux États-Unis (État de Californie). Il s'agit en général de valeurs non contraignantes. Dans la majorité des cas, ces valeurs guides sont données pour des expositions « long terme » et « court terme ». Elles ont été répertoriées dans le document de l'Anses de 2018 sur le formaldéhyde, Les principales données sont reprises succinctement dans les paragraphes ci-après.

5.2.1 Valeurs issues d'instances supranationales

À l'échelle européenne, le programme Index avait pour objectif d'élaborer une première liste de polluants chimiques prioritaires des environnements intérieurs susceptibles d'être réglementés dans le futur, basée sur des critères bien définis, une revue bibliographique (jusqu'à septembre 2004) ainsi que les valeurs de référence recueillies au niveau d'instances internationales. Sur la base des informations disponibles et après examen des données existantes, le comité de pilotage du programme Index a défini une liste prioritaire de 14 substances sur les 41 premiers composés candidats, dont le formaldéhyde fait partie.

Dans l'air intérieur, Le rapport final du projet **INDEX** : « Critical Appraisal of the setting and implementation of indoor exposure limits in the EU », 2005 élaboré par l'institut de la protection de la santé et du consommateur établit pour le formaldéhyde une concentration à partir de laquelle sa présence est préoccupante sur le long terme de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (VGA court terme et long terme) Cette valeur est basée sur la VTR proposée par l'OEHHA (1999) de $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, provenant d'un NOAEL en milieu professionnel de $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, et à laquelle un facteur d'abattement supplémentaire de 3 a été ajouté pour tenir compte de la sensibilité particulière des enfants. Néanmoins, le groupe Index considérant que les concentrations médianes dans l'air intérieur en Europe étaient généralement plus élevées (la médiane est de $26 \pm 6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, le centile 90 étant de $59 \pm 7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a également proposé un objectif à atteindre de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. (INDEX, 2005).

En 2010, **l'OMS** (WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants, 2010) a publié une valeur guide pour la qualité de l'air intérieur de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ applicable pour une exposition de 30 minutes, protégeant de l'irritation sensorielle. L'OMS considère que ce seuil ne doit pas être dépassé toutes les 30 minutes sur une journée (OMS, 2010).

La plus faible concentration associée à une irritation sensorielle oculaire est de $380 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pendant 4 heures. L'augmentation de la fréquence de clignement oculaire et la rougeur conjonctivale apparaissent à $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$, considéré comme une NOAEC par l'OMS. En considérant cette NOAEC, l'OMS a appliqué un facteur d'incertitude de 5 pour tenir compte de la variabilité interindividuelle des seuils d'irritation sensorielle. La valeur finale obtenue de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a été arrondie par l'OMS à $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.2.2 Valeurs issues d'instances nationales

Santé Canada a formulé une ligne directrice sur la qualité de l'air intérieur dans les résidences quant au formaldéhyde. La ligne directrice établit des niveaux de formaldéhyde maximaux acceptables pour deux genres d'exposition :

- La limite d'exposition à court terme protège contre les problèmes de santé qui peuvent découler d'une exposition à des niveaux élevés pendant une brève période de temps (p. ex. : une heure). Ce genre d'exposition pourrait survenir, par exemple, lorsqu'on utilise de la peinture ou des vernis contenant du formaldéhyde. Afin d'éviter l'irritation possible des yeux, du nez et de la gorge due à l'**exposition à court terme**, le niveau de formaldéhyde dans l'air intérieur selon Santé Canada devrait se situer sous les $123 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (100 ppb). Ce niveau est considéré plus faible que le niveau de formaldéhyde responsable des irritations, selon des études scientifiques. Santé Canada retient la valeur la plus faible pour mieux protéger la santé, puisque la sensibilité au formaldéhyde varie selon les individus.
- La limite d'exposition à long terme protège contre les problèmes de santé pouvant découler d'une exposition répétée à de faibles niveaux de formaldéhyde pendant une longue période (jours, semaines, mois, etc.). Afin de prévenir les problèmes respiratoires dû à une **exposition à long terme**, c'est-à-dire pendant des jours, des mois ou des années, le niveau dans l'air intérieur recommandé par Santé Canada est de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ou 40 ppb). Santé Canada considère que lorsque les niveaux de formaldéhyde dépassent cette valeur, le risque de problèmes respiratoires ou d'une sensibilité allergique augmente également, en particulier chez les enfants.

Pour des expositions de court terme, le **Japon** (MHLW, 2002), le **Royaume Uni** (COMEAP, 2004), la **Norvège** (NIPH, 1999) proposent une valeur guide de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 30 minutes.

La **Californie** (OEHHA, 2004) propose des valeurs guides propres au formaldéhyde révisées en août 2004 suite à la re-classification par le CIRC. Elles s'appuient notamment sur les VTR proposées par l'OEHHA. Ainsi, il est recommandé une valeur guide de $95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour 1 heure d'exposition et de $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour 8 heures d'exposition et plus, pour protéger des effets d'irritation.

Le Texas propose depuis 2002 une valeur guide de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, protégeant des effets d'irritation sur le **long terme**. Elle est proposée pour les bâtiments publics.

La **Chine**, (2001) a défini des valeurs guides long terme pour de nombreuses catégories de bâtiments répartis en deux groupes : les habitations, hôpitaux, maisons de retraite, lieux de garde d'enfants, écoles (groupe I) et les bureaux, magasins, hôtels, lieux de loisirs, musées, boutiques, transports publics, restaurants (groupe II). Pour ces deux groupes de locaux, la valeur limite en formaldéhyde est respectivement fixée à 80 et $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Au 1^{er} janvier 2002 est également entrée en vigueur la « Norme hygiénique pour la qualité de l'air intérieur » promulguée par le Ministère de la santé avec une valeur guide spécifique de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (**moyenne horaire**).

La **Pologne** a fixé des concentrations intérieures admissibles pour environ 30 composés chimiques. Pour le formaldéhyde, les valeurs guides sont égales à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans les

bâtiments où l'on peut être présent toute la journée et à $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans les locaux où l'on reste de 8 à 10 heures par jour.

En **Allemagne**, la valeur de $124 \mu\text{g}/\text{m}^3$ proposée par le BFR (Institut fédéral d'évaluation des risques allemand) a été calculée à partir d'un modèle tenant compte des deux mécanismes d'action sous-jacents à la toxicité du formaldéhyde (cytotoxicité, prolifération cellulaire et génotoxicité). D'après ces informations, il apparaît que la valeur guide proposée sans indication de temps, protège donc des effets cancérogènes locaux induits par le formaldéhyde (cancers du nasopharynx).

En **Suisse**, l'Office fédéral de la santé publique recommande de ne pas dépasser la concentration de $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans les locaux d'habitation et de séjour, afin d'éviter des conséquences néfastes pour la santé.

