



**Exposition de la population française
au bruit de fond du formaldéhyde
et risques sanitaires associés**

Rapport final

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable

Corinne MANDIN

*Unité Evaluation des Risques Sanitaires
Direction des Risques Chroniques*

Avril 2004

Exposition de la population française au bruit de fond du formaldéhyde et risques sanitaires associés

Rapport final

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable

Avril 2004

Corinne MANDIN

*Unité Evaluation des Risques Sanitaires
Direction des Risques Chroniques*

Ce document comporte 16 pages (hors couverture).

	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	Corinne MANDIN	Corinne HULOT	André CIOLELLA
Qualité	Ingénieur Unité Evaluation des Risques Sanitaires	Ingénieur Unité Déchets et Sols Pollués	Responsable Unité Evaluation des Risques Sanitaires
Visa			

TABLE DES MATIERES

1. GLOSSAIRE	3
2. INTRODUCTION	4
3. CHIMIE DU FORMALDÉHYDE ET COMPORTEMENT DANS L'ENVIRONNEMENT	5
4. DONNÉES TOXICOLOGIQUES DU FORMALDÉHYDE.....	6
4.1 Effets systémiques	6
4.2 Effets cancérogènes	6
4.3 Effets sur la reproduction et le développement	6
4.4 Valeurs toxicologiques de référence	7
5. TENEURS DU BRUIT DE FOND EN FORMALDEHYDE DANS L'AIR.....	7
5.1 Données françaises	7
5.2 Données étrangères.....	9
6. RISQUES SANITAIRES LIÉS À L'EXPOSITION AU BRUIT DE FOND DU FORMALDÉHYDE.....	11
6.1 Scénario d'exposition.....	11
6.2 Doses Journalières d'Exposition.....	12
6.3 Caractérisation des risques.....	13
7. CONCLUSION	14
8. REFERENCES.....	15

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Inventaire des gammes de concentrations ou des concentrations moyennes extérieures et intérieures en formaldéhyde mesurées en France depuis 1990	8
Tableau 2 : Inventaire non exhaustif des concentrations moyennes extérieures et intérieures en formaldéhyde rapportées dans les bases de données et la littérature scientifique internationales	10
Tableau 3 : Temps et fractions de temps passé à l'intérieur et à l'extérieur	12

1. GLOSSAIRE

ATSDR : Agency for Toxic Substance and Disease Registry

CIRC : Centre International pour la Recherche sur le Cancer (ou IARC, International Agency for Research on Cancer)

EDR : Evaluation Détaillée des Risques

ERS : Evaluation des Risques Sanitaires

ERUi : Excès de Risque Unitaire par inhalation

HSDB : Hazardous Substances Databank

IC : Installation Classée

IRIS : Integrated Risk Information System

ISAAC : International Study of Asthma and Allergies in Childhood

MRL : Minimum Risk Level

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

OQAI : Observatoire français de la Qualité de l'Air Intérieur

US-EPA : US Environmental Protection Agency

VTR : Valeur Toxicologique de Référence

2. INTRODUCTION

Dans le cadre du groupe de travail mis en place en 2003 par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable sur la thématique du bruit de fond dans les différents compartiments environnementaux, il est apparu intéressant d'illustrer cette problématique par l'évaluation des risques sanitaires liés à l'exposition au bruit de fond de l'un des principaux polluants de l'air intérieur. Le formaldéhyde a dès lors été choisi pour ce travail.

En effet, la campagne pilote de l'Observatoire français de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI ; créé en 1999) menée en 2001 dans 90 logements (représentant 272 personnes) et 9 écoles répartis dans trois régions françaises (Aix-Marseille, Strasbourg et Nord-Pas-de-Calais), a mis en évidence la spécificité de la pollution de l'air intérieur. Au titre des enseignements principaux de cette campagne figurent les fortes teneurs en formaldéhyde mesurées dans les écoles investiguées [OQAI, 2002].

Par ailleurs, à la demande de mairies, l'INERIS a été amené à réaliser des mesures de qualité de l'air intérieur suite à l'apparition de problèmes sanitaires (nausées, maux de tête, vomissements, saignements de nez, irritations dermiques et respiratoires) chez les enfants et le personnel enseignant dans plusieurs écoles primaires. Des teneurs non négligeables en formaldéhyde ont également été mesurées.

Les concentrations significatives en formaldéhyde mesurées dans l'air intérieur s'expliquent par la présence de sources nombreuses et variées (panneaux de particules, de fibres de moyenne densité, contreplaqué, bois lamellé-collé ; peintures, vernis et colles ; fumée de tabac ; cosmétiques, ...), associées, le plus souvent, à une ventilation (tant naturelle que mécanique) peu efficace voire inexistante. Or, les données de budget-espace-temps disponibles attestent d'un temps quotidien de l'ordre de 80 à 90 % passé dans les micro-environnements clos. Ainsi, compte tenu des expositions au formaldéhyde potentiellement importantes, il apparaît intéressant d'évaluer les effets sanitaires chroniques potentiels liés à l'exposition au bruit de fond du formaldéhyde par inhalation.

