



MESURE DES ALDEHYDES DANS L'AIR INTERIEUR

des écoles maternelles et des crèches de la région Rhône-Alpes



Décembre 2007

Etude financée par la DRASS Rhône-Alpes



L'Air de l'Ain et des Pays de Savoie (AIR-APS), AMPASEL, ATMO Drôme-Ardèche, ASCOPARG et COPARLY font partie du dispositif français de surveillance et d'information de la qualité de l'air. Leur mission s'exerce dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996 et de ses décrets d'application notamment le décret 98-361 du 6 mai 1998 relatif à l'agrément des organismes de surveillance de la qualité de l'air.

A ce titre et compte tenu du statut d'organisme non lucratif du réseau, AIR-APS, AMPASEL, ATMO Drôme-Ardèche, ASCOPARG et COPARLY sont garants de la transparence de l'information sur le résultat de leurs travaux.

Condition de diffusion :

- Les données recueillies tombent dès leur élaboration dans le domaine public. Le rapport d'étude est mis à disposition sur www.atmo-rhonealpes.org, un mois après livraison.
- Les données contenues dans ce document restent la propriété des associations. Elles ne sont pas rediffusées en cas de modification ultérieure.
- Toute utilisation partielle ou totale de ce document doit faire référence aux associations en terme de « AIR-APS, AMPASEL, ATMO Drôme-Ardèche, ASCOPARG, COPARLY (2007) *Mesure des aldéhydes dans l'air intérieur des écoles maternelles et des crèches en Rhône-Alpes. Convention DRASS* ».
- AIR-APS, AMPASEL, ATMO Drôme-Ardèche, ASCOPARG et COPARLY ne sont en aucune façon responsables des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant des résultats de leurs travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

L'Air de l'Ain et des Pays de Savoie (AIR-APS), AMPASEL, ATMO Drôme-Ardèche, ASCOPARG et COPARLY tiennent à remercier les mairies ayant accepté de participer à l'étude ainsi que tout le personnel des établissements participants pour leur accueil et le remplissage des questionnaires nécessaires à l'interprétation des mesures.

Cette étude a été financée par la Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales de Rhône-Alpes.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	4
CONTEXTE ET METHODOLOGIE	4
I SELECTION DES ETABLISSEMENTS	6
II PERIODES DE MESURE	6
III MATERIEL DE MESURE	6
IV LOCALISATION DU PRELEVEMENT DANS LA SALLE	7
V RECUEIL DE PARAMETRES SUPPLEMENTAIRES	7
VI LE DEROULEMENT DE L'ETUDE	8
PARTIE I – ETAT DES LIEUX	9
I CONTEXTE DES CAMPAGNES	9
II RESULTATS	11
II.1 RESULTATS MOYENS	11
II.2 DISTRIBUTIONS	12
III LES ECOLES MATERNELLES ET LES CRECHES PRESENTENT-ELLES DES DIFFERENCES ?	14
PARTIE II – COMPARAISON DES NIVEAUX MESURES AUX REFERENCES	15
I COMPARAISON AVEC LES NIVEAUX MESURES DANS D'AUTRES ETUDES	15
II COMPARAISON AVEC LES NIVEAUX MESURES DANS D'AUTRES ENVIRONNEMENTS	16
II.1 NIVEAUX MESURES EN AIR EXTERIEUR	16
II.2 NIVEAUX MESURES DANS LES LOGEMENTS	17
III COMPARAISON AVEC LES VALEURS DE REFERENCE POUR LA SANTE	18
III.1 LE FORMALDEHYDE	18
III.2 L'ACETALDEHYDE	18
PARTIE III – VARIATIONS ET FACTEURS EXPLICATIFS DES CONCENTRATIONS MESUREES	19
I QUELLES SONT LES VARIATIONS JOURNALIERES ?	19
II QUELLE EST L'INFLUENCE DE LA SAISON SUR LES NIVEAUX MESURES ?	20
II.1 COMPARAISON DES DIFFERENTES CAMPAGNES ENTRE ELLES	21
II.2 SUIVI ANNUEL DANS UNE SALLE	22
II.3 REFLEXION SUR LA STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE	23
III QUELS SONT LES FACTEURS INFLUENÇANT LES CONCENTRATIONS DE FORMALDEHYDE ?	24
III.1 LES DIFFERENTES SALLES D'UN MEME BATIMENT PRESENTENT-ELLES DES NIVEAUX HOMOGENES?	25
III.2 ELEMENTS DE REPONSE APPORTES PAR L'ANALYSE DES PARAMETRES RECUEILLIS PAR QUESTIONNAIRES	26
III.3 EXPLOITATION DES DONNEES SUR UNE SALLE	31
III.4 CONCLUSION	32
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	33

Liste des figures

Figure 1. Carte des établissements de l'étude	6
Figure 2. Evolution de la température à Grenoble du 2 au 6 octobre 2006	9
Figure 3. Evolution de la température extérieure à Grenoble d'avril à avril de 2004 à 2006	10
Figure 4. Niveaux moyens de formaldéhyde et d'acétaldéhyde pour chaque campagne de mesure	11
Figure 5. Niveaux moyens de formaldéhyde et d'acétaldéhyde sur les 4 campagnes	12
Figure 6. Répartition des concentrations de formaldéhyde à chaque campagne	13
Figure 7. Distribution cumulée des concentrations moyennes de formaldéhyde par salle	14
Figure 8. Boite à moustaches des concentrations moyennes de formaldéhyde	14
Figure 9. Niveaux moyens d'aldéhydes mesurés en air extérieur	16
Figure 10. Comparaison des niveaux moyens de formaldéhyde et d'acétaldéhyde en air intérieur et air extérieur	16
Figure 11. Répartition des mesures sur la semaine dans 6 établissements	19
Figure 12. Comparaison de la concentration moyenne sur 4,5 jours et de la concentration moyenne aux heures de présence des enfants	20
Figure 13. Ecart en $\mu\text{g.m}^{-3}$ entre la concentration moyenne de formaldéhyde sur 4,5 jours et la concentration moyenne aux heures de présence des enfants	20
Figure 14. Comparaison des niveaux de formaldéhyde (à gauche) et d'acétaldéhyde (à droite) mesurés à chaque campagne dans les écoles maternelles	21
Figure 15. Comparaison des concentrations de formaldéhyde des campagnes 1 et 2 par salle	22
Figure 16. Evolution des concentrations de formaldéhyde dans une salle	23
Figure 17. Répartition des écarts à la moyenne « 4 campagnes »	24
Figure 18. Dispersion des concentrations de formaldéhyde dans les salles d'un même établissement	26
Figure 19. Comparaison des niveaux de formaldéhyde en moyenne sur 4 campagnes dans les salles d'écoles maternelles ayant subi des grands travaux (« 1 ») et les autres (« 0 »)	27
Figure 20. Comparaison des niveaux de formaldéhyde selon la date de construction du bâtiment pour la campagne 1 (à gauche) et la campagne 4 (à droite) – Ecoles maternelles	28
Figure 21. Comparaison des niveaux de formaldéhyde en moyenne sur 4 campagnes selon la date de construction du bâtiment dans les salles d'écoles maternelles (à gauche) et de crèches (à droite)	28
Figure 22. Nombre de salles de l'étude possédant une ventilation mécanique	28
Figure 23. Comparaison des niveaux de formaldéhyde des salles équipées de ventilation mécanique et des autres pour la campagne de juin (à gauche) et la campagne de décembre (à droite) - Ecoles maternelles	29
Figure 24. Comparaison des niveaux de formaldéhyde des salles équipées de ventilation mécanique dans les écoles maternelles (à gauche) et les crèches (à droite)	30
Figure 25. Corrélation entre la concentration de formaldéhyde dans une salle et la température extérieure	31
Figure 26. Corrélation entre la concentration de formaldéhyde dans une salle et la concentration maximale d'ozone extérieure	32

Liste des tableaux

Tableau 1. Moyenne des niveaux mesurés par campagne	11
Tableau 2. Comparaison des niveaux de formaldéhyde mesurés dans les écoles maternelles et les crèches avec ceux mesurés dans les logements	17
Tableau 3. Comparaison des niveaux d'acétaldéhyde mesurés dans les écoles maternelles et les crèches avec ceux mesurés dans les logements	17

INTRODUCTION

Le Plan National Santé Environnement 2004-2008 (PNSE) prévoit dans l'action n°14 de "mieux connaître les déterminants de la qualité de l'air intérieur et renforcer la réglementation", objectif repris dans le Plan Régional Santé Environnement de Rhône-Alpes (PRSE) en particulier dans la fiche action n°29 qui vise à "veiller à la qualité des bâtiments accueillant des enfants".

Dans le cadre des actions déclinées régionalement par les services de l'Etat, la DRASS Rhône-Alpes¹ a souhaité mieux connaître les déterminants de la qualité de l'air intérieur dans des bâtiments accueillant de jeunes enfants.

A cette fin, les AASQA² Rhône-Alpes ont été sollicitées en 2006 pour réaliser une étude des concentrations en aldéhydes, dont le formaldéhyde est le composé le plus préoccupant, sur un échantillon de 50 crèches ou écoles maternelles de Rhône-Alpes.

L'objectif de l'étude est de réaliser un état des lieux préliminaire des concentrations en aldéhydes dans l'air intérieur des bâtiments accueillant des jeunes enfants et de produire des résultats exploitables dans le cadre d'une évaluation des risques sanitaires liés à l'exposition aux aldéhydes en environnement intérieur.

Le présent document s'organise autour de quatre parties distinctes. Tout d'abord, une première partie présente le contexte et la méthodologie de l'étude. Ensuite, une deuxième partie décrit l'état des lieux des concentrations mesurées. Ces concentrations sont comparées dans une troisième partie aux références existantes, en termes de niveaux relevés dans les différents environnements ou bien de valeurs de référence pour la santé établies par différents organismes.

Enfin, la dernière partie de l'étude s'attache à comprendre les facteurs influençant les concentrations d'aldéhydes dans l'air intérieur. Celle-ci permet notamment de mieux interpréter les résultats obtenus.

Contexte et méthodologie

Alors que la surveillance de l'air extérieur est organisée depuis de nombreuses années, les connaissances sur la pollution de l'air intérieur (dans les logements, les lieux publics,...) sont plus restreintes. Or, une personne passe en moyenne 80 à 90% de son temps dans des environnements clos, elle est donc largement exposée aux polluants de l'air intérieur.

Les études menées depuis plusieurs années pour améliorer les connaissances sur l'air intérieur montrent que pour un grand nombre de polluants, les niveaux observés sont plus élevés à l'intérieur qu'à l'extérieur. Parmi ces polluants intérieurs, se trouvent les aldéhydes.

Les aldéhydes sont présents dans de nombreux produits d'usage courant. Les panneaux de bois en aggloméré, certaines mousses pour l'isolation, certains vernis, les colles, les peintures, les moquettes, les rideaux et les désinfectants en contiennent. Ils sont produits également par combustion, par exemple l'acétaldéhyde est retrouvé dans la fumée de tabac ou en présence de cheminées à foyer ouvert. Enfin, le formaldéhyde peut être produit par réaction chimique entre l'ozone et des composés présents dans l'air. A l'extérieur, les aldéhydes peuvent provenir également de feux de forêt ou de combustion de carburants automobiles notamment.

¹ Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales

² Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air

Au sein de cette famille de polluants, deux composés en particulier suscitent l'intérêt des différents acteurs de la qualité de l'air : **le formaldéhyde et l'acétaldéhyde**.

Le **formaldéhyde** est classé depuis juin 2004 par le Centre International de la Recherche sur le Cancer (CIRC) comme polluant cancérigène (groupe 1). Ce polluant est également un irritant des yeux, du nez et de la gorge. Il a été classé substance prioritaire dans le cadre de plusieurs travaux :

- Il fait partie du groupe des 7 substances hautement prioritaires dans le cadre de la hiérarchisation sanitaire des polluants de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur [Mosqueron, 2002].
- Il fait partie du groupe des 5 substances hautement prioritaires dans le cadre du projet INDEX³ conduit par la Commission Européenne [JRC, 2004] dans le but d'une part d'élaborer une liste de polluants chimiques prioritaires pour les environnements intérieurs susceptibles d'être réglementés dans le futur et d'autre part de proposer des valeurs limites d'exposition, sur la base de critères sanitaires.
- Il fait partie des deux premiers polluants (avec le monoxyde de carbone) pour lesquels une valeur guide en air intérieur a été élaborée par le groupe d'experts piloté par l'AFSSET au niveau national.

La littérature et les récentes études menées par l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) et l'association de surveillance de la qualité de l'air alsacienne (ASPA) dans l'air intérieur des bâtiments scolaires et de petite enfance, montrent des concentrations de formaldéhyde bien plus élevées à l'intérieur qu'en air extérieur, et particulièrement dans ce type de bâtiment.

L'**acétaldéhyde** a été classé comme cancérigène possible par le CIRC. C'est également un irritant. Il fait partie des substances prioritaires à étudier dans l'air intérieur (groupe des 7 substances hautement prioritaires de l'OQAI et groupe 2 des 4 substances moins prioritaires du projet INDEX).

Compte tenu de ces éléments, l'état des lieux et la comparaison aux valeurs existantes sont focalisés sur ces deux aldéhydes.

Les paragraphes suivants présentent la méthodologie retenue pour l'étude.

**Plus d'infos sur les sources d'émission des différents aldéhydes
[www.air-interieur.org]**

Formaldéhyde : Réactivité chimique entre l'ozone et certains COV présents dans l'air, produits de construction et de décoration, sources de combustion (fumée de tabac, bougies, bâtonnets d'encens, cheminées à foyer ouvert, cuisinières à gaz, poêles à pétrole), produits d'entretien et de traitement, produits d'hygiène corporelle et cosmétiques.

Acétaldéhyde : Photochimie, fumée de cigarettes, photocopieurs, panneaux de bois brut, panneaux de particules.

Benzaldéhyde: Peintures à phase solvant, photocopieurs, parquet traité.

Butyraldéhyde: Photocopieurs.

Isovaléraldéhyde : Parquet traité, panneaux de particules.

Valéraldéhyde : Emissions des livres et magazines neufs, peintures à phase solvant, panneaux de particules.

³ Critical Appraisal of the Setting and Implementation of Indoor Exposure Limits in the EU

I Sélection des établissements

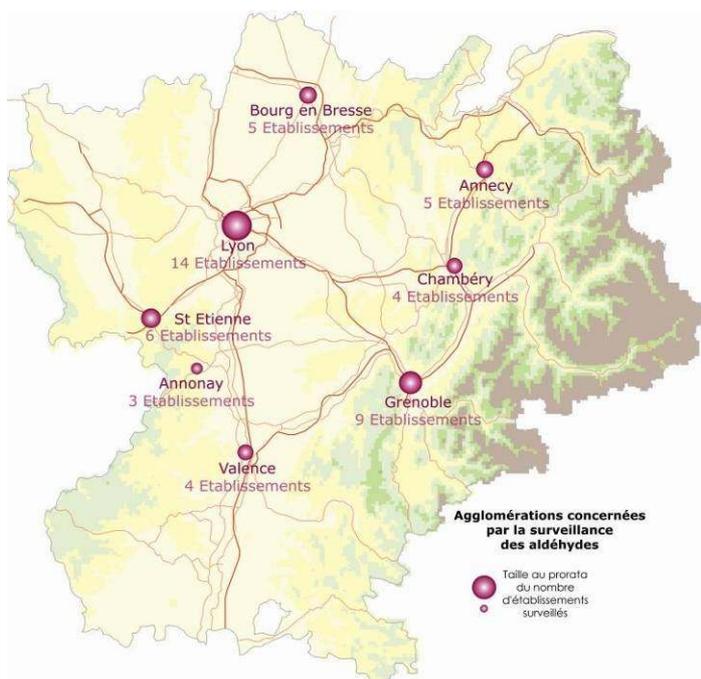


Figure 1. Carte des établissements de l'étude

Les établissements ont été sélectionnés aléatoirement parmi les établissements publics des 8 principales agglomérations de la région au pro rata de la population du département concerné (cf. Figure 1).

Au total, l'étude porte sur 28 écoles maternelles et 22 crèches de la région Rhône-Alpes.

Dans chaque établissement de l'étude, trois salles ont été sondées.

👉 **Au final, les salles retenues sont :**

- 75 salles de classe
- 31 salles d'activité/de vie
- 26 dortoirs (dont 4 en écoles maternelles)
- 12 salles de bains/de change
- 6 salles de psychomotricité (écoles)

Compte tenu de la méthode de sélection, l'échantillon des établissements ne peut pas être considéré comme représentatif de l'ensemble des établissements de Rhône-Alpes. De même, les établissements dans une agglomération ne peuvent pas être considérés comme représentatifs de cette dernière.