La **Finlande** propose depuis 2000 différents niveaux de concentrations en formaldéhyde. Ceux-ci sont divisés en trois classes de qualité d'environnement intérieur :

- classe S1 : la qualité de l'air est très bonne et les conditions de confort thermique sont aussi bonnes en été qu'en hiver (concentration en formaldéhyde inférieure à $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ;
- classe S2 : la qualité de l'air est bonne. Les températures dépassent le seuil de température de confort pendant les jours les plus chauds d'été (concentration en formaldéhyde entre 30 et $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ;
- classe S3 : la qualité de l'air et le confort thermique remplissent les exigences du code de la construction. La qualité de l'air peut être occasionnellement étouffante et des odeurs peuvent apparaître. Les températures peuvent dépasser les seuils de température de confort les jours chauds d'été (concentration en formaldéhyde entre 50 et $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Il s'agit de valeurs d'exposition chronique ne prenant en compte que les émissions provenant du bâtiment (hors activités humaines). Elles ne sont cependant pas uniquement basées sur des critères sanitaires (et ne sont d'ailleurs pas associées à l'apparition d'effets spécifiques en cas de dépassement).

En **Flandres belge**, un arrêté du gouvernement flamand stipule que « Un logement dont la valeur d'intervention, est dépassée (...) est réputé inhabitable ». La valeur d'intervention pour le formaldéhyde est fixée à $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour 30 minutes.

6. Dispositions réglementaires

La directive communautaire 98/8/CE relative à la mise sur le marché des produits ***biocides***, transposée en droit français aux articles L.522-1 et suivants du code de l'environnement, a pour conséquence d'harmoniser la réglementation des États membres de l'Union européenne, jusqu'alors très inégale, et de garantir l'unicité du marché. L'objectif principal de cette réglementation est d'assurer un niveau de protection élevé de l'Homme, des animaux et de l'environnement en limitant la mise sur le marché aux seuls produits biocides efficaces présentant des risques acceptables et en encourageant la mise sur le marché de substances actives présentant de moins en moins de risque pour l'Homme et l'environnement. Les mesures visent notamment à prévenir les effets à long terme : effets cancérogènes ou toxiques pour la reproduction, effets des substances toxiques, persistantes et bioaccumulables.

Ainsi, les produits biocides contenant du formaldéhyde ne peuvent être mis sur le marché que pour les types de produits (TP) inscrits au programme d'examen des substances actives biocides, à savoir les TP 2, 3 et 22 :

- TP 2 : désinfectants et produits algicides non destinés à l'application directe sur des êtres humains ou des animaux,
- TP 3 : produits utilisés pour l'hygiène vétérinaire,
- TP 22 : fluides utilisés pour l'embaumement et la taxidermie.

L'évaluation est réalisée par des États membres rapporteurs et le rapport d'évaluation est validé au niveau du comité des produits biocides (BPC) de l'ECHA.

La réglementation dans le domaine de la ***qualité de l'air intérieur*** repose à la fois sur la prévention de la santé publique associée à certains polluants mais aussi sur les engagements du Grenelle de l'environnement suivants:

- Surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant du public (ERP).
- Mise en place d'un étiquetage des matériaux pouvant émettre des polluants dans l'air intérieur;

Le décret n° 2015-1000 du 17 août 2015 fixe les modalités de la ***surveillance de la qualité de l'air*** intérieur dans les ERP dont les établissements accueillant des enfants. Il précise notamment que les moyens d'aération devront être évalués et que la mesure de certains polluants dont le formaldéhyde, sera à réaliser.

Le 1^{er} janvier 2018 est l'échéance à laquelle tous les lieux d'accueil des enfants de moins de 6 ans (les crèches, les haltes garderies et les écoles maternelles) et les écoles élémentaires doivent avoir mis en œuvre pour la première fois le dispositif de surveillance de l'air

intérieur ; le 1^{er} janvier 2020 pour les accueils de loisirs et les établissements du second degré et 2023 pour les autres établissements.

Les mesures de polluants seront en particulier mises en regard des valeurs-guides pour l'air intérieur et de valeurs limites déclenchant des investigations complémentaires.

Les valeurs limites sont définies dans le Décret n° 2015-1926 du 30 décembre 2015 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. La valeur limite pour le formaldéhyde est fixée pour une exposition de longue durée à 100 µg/m³.

En termes de réglementation, on entend par « valeur guide pour l'air intérieur » un niveau de concentration de polluant dans l'air intérieur fixé pour un espace clos donné dans le but d'éviter ou de prévenir, ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine, à atteindre, dans la mesure du possible dans un délai donné. À ce jour, des valeurs-guides pour l'air intérieur sont définies pour le formaldéhyde : la valeur-guide pour le formaldéhyde est fixée pour une exposition de longue durée à 30 µg/m³, et est en vigueur depuis le 1^{er} janvier 2015, qui devrait en principe être abaissée à 10 µg/m³ au 1^{er} janvier 2023.

À défaut de la réalisation de la campagne de mesure, l'établissement doit mettre en place un plan d'actions sur la base d'une évaluation réalisée à partir du guide pratique pour une meilleure qualité de l'air intérieur dans les lieux accueillant des enfants.

Dans le cadre du Grenelle de l'environnement, ***l'étiquetage obligatoire des produits de construction et d'ameublement ainsi que des revêtements muraux et de sol, des peintures et vernis*** qui émettent des substances dans l'air ambiant a été proposée et inscrite dans le code de l'environnement (Article L221-10). La réglementation en France concerne les produits de construction et de décoration et les produits désodorisants à combustion avec un étiquetage obligatoire. Les modalités de cet étiquetage reposent sur la caractérisation de dix substances et le paramètre « composés organiques volatils totaux » (COVT) à l'émission dont le formaldéhyde.

Considérant les sources multiples d'exposition au formaldéhyde et la possibilité d'une co-exposition à d'autres substances de la famille des aldéhydes, les mesures proposées par le Code de l'environnement en matière d'étiquetage obligatoire des produits de construction et de décoration reposent notamment sur le respect d'un seuil d'émission maximal de 10 µg/m³ pour la classe la plus performante (A+). Ces mesures sont considérées comme cohérentes par l'Anses en ce sens qu'elles traduisent l'engagement fort du gestionnaire en vue de limiter, voire de supprimer, toute situation d'exposition au formaldéhyde.

7. Propositions de valeurs repères pour le formaldéhyde

Le HCSP avait recommandé en 2009 quatre valeurs pour la pollution de l'air intérieur par le formaldéhyde dans les espaces clos : une valeur cible à atteindre à terme, une valeur repère d'objectif de qualité, une valeur d'information et de recommandations et enfin une valeur d'action rapide, sur la base des données scientifiques alors disponibles. La prise en compte des données scientifiques plus récentes conduit à modifier ces recommandations.