3. CHIMIE DU FORMALDÉHYDE ET COMPORTEMENT DANS L'ENVIRONNEMENT

Le formaldéhyde est un gaz incolore utilisé dans des secteurs très variés de l'industrie : industrie du papier, tannage du cuir, photographie, fabrication de substances chimiques organiques, de soie artificielle, d'esters de cellulose, de teintures, d'explosifs, de résines, de colles et d'engrais. Il est également utilisé pour son pouvoir bactériostatique dans l'industrie agroalimentaire ou dans certains produits de désinfection [INERIS, 2003].

Dans l'environnement extérieur, les émissions atmosphériques de formaldéhyde peuvent être naturelles (réaction des terpènes libérés par les feuillages avec les radicaux OH, décomposition des résidus végétaux dans les sols, feux de forêts) ou anthropiques (gaz d'échappement des véhicules majoritairement¹).

Dans les environnements intérieurs, le formaldéhyde présent provient principalement du tabagisme (1,5 mg émis par la fumée secondaire -celle non inhalée par le fumeur- de la combustion d'une cigarette), des matériaux de construction tels que les panneaux de bois en aggloméré et les mousses d'isolation urée-formol², et à un degré moindre, des peintures, vernis, colles, enduits, joints, cosmétiques, moquettes et tissus d'ameublement. La présence de formaldéhyde dans les locaux d'habitation varie selon :

- l'âge du logement, les émanations de formaldéhyde diminuant avec le temps ;
- l'humidité relative et la chaleur, qui favorisent le relarguage ;
- la qualité de la ventilation ;
- les habitudes des occupants (comportement tabagique notamment).

Le formaldéhyde est très réactif dans l'environnement et peut se polymériser. Dans l'air ambiant (extérieur), il est rapidement photo-oxydé en dioxyde de carbone. Il réagit également très rapidement avec les radicaux hydroxyles pour donner l'acide formique. La demi-vie estimée pour chaque réaction est de l'ordre de l'heure suivant les conditions environnementales [INCHEM, 1989].

Le formaldéhyde est très soluble dans l'eau et possède un faible coefficient de partition octanol-eau. Il aura donc tendance à rester en phase aqueuse (pas de volatilisation vers l'atmosphère, ni de dépôt via les sédiments). Du fait de son faible coefficient de partition octanol-eau, le formaldéhyde n'a pas tendance à se bio-accumuler dans les organismes aquatiques. Concernant les organismes terrestres y compris les végétaux, la littérature scientifique ne rapporte aucune donnée relative à la bio-accumulation dans la chaîne alimentaire terrestre [INERIS, 2003].

Dans les sols, le formaldéhyde est également très mobile [INERIS, 2003].

¹ Les émissions des véhicules sont en effet les principales contributrices comme l'atteste une évaluation canadienne : en 1997, la circulation automobile a émis 11 284 tonnes de formaldéhyde dans l'atmosphère tandis qu'au cours de la même année, les rejets liés aux procédés industriels se sont élevés à 1 424 tonnes.

² L'utilisation des mousses d'isolation urée-formol, mises au point en Europe dans les années 1950 dans le but de mieux isoler les cavités difficiles d'accès des murs des habitations, est réglementée par le décret N°88-683 du 6 mai 1988 et l'arrêté d'application du même jour.

Il convient d'ajouter que chez l'homme, le formaldéhyde est aussi un intermédiaire métabolique essentiel. Il est produit de façon endogène à partir d'acides aminés. La concentration endogène de formaldéhyde chez l'homme non exposé est ainsi d'environ 2,8 µg/mL de sang.

Du fait de ces considérations physico-chimiques, **seul le formaldéhyde de l'air ambiant extérieur et intérieur, à savoir l'exposition par inhalation**, fait l'objet de cette étude de l'exposition de la population au bruit de fond. La voie ingestion (ingestion de sol et de poussières du sol, ingestion d'eau et d'aliments) et la voie cutanée (contact avec le sol et les poussières du sol, contact avec l'eau) ne sont pas pertinentes en terme d'exposition au formaldéhyde.

4. DONNÉES TOXICOLOGIQUES DU FORMALDÉHYDE

Les données toxicologiques proviennent essentiellement de la fiche de données toxicologiques et environnementales INERIS relative au formaldéhyde [INERIS, 2003].