II Périodes de mesure

Afin d'avoir une bonne représentativité de la qualité de l'air intérieur, quatre périodes de mesures dans l'année ont été retenues afin d'appréhender la variabilité des températures à l'intérieur des locaux, des taux de ventilation et des différentes activités notamment.

Pendant chaque période, les mesures ont été réalisées simultanément dans tous les établissements : du lundi matin au vendredi soir.

Calendrier

Campagne 1 : 12-16 juin 2006,
Campagne 2 : 2-6 octobre 2006,
Campagne 3 : 11-15 décembre 2006
Campagne 4 : 5- 9 mars 2007.

III Matériel de mesure



La mesure a été effectuée par des tubes à diffusion passive. Dans chaque salle, un tube a été exposé du lundi matin au vendredi soir de chaque campagne. Les concentrations mesurées sont donc des moyennes sur 4,5 jours.

Les tubes ont été analysés par le Laboratoire Inter régional de Chimie (LIC) du Grand Est à l'ASPA, l'association de surveillance de la qualité de l'air en Alsace.

La méthode de mesure employée permet de mesurer simultanément 7 aldéhydes : **le formaldéhyde, l'acétaldéhyde, le propionaldéhyde, le butyraldéhyde, le benzaldéhyde, l'isovaléraldéhyde et le valéraldéhyde.**

IV Localisation du prélèvement dans la salle

La norme NF ISO 16000-2 (Air intérieur. Partie 2 : Stratégie d'échantillonnage du formaldéhyde) précise que l'appareil d'échantillonnage doit être placé 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 jardins d'enfants dans lesquels la position assise est normale. Il est recommandé par ailleurs 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.

Ces préconisations ont été respectées autant qu'il était possible compte tenu des configurations des salles. Toutefois, les prélèvements ont été effectués à une hauteur légèrement supérieure à celle indiquée dans la norme. En effet, les mesures étant réalisées pendant les périodes de présence des enfants, le matériel devait se trouver hors de leur portée.



V Recueil de paramètres supplémentaires

Afin d'aider à l'interprétation des données, des paramètres supplémentaires ont été recueillis soit par mesure soit par questionnaire.

Recueil de mesures supplémentaires :

- Concentrations d'aldéhydes dans l'air extérieur de chaque agglomération participant à l'étude pendant chaque période. De plus, 5 établissements ont fait l'objet d'une mesure dans la cour en air extérieur pendant la période de mesures.
- Mise en place de triplets de tubes sur 3 sites par période pour évaluer la répétabilité des mesures (cf. annexe 3).
- Mise en place de mesures plus complètes à partir de la deuxième campagne dans six salles (5 écoles, 1 crèche) afin d'évaluer la représentativité de la qualité de l'air moyenne sur 4,5 jours par rapport à la qualité de l'air intérieur pendant les périodes de présence des enfants et, en complément du tube exposé du lundi matin au vendredi après-midi, un tube a été exposé chaque jour pendant les heures de présence des enfants. Pour les écoles, les mesures ont été réalisées selon les périodes d'exposition suivantes:
 - lundi ≈ 8h30 – 17 h30
 - mardi ≈ 8h30 – 17 h30
 - fermeture du mercredi ≈ mardi 17h30 – jeudi 8h30
 - jeudi ≈ 8h30 – 17 h30
 - vendredi ≈ 8h30 – 17 h30

Pour la crèche, la journée du mercredi a été réalisée comme les autres jours.

Recueil de données par questionnaires :

En parallèle des mesures, des données ont été recueillies par questionnaire :

- un questionnaire « bâtiments » concernant la date de construction, les types de revêtements, de chauffage, de ventilation,... , complété une seule fois pour chaque salle.
- un questionnaire « activités » concernant les durées des activités (collage, feutres, peinture), la température dans la salle pendant l'exposition des tubes, complété à chaque campagne pour chaque salle.

VI Le déroulement de l'étude

L'étude a été suivie par un Comité de Pilotage, réunissant des représentants de la DRASS, des DDASS de la Région Rhône-Alpes, de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur, du Ministère de la Santé et des AASQA.

Initiée dès la fin de l'année 2005, elle a nécessité une phase de préparation importante pour, d'une part, définir la méthodologie, et d'autre part, prendre les contacts avec les établissements sélectionnés.

En effet, une pré-sélection de 100 établissements a tout d'abord été effectuée aléatoirement afin de pallier à la fois les refus de participation à l'étude et ceux des établissements devant faire l'objet de travaux importants pendant la durée de l'étude.

Une fois les autorisations obtenues pour les communes concernées, les rectorats d'académie et les directeurs d'établissement, chacun a fait l'objet d'une visite pour choisir les 3 salles participant à l'étude et déterminer les emplacements pour le prélèvement. Ces informations ont été consignées dans des « fiches de site » utilisables par le personnel chargé d'installer le matériel à chaque campagne.

La méthodologie de l'étude impliquant d'effectuer les mesures de tous les établissements de la région simultanément, 14 personnes étaient mobilisées pour installer et récupérer le matériel à chaque campagne.

L'étude a été accueillie plutôt favorablement par le personnel des établissements. Toutefois, il faut noter que le remplissage des questionnaires par le personnel sur place s'est révélé très fastidieux en supplément du travail habituel avec les enfants. Ceci a entraîné une qualité de remplissage plutôt moyenne. Dans le cas d'une prochaine étude, des améliorations devraient être apportées.

Partie I – Etat des lieux

I Contexte des campagnes

Campagne 1 : 12-16 juin 2006

La première campagne de mesures a été réalisée la semaine du 12 au 16 juin. Cette semaine a été particulièrement chaude. La moyenne de la température ambiante enregistrée sur les agglomérations de l'étude est de 24,3°C (comprise entre 21,3°C à Annonay et 26,3°C à Grenoble). A l'intérieur, les températures étaient élevées également, avec une moyenne de 26,0°C comprise entre 22,0°C et 29,6°C pour la salle la plus chaude.

Ce contexte de chaleur a engendré, dans la plupart des établissements, une ouverture importante des fenêtres pendant la période de mesures et donc un renouvellement d'air important.

Par ailleurs, les niveaux d'ozone ambiants et l'activité photochimique étaient élevés pendant cette période. Dans l'agglomération de Grenoble, le seuil d'information et de recommandations de 180 $\mu\text{g.m}^{-3}$ a même été atteint les 13 et 14 juin.

Campagne 2 : 2-6 octobre 2006

L'automne 2006 a été particulièrement doux et les températures relevées pendant cette campagne ont été élevées par rapport aux normales de saison.

La moyenne de la température ambiante enregistrée sur les agglomérations de l'étude est de 14,8°C (comprise entre 13°C à Annecy et 18,1°C à Grenoble). La Figure 2 montre l'évolution des températures pendant la semaine du 2 au 6 octobre à Grenoble. Une température maximale de 29,1°C (en moyenne horaire) a été relevée le mardi.

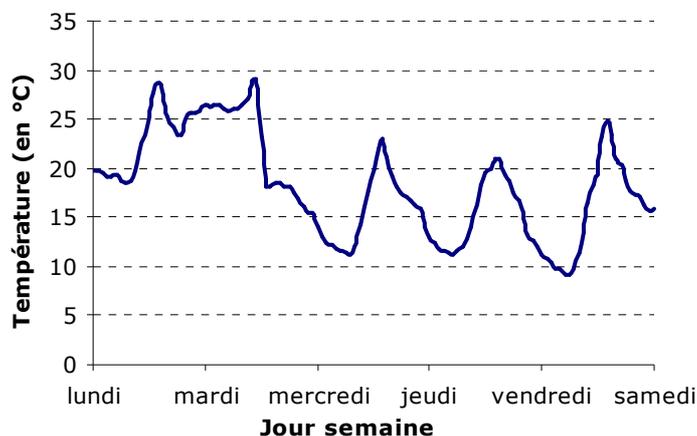


Figure 2. Evolution de la température à Grenoble du 2 au 6 octobre 2006

Dans les salles, les températures s'échelonnaient entre 18,6 et 24,6°C en moyenne sur la semaine. La moyenne des températures des salles est de 21,8°C.

Les niveaux d'ozone étaient inférieurs à la première campagne avec des moyennes d'environ 30 à 40 $\mu\text{g.m}^{-3}$ et des maxima horaires inférieurs à 100 $\mu\text{g.m}^{-3}$.

Campagne 3 : 11-15 décembre 2006

Bien que le début d'hiver 2006 ait été doux, la campagne 3 s'est déroulée dans une période assez froide. La moyenne des températures ambiantes enregistrées sur les agglomérations de l'étude est de 2,7°C (comprise entre 0,5 à Annecy et 4,5 °C à Grenoble).

Dans les salles, les températures s'échelonnaient entre 16,7 et 25 °C en moyenne sur la semaine. La moyenne des températures des salles est de 21,0 °C.

Campagne 4 : 5-9 mars 2007

La dernière campagne réalisée au mois de mars 2007 a eu lieu dans une période assez douce pour la saison. La moyenne des températures ambiantes enregistrées sur les agglomérations de l'étude est de 8,0°C (comprise entre 5,1°C à Annecy et 11,8°C à Grenoble). Dans l'après-midi, les températures maximales observées étaient légèrement inférieures à 20°C à Grenoble.

Dans les salles, les températures s'échelonnaient entre 17,7°C et 24,1°C en moyenne sur la semaine. La moyenne des températures des salles est de 21,3°C.

Conclusion sur la représentativité des campagnes

Le choix de réaliser quatre campagnes réparties dans l'année a été fait afin d'appréhender les différentes conditions climatiques et ainsi estimer une moyenne annuelle la plus représentative possible, il s'agit de la première campagne de ce type organisée en France. La Figure 3 montre l'évolution des températures journalières à Grenoble du 1^{er} avril au 31 mars pour les années 2004, 2005 et 2006. Les trois premières campagnes ont été réalisées dans des périodes plutôt représentatives de la période recherchée. En revanche, la campagne réalisée en mars 2007 l'a été pendant une période plus chaude que les années précédentes.

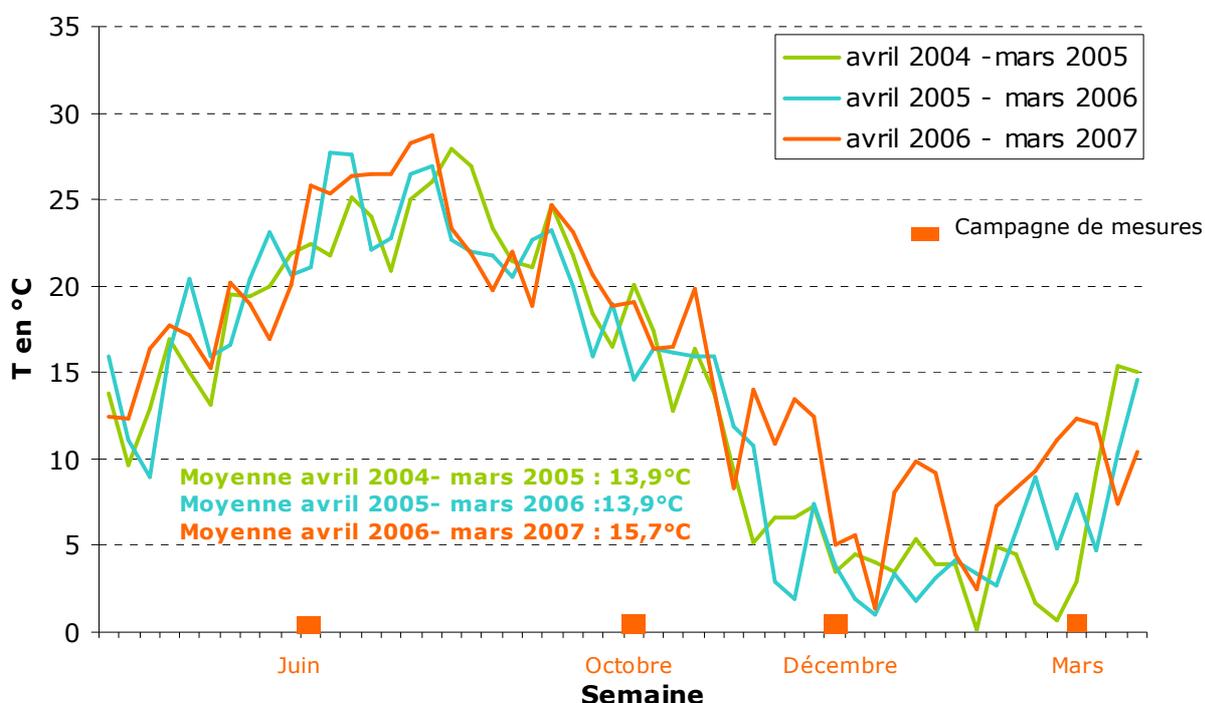


Figure 3. Evolution de la température extérieure à Grenoble d'avril à avril de 2004 à 2006

La période avril 2006-mars 2007 est plus chaude que les deux années précédentes.

II Résultats

II.1 Résultats moyens

II.1.i Par campagne

Les graphiques suivants présentent les niveaux moyens de formaldéhyde et d'acétaldéhyde mesurés lors de chaque campagne pour tous les établissements et par type d'établissement : écoles maternelles ou crèches.

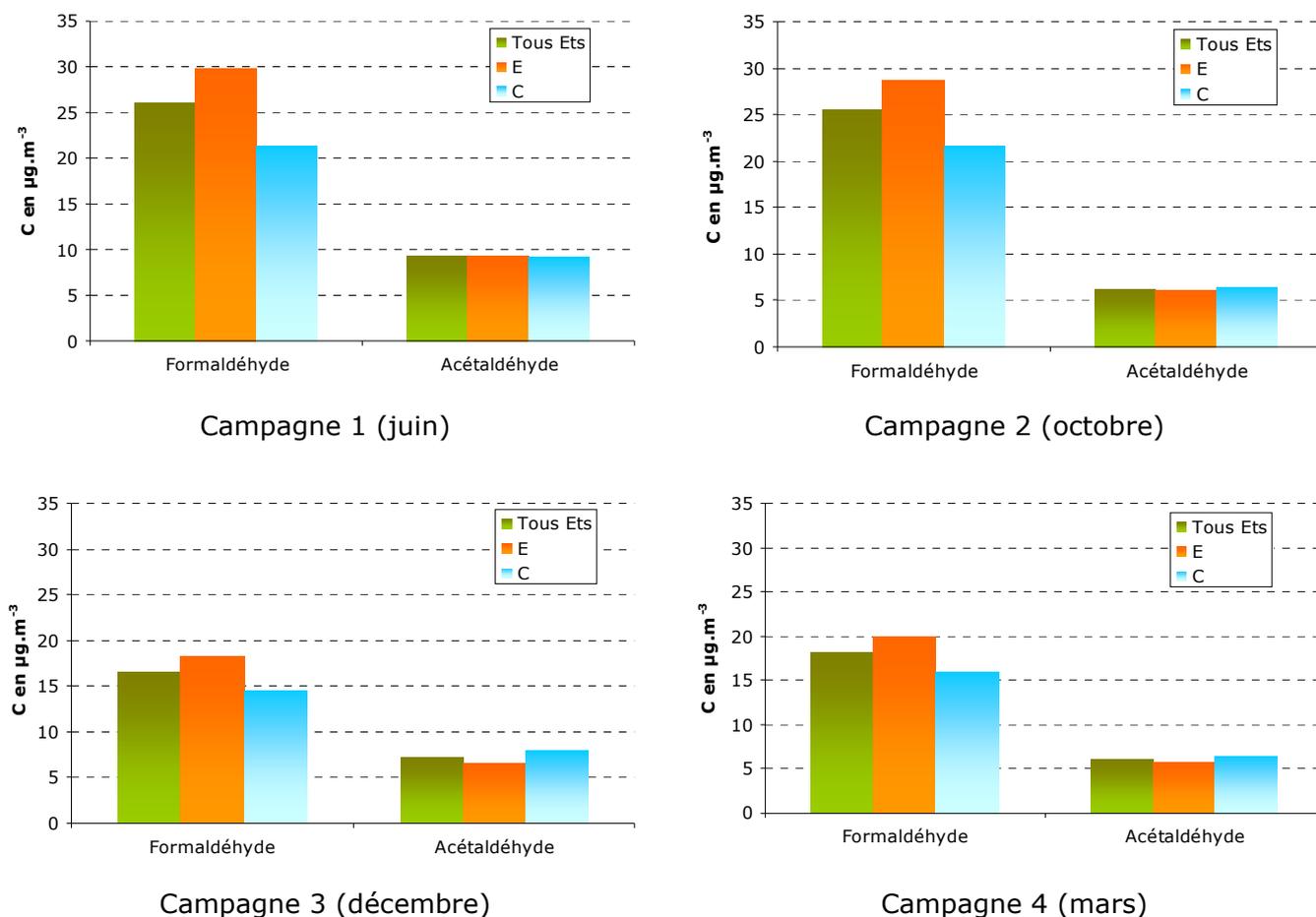


Figure 4. Niveaux moyens de formaldéhyde et d'acétaldéhyde pour chaque campagne de mesure

En chiffres

	Campagne 1 Juin			Campagne 2 Octobre			Campagne 3 Décembre			Campagne 4 Mars		
	Tous Ets	E	C	Tous Ets	E	C	Tous Ets	E	C	Tous Ets	E	C
Formaldéhyde	26.0	29.8	21.3	25.6	28.7	21.7	16.6	18.2	14.6	18.1	19.9	15.9
Acétaldéhyde	9.3	9.3	9.2	6.2	6.1	6.4	7.2	6.6	8.0	6.1	5.8	6.4

E : écoles maternelles

C : crèches

Tableau 1. Moyenne des niveaux mesurés par campagne

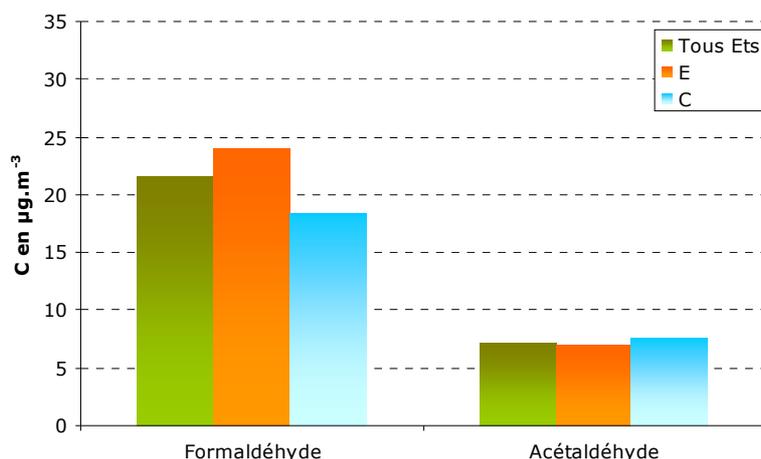
Quelle que soit la campagne, le **formaldéhyde** est plus présent que l'acétaldéhyde avec une concentration moyenne mesurée (tous établissements pris en compte) comprise entre 16,6 et 26,0 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ selon la campagne.