7.1 Valeurs repère et de gestion pour l'air intérieur

7.1.1 Valeur repère pour l'air intérieur (VRAI)

Conformément à l'approche méthodologique exposée dans le rapport de janvier 2019 sur les valeurs repères d'aide à la gestion de la qualité de l'air intérieur et considérant que l'Anses a défini une VGAI mesurée sur un pas de temps court pour l'ensemble des effets du formaldéhyde (qu'ils surviennent à court ou long termes), le HCSP recommande une Valeur Repère pour l'Air Intérieur (VRAI), égale à la VGAI de l'Anses, de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'air intérieur des immeubles d'habitation ou des établissements recevant du public. Cette valeur est retenue en considérant l'irritation oculaire comme effet critique, ces symptômes apparaissant de manière précoce suite à une exposition par voie aérienne ; le respect de cette valeur maximale permet de protéger de la survenue à terme des cancers du nasopharynx.

La VRAI est à mesurer sur une durée de 1 à 4 heures.

Les concentrations mesurées à l'heure actuelle sur un pas de temps court (de 1h à 4 heures) sont encore peu nombreuses. Néanmoins, les valeurs disponibles au travers des études exploratoires présentées dans le chapitre 4.2 indiquent des concentrations globalement très inférieures à 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le HCSP n'a donc pas estimé nécessaire de définir une VRAI supérieure à la VGAI et comportant une dynamique d'amélioration dans le temps. **Le HCSP recommande que cette VRAI soit immédiatement applicable et respectée dans tous les bâtiments, avec, en cas de dépassement, un délai maximum pour la mise en œuvre des actions correctives fixé à 6 mois.**

7.1.2 Valeur de gestion provisoire

Pour s'assurer véritablement du respect de la VRAI mesurée sur un pas de temps court, et au regard de la cinétique des concentrations en formaldéhyde dans l'air intérieur, il serait nécessaire de réaliser des mesures en continu ou des mesures actives répétées sur une semaine.

Afin de limiter le nombre et par conséquent le coût des mesures à mettre en œuvre, le HCSP recommande, à titre provisoire, une valeur de gestion provisoire de 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ mesurée sur une période d'une semaine, basées sur les données issues des études de surveillance et les

différents travaux exposés plus haut. Cette valeur de gestion provisoire pourrait à terme être abandonnée lorsque de nouveaux instruments de mesure en continu seront normalisés et disponibles à un coût raisonnable.

En dessous de cette valeur il n'y a pas de raison objective d'entreprendre des actions correctives spécifiques mais il convient de profiter de travaux de rénovation ou de changement d'ameublement pour choisir les matériaux les moins émissifs et ainsi favoriser l'évolution « au fil de l'eau » vers des teneurs de plus en plus faibles, selon le principe ALARA.

Pour les locaux dont les teneurs mesurées sont comprises entre 30 et 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ une action de réduction des émissions est encouragée. Cependant, à ces niveaux de concentration, compte tenu du caractère ubiquitaire du formaldéhyde, il s'agit souvent d'émissions résultant de multiples sources diffuses ; en conséquence, il est souvent préférable dans un premier temps d'agir sur la ventilation du local, afin de ramener les niveaux moyens en dessous de 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le délai de vérification, par de nouvelles mesures, que cette action sur la ventilation aboutit bien à ce résultat, ne devra pas dépasser un an.

Ce type de situation correspond à la plage des valeurs hautes de la distribution des teneurs dans les habitats – entre les percentiles 80 et 95 de la distribution des valeurs dans la campagne logements de l'OQAI réalisée entre 2003 et 2005. Le Bilan de la Surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les établissements recevant du public (ERP) indique qu'environ 16 % des mesures se situent dans cet intervalle (INERIS, 2018).

En revanche, une teneur mesurée supérieure à 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lors d'un mesurage sur un pas de temps d'une semaine (4,5 à 7 jours) doit être considérée comme une valeur appelant la mise en œuvre des actions correctives dans un délai fixé à 6 mois. Dans l'attente de la fin des travaux, la ventilation de la pièce concernée sera accrue afin de favoriser l'élimination du formaldéhyde. L'objectif sera de ramener au plus vite les teneurs ambiantes moyennes en dessous de 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lors de mesures effectuées sur un pas de temps d'une semaine (4,5 à 7 jours).

On rappelle que cette valeur de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ n'a pas été rencontrée dans la campagne nationale logements de l'OQAI mais qu'elle a déjà été mesurée ponctuellement dans des bâtiments d'enseignement.

7.2 Valeur d'action rapide (VAR)

La VRAI recommandée par le HCSP est égale à la VGAI proposée par l'Anses qui a pour objectif de prévenir la survenue, à long terme et en lien avec des expositions possiblement brèves et répétées, d'effets toxiques sévères (cancer de l'oropharynx). En conséquence, le HCSP ne juge pas nécessaire de recommander une VAR court terme.

7.3 Proposition de stratégie de prélèvement et de mesure

La VRAI, qui est également la VGAI élaborée par l'Anses en 2018 et la valeur proposée par l'Organisation mondiale de la santé en 2010, est à respecter sur un pas de temps court, de manière répétée et continue toute la journée. Cela signifie qu'il faut évaluer l'évolution des concentrations en formaldéhyde au cours du temps afin de s'assurer de l'absence de pics d'exposition dépassant 100 µg/m³.

Il apparaît alors important, dans le cadre d'un diagnostic de qualité d'air intérieur, de s'efforcer d'identifier les sources et les conditions favorisant des pics de concentration en formaldéhyde. Cette approche nouvelle dans la caractérisation de l'exposition au formaldéhyde implique la mise en œuvre de stratégies de mesure adaptées, permettant de s'assurer de l'absence de pics d'exposition. Il pourra s'agir de mesures successives sur un pas de temps de 1h à 4h, couvrant au moins la période d'occupation des locaux considérés. A défaut, une mesure sur une semaine (4,5 à 7 jours) en prélèvement passif pourra être mise en place.

7.3.1 Stratégie de prélèvement

Dans les différentes études réalisées ces dernières années en France (campagne nationale logements de OQAI notamment, mesures locales dans les crèches et les écoles), il apparaît que les teneurs en formaldéhyde mesurées en saison chaude sont significativement supérieures à celles mesurées en saison froide.

C'est pourquoi, dans les campagnes de surveillance initiées par le ministère en charge de l'environnement, il est prévu une mesure hivernale et une mesure estivale afin d'obtenir une estimation de la valeur moyenne annuelle plus proche de la réalité qu'une valeur unique qui peut conduire à une surestimation ou à une sous-estimation des mesurages selon la saison.

Cette stratégie correspond au protocole développé par le Laboratoire central de surveillance de la qualité de l'air (LCSQA) pour les campagnes de mesures programmées dans 300 crèches et écoles entre 2009 et 2011. Bien évidemment, dans le cas de valeurs dépassant la valeur repère de qualité d'air intérieur, cette stratégie ne doit pas pour autant différer la communication vers les occupants et retarder une décision d'intervention nécessaire.