4.1 EFFETS SYSTÉMIQUES

Les études rapportées par la littérature scientifique font toutes état du pouvoir irritant du formaldéhyde inhalé sur les muqueuses des voies aériennes supérieures chez la population générale. Des lésions au niveau de l'épithélium nasal ont pu être mises en évidence chez des travailleurs exposés sur une longue période. L'apparition de maladies respiratoires chroniques obstructives, les troubles neurologiques, ainsi que les phénomènes d'asthme et d'allergies sont controversés dans la mesure où les études ne permettent pas toujours de discriminer les effets du formaldéhyde de ceux des nombreuses autres substances inhalées simultanément. Les études soulignent toutefois la variabilité interindividuelle de la susceptibilité au formaldéhyde. Il semblerait que chez certains sujets sensibles, notamment les enfants, l'exposition au formaldéhyde à des concentrations supérieures à 75 µg/m³ dans l'air intérieur, favorise l'apparition d'asthme et de bronchite [Krzyzanowsky, 1990].

4.2 EFFETS CANCÉROGÈNES

Suite à plusieurs études épidémiologiques concordantes, l'US-EPA [IRIS, 1999] a classé en 1991 le formaldéhyde dans la catégorie B1, cancérogène probable pour l'homme, et le CIRC dans le groupe 2A, probablement cancérogène pour l'homme [CIRC, 1995]. Chez l'animal comme chez l'homme, l'exposition au formaldéhyde par inhalation se traduit par l'apparition de cancers de la cavité buccale, du nasopharynx et des sinus.

4.3 EFFETS SUR LA REPRODUCTION ET LE DÉVELOPPEMENT

Des études récentes ont montré des effets sur la reproduction (perturbation du cycle menstruel, grossesses difficiles) et sur le poids des bébés à la naissance chez des femmes exposées professionnellement au formaldéhyde par inhalation.

4.4 VALEURS TOXICOLOGIQUES DE RÉFÉRENCE

4.4.1 Effets systémiques

L'ATSDR propose une **MRL de 10 mg/m³** pour une exposition chronique par inhalation [ATSDR, 1999-a]. Cette VTR est basée sur une étude menée chez l'homme (population de travailleurs) ayant mis en évidence l'augmentation de lésions de l'épithélium nasal.

Par ailleurs, il convient de noter que la valeur guide proposée par l'OMS pour l'air est égale à **100 mg/m³** [WHO, 2000], seuil au-delà duquel, pour une exposition de 30 minutes, peuvent apparaître des irritations des voies respiratoires supérieures chez la population générale.

Pour cette étude, la valeur chronique de l'ATSDR de 10 mg/m³ est retenue.

4.4.2 Effets cancérogènes

L'US-EPA propose un **ERU_i de 1,3.10⁻⁵ (mg/m³)⁻¹** pour une exposition chronique par inhalation [IRIS, 1999]. Cette VTR a été obtenue à partir d'une étude portant sur des rats exposés deux ans par inhalation au formaldéhyde, l'effet retenu étant le carcinome des cellules squameuses des fosses nasales.

5. TENEURS DU BRUIT DE FOND EN FORMALDEHYDE DANS L'AIR

5.1 DONNÉES FRANÇAISES

Un inventaire, non exhaustif mais jugé représentatif, des données disponibles pour les concentrations moyennes³ en formaldéhyde mesurées en France est rapporté dans le Tableau 1.

Remarques

Pour les concentrations intérieures, la campagne pilote de l'OQAI, qui fournit les résultats les plus récents, consistait en une étude de faisabilité des futures campagnes opérationnelles mises en œuvre sur 800 sites annuellement dès 2003. Elle ne saurait être représentative de la totalité du parc des logements français.

Pour les concentrations extérieures, le formaldéhyde ne fait pas l'objet de mesures par le réseau français des Associations Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air dans la mesure où ce polluant n'est pas réglementé (aussi bien en France, que par la réglementation européenne). Les concentrations mesurées et rapportées ne sauraient ainsi *a priori* être représentatives des concentrations sur l'ensemble du territoire français.

³ Moyennes issues des teneurs mesurées soit en un même point à différents moments, soit en différents points d'un même lieu, soit dans des lieux similaires.