Par ailleurs, le niveau moyen de formaldéhyde mesuré dans les écoles maternelles est supérieur à celui mesuré dans les crèches. En revanche, ces deux types d'établissement présentent des niveaux similaires d'acétaldéhyde.

La différence entre ces deux types d'établissement sera étudiée dans le paragraphe III.

II.1.ii Agrégés

La Figure 5 présente les résultats en moyenne sur les quatre campagnes pour le formaldéhyde et l'acétaldéhyde.



Les autres aldéhydes

Le **butyraldéhyde** est le composé dont le niveau moyen est le plus élevé (comparable à l'acétaldéhyde) avec des concentrations moyennes mesurées comprises entre 6,6 µg.m⁻³ et 12 µg.m⁻³ selon la campagne. Les quatre autres aldéhydes mesurés, le **propionaldéhyde**, le **benzaldéhyde**, l'**isovaléraldéhyde** et le **valéraldéhyde**, sont beaucoup moins présents avec des niveaux moyens inférieurs à 5 µg.m⁻³. Le benzaldéhyde et l'isovaléraldéhyde sont parfois inférieurs au seuil de détection.

Figure 5. Niveaux moyens de formaldéhyde et d'acétaldéhyde sur les 4 campagnes

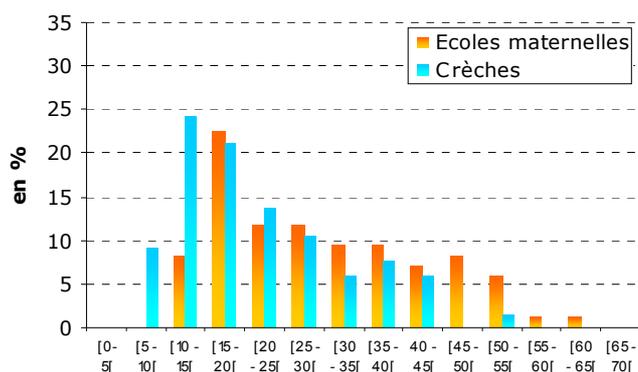
Le niveau moyen de formaldéhyde mesuré sur quatre campagnes se situe entre 18,6 µg.m⁻³ pour les crèches et 24,1 µg.m⁻³ pour les écoles maternelles. Le niveau moyen d'acétaldéhyde est inférieur à 10 µg.m⁻³ dans les deux types d'établissement.

II.2 Distributions

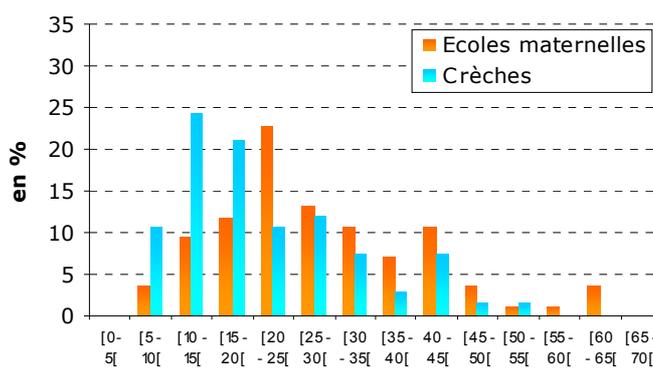
Le paragraphe précédent présentait les niveaux moyens mesurés dans les établissements, cependant ces niveaux ne sont pas homogènes d'une salle à l'autre. Pour la campagne 1 par exemple, les niveaux de formaldéhyde varient de 7,8 à 60,8 µg.m⁻³, pour un niveau moyen de 26 µg.m⁻³.

Les paragraphes suivants présentent les répartitions des concentrations de formaldéhyde à chaque campagne et en moyenne pour les quatre campagnes.

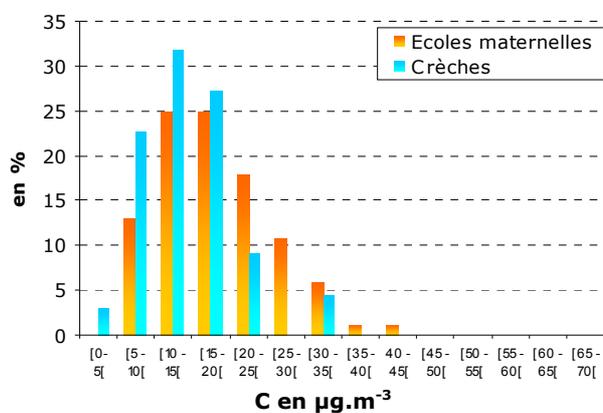
II.2.i Répartition des concentrations de formaldéhyde par campagne

C en µg.m⁻³

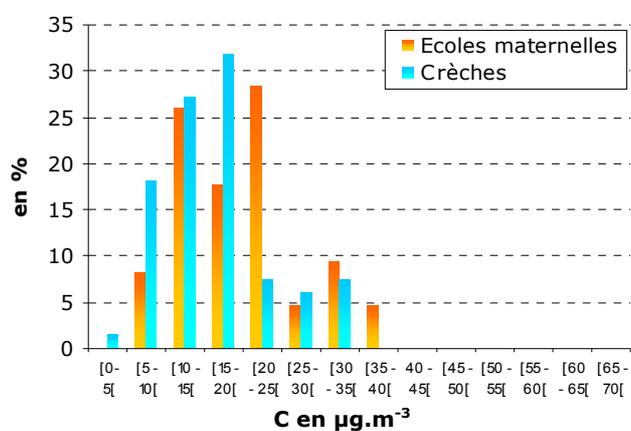
Campagne 1 (juin)

C en µg.m⁻³

Campagne 2 (octobre)

C en µg.m⁻³

Campagne 3 (décembre)

C en µg.m⁻³

Campagne 4 (mars)

Figure 6. Répartition des concentrations de formaldéhyde à chaque campagne

L'observation des répartitions montre que :

- Les niveaux maximaux de formaldéhyde mesurés sont plus élevés lors des campagnes 1 et 2 que lors des campagnes 3 et 4.
- La répartition des niveaux mesurés dans les salles de crèches présente plus de valeurs faibles que celle des écoles maternelles.

L'annexe 2 complète ces résultats.

II.2.ii Répartition des concentrations de formaldéhyde moyennes sur les 4 campagnes

La Figure 7 représente la distribution cumulée des niveaux de formaldéhyde en moyenne sur les 4 campagnes.

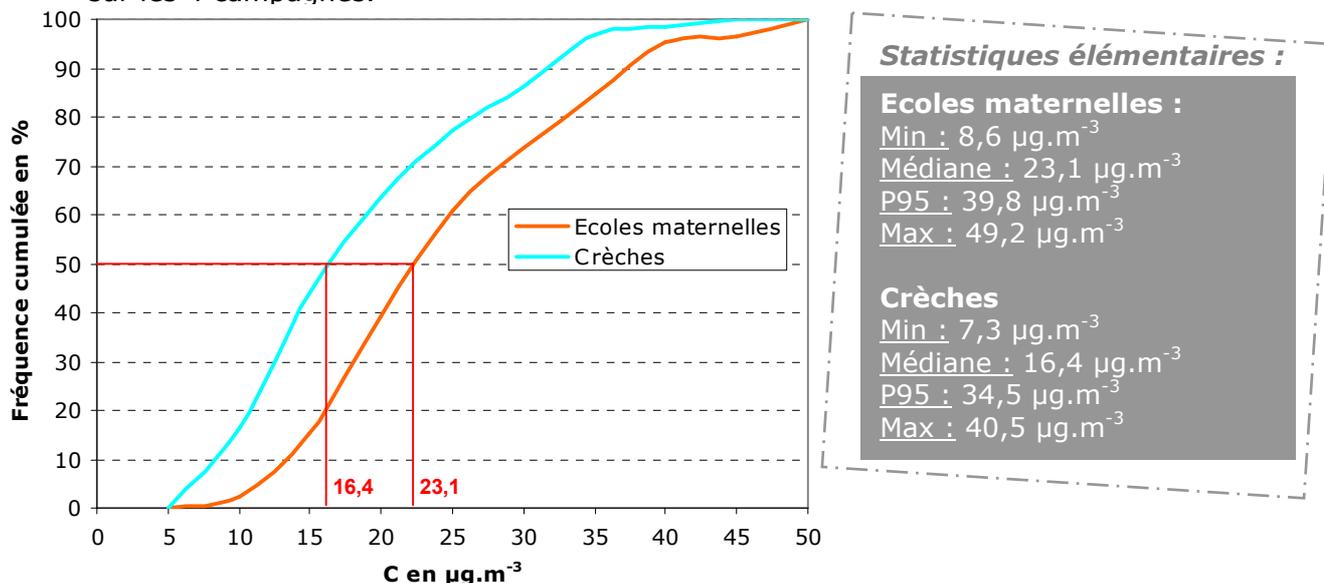


Figure 7. Distribution cumulée des concentrations moyennes de formaldéhyde par salle

Les niveaux moyens mesurés sur 4 campagnes présentent une forte amplitude entre les salles : plus de 40 µg.m⁻³ d'écart entre les deux salles extrêmes de l'échantillon.

III Les écoles maternelles et les crèches présentent-elles des différences ?

Les résultats présentés dans les deux paragraphes précédents montrent que les niveaux de formaldéhyde semblent supérieurs dans les écoles maternelles. Afin de savoir si cette différence est significative, un test statistique a été réalisé.

Quelle que soit la campagne, le test permet de conclure que les niveaux de formaldéhyde mesurés dans les écoles maternelles sont significativement supérieurs à ceux mesurés dans les crèches⁴.

De même, les niveaux moyens de formaldéhyde sur les 4 campagnes dans les écoles sont significativement supérieurs à ceux mesurés dans les crèches. La Figure 8 illustre d'une manière différente les résultats présentés en Figure 7.

En revanche, en moyenne sur les 4 campagnes, les niveaux d'acétaldéhyde mesurés dans les crèches et les écoles maternelles ne sont pas significativement différents.

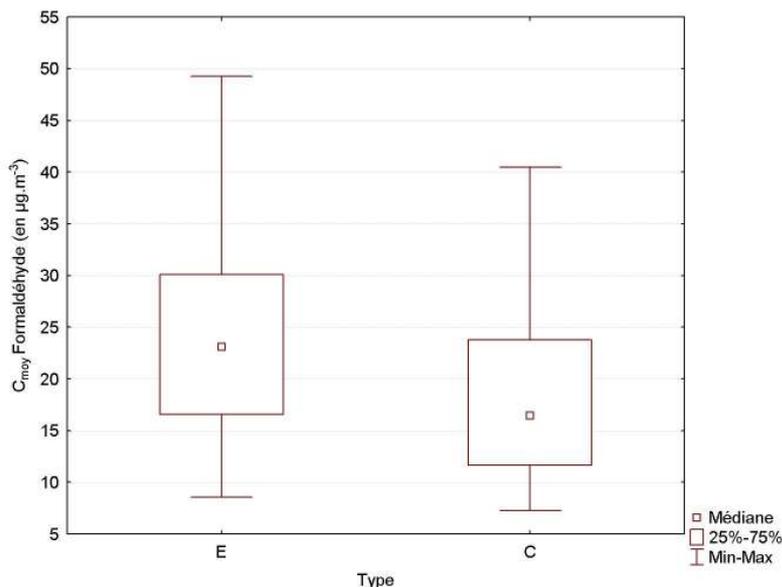


Figure 8. Boîte à moustaches⁵ des concentrations moyennes de formaldéhyde (E : Ecoles maternelles, C : Crèches)

⁴ Test U de Mann-Whitney p=0,0001

⁵ Cf annexe 4

Partie II – Comparaison des niveaux mesurés aux références

I Comparaison avec les niveaux mesurés dans d'autres études

Dans le cadre de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur, un inventaire des données françaises a été réalisé en 2004 [Mosqueron, 2004] puis le laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air a réalisé en 2005 une synthèse des niveaux de formaldéhyde mesurés dans les différents environnements [Mandin, 2005]. Les données recueillies lors de ces travaux sont présentés ci-dessous.

Une étude de la DRASS Ile de France a porté sur 50 crèches entre 1999 et 2001, les mesures ont été effectuées en période hivernale à l'aide d'échantillonneurs passifs Radiello® sur deux périodes successives de 48h entre le lundi et le vendredi. Le niveau moyen mesuré (sur 4 jours) est de $14,9 \mu\text{g.m}^{-3}$, le maximum observé est de $56 \mu\text{g.m}^{-3}$.

L'INERIS a mené une étude dans une école primaire suite à l'apparition de symptômes tels que l'irritation des yeux et des voies respiratoires. Le prélèvement a été fait à l'aide d'échantillonneurs passifs sur des durées de 5 jours en janvier, mars et mai 2002 [Mandin, 2003]. Les niveaux de formaldéhyde observés dans les classes sont compris entre 20 et $25 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Par ailleurs, l'étude épidémiologique ISAAC a été réalisée dans environ 110 écoles primaires de 6 villes françaises. Les mesures ont été réalisées à l'aide de capteurs passifs sur des périodes de 5 jours du lundi au vendredi. Le niveau moyen de formaldéhyde dans les salles (toutes villes confondues) était de $26,5 \mu\text{g.m}^{-3}$, le maximum observé de $107,3 \mu\text{g.m}^{-3}$.

L'ASPA, l'association de surveillance de la qualité de l'air alsacienne a effectué une étude dans plus de cent établissements (lieux d'accueil petite enfance, écoles maternelles et primaires). Les mesures ont été réalisées à l'aide d'échantillonneurs passifs Radiello® sur des durées de 48 h pendant la semaine. La campagne a eu lieu pendant la période hivernale. La concentration moyenne de formaldéhyde observée est de $27 \mu\text{g.m}^{-3}$ pour les écoles maternelles et de $18 \mu\text{g.m}^{-3}$ pour les lieux d'accueil petite enfance. La concentration maximale de formaldéhyde mesurée était de $123 \mu\text{g.m}^{-3}$ sur 48h dans une halte-garderie.

La comparaison des ces résultats avec ceux obtenus dans l'étude Rhône-Alpes montre que :

- ✓ Les moyennes obtenues sur 4,5 jours dans les crèches pendant les campagnes 3 et 4 en période hivernale, respectivement $14,6$ et $15,9 \mu\text{g.m}^{-3}$, sont comparables à celles obtenues pour l'étude de la DRASS Ile de France en phase hivernale sur quatre jours ($14,9 \mu\text{g.m}^{-3}$).
- ✓ Les concentrations mesurées dans les écoles maternelles et les crèches en période hivernale sont inférieures à celles observées en Alsace. Toutefois, la période de mesure est différente : 4,5 jours contre 48 h.
- ✓ Les résultats obtenus confirment la tendance observée dans les autres études, concernant les niveaux plus élevés dans les écoles maternelles que dans les crèches.