De plus, la mesure visant à approcher l'exposition des personnes, les pièces/salles à équiper principalement sont celles où les occupants passent le plus de temps (pour les logements, le séjour ou la chambre sont à privilégier).

Lors des contrôles de la conformité, il convient de placer l'appareil d'échantillonnage à au moins 1 m ou 2 m d'un mur et à une hauteur de 1,50 m ou de 1 m à 1,2 m dans le cas des bureaux, des écoles ou des crèches dans lesquels la position assise est normale. Dans ces circonstances, un emplacement par pièce est, en règle générale, suffisant pour l'échantillonnage. Il est recommandé d'éviter les endroits exposés au soleil, à proximité des systèmes de chauffage, dans un courant d'air marqué ou à proximité des conduits de ventilation car cela peut influencer sur les résultats du mesurage.

Les prélèvements sont à réaliser dans les conditions habituelles qui caractérisent l'air intérieur de ces pièces. Néanmoins, il convient que ces conditions restent dans la plage de confort. Les mesurages peuvent être effectués en présence des occupants.

7.3.2 Méthodes de mesure

La mesure de la qualité de l'air intérieur à fin de comparaison avec la valeur repère pour l'air intérieur (VRAI) et la valeur de gestion provisoire est à réaliser par l'intermédiaire d'une méthode reconnue et validée par une norme.

Les principales techniques de mesures actuellement disponibles et normées sont reprises ci-après.

Recommandations pour la comparaison aux valeurs repères :

Pas de temps de 1 à 4 h:

Le contrôle de la VRAI peut être réalisé par l'intermédiaire d'un prélèvement de 1 à 4 h, à l'aide d'une cartouche, contenant un gel de silice, imprégnée de 2,4 dinitrophénylhydrazine, avec désorption à l'acétonitrile, et analyse par chromatographie liquide à haute performance et détection aux ultraviolets.

Le débit de prélèvement recommandé est compris selon le protocole entre 0,1 et 2 L/min, mais il est recommandé de ne pas dépasser 1,5 L/min du fait de la forte perte de charge de la cartouche. Un débit de 2 L/min est atteignable pour certaines cartouches à plus faible perte de charge. Le débit typique est de 1 L/min (0,8 L/min pour deux cartouches en série). Il est également recommandé de vérifier la stabilité du débit dans les environnements fortement chargés en poussières.

L'utilisation systématique d'un piège à ozone (constitué le plus souvent d'iodure de potassium) (KI), interférent avéré de la méthode, est nécessaire. Il convient au préalable de s'assurer que le piège à ozone utilisé n'entraîne pas une baisse du taux de récupération du formaldéhyde de la cartouche.

Pour les environnements intérieurs, cette méthode s'appuie en particulier sur la norme NF ISO16000-3 (2011), basée en partie sur le protocole US EPA method TO-11A (1999) destinée aux mesures de formaldéhyde dans l'air ambiant, mais également sur les protocoles US EPA method IP-6A (1990) et US EPA method 0100 (1996), ce dernier étant associé au protocole analytique US EPA method 8315A (1996).

La durée de conservation des cartouches stockées au froid et à l'abri de la lumière est au maximum de 90 jours avant prélèvement. Après prélèvement, la cartouche est conservée au froid et à l'abri de la lumière pour une durée inférieure à 15 jours.

Pas de temps d'une semaine

Le contrôle de la valeur de gestion provisoire peut être réalisé par l'intermédiaire d'un prélèvement par diffusion sur un badge, filtre ou cartouche de gel de silice imprégnée d'un réactif, la 2,4-dinitrophényl hydrazine (DNPH). L'analyse est ensuite réalisée par

chromatographie en phase liquide haute performance (HPLC) pour séparer les différents dérivés, qui sont alors détectés par absorbance dans l'ultraviolet à une longueur d'onde comprise entre 360 et 370 nm.

Pour les environnements intérieurs, cette méthode s'appuie en particulier sur la norme NF ISO 16000-4 (2012) et le protocole US EPA method IP-6C (1990).

Au cours de ces dernières années, plusieurs dispositifs de mesure en continu et à lecture directe ont été développés et pour certains commercialisés afin de renseigner l'évolution des concentrations en air intérieur. Le recours à des instruments de ce type est particulièrement intéressant pour des mesures en dynamique permettant l'identification des phases de plus fortes expositions au cours d'une période donnée.

Les caractéristiques techniques et performances de ces instruments restent toutefois à ce jour insuffisamment documentées et non validées.

7.4 Bilan général sur les valeurs (repère et de gestion provisoire)

Le HCSP propose pour le long terme de retenir deux valeurs pour le formaldéhyde : une valeur repère de qualité et une valeur de gestion provisoire.

- La valeur repère est la VGAI de l'Anses : $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. c'est une valeur immédiatement applicable. Elle est validée par des mesures de 1 à 4h successives sur la journée – période d'occupation.
- La valeur de gestion provisoire est $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. C'est une valeur pour laquelle il est estimé que la VRAI est respectée dans le cas où les contraintes techniques ou financières ont fait choisir une mesure sur un pas de temps d'une semaine (4,5 à 7 jours) valeur en dessous de laquelle, il n'y a pas d'action à engager.

7.5 Cas des immeubles neufs

Dans le cas des bâtiments neufs, livrés et équipés à partir de 2020, les concentrations mesurées doivent être les plus basses possibles, et, dans tous les cas, inférieures à la VRAI, ou à défaut la valeur de gestion provisoire. Il en est de même pour ceux faisant l'objet d'opérations de rénovation de grande ampleur. A cette fin, les architectes et les maîtres d'œuvre veilleront à agir particulièrement sur les sources intérieures au bâtiment, matériaux de construction et d'aménagement.

8. Valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP)

Les VGAI et VRAI sont définies pour protéger la population générale des effets néfastes sur la santé de polluants rencontrés plus spécifiquement dans les environnements intérieurs (logements, écoles, bureaux...à l'exclusion des locaux à pollution spécifique). Dans le cadre des expositions professionnelles, les VLEP (Valeurs limites d'exposition professionnelle) sont à considérer.

La valeur limite de moyenne d'exposition professionnelle (VME – 8 h) est établie en France à 0,5 ppm, soit 610 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La VLCT (court terme) sur 15 min est de 1 ppm, soit 1230 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ces valeurs, simplement indicatives, ont été adoptées par circulaire du ministère du travail en 1993 (DGT 93-18) (Fiche toxicologique 22 de l'INRS, 2011) et n'a donc pas de statut réglementaire à part entière.

Depuis lors, l'évaluation des effets sanitaires des expositions professionnelles au formaldéhyde a fait l'objet d'un changement de méthode au sein de l'UE (prises en compte exclusive des critères sanitaires) et de nouvelles données dont celles publiées par le Scientific Committee on Occupational Exposure Limits (SCOEL) en 2008. Dans ce travail, le SCOEL a considéré comme effet critique l'existence d'une réaction inflammatoire au niveau de la muqueuse respiratoire supérieure, après exposition au formaldéhyde. Toutefois, en raison de l'absence de données suffisantes pour l'établissement d'un NOAEL pour cet effet critique, le SCOEL a retenu l'irritation de la muqueuse oculaire, jugée plus sensible, comme indicateur de l'effet critique décrit précédemment.