Cadre de l'étude Référence	EXTERIEUR		INTERIEUR	
	Concentration	Zone(s) d'étude	Concentration	Micro-environnement
AirParif [Air Parif, 2004]	4,3 µg/m ³	urbaine (Paris)	<i>nd</i>	-
Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur - 2001 [OQAI, 2002]	2 µg/m ³	urbaines péri-urbaines rurales	2 - 60 µg/m ³ Moy. : 22 µg/m ³	Logements : cuisines (88)
			2 - 75 µg/m ³ Moy. : 25 µg/m ³	Logements : chambres (88)
	< 4 µg/m ³		13 - 67 µg/m ³	Ecoles maternelles et primaires (9)
Campagnes INERIS 2000 - 2002	2 µg/m ³	péri-urbaine	20 - 25 µg/m ³	Ecole maternelle [Meininghaus, 2003]
	17 µg/m ³	urbaine	60 - 116 µg/m ³	Ecole maternelle et primaire (c)
	10 µg/m ³	urbaine	60 - 110 µg/m ³	Crèche (c)
	10 µg/m ³	urbaine	55 - 92 µg/m ³	Crèche (c)
	<i>nd</i>	péri-urbaine	5 - 22 µg/m ³	Ecole primaire (c)
	<i>nd</i>	péri-urbaine	13 - 51 µg/m ³	Ecole primaire (c)
Etude ISAAC [Annesi, 2000]	3 ± 1,4 µg/m ³	urbaine	24 ± 11 µg/m ³	Ecoles (55)
Campagne INERIS AIRLOR - 1997 [Gonzalez, 1999]	2,9 µg/m ³	péri-urbaine	25,0 µg/m ³	Logements : chambres (10)
[Ferrari, 1998]	2,5 - 23 µg/m ³	urbaine	<i>nd</i>	-
[Laurent, 1993]	17 ± 12 µg/m ³ -	urbaine	46 ± 32 µg/m ³ 60 ± 46 µg/m ³	Ecoles et crèches (10)
[Grimaldi, 1992]	4,5 - 8,4 µg/m ³ 9,0 - 19 µg/m ³	urbaine	18 - 33 µg/m ³ 3,8 - 7,4 µg/m ³	Ecole maternelle Université
[Barguil, 1990]	9 µg/m ³	urbaine	18 µg/m ³	Logements (9)

Tableau 1 : Inventaire des gammes de concentrations ou des concentrations moyennes extérieures et intérieures en formaldéhyde mesurées en France depuis 1990

Légende : *nd* : non déterminé ou non disponible ; *c* : source confidentielle

Les données les plus récentes de concentrations en formaldéhyde sont celles de la campagne pilote de l'OQAI en date de 2001. Lors de cette dernière, le formaldéhyde a été mesuré dans toutes les salles de classe des 9 écoles avec des teneurs sur 7 jours qui varient de $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ selon les régions, alors que les concentrations extérieures ne dépassent pas $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Présent dans tous les logements pour lesquels les mesures ont été validées (soit 88), le formaldéhyde a été mesuré à des concentrations allant de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à 60 et $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (cuisine et chambre respectivement) avec un logement sur deux contenant des concentrations supérieures à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et 10% des logements dont les concentrations sont supérieures à $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les concentrations maximales trouvées à l'intérieur de la cuisine et de la chambre sont 8 à 9 fois plus élevées que dans l'air extérieur où les concentrations sont faibles.

Le calcul des concentrations moyennes⁴ (arithmétiques) fournit les valeurs suivantes :

- **concentration intérieure moyenne (crèches / écoles) : $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$, notée $C_{\text{int-crèche-école}}$**
- **concentration intérieure moyenne (logements) : $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$, notée $C_{\text{int-logement}}$**
- **concentration extérieure moyenne⁵ : $7,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, notée C_{ext}**

En l'absence de mesures dans certains environnements clos (transports, lieux de travail de type bureaux), **en première approche, seuls trois environnements intérieurs seront distingués : la crèche, l'école et le logement.** Ainsi, pour l'adulte, on ne dissociera pas le temps passé dans les différents environnements intérieurs. Pour l'enfant seulement, une distinction est faite, dans la mesure où il apparaît clairement que les concentrations intérieures dans les écoles et crèches sont supérieures à celles mesurées dans les habitations.

5.2 DONNÉES ÉTRANGÈRES

A titre indicatif, une liste de quelques valeurs de concentrations moyennes (moyennes arithmétiques)³ en formaldéhyde mesurées à l'étranger est fournie dans le Tableau 2.

En raison des actions menées à partir de la fin des années 1980 (notamment aux Etats-Unis) pour réduire l'utilisation des mousses urée-formol, les études antérieures à 1990 n'ont pas été rapportées. Seules les investigations plus récentes, plus représentatives de la situation actuelle en terme de qualité de l'air intérieur, sont mentionnées. Ainsi, les données de bruit de fond fournies par la base INCHEM ne sont pas citées [INCHEM, 1989].

Les concentrations tant extérieures qu'intérieures mesurées à l'étranger sont généralement du même ordre de grandeur que les valeurs disponibles pour le bruit de fond en France.

⁴ Calcul des moyennes en première approche et en l'absence de données plus précises. En toute rigueur, il conviendrait de connaître plus précisément la distribution des concentrations mesurées. Les moyennes proposées sont calculées à partir des moyennes de concentrations disponibles (issues des teneurs mesurées soit en un même point à différents moments, soit en différents points d'un même lieu, soit dans des environnements similaires). Quand seule une gamme de concentrations est fournie, à défaut de connaître la moyenne, on s'est abstenu de tenir compte de ces valeurs.

⁵ Toutes zones confondues (urbaines, péri-urbaines et rurales) en première approche. Des calculs par zone pourront être fournis ultérieurement.