II Comparaison avec les niveaux mesurés dans d'autres environnements

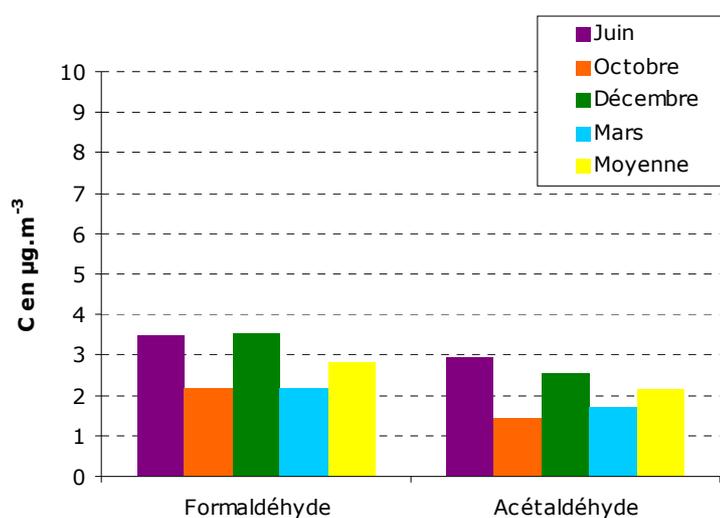
L'étude réalisée a pour but d'estimer les niveaux d'aldéhydes dans l'air intérieur des écoles maternelles et les crèches. Ces lieux sont particulièrement fréquentés par les jeunes enfants puisque que le temps passé dans ces environnements représente environ 20% de leur temps⁶. Le reste du temps est majoritairement passé dans le logement et à l'extérieur (respectivement environ 70% et environ 8%). Les données recueillies sont donc comparées à ces deux autres environnements.

II.1 Niveaux mesurés en air extérieur

Dans le cadre de l'étude, des mesures ont été réalisées à chaque campagne dans chaque agglomération et dans 6 cours d'établissement (soit 14 points de mesures au total en air extérieur).

En air extérieur, les niveaux moyens de formaldéhyde et d'acétaldéhyde sont inférieurs à $5 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Ces deux composés sont toujours détectés.

Figure 9. Niveaux moyens d'aldéhydes mesurés en air extérieur



La concentration moyenne de formaldéhyde dans l'air intérieur est 8 fois supérieure à la concentration en air extérieur. Le rapport maximal observé entre les concentrations intérieure et extérieure est de 17. L'écart est moindre pour l'acétaldéhyde : la concentration moyenne d'acétaldéhyde dans l'air intérieur est 3,5 fois supérieure à la concentration en air extérieur (cf. Figure 10).

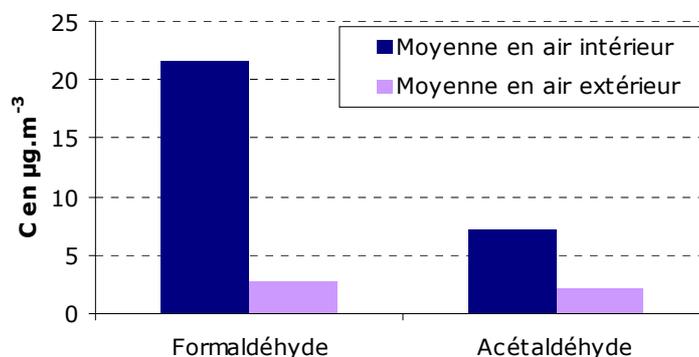


Figure 10. Comparaison des niveaux moyens de formaldéhyde et d'acétaldéhyde en air intérieur et air extérieur

⁶ Estimation en comptant 10/24h, 4,5j par semaine, 36 semaines par an.

Les niveaux de formaldéhyde mesurés sont bien plus élevés en air intérieur qu'en air extérieur. Par ailleurs, les mesures réalisées en parallèle dans les cours et les salles de certains établissements montrent que les concentrations en air extérieur et en air intérieur ne sont pas corrélées.

Les niveaux d'acétaldéhyde sont également plus élevés en air intérieur qu'en air extérieur, toutefois les concentrations en air extérieur et en air intérieur sont mieux corrélées.

II.2 Niveaux mesurés dans les logements

L'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur a conduit entre 2003 et 2005 une campagne nationale sur la qualité de l'air dans les logements. Cette étude effectuée sur 567 résidences est représentative de la situation des 24 millions de résidences principales en France métropolitaine [OQAI, 2006]. Les mesures ont été réalisées sur une durée d'une semaine avec des tubes à diffusion passive et réparties au cours des saisons. La mesure des aldéhydes a été effectuée dans les chambres (ou équivalent).

Les tableaux suivants comparent les résultats obtenus pour les écoles maternelles et les crèches à ceux obtenus dans les chambres des logements pour le formaldéhyde et l'acétaldéhyde. Compte tenu de l'influence des saisons, qui sera commentée dans le chapitre 3, les statistiques de l'échantillon contenant les données de toutes les campagnes sont les plus comparables à celles des logements.

Concentration en $\mu\text{g.m}^{-3}$	Ecoles maternelles	Crèches	Logements
Médiane	21,3	16,2	19,6
P95 ⁷	47,4	39,3	46,7

Tableau 2. Comparaison des niveaux de formaldéhyde mesurés dans les écoles maternelles et les crèches avec ceux mesurés dans les logements

 **Les niveaux de formaldéhyde dans les écoles maternelles sont légèrement supérieurs à ceux observés dans les logements mais restent dans un ordre de grandeur tout à fait semblable. En revanche, les niveaux observés dans les crèches sont inférieurs.**

Concentration en $\mu\text{g.m}^{-3}$	Ecoles maternelles	Crèches	Logements
Médiane	6,2	6,6	11,6
P95	13,2	14,4	30,7

Tableau 3. Comparaison des niveaux d'acétaldéhyde mesurés dans les écoles maternelles et les crèches avec ceux mesurés dans les logements

 **Les niveaux d'acétaldéhyde dans les écoles maternelles et les crèches sont nettement inférieurs à ceux observés dans les logements.** Ceci indiquerait la présence d'une source plus importante dans les logements, probablement la fumée de cigarette.

⁷ Le P95 (percentile 95) est la valeur dépassée par 5% des valeurs de l'échantillon

III Comparaison avec les valeurs guides en air intérieur

III.1 Le formaldéhyde

Au niveau national, seules deux substances possèdent des valeurs guides en air intérieur : le formaldéhyde et le monoxyde de carbone. Les valeurs guides de qualité de l'air intérieur ont pour principal objectif de fournir une base pour protéger la population des effets sanitaires liés à une exposition à la pollution de l'air par inhalation et d'éliminer, ou de réduire, les contaminants ayant un effet néfaste sur la santé humaine et le bien-être⁸.

Pour le formaldéhyde, deux valeurs guides correspondant respectivement à des expositions à court et à long terme ont été déterminées :

- 50 $\mu\text{g.m}^{-3}$ sur deux heures pour une exposition court terme,
- 10 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour une exposition long terme.

Ces valeurs guides se rapportent aux effets irritatifs oculaires et nasals du formaldéhyde, elles protègent également des effets cancérigènes locaux puisque ceux-ci apparaissent au delà d'un seuil de concentration, supérieur à celui des effets irritatifs.

Etant donné la variation temporelle des concentrations de formaldéhyde, les données mesurées sur quatre jours et demi ne permettent pas de conclure quant aux dépassements de la valeur guide à court terme. Pour certaines salles qui dépassent cette valeur de 50 $\mu\text{g.m}^{-3}$ sur quatre jours et demi, il est aisé de conclure que la valeur guide a été dépassée sur deux heures également, en revanche le fait de ne pas dépasser la valeur sur quatre jours et demi ne permet pas de conclure au respect de la valeur sur 2 heures.

👉 Environ 10 % des salles d'écoles maternelles (8 salles) dépassent la valeur de 50 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne sur 4,5 jours au moins une fois sur les 4 campagnes, 1 salle de crèche dépasse cette valeur au moins une fois.

Les mesures réalisées ont permis de mettre en évidence que les concentrations de formaldéhyde varient au cours des saisons, ainsi pour faire des comparaisons avec la valeur guide à long terme, la moyenne des quatre campagnes dans chaque salle est retenue.

👉 La très grande majorité des salles présentent des concentrations moyennes de formaldéhyde qui dépassent la valeur guide de 10 $\mu\text{g.m}^{-3}$: 98% des salles d'écoles maternelles et 83% des salles de crèches.

III.2 L'acétaldéhyde

Pour l'acétaldéhyde, il n'existe pas de valeur guide au niveau national, en revanche, dans le cadre du projet européen INDEX⁹, une valeur guide de 200 $\mu\text{g.m}^{-3}$ est recommandée à long terme.

👉 Les concentrations relevées sont nettement inférieures à cette valeur.

⁸ AFSSSET (2007) Valeurs guides de qualité d'air intérieur. Le formaldéhyde.

⁹ Joint Research Center (2004) The INDEX project

Partie III – Variations et facteurs explicatifs des concentrations mesurées

Compte tenu des niveaux mesurés et des comparaisons avec les valeurs de référence pour la santé, cette partie est plus particulièrement dédiée à la recherche des facteurs influençant les concentrations de formaldéhyde.

I Quelles sont les variations journalières ?

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude, présentés dans le premier chapitre, permettent de caractériser la concentration moyenne en aldéhydes pendant une durée de quatre jours et demi dans les bâtiments accueillant des enfants.

Afin d'appréhender les variations de concentrations notamment entre les heures de présence des enfants et la moyenne sur la semaine, des mesures complémentaires ont été réalisées pendant la journée dans six établissements (5 écoles et 1 crèche) à partir de la 2^{ème} campagne. La Figure 11 illustre la méthodologie retenue pour ces mesures.

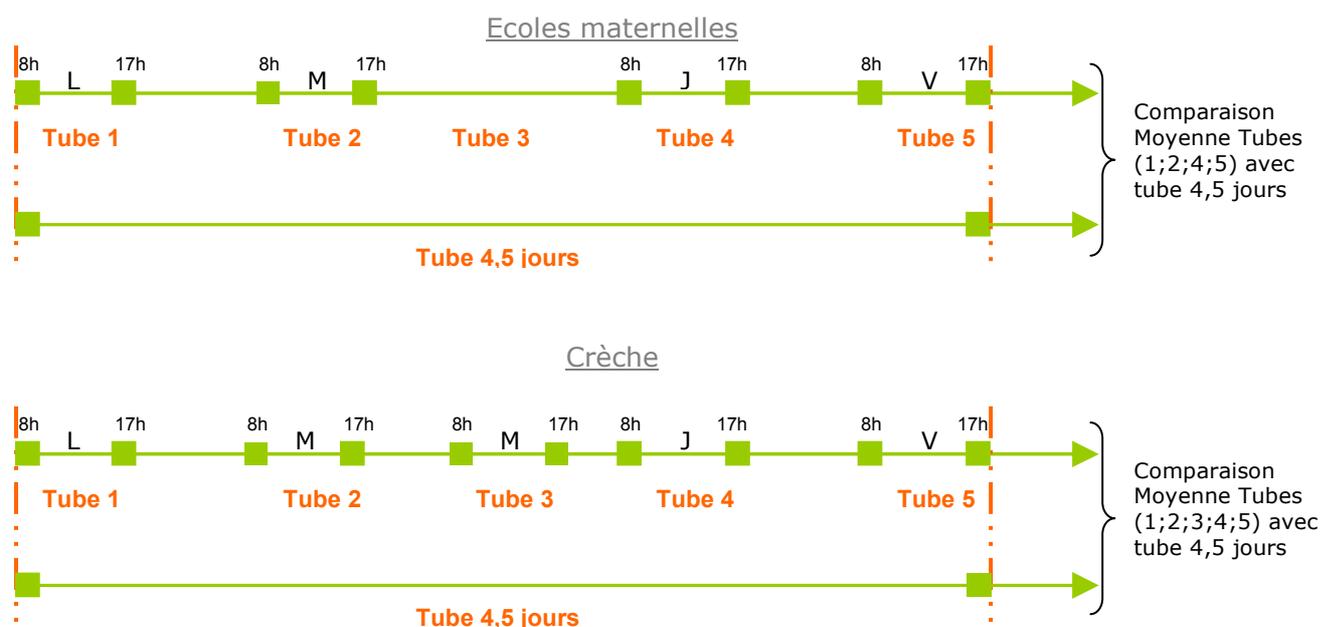


Figure 11. Répartition des mesures sur la semaine dans 6 établissements

La comparaison des concentrations en formaldéhyde moyennes obtenues sur 4,5 jours avec celles obtenues sur les périodes de présence des enfants ne montrent pas une tendance unique et marquée à la surestimation ou à la sous-estimation (cf. Figure 12). Toutefois, les écarts entre ces deux mesures peuvent être importants (jusqu'à près de $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$).

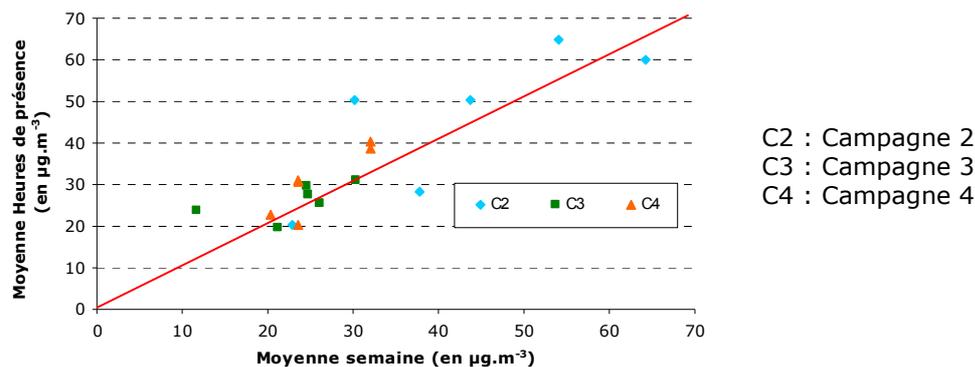


Figure 12. Comparaison de la concentration moyenne sur 4,5 jours et de la concentration moyenne aux heures de présence des enfants en fonction de la campagne

L'écart moyen toutes campagnes et tous établissements confondus est de + 3,8 $\mu\text{g.m}^{-3}$ entre la moyenne sur les heures de présence et la moyenne sur 4,5 jours, ce qui tendrait tout de même en faveur d'une légère sous-estimation de la concentration moyenne aux heures de présence des enfants par l'utilisation de la concentration moyenne sur 4,5 jours. Ces écarts sont dus aux variations temporelles des concentrations au fil du temps [ASPA, CSTB, 2005].

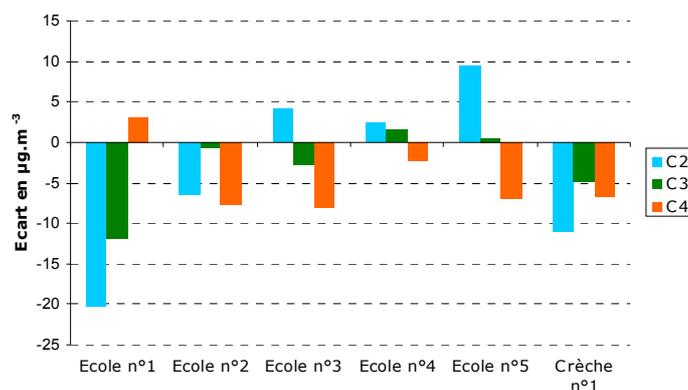


Figure 13. Ecart en $\mu\text{g.m}^{-3}$ entre la concentration moyenne de formaldéhyde sur 4,5 jours et la concentration moyenne aux heures de présence des enfants

La Figure 13 montre que, que ce soit pour une même salle ou pour une même campagne, les résultats peuvent être disparates.

II Quelle est l'influence de la saison sur les niveaux mesurés ?

En air extérieur, les directives européennes requièrent pour être représentatif d'une année de réaliser des mesures pendant 14% de cette année, notamment compte tenu des variations des conditions météorologiques qui influent directement sur les niveaux de concentration. En air intérieur, il n'existe pas encore à l'heure actuelle de telle préconisation et nombre d'études réalisées sont fondées sur un prélèvement unique ou deux prélèvements dans l'année correspondant à une période été et une période hiver. Toutefois, afin de qualifier la qualité de l'air intérieur à long terme, par exemple sur une année, il est important de connaître les variations saisonnières potentielles des concentrations de polluant et d'estimer la représentativité des niveaux mesurés par rapport au niveau moyen annuel.