En 2008, une valeur limite court terme (VLCT-15 min) de 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,4 ppm) a été recommandée par le CES VLEP de l'Anses, basée sur l'étude de Lang *et al.* (2008) protégeant des effets irritants du formaldéhyde. Une valeur limite d'exposition professionnelle-8 heures (VLEP-8h) de 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,2 ppm) a également été recommandée. Les effets critiques retenus étaient l'irritation sensorielle et l'irritation oculaire. Pour cette valeur, les études de Paustenbach *et al.* (1997) pour l'irritation oculaire et Arts *et al.* (2006) pour l'irritation sensorielle avaient été retenues comme études clés.

Les valeurs retenues par l'analyse critique des effets sanitaires associées aux expositions professionnelles au formaldéhyde par l'Anses faisaient apparaître les valeurs de 0,3 ppm et de 0,5 ppm respectivement sur 8 heures et 15 minutes. Toutefois, dans un souci d'harmonisation, l'Anses avait finalement retenu les valeurs très proches précédemment émises par le SCOEL

En 2017, l'Anses propose les VLEP suivante :

- VLEP-8h = 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (arrondi), basée sur l'étude de Lang *et al.* (2008) et l'étude de Mueller (2012) non publiée lors des travaux de l'Anses de 2008 ;
- VLCT-15 min = 700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (arrondi), basée sur l'étude de Lang *et al.* (2008) mais en considérant l'irritation oculaire comme effet critique.

On observe globalement une certaine homogénéité au niveau des valeurs proposées par les différents organismes au niveau mondial :

- ACGIH1
 - TLV- STEL (Threshold limit value – Short term exposure limit)= 0,3 ppm = 0,37 mg/m³

- Allemagne : MAK2 :
 - VME (8 heure) = 0,3 ppm = 0,37 mg/m³

Cohérence entre VGAI proposées par l'Anses et VLEP

Les VLEP définies par l'Anses utilisent les mêmes études clés que celles retenues pour l'élaboration des VTR et de la VGAI.

L'effet critique retenu est identique et la différence réside dans l'application de facteurs de sécurité : il n'existe qu'un facteur 3 entre la VLEP 8h et la VGAI proposée par l'Anses.

1 American Conference of Governmental Industrial Hygienists

2 Maximale arbeitsplatz-konzentration (concentration maximale des lieux de travail)

Bibliographie

- Ademe. 2016. Projet MERMAID : mesures expérimentales représentatives et modélisation air intérieur détaillée. Mai 2016.
- Afsset, 2008. Evaluation des risques sanitaires liés à la présence de formaldéhyde dans les environnements intérieurs et extérieurs. Toxicité du formaldéhyde. Etat des connaissances sur la caractérisation des dangers et choix des valeurs toxicologiques de référence.
- Afsset, 2009. Risques sanitaires liés à la présence de formaldéhyde. Étude de filières, risques professionnels, relation entre composition et émission - avril 2009.
- Andersen I. and Molhave L., 1983. Controlled human studies with formaldehyde. Formaldehyde Toxicity. Washington, Hemisphere Publishing Corporation. J. E. Gibson, pp.154-165
- Annesi-Maesano I, Hulin M, Lavaud F, Raheison C, Kopferschmitt C, de Blay F, Charpin DA, Caillaud D. 2012. Poor air quality in classrooms related to asthma and rhinitis in primary schoolchildren of the French 6 Cities Study. Thorax.
- Anses. 2011. CLH report Proposal for Harmonised Classification and Labelling Based on Regulation (EC) No 1272/2008 (CLP Regulation), Annex VI, Part 2. Substance Name: FORMALDEHYDE.
- Anses. 2017. Valeurs toxicologiques de référence (VTR). Élaboration de VTR par inhalation pour le formaldéhyde (CAS n°50-00-0).
- Anses, 2018. Mise à jour de valeurs guides de qualité d'air intérieur. Le formaldéhyde. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective. Février 2018.
- ASPA, 2005. Campagne de mesure du formaldéhyde dans les établissements scolaires et d'accueil de petite enfance de la ville de Strasbourg : bilan des niveaux mesurés - juin 2005.
- ATMO Rhône-Alpes, 2009. Mesure du formaldéhyde dans l'air intérieur des écoles maternelles et des crèches en Rhône-Alpes. Rapport de synthèse, janvier 2009.
- ATSDR, 1999. Toxicological profile for formaldehyde. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA: U.S department of Health and Human Services, Public Health Services. <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp.asp?id=220&tid=39>.
- Banerjee S, Annesi-Maesano I (2012) Spatial variability of indoor air pollutants in schools. A multilevel approach. Atmos Environ 61:558-561. doi:10.1016/j.atmosenv.2012.08.007
- Barker S, Weinfeld M, Murray D. 2005. DNA-protein crosslinks: their induction, repair, and biological consequences: Mutat Res, v. 589, no. 2:111-135.
- Bender J.R., Mullin L.S., Graepel G.J. and Wilson W.E., 1983. Eye irritation response of humans to formaldehyde. Am Ind Hyg Assoc J, 44, 6, 463-465.