Base de données consultée	EXTERIEUR		INTERIEUR	
	Concentration	Zone(s) d'étude	Concentration	Micro-environnement
[ATSDR, 1999-b]	3,1 µg/m ³ (1994) 4,0 - 6,6 µg/m ³ (1996)	péri-urbaines	Données non exploitables (années 80) ou déjà référencées dans la suite du présent tableau	
[CIRC, 1995]	1 - 20 µg/m ³ 0,5 µg/m ³	urbaine rurale	25 – 60 µg/m ³	Logement non fumeur sans mousse urée-formol
[WHO, 2000]	L'OMS reprend les données fournies par le CIRC mentionnées ci-dessus.			
[HSDB, 2001]	La base HSDB reprend les données fournies par le CIRC mentionnées ci-dessus. Pour le bruit de fond en intérieur, elle fournit les résultats des études menées dans des "mobile-homes" aux Etats-Unis dans les années 80-90, non exploitables dans le cadre de ce travail.			
Pays-Bas [RIVM, 1997]	2,8 µg/m ³ 1,8 µg/m ³	urbaine rurale	<i>nd</i>	-
Royaume-Uni [BRE, 1996]	2 µg/m ³	<i>nd</i>	23 µg/m ³ 25 µg/m ³	Séjours (174) Chambres (174)
Allemagne [UBA, 1992]	<i>nd</i>	<i>nd</i>	79 µg/m ³	Séjours (ex-RDA) (502)
Finlande [Jurvelin, 2001]	3,3 µg/m ³	urbaine et péri-urbaine	41,6 µg/m ³	Logements (15)
Suède [Smedge, 2001]	<i>nd</i>	<i>nd</i>	8 µg/m ³	Ecoles (39)
Autriche [Wantke, 1996]	<i>nd</i>	<i>nd</i>	33 µg/m ³	Ecole (1)
Italie [De Bortoli, 1986]	6,6 µg/m ³	urbaine, péri-urbaine et rurale	27 µg/m ³	Logements (14)
Etats-Unis [Krzyzanowski, 1990]	<i>nd</i>	<i>nd</i>	33 µg/m ³	Logements (202)
Etats-Unis [Zhang, 1994]	15,7 µg/m ³	péri-urbaine	68,2 µg/m ³	Logements (6)
Etats-Unis [Reiss, 1995]	3,9 µg/m ³	urbaine et péri-urbaine	13,9 µg/m ³	Logements (9)
Etats-Unis [Hodgson, 2002]	4,7 µg/m ³	<i>nd</i>	94,9 µg/m ³	Logement neuf (1)
Australie [Dingle, 2002]	<i>nd</i>	<i>nd</i>	25,9 µg/m ³ 27,5 µg/m ³	Cuisines (185) Chambres (185)

Tableau 2 : Inventaire non exhaustif des concentrations moyennes extérieures et intérieures en formaldéhyde rapportées dans les bases de données et la littérature scientifique internationales

Légende : *nd* : non déterminé ou non disponible

6. RISQUES SANITAIRES LIÉS À L'EXPOSITION AU BRUIT DE FOND DU FORMALDÉHYDE

6.1 SCÉNARIO D'EXPOSITION

Cette étude se place d'un point de vue de l'exposition liée au bruit de fond. De fait, **la quantification des risques sanitaires est réalisée pour un scénario "vie entière"**. La cible retenue est une personne vivant 70 ans, dont 2 ans en tant qu'"enfant fréquentant la crèche", 4 ans en tant qu'"enfant allant à l'école" et 64 ans en tant qu'"adulte" sans activité professionnelle⁶. Pendant la période "enfant", le temps passé dans les locaux de la crèche ou de l'école (respectivement noté $t_{\text{int-crèche-enfant}}$ et $t_{\text{int-école-enfant}}$) est distingué du temps passé dans les autres environnements intérieurs (respectivement noté $t_{\text{int-enfant-0-2}}$ et $t_{\text{int-enfant-2-6}}$)⁷.

Comme déjà mentionné précédemment, **la seule voie exposition étudiée est l'inhalation**.

Les fractions de temps respectivement passé en intérieur et en extérieur en fonction des saisons pour l'adulte d'une part et l'enfant d'autre part, ainsi que ces mêmes fractions moyennées sur l'année, sont rapportées dans le Tableau 3 [Gauvin, 2001]⁸.