Concernant le formaldéhyde, une étude menée à Marseille [Grimaldi, 1992] montre des concentrations de formaldéhyde plus faibles en hiver qu'en été. La même tendance a été observée dans une étude en Californie [Cal EPA, 2005].

Dans le cadre de cette étude, la méthodologie retenue de quatre prélèvements dans l'année, correspondant approximativement aux quatre saisons, permet d'étudier ces variations saisonnières potentielles. Par ailleurs, une expérience complémentaire a été menée sur un établissement où des mesures hebdomadaires ont été réalisées tout au long de la période (hors vacances scolaires), soit de juin 2006 à mai 2007.

II.1 Comparaison des différentes campagnes entre elles

Pour le formaldéhyde, les graphiques présentés en première partie montraient que les niveaux moyens observés en juin et en octobre étaient semblables et supérieurs à ceux observés en décembre et mars. Pour l'acétaldéhyde, ce sont les campagnes d'octobre et mars qui semblaient proches et présentant des niveaux inférieurs.

Les « boîtes à moustaches » de chaque échantillon permettent d'avoir une bonne représentation graphique des différences entre les campagnes. A titre d'exemple, les résultats pour les deux polluants sont présentés ci-dessous pour les écoles maternelles.

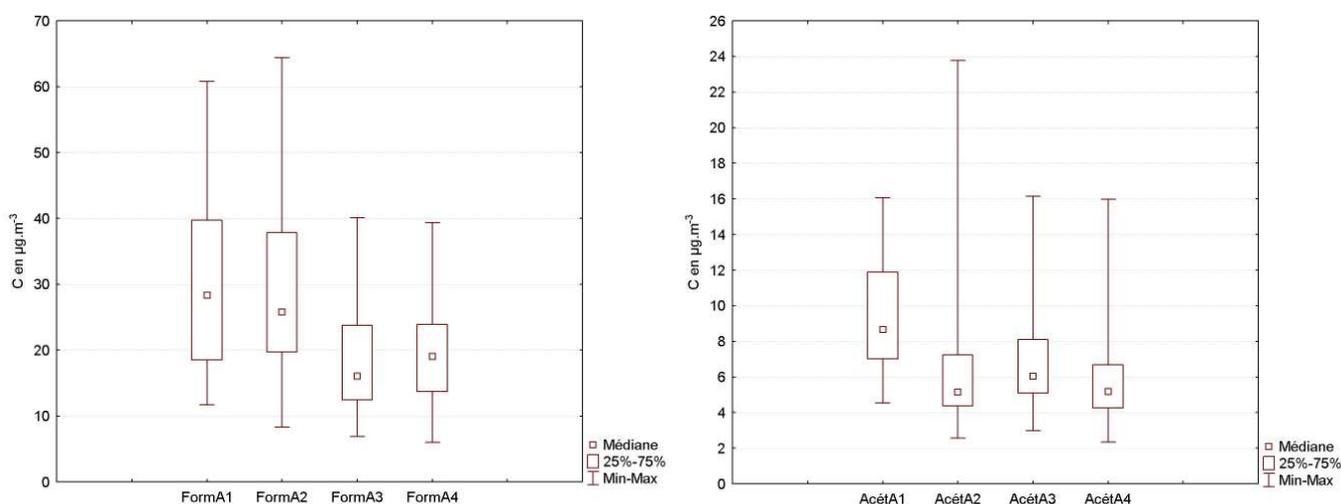


Figure 14. Comparaison des niveaux de formaldéhyde (à gauche) et d'acétaldéhyde (à droite) mesurés à chaque campagne dans les écoles maternelles

Que ce soit pour les écoles maternelles ou les crèches, des tests montrent que :

- pour le formaldéhyde, seules les campagnes 1 et 2 ne sont pas significativement différentes.
- pour l'acétaldéhyde, seules les campagnes 2 et 4 ne sont pas significativement différentes.

Ces deux polluants ont un comportement différent vis-à-vis de la saisonnalité.

A l'échelle d'une salle, l'évolution des niveaux de formaldéhyde n'est pas forcément la même que l'évolution moyenne observée sur l'ensemble de l'échantillon. Par exemple, les campagnes des mois de juin et d'octobre donnent des résultats très semblables au niveau de la distribution des concentrations (cf. Figure 14). Toutefois à l'échelle des salles, des écarts dans un sens ou dans l'autre peuvent être relevés (cf. Figure 15).

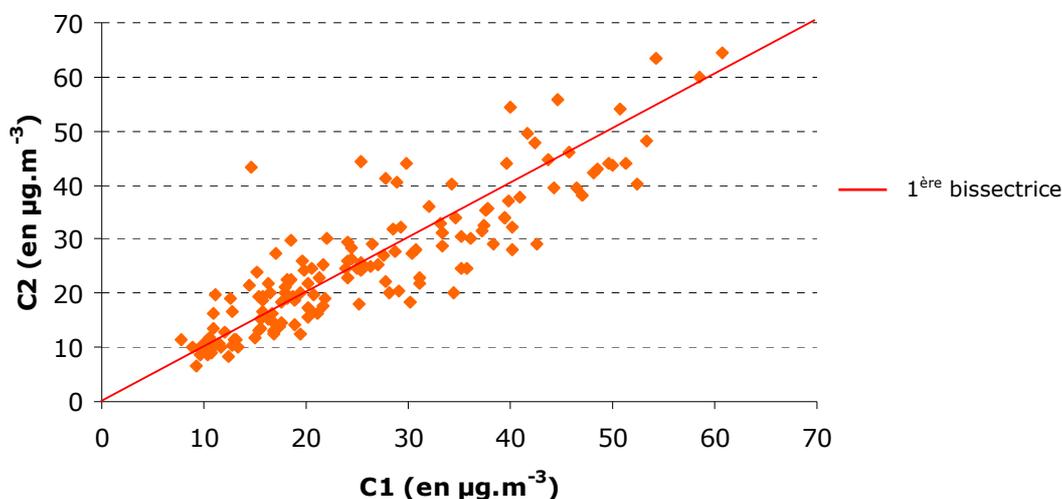


Figure 15. Comparaison des concentrations de formaldéhyde des campagnes 1 et 2 par salle

Bien que des tendances générales assez nettes se dégagent notamment en termes de variations saisonnières, les différences de comportement entre les salles illustrent bien la complexité des phénomènes entrant en jeu dans la détermination des niveaux de formaldéhyde.

II.2 Suivi annuel dans une salle

Une salle supplémentaire a été instrumentée avec :

- un tube passif par semaine de la période d'étude (du lundi matin au vendredi soir, hors vacances scolaires, de juin 2006 à mai 2007) pour estimer les concentrations de formaldéhyde et d'acétaldéhyde.
- un thermomètre enregistreur pour estimer la température de la salle.

Cette expérimentation permet également de suivre les variations saisonnières (cf. Figure 16). Les résultats des semaines correspondant aux campagnes de mesure de l'étude (représentées en violet) sont similaires à ceux obtenus en moyenne dans les autres salles avec des niveaux plus élevés en juin et octobre qu'en décembre et mars.

Les niveaux de formaldéhyde ont tendance à diminuer en phase hivernale (de novembre à mars). Cette évolution est inverse à celle que l'on peut trouver pour d'autres polluants intérieurs, comme le benzène, qui présentent des niveaux supérieurs en hiver [Kotzias, 2007].

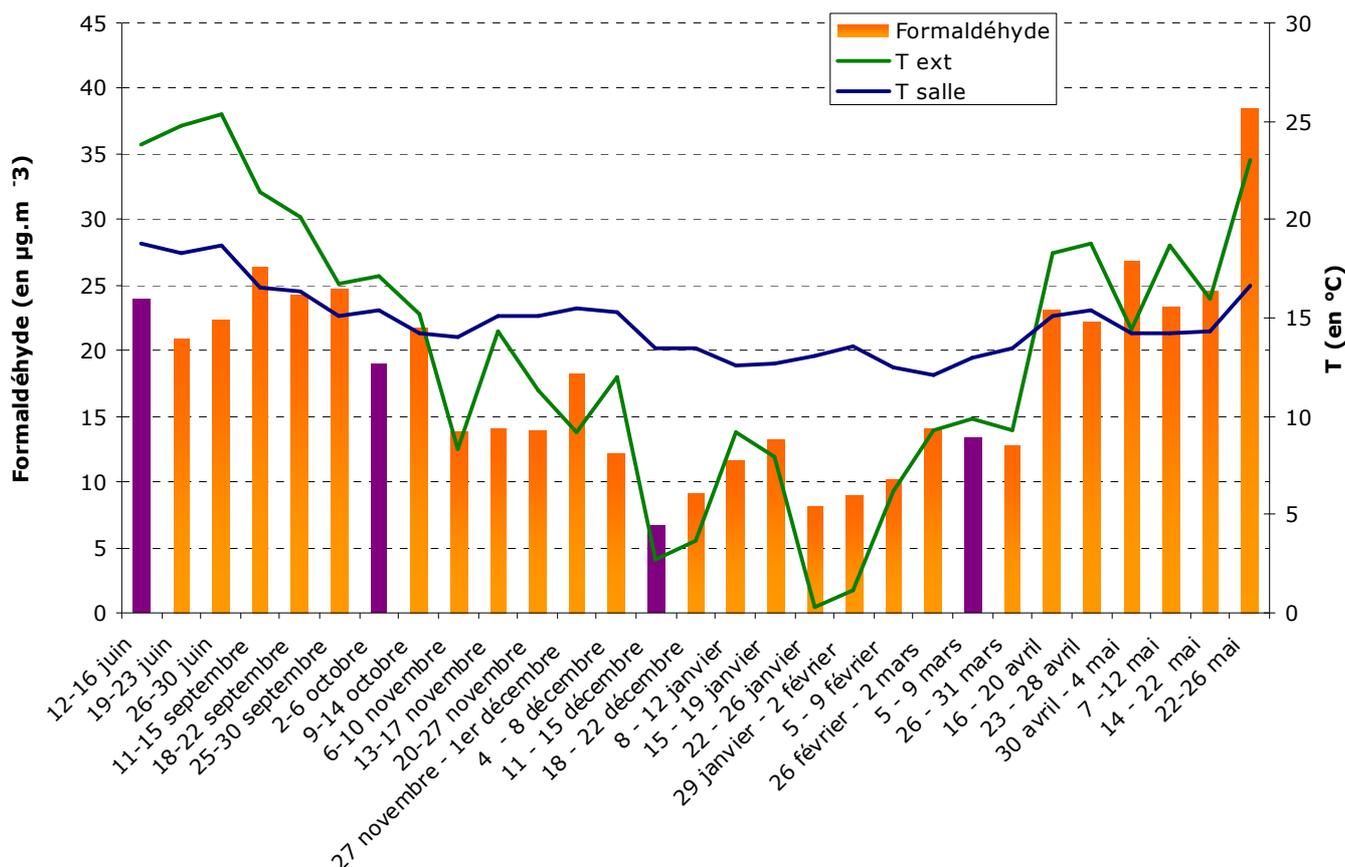


Figure 16. Evolution des concentrations de formaldéhyde dans une salle

Le suivi annuel dans cette salle permet par ailleurs d'avoir des indications sur la représentativité des campagnes par rapport à toute la période d'étude. La moyenne des quatre campagnes est de $15,8 \mu\text{g.m}^{-3}$ alors que la moyenne annuelle est de $18 \mu\text{g.m}^{-3}$.

☞ **Malgré une légère sous-estimation, les niveaux moyens de formaldéhyde mesurés dans l'étude donnent une bonne représentation de la qualité de l'air à long terme des salles.**

II.3 Réflexion sur la stratégie d'échantillonnage

Le suivi annuel des niveaux de formaldéhyde dans une salle a montré que la moyenne des quatre campagnes est assez proche de la moyenne annuelle.

En réalisant une seule campagne dans l'année, il n'est pas possible d'avoir une vision de la moyenne à long terme, en effet, les écarts à la moyenne sont conséquents. En revanche, la moyenne des niveaux relevés en juin et en décembre est très proche de la moyenne annuelle : 97% des écarts entre la moyenne « juin-décembre » et la moyenne 4 campagnes dans une salle sont inférieurs à $5 \mu\text{g.m}^{-3}$, 100% sont inférieurs à $10 \mu\text{g.m}^{-3}$. Un minimum de deux périodes de mesures est indispensable pour caractériser les niveaux de formaldéhyde en air intérieur. Des campagnes supplémentaires méritent d'être menées pour définir la stratégie d'échantillonnage la plus adaptée à l'évaluation de la qualité de l'air intérieur.

La Figure 17 présente les écarts à la moyenne.

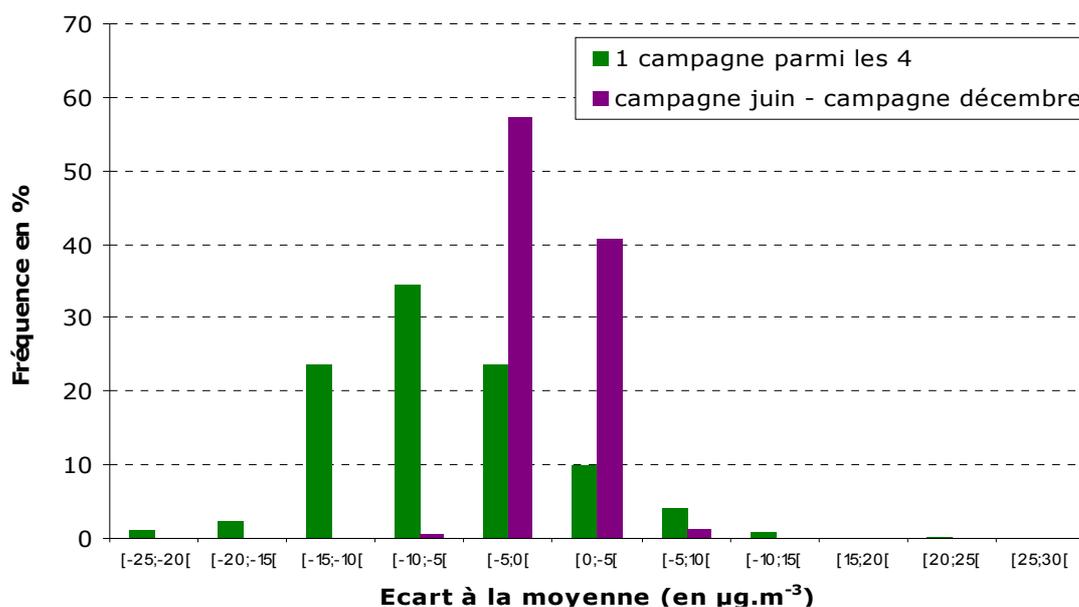


Figure 17. Répartition des écarts à la moyenne « 4 campagnes »

III Quels sont les facteurs influençant les concentrations de formaldéhyde ?

La première partie de ce rapport présente l'état des lieux des concentrations de formaldéhyde et d'acétaldéhyde dans les lieux accueillant des jeunes enfants. Ces concentrations sont comparées en deuxième partie avec des valeurs de référence pour la santé, qui montrent que, compte tenu des effets sur la santé, les concentrations doivent être réduites, tout particulièrement pour le formaldéhyde.

Dans cette optique, il importe de s'intéresser aux facteurs tendant à augmenter les concentrations de ce composé dans l'air intérieur. En effet, bien que les sources d'émission théoriques soient connues, il est souvent difficile de mettre en évidence des liens directs avec celles-ci.

Dans des précédentes études, des analyses ont été effectuées afin de déterminer ces facteurs, notamment à partir des données recueillies dans le cadre de l'étude pilote de l'OQAI (9 écoles) et des données de l'étude ASPA sur les établissements de la ville de Strasbourg [ASPA, 2005].

La ré-analyse des données de l'OQAI effectuée par le bureau d'étude Sépia-Santé [Sépia-Santé, 2006] afin d'identifier les facteurs environnementaux et comportementaux influençant les niveaux de concentration mesurés aboutit aux conclusions suivantes concernant les aldéhydes :

- Des niveaux significativement moins élevés dans le cas d'une ouverture de fenêtre supérieure à 4 heures par jour,
- Des niveaux significativement moins élevés dans les salles de plus grand volume ($>200 \text{ m}^3$),
- Des niveaux significativement moins élevés dans les salles ayant des plantes,
- Une tendance à des concentrations moins élevées dans le cas d'un accès direct de la salle sur l'extérieur,
- Une tendance à des concentrations moins élevées à l'étage qu'au rez-de-chaussée,
- Une tendance à des niveaux moins élevés dans le cas de travaux récents.