- BfR. 2006. Toxicological Assessment of Formaldehyde. Opinion of BfR. No. 023/2006 of 30 March 2006.
- Blair A., Saracci R., Stewart P.A., Hayes R.B. and Shy C. 1990. Epidemiologic evidence on the relationship between formaldehyde exposure and cancer. *Scand J Work Environ Health*, 16, 6, 381-393.
- Brown T, Dassonville C, Derbez M, Ramalho O, Kirchner S, Crump D, Mandin C, 2015. Relationships between socioeconomic and lifestyle factors and indoor air quality in French dwellings. *Environ Res* 140:385-396. doi:10.1016/j.envres.2015.04.012
- Canha N, Mandin C, Ramalho O, Wyart G, Riberon J, Dassonville C, Hanninen O, Almeida SM, Derbez M, 2016. Assessment of ventilation and indoor air pollutants in nursery and elementary schools in France. *Indoor Air* 26 (3):350-365. doi:10.1111/ina.12222
- Collins J.J., Caporossi J.F. and Esmen N.A. 1997. An updated meta-analysis of formaldehyde exposure and upper respiratory tract cancers. *J Occup Environ Med*, 39, 639- 651.
- Collins JJ, Ness R, Tyl RW, Krivanek N, Esmen NA, Hall TA. 2001. A Review of Adverse Pregnancy Outcomes and Formaldehyde Exposure in Human and Animal Studies. *Regul Toxicol Pharmacol*; 34:17–34.
- Cormerais B., Blondeau P., 2017. INCIT’AIR et IMPACT’AIR : deux projets au coeur des établissements scolaires de La Rochelle.
- Dallongeville A, Costet N, Zmirou-Navier D, Le Bot B, Chevrier C, Deguen S, Annesi-Maesano I, Blanchard O. 2015. Volatile and semi-volatile organic compounds of respiratory health relevance in French dwellings. *Indoor Air* 26: 426–438.
- Dassonville C, Demattei C, Laurent AM, Le Moullec Y, Seta N, Momas I., 2009. Assessment and predictor determination of indoor aldehyde levels in Paris newborn babies' homes. *Indoor Air*. 2009 Aug ;19(4):314-23. Epub 2009 Jan 19.
- Day J.H., Lees R.E., Clark R.H. and Pattee P., 1984. Respiratory response to formaldehyde and off-gas of urea formaldehyde foam insulation. *Can Med Assoc J*, 131, 9, 1061-1065.
- Doty RL, Cometto-Muniz JE, Jalowayski AA, Dalton P, Kendal-Reed M, Hodgson M. 2004. Assessment of upper respiratory tract and ocular irritative effects of volatile chemicals in humans. *Critic Rev Toxicol*, 34:85-142.
- Duboudin C (2009). Pollution inside the home : Descriptive analyses. Part I: Analysis of the statistical correlations between pollutants inside homes. *Environnement, Risques et Santé* 8 (6), 485-496.
- Duong A, Steinmaus C, McHale CM, Vaughan CP, Zhang L. 2011. Reproductive and developmental toxicity of formaldehyde: A systematic review. *Mutat Res*, 728:118-138.
- European Commission. Joint Research Centre (JRC), 2005. Final Report. Critical Appraisal of the Setting and Implementation of Indoor Exposure Limits in the EU: The Index project. Institute for Health and Consumer Protection, Physical and Chemical Exposure Unit. January, 2005. 337 pages. I-21020 Ispra (VA), Italy.

- European Commission. Joint Research Centre (JRC), 2005b. HEXPOC: Human Exposure Characterisation of Chemical substances, quantification of exposure routes. Physical and Chemical Exposure Unit, EU 21501 EN. 126 pages. I-21020 Ispra (VA), Italy. 2005.
- Fable S *et al.*, 2009. Air intérieur, mesure du formaldéhyde ; décembre 2009 – 39 pages.
- François R. *et al.* 2016. Développement d'un capteur de mesure en continu du taux de formaldéhyde dans l'air intérieur : application au contrôle de la qualité de l'air intérieur dans les lieux accueillant des enfants, Pollution atmosphérique [En ligne], N°231 - 232, décembre 2016. mis à jour le : 09/02/2017, <http://odel.irevues.inist.fr/pollution-atmospherique/index.php?id=6016>
- Franks SJ, 2005. A mathematical model for the absorption and metabolism of formaldehyde vapour by humans. *Toxicol Appl Pharmacol.* 2005 ; 206 : 309-320.
- Gaylor DW, Lutz WK, Conolly RB. 2004. Statistical Analysis of Nonmonotonic Dose-Response Relationships: Research Design and Analysis of Nasal Cell Proliferation in Rats Exposed to Formaldehyde. *Toxicol Sci* 77, 158–164.
- HCSP, 2009. Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos. Le Formaldéhyde. Octobre 2009.
- HCSP, 2019. Valeurs repères d'aide à la gestion de la qualité de l'air intérieur. Présentation de la démarche méthodologique. Janvier 2019.
- Ineris, 2010. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. DRC-10-109974-00925A. Février 2010.
- Ineris, 2015. Utilisation de produits ménagers et qualité de l'air intérieur : enjeux sanitaires, substances d'intérêt, bonnes pratiques. DRC-14-144018-04822B. Mai 2015.
- Ineris, 2018. - Opération « 1000 kits pour les écoles et crèches » Déploiement / Retour d'expérience DRC-17-149968-10992B. Octobre 2018.
- INRS, 2011. Fiche de données toxicologiques n°7. Aldéhyde formique et solutions aqueuses (N. Bonnard, M. Falcy, E. Pasquier, J.-C. Protois). Institut National de Recherche et de Sécurité. http://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_7
- IARC, 2006. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol. Volume 88
- IPCS (International Program on Chemical Safety). 1989. Environmental Health Criteria EHC n°89. Formaldehyde. WHO, UNEP, ILO.
- Kulle T.J. 1993. Acute odor and irritation response in health nonsmokers with formaldehyde exposure. *Inhal Toxicol*, 5, 323-332.
- Lang I, Bruckner T, Triebig G., 2008. Formaldehyde and chemosensory irritation in humans: A controlled human exposure study. *Regul Toxicol Pharmacol*, 50:23–36.
- Marchand C, Bulliot B, Le Calvé S, Mirabel P., 2006. Aldehyde measurements in indoor environments in Strasbourg (France). *Atmos Environ* 40 (7):1336-1345. doi:10.1016/j.atmosenv.2005.10.027

- Marchand C, Le Calvé S, Mirabel P, Glasser N, Casset A, Schneider N, de Blay F., 2008. Concentrations and determinants of gaseous aldehydes in 162 homes in Strasbourg (France). *Atmos Environ* 42 (3):505-516. doi:10.1016/j.atmosenv.2007.09.054
- Michelot N, Mandin C, Ramalho O, Ribéron J, Marchand C, Malherbe L, Ramel M, Personnaz MB, Delmas V, Urban S, Carrega M, 2011. Monitoring indoor air quality in French schools and day-care centres Results from the first phase of the pilot survey. *Pollut Atmos* (211):267-279
- Monticello TM, Swenberg JA, Gross EA, Leininger JR, Kimbell JS, Seilkop S, Starr TB, Gibson JE, Morgan KT., 1996. Correlation of regional and nonlinear formaldehyde-induced nasal cancer with proliferating populations of cells: *Cancer Res.*, v. 56, no. 5:1012-1022.
- Mueller JU, Bruckner T., 2013. Exposure study to examine chemosensory effects of formaldehyde on hyposensitive and hypersensitive males, *International Archives of Occupational and Environmental Health* V. 86, Issue 1:107-117.
- Nicolas M., Chiappini L., D'Anna B., 2013. Activités domestiques et qualité de l'air intérieur : émissions, réactivité et produits secondaires. Rapport final. Avril 2013.
- OMS (Organisation mondiale de la santé). 2010. WHO Guidelines for indoor air quality. Selected pollutants. WHO European Centre for Environment and Health, Bonn Office. WHO Regional Office for Europe. 484 p.
- OQAI. 2004. Campagne pilote dans 90 logements et 9 écoles. Rapport synthétique - juillet 2004.
- OQAI, 2006. Campagne nationale Logements : État de la qualité de l'air dans les logements français, Rapport final référencé DDD/SB- 2006-57, Kirchner S., Arenes J-F., Cochet C. *et al.* ; Novembre 2006 – 165 pages
- OQAI, 2011. Qualité d'air intérieur, qualité de vie. 10 ans de recherche pour mieux respirer. Ouvrage collectif. Kirchner S., Mandin C., Derbez M., Ramalho O., Ribéron J., Dassonville C., Lucas J-P., Ouattara M. ; Août 2011 – 208 pages.
- OQAI, 2016. Base de référence nationale sur la qualité de l'air intérieur et le confort des occupants de bâtiments performants en énergie : OQAI-BPE. Deuxième état descriptif de la qualité de l'air intérieur et du confort de bâtiments d'habitation performants en énergie. Mickaël DERBEZ,
- Partanen T., 1993. Formaldehyde exposure and respiratory cancer - A meta-analysis of the epidemiologic evidence. *Scand J Work Environ Health*, 19, 8-15.
- Paustenbach D, Alarie Y, Kulle T, Smith R, Swenberg J, Witschi H, Horowitz S. 1997. A recommended occupational exposure limit for formaldehyde based on irritation. *J Toxicol Environ Health*, 50:217-263.
- Ramalho O, Wyart G, Mandin C, Blondeau P, Cabanes PA, Leclerc N, Mullot JU, Boulanger G, Redaelli M (2015) Association of carbon dioxide with indoor air pollutants and exceedance of health guideline values. *Build Environ* 93 (P1):115-124. doi:10.1016/j.buildenv.2015.03.018