Temps passé en moyenne saisonnière ou annuelle, noté T					
		Adulte		Enfant [0 ; 2 ans[Enfant [2 ; 6 ans[
		Hiver	Été		
Intérieur	$T_{\text{int-adulte-hiver}} = 23 \text{ h/j}$ toute la semaine	21h/jour 5j/7 et 12h/j 2j/7, soit en moyenne $T_{\text{int-adulte-été}} = 18,4 \text{ h/j}$	Crèche : 10h/j 230j/an $T_{\text{int-crèche-enfant}} = 6,3 \text{ h/j}$		École : 6 h/j 180 j/an $T_{\text{int-école-enfant}} = 3,0 \text{ h/j}$
			Restant du temps "intérieur" dans le logement		Restant du temps "intérieur" dans le logement
Extérieur	$T_{\text{ext-adulte-hiver}} = 1 \text{ h/j}$ toute la semaine	3h/jour 5j/7 et 12h/j 2j/7, soit en moyenne $T_{\text{ext-adulte-été}} = 5,6 \text{ h/j}$	$T_{\text{ext-enfant-0-2-hiver}} = 1 \text{ h/j}$	$T_{\text{ext-enfant-2-6-hiver}} = 1 \text{ h/j}$	
			$T_{\text{ext-enfant-0-2-été}} = 2 \text{ h/j}$	$T_{\text{ext-enfant-2-6-été}} = 8 \text{ h/j}$	

⁶ Valeurs conventionnellement choisies. Il conviendrait, en toute rigueur, puisque l'on a choisi de distinguer les milieux "école" et "logement", de considérer une période où l'adulte (au sens où il est défini ici, à savoir comme étant une personne âgée de plus de 6 ans) fréquente l'école pendant 10 ans. Dans le cadre de ce travail, la cible "**adolescent**" n'a pas été étudiée. Elle pourrait l'être ultérieurement si l'approfondissement de l'étude des expositions des populations au formaldéhyde s'avérait nécessaire. Dans la mesure où les concentrations dans les écoles et crèches sont supérieures aux concentrations dans le logement, l'étude est de fait quelque peu minorante dans l'évaluation des risques cancérogènes.

⁷ L'indice "0" correspond à la naissance de l'enfant. En première approche majorante, on ne distingue pas les premières semaines de la vie de l'enfant, qu'il ne passe pas à la crèche.

⁸ [Gauvin, 2001] a permis de préciser les calculs de fraction de temps réalisés sur la base des renseignements fournis par des personnes en charge de la gestion de crèches et d'écoles.

Fractions moyennes annuelles, notées t			
Intérieur	$\frac{1}{2} \times \left(\frac{t_{\text{int-adulte-hiver}}}{24} + \frac{t_{\text{int-adulte-été}}}{24} \right) = 0,86$ = t _{int-adulte}	t _{int-crèche-enfant} = 0,26	t _{int-école-enfant} = 0,12
		t _{int-enfant-0-2} = 0,68	t _{int-enfant-2-6} = 0,69
Extérieur	$\frac{1}{2} \times \left(\frac{t_{\text{ext-adulte-hiver}}}{24} + \frac{t_{\text{ext-adulte-été}}}{24} \right) = 0,14$ = t _{ext-adulte}	t _{ext-enfant-0-2} = 0,06	t _{ext-enfant-2-6} = 0,19

Tableau 3 : Temps et fractions de temps passé à l'intérieur et à l'extérieur

6.2 DOSES JOURNALIÈRES D'EXPOSITION

Dans le cas d'une exposition chronique par inhalation, la dose journalière d'exposition correspond à la concentration inhalée exprimée de la manière suivante :

$$CI = \dot{a}_i(C_i \cdot t_i) \cdot F_{an}$$

avec :

CI : concentration moyenne inhalée (mg/m³ ou µg/m³)

C_i : concentration de polluant dans l'air inhalé pendant la fraction de temps d'exposition t_i

t_i : fraction de temps d'exposition à la concentration C_i pendant une journée

F_{an} : fréquence annuelle d'exposition (nombre de jours d'exposition par an / 365)

Dans le cas présent : F = 1, puisque l'exposition est permanente toute l'année.

Pour l'enfant fréquentant la crèche, [0 ; 2 ans] :

$$CI_{\text{enfant-0-2}} = C_{\text{ext}} \times t_{\text{ext-enfant-0-2}} + C_{\text{int-crèche-école}} \times t_{\text{int-crèche-enfant}} + C_{\text{int-logement}} \times t_{\text{int-enfant-0-2}}$$

$$CI_{\text{enfant-0-2}} = 7,7 \times 0,06 + 43 \times 0,26 + 23 \times 0,68$$

$$CI_{\text{enfant-0-2}} = 27 \text{ mg/m}^3$$

Pour l'enfant allant à l'école, [2 ; 6 ans] :

$$CI_{\text{enfant-2-6}} = C_{\text{ext}} \times t_{\text{ext-enfant-2-6}} + C_{\text{int-crèche-école}} \times t_{\text{int-école-enfant}} + C_{\text{int-logement}} \times t_{\text{int-enfant-2-6}}$$