L'étude effectuée par l'ASPA note que « *les critères associés à l'âge du mobilier, à la réalisation de grands travaux entre 2001 et 2004 (c'est-à-dire dans les trois années précédant l'étude) et à la présence de boiseries sur les murs et plafonds tendent à influencer sur des niveaux un peu plus élevés de concentrations en formaldéhyde et acétaldéhyde, comparativement à l'ensemble de l'échantillon tous critères confondus* ». Les auteurs soulignent qu' « *il convient toutefois de rester prudent quant aux liens mis en évidence à partir d'échantillon de faible effectif, comme par exemple dans le cas de celui afférent aux locaux présentant des boiseries sur les murs et plafonds* ».

Afin de chercher des éléments de réponse à la problématique, la méthodologie suivante a été retenue :

- Dans un premier temps, les salles du même établissement ont été comparées entre elles.
- Dans un second temps, les données recueillies par questionnaire ont été utilisées. Les facteurs mis en évidence dans les études antérieures ont été testés en premier lieu sur l'échantillon des valeurs obtenues dans le cadre de l'étude en Rhône-Alpes puis d'autres paramètres recueillis ont été étudiés également. Compte tenu de la différence significative entre les groupes « écoles maternelles » et « crèches », ils ont été traités séparément dans l'analyse.
- Enfin, les résultats obtenus dans la salle équipée toute l'année ont été utilisés pour compléter l'analyse.

III.1 Les différentes salles d'un même bâtiment présentent-elles des niveaux homogènes ?

Dans chaque établissement, trois salles ont été sondées. Il est intéressant de se demander si les salles d'un même établissement présentent une certaine homogénéité ou non.

La Figure 18 présente, pour la variable « Moyenne des 4 campagnes » et pour chaque établissement, la moyenne des niveaux des trois salles, la valeur de la salle la plus élevée et la valeur de la salle la plus faible.

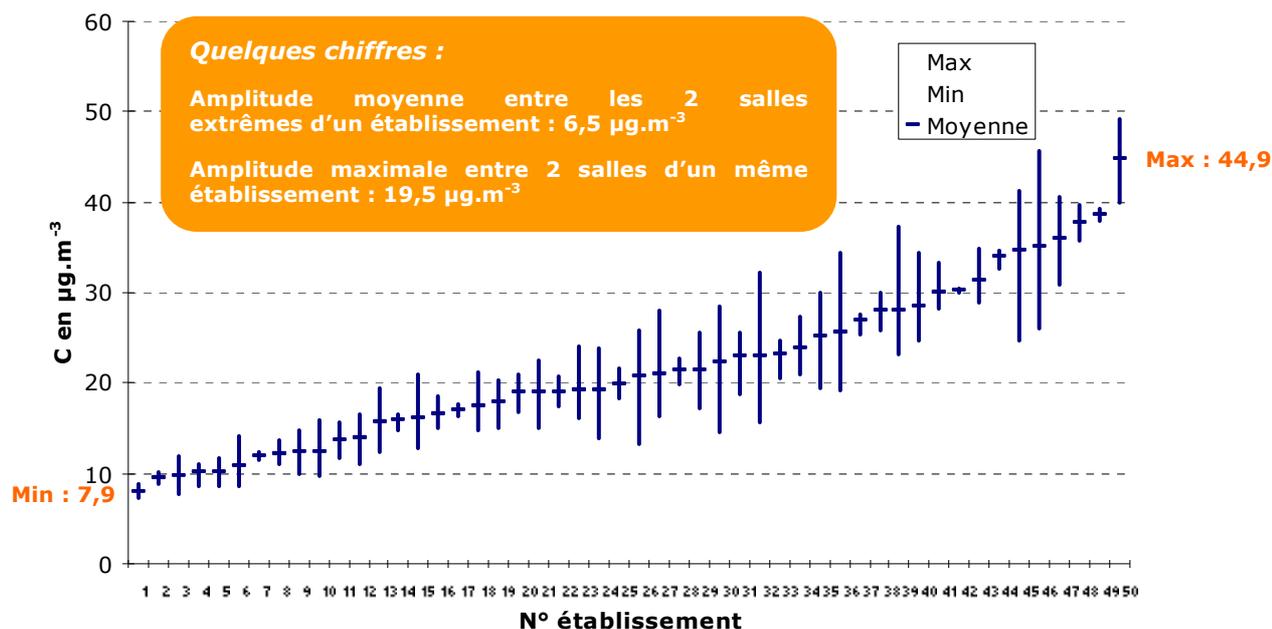


Figure 18. Dispersion des concentrations de formaldéhyde dans les salles d'un même établissement

Les fortes amplitudes entre deux salles d'un même établissement sur la moyenne « 4 campagnes » sont liées aux différences entre ces salles dans les deux premières périodes : juin et octobre.

Sans pouvoir tirer de conclusion globale sur les causes exactes de la forte amplitude des niveaux, quelques différences sont notées entre les salles qui présentent la plus grande amplitude :

- *Exemple 1* : Le dortoir, plus récent et dans lequel une extraction mécanique a été installée, présente des concentrations inférieures aux deux salles de classe.
- *Exemple 2* : Deux salles de classe, situées au même étage, et dont l'une a subi des grands travaux très récents avec réfection de tous les revêtements, présentent une amplitude importante avec des niveaux inférieurs dans la salle récente.

⇒ **La certaine homogénéité des niveaux observés sur les salles d'un même établissement tend à souligner l'importance des caractéristiques du bâtiment dans la détermination des concentrations de formaldéhyde.**

III.2 Eléments de réponse apportés par l'analyse des paramètres recueillis par questionnaires

Les salles ayant un accès principal par l'extérieur présentent-elles des niveaux inférieurs de formaldéhyde plus faibles?

Que ce soit dans les écoles maternelles ou les crèches, peu de salles ont un accès principal par l'extérieur, les tests effectués montrent que les niveaux sont significativement moins élevés dans les écoles maternelles pour les salles ayant un accès principal sur l'extérieur pour la campagne 4 (mars) uniquement.

⇒ **En moyenne sur 4 campagnes, il n'y a pas de différence entre les salles en fonction de leur accès principal.**

Les salles de plus grand volume présentent-elles des niveaux inférieurs de formaldéhyde?

Pour la campagne 1, les concentrations sont significativement plus élevées dans les salles de grand volume ($> 200 \text{ m}^3$) des écoles maternelles. Par ailleurs, elles ont tendance à l'être aussi pour la campagne 2 et la moyenne 4 campagnes. Ce résultat va à l'encontre des résultats mis en évidence par le bureau Sépia-Santé.

Pour les crèches, il n'y a pas d'écart en fonction du volume de la salle.

Quelle est l'influence de la réalisation de travaux dans les 2 années précédentes ?

Dans les écoles maternelles, la réalisation de grands travaux dans les deux années précédentes tend à diminuer les concentrations de formaldéhyde dans les salles. Cette différence est significative pour la campagne 4 (mars). Ce résultat est inverse à celui obtenu par l'ASPA mais rejoint celui de l'étude de Sépia-Santé.

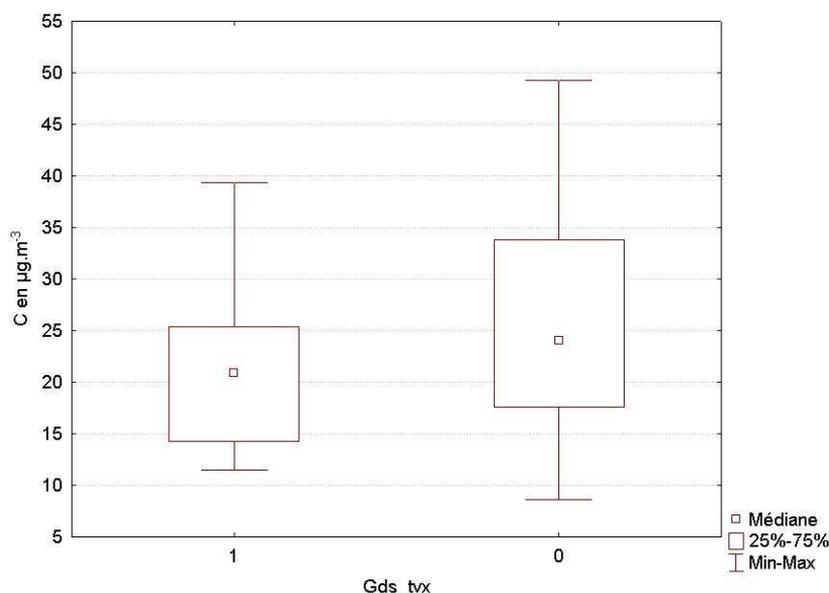


Figure 19. Comparaison des niveaux de formaldéhyde en moyenne sur 4 campagnes dans les salles d'écoles maternelles ayant subi des grands travaux (« 1 ») et les autres (« 0 »)

En revanche, les salles de crèches ne présentent pas de différence en fonction de la réalisation de travaux récents ou non.

Quelle est l'influence de la date de construction du bâtiment ?

Les bâtiments sont regroupés en 3 catégories : avant 1960 (« vieux »), entre 1960 et 1990 (« moyen »), depuis 1990 (« récent »). Les bâtiments de l'échantillon accueillant des crèches ont tous été construits après 1960.

Dans les crèches ou les écoles maternelles, ces 3 groupes sont significativement différents avec des concentrations plus élevées dans les bâtiments construits entre 1960 et 1990 (quelle que soit la période).

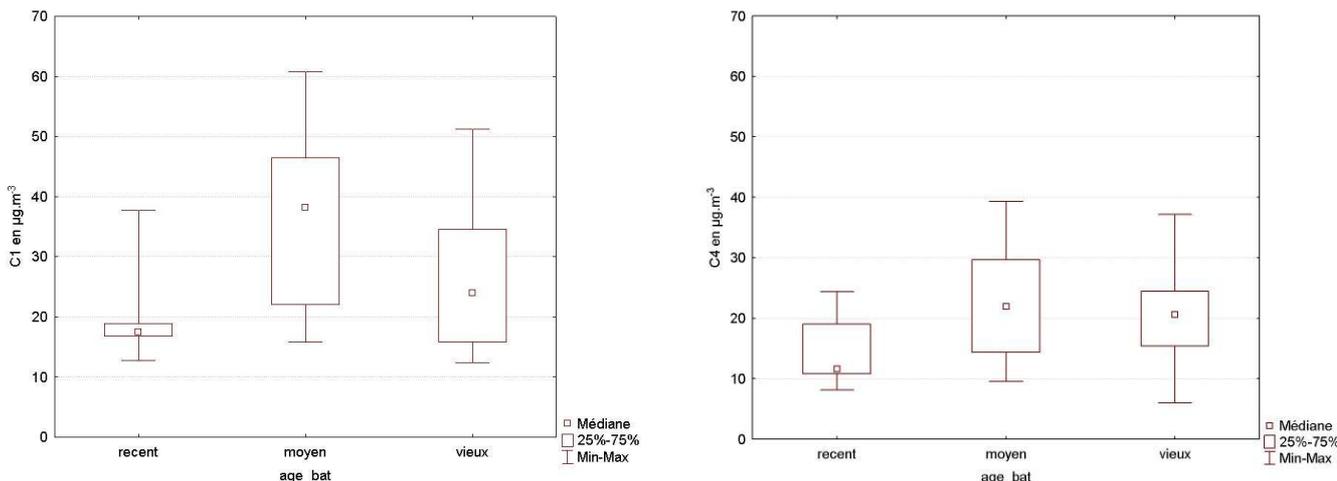


Figure 20. Comparaison des niveaux de formaldéhyde selon la date de construction du bâtiment pour la campagne 1 (à gauche) et la campagne 4 (à droite) – Ecoles maternelles

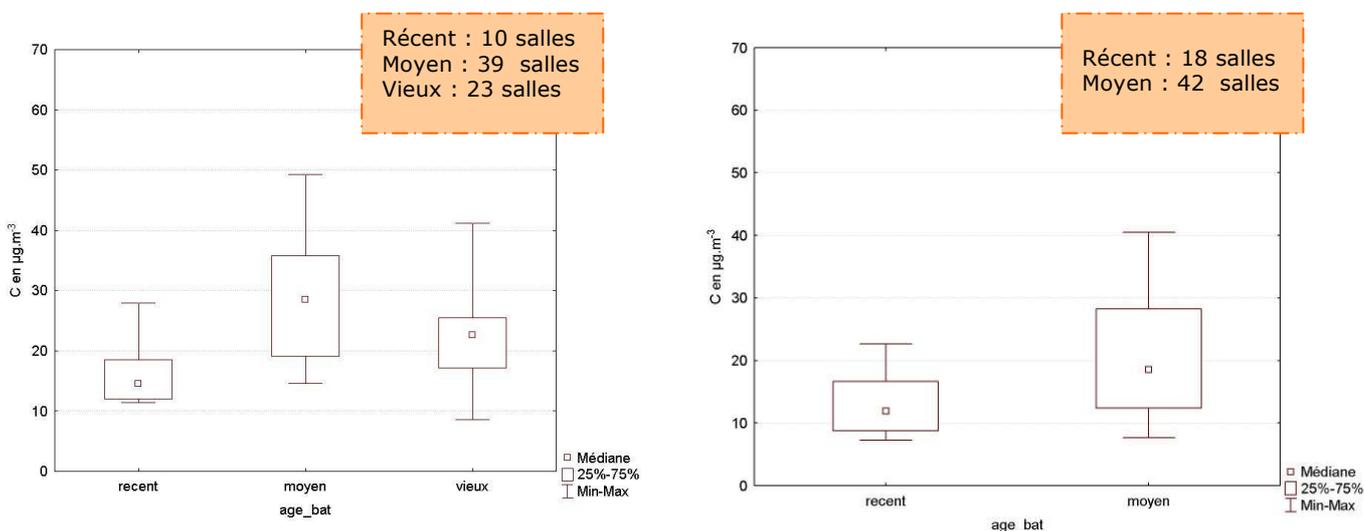


Figure 21. Comparaison des niveaux de formaldéhyde en moyenne sur 4 campagnes selon la date de construction du bâtiment dans les salles d'écoles maternelles (à gauche) et de crèches (à droite)

Quelle est l'influence de la présence d'une ventilation mécanique ?

Ce critère n'a pu être testé dans l'étude de Sépia-Santé car aucune des écoles sondées ne possédait de système de ventilation mécanique. Ce n'est pas étonnant car peu d'établissements sont équipés de ce système. Une enquête menée dans le cadre de la mise en place d'une étude sur l'impact énergétique et sanitaire du renouvellement d'air par l'OQAI [OQAI, 2004] a montré que sur 32 communes interrogées, neuf seulement possédaient au moins une école avec VMC¹⁰.

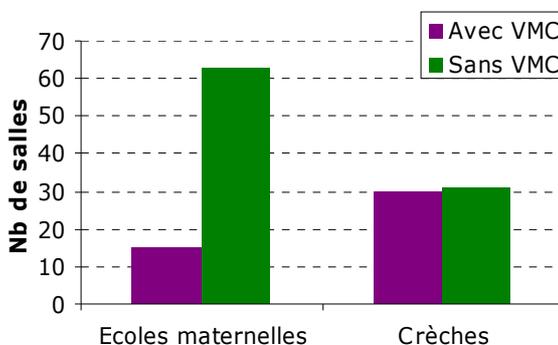


Figure 22. Nombre de salles de l'étude possédant une ventilation mécanique

¹⁰ Ventilation Mécanique Contrôlée

Dans l'étude Rhône-Alpes, les crèches sont également plus souvent équipées que les écoles maternelles (la moitié des salles de crèches de l'étude possède une VMC contre moins d'un quart des écoles).

Les systèmes de ventilation mécanique étant mis en place pour renouveler l'air des pièces, les résultats attendus en termes de concentrations de formaldéhyde sont des niveaux moins élevés. Toutefois, l'étude citée précédemment montrait également que dans les écoles équipées, les dysfonctionnements sont nombreux : conception, dimensionnement, entretien,... et que sur 11 écoles avec VMC, aucune ne présentait les débits réglementaires. Les débits maxima observés étaient de 10 m³/h/personne

Le Règlement Départemental Sanitaire Type (2004) impose un débit d'air neuf de 15 m³/h/personne pour les écoles maternelles et les crèches.

Les tests effectués sur les données recueillies en Rhône-Alpes montrent que, quelle que soit la campagne et quel que soit le type d'établissement, les niveaux de formaldéhyde sont significativement plus faibles dans les salles possédant une ventilation mécanique.

La différence est d'autant plus grande lors des campagnes réalisées en décembre et en mars, lorsque le renouvellement d'air par ouverture des fenêtres est moindre. A titre d'illustration, la Figure 23 présente les résultats pour les écoles maternelles pour les campagnes de juin et de décembre.