- Ritchie IM, Lehnen RG. 1987. Formaldehyde-related health complaints of residents living in mobile and conventional homes. *Am J Public Health*; 77(3):323-8.
- Roda C, Barral S, Ravelomanantsoa H, Dusséaux M, Tribout M, Le Moullec Y, Momas I (2011) Assessment of indoor environment in Paris child day care centers. *Environ Res* 111 (8):1010-1017.doi:10.1016/j.envres.2011.06.009
- Roux A.L., Maupetit F., Nicolas M., 2011. Émissions par les meubles destinés à la petite enfance : impact sur la qualité de l'air des crèches et premières réflexions quant à la mise en place d'une procédure d'étiquetage
- Santé Canada. Lignes directrices sur la qualité de l'air intérieur résidentiel, formaldéhyde. Cat.: H128-1/06-432-1F. 3 pages. Avril 2006.
- Trocquet C., *et al.*, 2016. Résultats complémentaires projet IMPACT'AIR. La Rochelle, 26/05/2016.
- Verrièle M, Schoemaeker C, Hanoune B, Leclerc N, Locoge N Do low energy public buildings (LEPB) comply with the recent IAQ regulations in france? What about unregulated VOC? In: 13th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Indoor Air 2014, 2014. International Society of Indoor Air Quality and Climate, pp 608-614
- Wolkoff P., 2016. External eye symptoms in indoor environments. *Indoor Air.*, 27: 246–260. doi:10.1111/ina.12322
- Weschler CJ, Nazaroff WW (2014). Dermal uptake of organic vapors commonly found in indoor air. *Environmental Science and Technology* 48(2), 1230-1237
- Wyart G. *et al.*, 2016. Rapport CSTB-OQAI/2016-010

Annexes

Annexe I : Saisine



MINISTÈRE DES SOLIDARITÉS ET DE LA SANTÉ
MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE

DIRECTION GÉNÉRALE DE LA SANTÉ
Sous-direction de la prévention des risques liés à
l'environnement et à l'alimentation
Bureau environnement intérieur,
milieux de travail et accidents de la vie courante
Marie Fiori / Maria Aqallal N° 90
☎ : 01.40.56.58.51 / 66.46
marie.fiori@santa.gouv.fr / maria.aqallal@santa.gouv.fr

DIRECTION GÉNÉRALE DE LA PRÉVENTION
DES RISQUES
Bureau santé-environnement (BSE)
Anne Stervinou
☎ : 01.40.81.86.65
anne.stervinou@developpement-durable.gouv.fr

A Paris, le 19 JUIL. 2018

Le Directeur général de la santé
Le Directeur général de la prévention des
risques

à

Monsieur le Président du Haut conseil de
la santé publique

- Objet :** Valeurs repères d'aide à la gestion pour les polluants de l'air intérieur.
- Réf :** Saisine du 29 juillet 2008 relative aux valeurs de références pour les polluants de l'air intérieur.
- P.J. :** Avis de l'Anses du 2 février 2018 relatif à la révision de ses valeurs de référence pour le formaldéhyde (avis publié le 14 mai 2018).

L'air intérieur constitue un fort enjeu de santé publique compte tenu à la fois du temps passé dans des environnements clos et des nombreux agents physiques, chimiques et biologiques pouvant y être émis par des sources diverses (appareils à combustion, matériaux de construction, produits de décoration, etc.). Afin de mieux connaître et surveiller les pollutions de l'air intérieur et de les réduire, un plan d'actions pour une meilleure qualité de l'air intérieur (PQAI) a été intégré dans le plan national santé environnement 2015-2019 (PNSE 3). Ce plan prévoit plusieurs mesures dont une surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public (ERP) dont les modalités sont fixées par la réglementation (article L. 221-8 et article R. 221-30 et suivants du code de l'environnement). Cette surveillance peut consister en des campagnes de mesures de certains polluants dont les concentrations sont comparées à des valeurs réglementaires définies par les articles R. 221-29 et R.221-30 du code de l'environnement et leurs textes d'application (d'une part, des valeurs-guides pour l'air intérieur et, d'autre part, des valeurs établies pour une catégorie d'ERP et au-delà desquelles des investigations complémentaires doivent être

menées par le propriétaire ou l'exploitant et une information du préfet de département du lieu d'implantation de l'établissement doit être réalisée).

Ces valeurs réglementaires sont établies à partir des valeurs repères d'aide à la gestion pour les polluants de l'air intérieur élaborées par le Haut conseil de la santé publique (HCSP) en application de la méthodologie proposée dans le rapport d'octobre 2009 consécutif à la saisine du 29 juillet 2008 citée en référence.

A ce jour, l'ANSES a élaboré des VGAI pour douze polluants d'intérêt de l'air intérieur et le HCSP a établi des valeurs repères d'aide à la gestion pour six substances (Cf. Annexe).

Au regard des connaissances scientifiques actuelles, des données d'exposition dans les espaces clos (données de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur) et du calendrier de mise en œuvre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans les ERP, les ministères chargés de l'environnement et de la santé souhaiteraient que vous vous attachiez en priorité à :

- l'actualisation éventuelle des valeurs repères d'aide à la gestion pour le formaldéhyde au regard des travaux publiés le 14 mai 2018 par l'ANSES (Cf. PJ). Cette mise à jour pourra donner lieu le cas échéant à une révision des valeurs réglementaires pour l'air intérieur actuellement en vigueur pour ce polluant ;
- l'élaboration de valeurs repères d'aide à la gestion pour différents aldéhydes à savoir notamment les mélanges d'aldéhydes pour lesquels l'ANSES prévoit la publication de VGAI mi-2018, l'acroléine et l'acétaldéhyde qui disposent respectivement de VGAI depuis 2013 et 2014. Les sources de ces polluants sont multiples : produits de construction, de décoration et d'ameublement, ou encore les produits désodorisants à combustion qui font l'objet d'une attention particulière par les autorités dans le cadre du plan d'actions sur la qualité de l'air intérieur.