$$CI_{\text{enfant-2-6}} = 7,7 \times 0,19 + 43 \times 0,12 + 23 \times 0,69$$

$$CI_{\text{enfant-2-6}} = 22 \text{ mg/m}^3$$

Pour l'adulte, [6 ; 70 ans] :

$$CI_{\text{adulte}} = C_{\text{ext}} \times t_{\text{ext-adulte}} + C_{\text{int-logement}} \times t_{\text{int-adulte}}$$

$$CI_{\text{adulte}} = 7,7 \times 0,14 + 23 \times 0,86$$

$$CI_{\text{adulte}} = 21 \text{ mg/m}^3$$

6.3 CARACTÉRISATION DES RISQUES

6.3.1 Effets systémiques

La quantification des risques systémiques (effets à seuil) s'exprime par un indice de risque (IR), qui, dans le cas de cette étude où le risque est lié à une exposition via l'inhalation, est déterminé par la formule suivante :

$$IR = \frac{CI}{CJT}$$

avec :

IR : Indice de Risque

CI : Concentration Inhalée

CJT : Concentration Journalière Tolérable (au sens Valeur Toxicologique de Référence)

Pour les effets systémiques du formaldéhyde, la CJT retenue est celle de l'ATSDR : MRL = 10 µg/m³.

L'indice de risque est calculé par classe d'âge.

Pour l'enfant fréquentant la crèche [0 ; 2 ans] : **IR_{enfant-0-2} = 2,7**

Pour l'enfant allant à l'école [2 ; 6 ans] : **IR_{enfant-2-6} = 2,2**

Pour l'adulte, [6 ; 70 ans] : **IR_{adulte} = 2,1**

6.3.2 Effets cancérogènes

La quantification des risques cancérogènes (effets sans seuil) s'exprime par un excès de risque individuel (ERI), qui, pour une exposition par inhalation, s'exprime comme suit :

$$ERI = CI \cdot \frac{T}{T_m} \cdot ERU_i$$

avec :

ERI : Excès de Risque Individuel

CI : Concentration Inhalée

T : durée d'exposition (2 ans "enfant fréquentant la crèche", 4 ans "enfant allant à l'école" et 64 ans "adulte")

T_m : période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (70 ans assimilée à la vie entière)

ERU_i : Excès de Risque Unitaire lié à l'exposition par inhalation

Pour les effets cancérogènes du formaldéhyde, ERU_i = 1,3.10⁻⁵ (µg/m³)⁻¹

Scénario "vie entière" :

$$ERI = [CI_{\text{enfant-0-2}} \times (2/70) + CI_{\text{enfant-2-6}} \times (4/70) + CI_{\text{adulte}} \times (64/70)] \times ERU_i$$

$$\boxed{ERI = 2,8.10^{-4}}$$

7. CONCLUSION

Les teneurs observées et le temps passé en intérieur contribuent à des risques sanitaires significatifs aussi bien systémiques (lésions de l'épithélium nasal) que cancérogènes (bouche, nez, pharynx, sinus) liés à l'exposition au formaldéhyde du bruit de fond. Même si les données françaises demeurent à ce jour parcellaires, il n'en demeure pas moins qu'elles sont globalement du même ordre de grandeur que les concentrations mesurées dans les autres pays industrialisés et que le choix des concentrations moyennes intérieures et extérieure retenues pour l'étude peut être considéré comme satisfaisant. Sur cette base, **les indices de risque évalués ($IR_{\text{enfant-0-2}} = 2,7$; $IR_{\text{enfant-2-6}} = 2,2$; $IR_{\text{adulte}} = 2,1$) et l'excès de risque individuel ($ERI = 2,8 \cdot 10^{-4}$) sont non négligeables**. Il semblerait que les concentrations intérieures en formaldéhyde puissent être problématiques, en particulier dans les écoles et crèches, les enfants étant précisément une population sensible au regard de l'exposition au formaldéhyde (effets systémiques notamment).

Il convient de garder à l'esprit ces ordres de grandeur dans le cadre d'une évaluation détaillée des risques (EDR) pour un sol pollué ou d'une évaluation des risques sanitaires (ERS) liés à une installation classée.

L'approfondissement de la connaissance des données sur les concentrations retrouvées dans l'environnement en France, aussi bien en extérieur que dans les différents environnements intérieurs, est souhaitée.