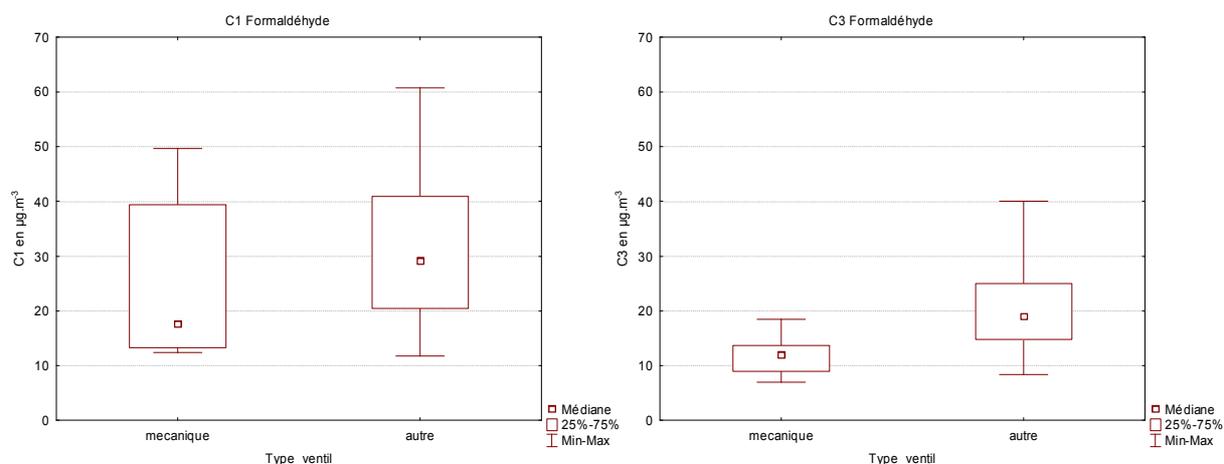


Figure 23. Comparaison des niveaux de formaldéhyde des salles équipées de ventilation mécanique et des autres pour la campagne de juin (à gauche) et la campagne de décembre (à droite) - Ecoles maternelles

En moyenne sur les 4 campagnes, la différence entre les deux groupes est significative également¹¹ (cf. Figure 24).

¹¹ p = 0,003 pour les écoles, p=0,0002 pour les crèches

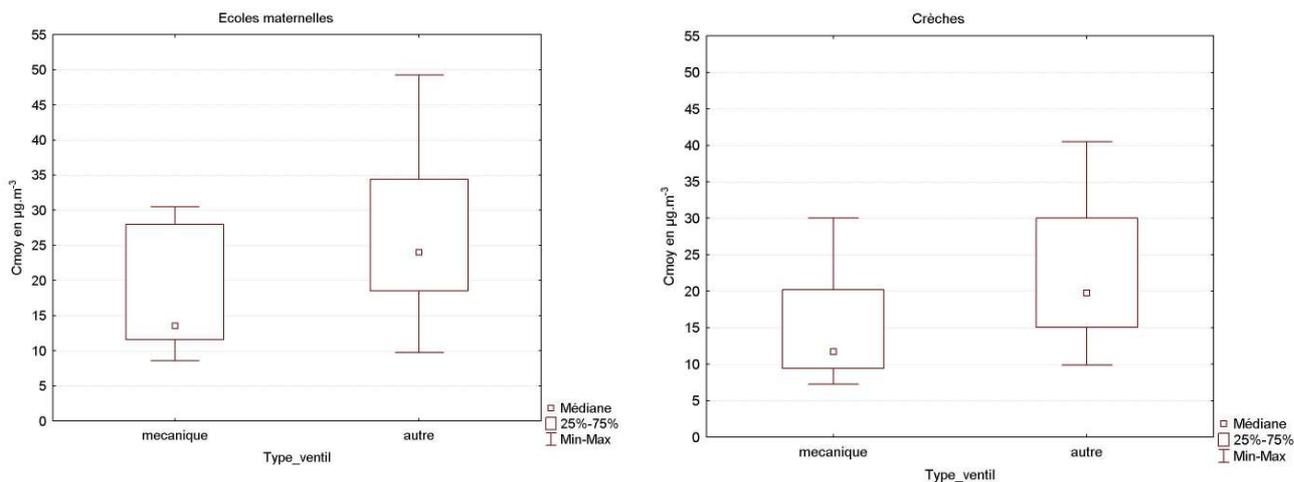


Figure 24. Comparaison des niveaux de formaldéhyde des salles équipées de ventilation mécanique dans les écoles maternelles (à gauche) et les crèches (à droite)

Les résultats obtenus sur la ventilation mécanique peuvent expliquer les résultats obtenus pour les grands travaux et la date de construction. En effet, dans les écoles maternelles, il y a plus de salles possédant une ventilation mécanique dans le groupe « Grands travaux »¹² que dans l'autre, en revanche pour les crèches, les deux groupes présentent la même proportion de salles possédant une ventilation mécanique.

De même que pour le paramètre « Grands travaux », les résultats obtenus pour la date de construction sont en partie induits par la présence de ventilation mécanique dans les bâtiments récents. En étudiant l'influence de la date de construction uniquement sur les salles ne possédant pas de VMC, la différence n'est plus significative, les salles récentes tendent tout de même à présenter des niveaux moins élevés.

Un autre moyen de renouveler l'air des pièces, notamment pour les salles ne possédant pas de ventilation mécanique, est l'ouverture des fenêtres sur l'extérieur. Toutefois, l'étude de ce seul facteur ne permet pas de montrer des différences significatives entre les salles en fonction de leur ouverture hormis pour la campagne 1 (juin) en prenant comme valeur seuil de forte ouverture : 50 h dans la semaine.

Pour les campagnes 3 et 4 dans les écoles maternelles, les salles présentant les plus fortes ouvertures de fenêtre ont tendance à avoir des niveaux plus élevés. Ce résultat étonnant doit être pris avec précaution, notamment car les durées d'ouverture remplies par questionnaire sont parfois imprécises. Par ailleurs, ce type de comparaison n'est pas bien adapté pour des salles dont les autres paramètres diffèrent fortement. En se focalisant sur une seule salle, comme cela a été fait par l'ASPA [ASPA, 2005], l'ouverture des fenêtres est bien associée à une baisse des concentrations de formaldéhyde.

Et les autres paramètres ?

En analysant les paramètres un à un, l'étage, la durée d'activités dans la semaine, la température de la salle, le type de revêtements n'influencent pas significativement les niveaux de formaldéhyde. Il faut noter que certaines catégories, de revêtement par exemple, sont très peu représentées. Les salles sont majoritairement des salles avec revêtement de sol en lino-plastique et peinture murale.

¹² Le groupe « Grands travaux » contient les salles ayant subi des travaux importants il y a moins de 2 ans

III.3 Exploitation des données sur une salle

Les mesures réalisées dans la même salle tout au long de la période d'étude permettent de donner des informations complémentaires sur certains facteurs liés aux niveaux de formaldéhyde. En effet, les caractéristiques de la salle sont « constantes » : volume, revêtements, ..., en revanche plusieurs paramètres sont variables : température de la salle, température extérieure, concentration d'ozone, renouvellement d'air, durée des activités,...

Principales caractéristiques de la salle

- Volume $\cong 150 \text{ m}^3$
- Revêtements : revêtement de sol plastique, peinture murale
- Pas de ventilation mécanique
- Pas d'accès direct sur l'extérieur
- Rez-de-chaussée

Pour des raisons pratiques, seule la température de la salle a été suivie pendant les mesures ; en effet, il n'est pas envisageable sur une période aussi longue de recueillir des données d'activité et d'ouverture de fenêtres par questionnaire.

Par ailleurs, la température extérieure et la concentration d'ozone sont estimées à partir d'une station de mesures de qualité de l'air proche de l'établissement.

L'influence de l'ozone sur la qualité de l'air intérieur a été étudiée dans une thèse soutenue en 2006 [Nicolas, 2006] ; le formaldéhyde en particulier a été identifié comme un sous-produit réactionnel de l'ozone.

La corrélation de quatre paramètres avec la concentration de formaldéhyde est testée : la température de la salle, la température extérieure, la concentration moyenne d'ozone et la concentration maximale d'ozone.

La meilleure corrélation est obtenue avec la température extérieure (cf. Figure 25). Bien que moins bonne qu'avec la température extérieure, la corrélation de la concentration de formaldéhyde avec l'ozone en extérieur est bonne également (cf. Figure 26). Ce lien explique en partie les concentrations plus élevées en période estivale.

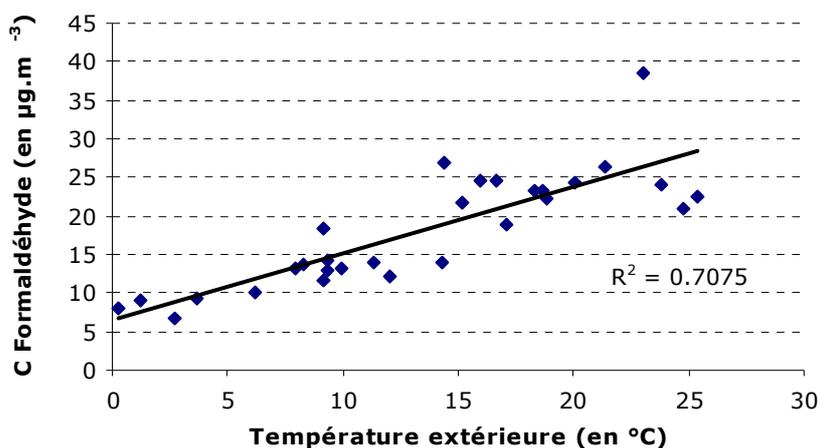


Figure 25. Corrélation entre la concentration de formaldéhyde dans une salle et la température extérieure

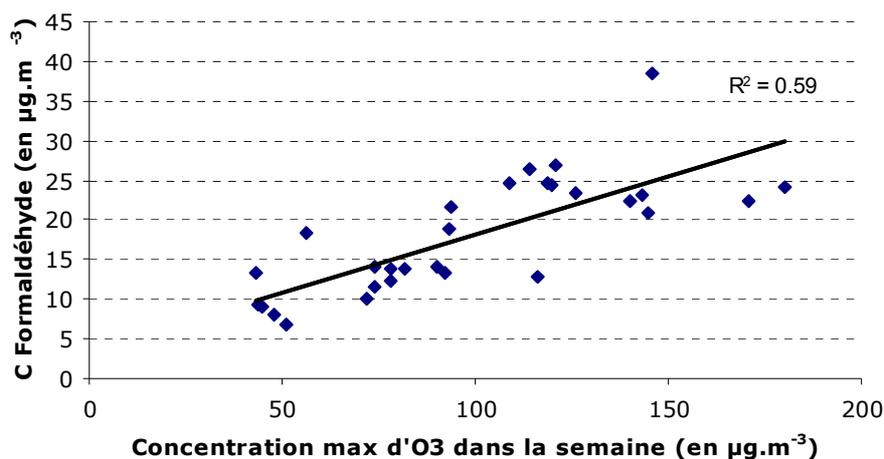


Figure 26. Corrélation entre la concentration de formaldéhyde dans une salle et la concentration maximale d'ozone extérieure

III.4 Conclusions

L'objectif principal de l'étude n'était pas la détermination des facteurs influençant les concentrations, toutefois des informations intéressantes peuvent être déduites de l'analyse conjointe de toutes les données recueillies.

Les caractéristiques du bâtiment sont prépondérantes, et notamment entre plusieurs bâtiments, la présence d'une ventilation mécanique permet de baisser significativement les niveaux de formaldéhyde, tout particulièrement pendant les périodes de moindre ouverture des fenêtres. Ces périodes n'étant pas les plus polluées, il est toutefois possible pendant la période estivale d'observer des niveaux élevés même dans les salles équipées de VMC.

Les concentrations de formaldéhyde sont de manière générale plus élevées en période estivale qu'en période hivernale, ce qui fait la spécificité de ce polluant par rapport à d'autres présents en air intérieur qui sont plus élevés en période hivernale, notamment à cause du confinement. Le suivi des concentrations de formaldéhyde dans une salle montre qu'elles sont bien corrélées avec la température extérieure. La température extérieure traduit bien deux phénomènes expliquant les concentrations de formaldéhyde :

- les émissions de composés volatils comme le formaldéhyde augmentent avec la température de la salle, elle-même assez bien corrélée avec la température extérieure,
- la production de formaldéhyde augmente avec les concentrations d'ozone à l'extérieur qui pénètre à l'intérieur de la salle et réagit avec d'autres composés présents à l'intérieur. Les concentrations d'ozone à l'extérieur sont liées notamment à la température.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Initiée dès 2005 et débutée en juin 2006 dans le cadre du Plan régional Santé Environnement, l'étude réalisée constitue un premier état des lieux des concentrations d'aldéhydes dans l'air intérieur des bâtiments accueillant des jeunes enfants en Rhône-Alpes. Cette étude a permis de confirmer des résultats obtenus dans des études précédentes et de renforcer les connaissances, notamment sur les variations saisonnières, sur deux polluants d'intérêt dans l'air intérieur : le formaldéhyde et l'acétaldéhyde.

En effet, les mesures réalisées sur les cinquante établissements confirment que le formaldéhyde et l'acétaldéhyde sont des polluants présents dans l'air intérieur de toutes les salles testées. Les écoles maternelles sont plus touchées que les crèches par la pollution au formaldéhyde, ce n'est pas le cas en revanche pour l'acétaldéhyde, polluant pour lequel les deux types d'établissement présentent les mêmes niveaux.

Comparativement aux autres environnements dans lesquels les enfants sont susceptibles d'évoluer, les écoles maternelles et les crèches présentent des niveaux de formaldéhyde du même ordre de grandeur que ceux des logements et sont nettement supérieurs à ceux observés à l'extérieur. Par ailleurs, la comparaison des résultats avec d'autres études montre qu'il n'y a pas de spécificité de la région Rhône-Alpes.

La réalisation de quatre campagnes, réparties dans l'année, dans les mêmes salles, a permis d'obtenir de précieux renseignements sur l'évolution des niveaux de formaldéhyde dans une année. Globalement, les niveaux observés en période estivale sont supérieurs à ceux observés en période hivernale. Afin de bien caractériser la qualité de l'air intérieur à long terme d'une salle, il est donc indispensable d'effectuer au minimum deux mesures réparties dans l'année (hiver+été).

Compte tenu de son omniprésence et de sa toxicité, le formaldéhyde fait partie des deux premiers polluants (avec le monoxyde de carbone) pour lesquels des valeurs guides de qualité de l'air intérieur ont été déterminées au niveau national. Les concentrations moyennes de formaldéhyde dans les salles de l'étude sont supérieures à la valeur guide à long terme dans la très grande majorité des salles. Il est donc nécessaire de diminuer les concentrations de formaldéhyde dans le plus grand nombre de salles afin de réduire les effets liés à cette pollution. Pour l'acétaldéhyde, il n'existe pas de valeur guide nationale ; en revanche, les niveaux mesurés sont inférieurs à la valeur guide proposée au niveau européen.

Les nombreuses données recueillies, niveaux de concentration mesurés et caractéristiques associées dans 150 salles, tendent à montrer que les caractéristiques du bâtiment sont prépondérantes. Notamment, entre plusieurs bâtiments, **la présence d'une ventilation mécanique (VMC) permet de baisser significativement les niveaux de formaldéhyde**, tout particulièrement pendant les périodes de moindre ouverture des fenêtres. Ces périodes n'étant pas les plus polluées, il est toutefois possible pendant la période estivale d'observer des niveaux élevés même dans les salles équipées de VMC. Par ailleurs, il semble que les niveaux d'ozone extérieurs aient une influence non négligeable sur les concentrations de formaldéhyde à l'intérieur.

L'ensemble des éléments recueillis montre l'importance d'une bonne ventilation pour faire diminuer les niveaux de polluants dans l'air intérieur. La ventilation mécanique contrôlée est la solution la plus efficace mais des règles simples comme l'aération des locaux pendant les récréations ou certaines activités spécifiques, ne doivent pas être oubliées.

Par ailleurs, il importe de limiter les sources de polluants à l'intérieur, en préférant des matériaux à faible teneur ou sans formaldéhyde, quelques labels existent déjà comme l'éco-label européen¹³.

Perspectives

Les résultats obtenus permettent de caractériser la qualité de l'air dans les écoles maternelles et les crèches. Ces données seront croisées avec le temps passé dans chacun des lieux de vie des enfants afin d'évaluer les risques sanitaires liés à l'exposition au formaldéhyde pendant l'enfance par la Cellule Interrégionale d'Epidémiologie de Rhône-Alpes.

Les résultats de l'étude de qualité de l'air ainsi qu'une synthèse sont disponibles sur www.atmo-rhonealpes.org et www.rhonealpes.sante.gouv.fr. Ces documents seront envoyés aux mairies concernées par l'étude, les établissements participants seront destinataires de la synthèse.