Ces propositions de valeurs repères d'aide à la gestion sont attendues pour mars 2019 s'agissant du formaldéhyde et pour juillet 2019 s'agissant de l'acroléine, de l'acétaldéhyde et des mélanges d'aldéhydes.

Par ailleurs, vous voudrez bien me faire part du calendrier de travail prévisionnel d'élaboration des autres valeurs repères d'aide à la gestion pour les paramètres disposant d'une VGAI et jugés comme les plus pertinents par le HCSP. Ce calendrier pourrait évoluer en fonction de besoins particuliers qui feront alors l'objet de saisines complémentaires.

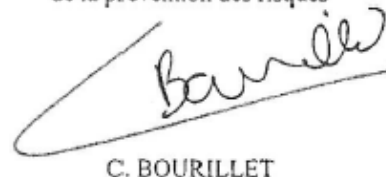
Mes services se tiennent à votre disposition pour vous apporter tout élément utile à la réalisation de votre expertise.

Le Directeur général
de la santé



I. SALOMON

Le Directeur général
de la prévention des risques



C. BOURILLET

Annexe II : Liste des membres du groupe de travail mis en place pour répondre à cette saisine

**Groupe de travail de la Commission spécialisée
Risques liés à l'environnement (CSRE)**

Président du groupe de travail

Luc FERRARI Professeur de Toxicologie – Université de Lorraine
Membre de la CSRE

Membres du groupe de travail :

M. Olivier BLANCHARD Enseignant chercheur de l'EHESP en expologie

M. Dany CHEVALIER Maître de conférences de toxicologie, Université de Lille

M. Pierre DEROUBAIX Ingénieur Ventilation / QAI et précarité énergétique –
Département Bâtiment et Urbanisme, ADEME

M. Didier FEBVREL Médecin-directeur responsable du Service de la santé
publique et des handicapés de la ville de Marseille
Membre de la CSRE

M. Bruno FOUILLET Maître de conférences de toxicologie, Université Claude
Bernard Lyon 1

M. Guillaume KARR Ingénieur Études et Recherche en évaluation des risques
sanitaires, INERIS

Mme Juliette LARBRE Directrice du Laboratoire Polluants Chimiques, Mairie de Paris

M. Laurent MADEC Maître de conférences en Hygiène Sécurité
Environnement, Université Paris 13 et à l'EHESP
Membre de la CSRE

M. Fabien SQUINAZI Médecin biologiste, ancien biologiste des hôpitaux,
ancien directeur du Laboratoire d'hygiène de la ville de
Paris et chef du Bureau de la santé environnementale et
de l'hygiène à la Mairie de Paris
Membre de la CSRE
Rapporteur du Groupe de Travail

Mme Marie VERRIELE Enseignant Chercheur en Physico-chimie de
l'Atmosphère, SAGE, IMT Lille Douai

Mme France WALLET Médecin expert, évaluation des risques sanitaires environnementaux, Service des études médicales, EDF

M. Denis ZMIROU-NAVIER Professeur honoraire de l'Université de Lorraine (Faculté de médecine de Nancy). Ancien directeur du département Santé-Environnement-Travail et Génie Sanitaire de l'EHESP.
Président de la CSRE

Experts auditionnés

Mme Catherine BOUTET Adjointe au responsable du Pôle santé environnement, ARS de Normandie - Délégation départementale du Calvados)

Mme Cécile CANESSE Ingénieure du génie sanitaire, ARS Hauts-de-France

Annexe III :

Étude IMPACTAIR – La Rochelle 2016

Conditions		Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Semaine 5
		Salle vide	Salle + meubles	Salle + meubles + consignes d'aérations habituelles	Salle + meubles + consignes d'aérations - OQAI)	Salle + meubles + indicateur lumineux
École Lavoisier Formaldéhyde Analyseur $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Valeur min sur les 7 jours	6,7	10,7	< LD	1,1	1,8
	Valeur maximale sur les 7 jours	20,5	34,9	41,1	31,6	32,3
	Valeur moyenne 24/24h 7/7j	14,7	26,3	25,2	20,5	23,4
École Grandes Varennes Formaldéhyde Analyseur $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Valeur min sur les 7 jours	< LD	9,6	6,5	3,9	1,6
	Valeur maximale sur les 7 jours	50,0	58,6	50,2	42,8	42,0
	Valeur moyenne 24/24h 7/7j	29,5	39,6	31,0	25,6	27,4

Concentrations en formaldéhyde mesurées avec l'analyseur en continu (projet IMPACTAIR) – La Rochelle, 2016

Ville de GRENOBLE – Ethera (2018)

Campagne	Point de mesure	Période de prélèvement	Concentrations en formaldéhyde mesurées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
			Concentration moyenne mesurée sur l'ensemble de la période	Concentration moyenne mesurée uniquement en présence des enfants
École ancienne n°1	TPS PS période 1	27/04/18 au 04/05/18	14	5
	TPS PS période 2	09/05/18 au 16/05/18	46	25
	PS MS période 1	25/04/18 au 04/05/18	24	8
	PS MS période 2	07/05/18 au 11/05/18	51	24
	PS MS période 3	11/05/18 au 18/05/18	47	16
École ancienne n°2	1 ^{er} salle 2, période 1	26/02/18 au 02/03/18	5	11
	1 ^{er} salle 2, période 3	12/03/18 au 19/03/18	7	16
	1 ^{er} salle 2, période 4	21/03/18 au 27/03/18	6	7
	1 ^{er} salle 2, période 5	27/03/18 au 05/04/18	8	11
	Rdc période 1	26/02/18 au 02/03/18	2	5
	Rdc période 2	06/03/18 au 12/03/18	4	5
	Rdc période 3	12/03/18 au 19/03/18	3	6
	Rdc période 4	19/03/18 au 27/03/18	4	4
	Rdc période 5	27/03/18 au 05/04/18	4	6
Ecole neuve	PS période 1	25/04/18 au 04/05/18	10	4
	PS période 2	07/05/18 au 14/05/18	25	25
	Docteur PS	27/04/18 au 04/05/18	13	13
	CE1 CE2	28/05/18 au 05/06/18	10	7
Ecole récente	CE1 CE2 classe 1	07/05/18 au 14/05/18	39	14
	CE1 CE2 classe 2	25/04/18 au 04/05/18	17	4

Synthèse des Concentrations en formaldéhyde mesurées dans les écoles de Grenoble – Ethera (2018)