8. REFERENCES

Air Parif (2004) Surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France, Statistiques 2003.
<http://www.airparif.asso.fr/donnees/default.htm>

Annesi (2000) Actes du colloque PRIMEQUAL-PREDIT, 29, 30 novembre et 1^{er} décembre 2000

ATSDR (1999-a) Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Minimal Risk Levels (MRLs) for Hazardous Substances, Formaldehyde, <http://www.atsdr.cdc.gov/mrls.html>

ATSDR (1999-b) Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Toxicological profile, Formaldehyde, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp111.html>

Barguil (1990) Chemical characterisation of indoor air quality in Parisian homes, *Aerobiologia*, 6 : 28 - 31

BRE (1996) Indoor Air quality in Homes, Part 2, The Building Research Establishment Indoor Environment Study

CIRC (1995) Formaldehyde. In : Wood dust and formaldehyde, Lyon, International Agency for Research on Cancer, 1995, 217 - 362 (IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans, Vol. 62)

De Bortoli (1986) Concentrations of Selected Organic Pollutants in Indoor and Outdoor Air in Northern Italy, *Environment International*, 12 : 343 - 350

Dingle (2002) Formaldehyde Levels and the Factors Affecting These Levels in Homes in Perth, Western Australia, *Indoor + Built Environment*, 11 : 111 - 116

Ferrari (1998) Aromatic hydrocarbons and aldehydes in the atmosphere of Grenoble, France, *Chemosphere*, 37(8) : 1587 - 1601

Gauvin (2001) Pollution atmosphérique d'origine automobile et développement de la maladie asthmatique de l'enfant, Etude VESTA, Thèse pour le grade de Docteur ès Sciences de l'Université Joseph Fourier, Grenoble

Grimaldi (1992) Etude de la pollution de l'air à l'intérieur de deux locaux d'enseignement à Marseille, *Pollution atmosphérique*, 133 : 43 - 53

Gonzalez (1999) Pilot Study of Personal Indoor and Outdoor Exposure to Benzene, Formaldehyde and Acetaldehyde, *Environmental Science and Pollution Research*, 6 : 95 - 102

Hodgson (2002) Sources of formaldehyde, other aldehydes and terpenes in a new manufactured house, *Indoor Air*, 12 : 235 - 242

HSDB (2001) Hazardous Substances Databank, <http://www.toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search>

INCHEM (1989) Environmental Health Criteria Monograph, Formaldehyde, International Programme on Chemical Safety (IPCS), <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc89.htm>

INERIS (2003) Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Formaldéhyde, Version 1-1, <http://www.ineris.fr/recherches/download/formaldehyde.pdf>

IRIS (1999) Integrated Risk Information System, Formaldehyde.
<http://www.epa.gov/iris/subst/0419.htm>

- Jurvelin (2001)** Personal Exposure Levels and Microenvironmental Concentrations of Formaldehyde and Acetaldehyde in the Helsinki Metropolitan Area, Finland, Journal of the Air & Waste Management Association, 51 : 47 - 24
- Krzyzanowsky (1990)** Chronic Respiratory Effects of Indoor Formaldehyde Exposure, Environmental Research, 52 : 117 - 125
- Laurent (1993)** Chemical characterization of indoor air quality inside schools in Paris, Proceedings of Indoor Air'93, Helsinki, Finlande, Juillet 1993, 3 : 23 - 28
- Meininghaus (2003)** Risk assessment of sensory irritants in indoor air – a case study in a French school, Environment International, 28(1) : 553 - 557
- OQAI (2002)** Rapport exécutif : De la phase préparatoire aux premiers résultats de l'étude pilote, Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur, Mars 2002, <http://www.air-interieur.org/>
- Reiss (1995)** Measurements of Organic Acids, Aldehydes, and Ketones in Residential Environments and Their Relation to Ozone, Journal of the Air & Waste Management Association, 45 : 811 - 822
- RIVM (1997)** Aldehydes concentrations in ambient air, Results of one-year measuring campaign at two sites in the Netherlands, Mennen M.G., Report 723101028
- RIVM (2002)** The health- and addictive effects due to exposure to aldehydes of cigarette smoke, Part 1 : Acetaldehyde, Formaldehyde, Acrolein and Propionaldehyde, van Anel I., Report 650270003
- Smedge (2001)** Incidence of asthma diagnosis and self-reported allergy in relation to the school environment, a four-year follow-up study in schoolchildren, International Journal of Tuberculosis and Lung disease, 5(11) : 1059 - 1066
- Smedge (2001)** Irritants and Allergens at School in Relations to Furnishing and Cleaning, Indoor Air, 11 : 127 - 133
- UBA (1992)** Umweltbundesamt, German Environmental Survey 1990/92 (GerES II)
- US EPA (1997)** Exposure Factors Handbook, Volume I : General Factors. Washington DC, <http://www.epa.gov/ncea/pdfs/efh/front.pdf>
- Wantke (1996)** Exposure to gaseous formaldehyde induces IgE-mediated sensitisation to formaldehyde in school-children, Clinical and Experimental Allergy, 26 : 276 - 280
- WHO (2000)** Air Quality Guidelines for Europe, Second Edition, World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen, http://www.who.dk/document/aiq/5_8formaldehyde.pdf
- Zhang (1994)** Characteristics of Aldehydes : Concentrations, Sources, and Exposures for Indoor and Outdoor Residential Microenvironments, Environmental Science and Technology, 28 : 146 - 152