Pour faire suite à cette étude, plusieurs travaux sont d'ores et déjà programmés par les associations de surveillance de la qualité de l'air et viendront compléter les connaissances sur l'exposition des enfants et adolescents à la pollution de l'air intérieur:

- des diagnostics de la qualité de l'air intérieur dans quelques écoles de l'agglomération grenobloise, constitués d'une visite de l'établissement pour identifier les points problématiques et/ou à améliorer et de mesures de nombreux polluants,
- des diagnostics de la qualité de l'air intérieur dans plusieurs collèges du département de l'Isère
- des mesures de formaldéhyde et d'acétaldéhyde dans quelques lycées de la région Rhône-Alpes.

¹³ www.eco-label.com

BIBLIOGRAPHIE

AFSSET, CSTB (2006) Risques sanitaires liés aux composés organiques volatils dans l'air intérieur. Procédure de qualification des produits de construction sur la base de leurs émissions de composés organiques volatils et de critères sanitaires.

ASPA, CSTB (2005) Etude exploratoire du profil temporel des niveaux de formaldéhyde dans deux établissements scolaires de la ville de Strasbourg à l'aide de prélèvements sur 30 min. Octobre 2005. Réf ASPA 05092901-I-D.

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. Réf ASPA 05061301. Juin 2005.

Cal EPA (2005) Indoor Air Pollution in California. Air Resources Board. February 2005. Draft.

GRIMALDI F, VANDAELE S, MULS E, BASCOU H, ARFI C, HENRY A, GOUEZO F, VIALA A. (1992), Etude de la pollution de l'air à l'intérieur de deux locaux d'enseignement à Marseille. Pollution atmosphérique, 133 :43-53

Joint Research Centre (2004) The INDEX project (Critical Appraisal of the Setting and Implementation of Indoor Exposure Limits in the EU), Summary on recommendations and management options. Commission européenne. Décembre 2004

KOTZIAS D (2007). Indoor Air Quality in Europe : policy-science interface, présentation au Colloque Qualité de l'Air Intérieur dans les logements. La Rochelle, 8 juin 2007.

NICOLAS M. (2006) Ozone et qualité de l'air intérieur : interactions avec les produits de construction et de décoration. Thèse de doctorat de l'Université de Paris 7.

MANDIN C., MEININGHAUS R., CICOLELLA A. (2003) Use of a sensory irritation potential index to characterise improvement of indoor air quality in French schools by ventilation. Healthy Buildings 2003, 7th International Conference; 2003 7th-11th December; Singapore. p. 388-391.

MANDIN M. (2005) Formaldéhyde : état des lieux des techniques analytiques et niveaux de concentration mesurés

MOSQUERON L., NEDELLEC V. (2002) Hiérarchisation sanitaire des paramètres mesurés dans les bâtiments par l'observatoire de la qualité de l'air intérieur. Novembre 2002.

MOSQUERON L., NEDELLEC V. (2004) Inventaire des données françaises sur la qualité de l'air à l'intérieur de bâtiments. Actualisation des données sur la période 2001-2004. Partie II- Chapitre 1. Rapport de l'Observatoire de la qualité de l'air Intérieur. Décembre 2004.

Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (2004) Impact énergétique et sanitaire du renouvellement d'air dans deux écoles primaires. Rapport final.

Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (2006) – Campagne nationale Logements - Etat de la qualité de l'air dans les logements français – Rapport final.

Santé Canada (2005) Proposition de valeurs guides pour le formaldéhyde dans l'air intérieur résidentiel. Août 2005.

Sépia-Santé (2006) Ré-analyse des données recueillies par l'OQAI sur l'air intérieur de neuf écoles primaires et maternelles.

ANNEXE 1

Résultats détaillés

Légende :

Lieu : I (intérieur), EXT (extérieur)

Type : E (écoles), C (crèches), ST (station de mesures)

C1 : Campagne de juin, C2 : Campagne d'octobre, C3 : Campagne de décembre,

C4 : Campagne de mars

Moyenne : Moyenne des 4 campagnes

Nom_site	Commune	Lieu	Type	Campagne 1 12-16 juin 2006		Campagne 2 2-6 octobre 2006		Campagne 3 11-15 décembre 2006		Campagne 4 5-9 mars 2007		MOYENNE 4 campagnes	
				T°C	C _{Formaldéhyde}	T°C	C _{Formaldéhyde}	T°C	C _{Formaldéhyde}	T°C	C _{Formaldéhyde}	T°C	C _{Formaldéhyde}
AGGLOMERATION D'ANNONAY													
Davézieux N° 1	DAVEYZIEUX	I	E	23.2	16.8	19.3	12.9	19.8	9.2	22.9	10.8	21.3	12.4
Davézieux N° 2		I	E	24.3	16.9	20.5	13.1	19.3	7.6	23.6	8.1	21.9	11.5
Davézieux N° 3		I	E	24	17.5	20.3	14.4	16.8	6.9	21.2	9.2	20.6	12.0
Champs de Mars N° 1	ANNONAY	I	E	24.7	28.8	23.4	27.9	19.9	21.1	22.3	20.7	22.6	24.6
Champs de Mars N° 2		I	E	24.7	24.9	20.4	24.5	21.4	16.1	22.2	16.8	22.2	20.6
Champs de Mars N° 3		I	E	26.4	28.2	21.8	20.1	23.4	24.3	22.0	23.8	23.4	24.1
Jean Moulin (Ripaille) N° 1	ANNONAY	I	E	23.5	29.2	19.2	32.1	24.7	22.9	23.2	22.1	22.7	26.5
Jean Moulin (Ripaille) N° 2		I	E	24.2	26.5	21.2	29.0	22.6	20.5	21.9	22.8	22.5	24.7
Jean Moulin (Ripaille) N° 3		I	E	28	46.4	18.9	39.5	19.5	27.8	20.7	24.0	21.8	34.5
Jean Moulin (Ripaille) Exter		EXT	E	21.9	3.0	15.4	2.4	1.6	3.2	7.3	2.1	11.6	2.7
Station fixe "Annonay Urbaine Centre"	ANNONAY	EXT	ST	21.9	3.2	15.2	2.7	1.6	3.6	7.3	2.2	11.5	2.9
AGGLOMERATION DE VALENCE													
Crèche Pablo Néruda N° 1	VALENCE	I	C	25.6	14.7	21.2	43.1	21.1	18.7	22.9	18.5	22.7	23.8
Crèche Pablo Néruda N° 2		I	C	26.5	15.3	20.2	19.5	20.9	10.6	21.2	10.3	22.2	13.9
Crèche Pablo Néruda N° 3		I	C	25.5	19.6	21.3	25.8	21.1	18.9	22.4	16.7	22.6	20.2
Crèche Les loupiots N° 1	SAINT PERAY	I	C	24	11.1	21.7	19.8	22.6	14.2	21.9	12.9	22.6	14.5
Crèche Les loupiots N° 2		I	C	24.3	27.9	20.9	22.2	19.9	17.6	19.9	16.1	21.3	20.9
Crèche Les loupiots N° 3		I	C	25.8	16.9	21.1	12.6	16.7	10.9	20.5	11.1	21.0	12.9
Romain Rolland N°1	VALENCE	I	E	25.9	40.9	22.1	37.9	21.2	26.2	20.7	23.8	22.5	32.2
Romain Rolland N°2		I	E	24.7	19.4	23.5	12.5	19.3	16.1	20.0	14.4	21.9	15.6
Romain Rolland N°3		I	E	26.3	34.4	21.9	20.1	21	15.4	19.6	14.7	22.2	21.2
Romain Rolland Exter		EXT	E	24.7	2.9	13.7	2.3	2	3.5	7.7	2.0	12.0	2.7
Ecole de la savine N°1	GUILHERAND-GRANGES	I	E	25.2	18.9	21.4	18.8	21.2	12.7	21.5	12.1	22.3	15.6
Ecole de la savine N°2		I	E	26.4	12.8	22.3	16.7	21.1	13.8	21.2	10.8	22.8	13.5
Ecole de la savine N°3		I	E	25.6	12.9	21	11.5	20	10.8	21.3	11.2	22.0	11.6
Station fixe "Valence Urbaine Centre"	VALENCE	EXT	ST	24.7	3.4	13.7	2.7	2	3.7	7.6	2.4	12.0	3.0
AGGLOMERATION DE GRENOBLE													
Joliot-Curie petits	ST MARTIN D'HERES	I	E	26.2	27.0	21.3	25.2	20.0	12.9	20.5	19.1	22.0	21.0
Joliot-Curie moyens		I	E	26.8	27.5	23.2	27.0	22.3	13.2	20.7	22.9	23.2	22.7
Joliot-Curie grands		I	E	26.8	34.6	21.3	34.1	20.8	16.5	20.5	24.6	22.4	27.4
Buisson psychomot	GRENOBLE	I	E	24.7	35.3	20.9	24.5	21.1	16.2	19.7	16.9	21.6	23.2
Buisson petit RdC		I	E	24.7	51.3	21.3	44.0	21.1	30.5	19.7	23.7	21.7	37.4
Buisson grands 2eme		I	E	26.1	16.9	23.6	27.3	20.4	29.4	19.7	21.2	22.5	23.7
Chorier grand RdC	GRENOBLE	I	E	22.9	15.8	21.3	18.6	20.6	9.9	21.7	15.4	21.6	14.9
Chorier moyens 1er		I	E	26.6	24.0	23.6	29.5	20.6	12.0	22.3	24.5	23.2	22.5
Chorier petits 1er		I	E	27.5	15.1	22.8	23.8	20.6	15.9	21.1	23.3	23.0	19.5
Iles petits	SEYSSINS	I	E	28	37.4	25	32.4	25	18.9	24	21.9	25.2	27.7
Iles dortoir		I	E	27	35.7	22	24.5	21	20.6	23	20.6	23.2	25.4
Iles grands		I	E	29	38.2	24	29.0	23	21.5	23	20.9	24.6	27.4
Rampe petits	GRENOBLE	I	E	28.5	42.3	22.8	47.9	20.3	16.3	22.8	28.8	23.6	33.8
Rampe grands 4		I	E	29.6	60.8	23.4	64.4	22.5	25.0	21.6	32.2	24.3	45.6
Rampe dortoir petits		I	E	29.4	39.5	22.2	33.9	23.6	12.2	23.3	18.7	24.6	26.1
Voie Lactée petits	GRENOBLE	I	C	28.6	11.4	21.1	10.8	20.3	4.9	21.6	15.1	22.9	10.6
Voie Lactée grands		I	C	27.5	10.7	21.1	9.6	20.3	8.6	21.6	15.5	22.6	11.1
Voie Lactée dortoir grand		I	C	29.1	9.3	21.1	6.5	20.3	8.3	21.6	10.1	23.0	8.6
Lutins grand	ECHIROLLES	I	C	27.8	30.3	21.4	18.3	22.3	16.7	21.8	17.4	23.3	20.7
Lutins dortoir grand		I	C	27.4	25.2	21.3	18.0	20.9	14.0	21.8	19.2	22.8	19.1
Lutins petits		I	C	26.5	20.2	23.6	15.8	24.0	18.7	21.9	15.1	24.0	17.5
Lutins extérieur	EXT	C	26.6	4.8	18.3	2.4	4.6	3.8	11.8	2.0	15.3	3.3	
Dolto grands	LE PONT DE CLAIR	I	C	27	21.4	24	22.8	21	14.4	23	19.1	23.4	19.4
Dolto petits		I	C	27	24.5	23	26.4	21	22.7	22	30.4	23.1	26.0
Dolto dortoir petits		I	C	26	37.2	22	31.6	20	24.1	21	27.2	22.4	30.0
Farandolle grands	ECHIROLLES	I	C	27	40.1	23	32.3	22	18.8	23	21.7	23.5	28.2
Farandolle atelier		I	C	27	37.6	23	35.4	21	17.9	19	22.2	22.6	28.3
Farandolle petits		I	C	28	43.7	23	44.8	19	18.1	22	26.4	23.0	33.2
Station fixe "Les Frères" Grenoble	EXT	ST	26.3	3.0	18.1	2.0	4.6	3.8			16.3	2.9	

Nom_site	Commune	Lieu	Type	Campagne 1 12-16 juin 2006		Campagne 2 2-6 octobre 2006		Campagne 3 11-15 décembre 2006		Campagne 4 5-9 mars 2007		MOYENNE 4 campagnes	
				T°C	C _{Formaldéhyde}	T°C	C _{Formaldéhyde}	T°C	C _{Formaldéhyde}	T°C	C _{Formaldéhyde}	T°C	C _{Formaldéhyde}
AGGLOMERATION DE LYON													
Jean-Moulin_Salle1	BRON	I	E	25.3	15.8	21.3	19.4	21.9	20.3	19.1	9.6	21.9	16.3
Jean-Moulin_Salle3		I	E	26.7	18.0	22.3	21.2	19.5	15.9	19.8	15.8	22.1	17.7
Jean-Moulin_Salle4		I	E	25.0	18.0	21.0	20.3	21.7	16.1	20.3	13.9	22.0	17.1
Format_dortoir	VILLEURBANNE	I	C	26.4	24.0	24.3	26.0	20.4	16.1	22.9	18.7	23.5	21.2
Format_activites		I	C	26.3	15.6	22.6	15.1	21.8	13.8	23.5	14.4	23.5	14.7
Format_change		I	C	25.8	16.2	23.1	15.3	21.8	16.2	22.3	17.4	23.2	16.3
NellyRoussel_PtsBouchons	VILLEURBANNE	I	C	25.9	10.6	20.9	11.8	20.9	11.3	20.5	10.5	22.0	11.0
NellyRoussel_BallonsRouges		I	C	24.8	12.1	22.6	12.7	22.8	11.5	22.9	10.3	23.3	11.6
NellyRoussel_dortoir		I	C	24.9	16.6	20.7	14.8	21.7	14.0	20.7	9.4	22.0	13.7
Gillet_activites	LYON	I	C	27.1	7.8	23.0	11.3	19.3	8.0	20.0	7.5	22.3	8.7
Gillet_SdB		I	C	27.3	16.7	24.1	16.2	19.2	11.5	20.4	11.8	22.7	14.0
Gillet_dortoir		I	C	27.7	10.9	21.4	13.6	21.1	8.4	21.1	6.6	22.8	9.9
Painlevé_grands	LYON	I	E	26.0	33.4	21.8	31.1	20.7	17.0	23.2	17.5	22.9	24.7
Painlevé_moyens		I	E	26.5	40.1	21.8	54.3	20.0	33.3	21.6	37.2	22.5	41.2
Painlevé_petits		I	E	26.3	48.2	22.3	42.2	20.6	27.1	22.3	33.7	22.8	37.8
StExupery_Classe 1	BRON	I	E	27.8	20.3	21.2	17.3	22.0	12.9	20.3	14.3	22.8	16.2
StExupery_Classe 2		I	E	25.8	21.8	21.1	19.1	20.7	13.8	20.0	15.8	21.9	17.6
StExupery_Classe 3		I	E	27.8	31.2	21.4	23.0	20.7	21.3	21.1	20.6	22.7	24.0
Gilbert_moyens	LYON	I	E	26.9	31.1	20.8	21.8	19.9	17.1	21.7	16.6	22.3	21.6
Gilbert_petits		I	E	25.1	20.5	22.3	24.6	21.3	15.6	21.5	16.9	22.5	19.4
Gilbert_grands		I	E	24.5	23.9	22.9	24.7	20.8	10.5	21.0	14.2	22.3	18.3
Rochaix_VieOceanes	LYON	I	C	25.9	15.5	21.0	13.5	21.4	10.4	22.0	10.1	22.6	12.4
Rochaix_SdBOceanes		I	C	26.1	20.3	21.0	16.9	19.5	12.0	21.7	12.2	22.1	15.3
Rochaix_DortoirBBOceanes		I	C	25.2	24.1	21.0	22.8	20.5	14.7	22.2	16.3	22.2	19.5
PtsCanuts_classe1	LYON	I	E	26.1		21.0	30.8	19.1	23.7	23.0	23.3	22.3	25.9
PtsCanuts_classe2		I	E	26.4	14.9	21.0	11.8	19.1	14.4	21.6	11.9	22.0	13.3
PtsCanuts_classe4		I	E	26.0	30.4	22.0	27.3	21.6	15.5	21.6	19.0	22.8	23.0
Croizat_entree	VAULX EN VELIN	I	E	26.3	15.4	20.9	13.3	22.3	9.8	20.8	8.0	22.6	11.6
Croizat_fondcouloir		I	E	25.9	13.3	22.8	9.9	21.7	9.0	20.2	9.2	22.7	10.4
Croizat_debutcouloir		I	E	25.6	12.4	23.2	8.3	21.7	7.6	22.7	6.0	23.3	8.6
Jaurès_classe1	VILLEURBANNE	I	E	26.8	34.2	20.9	40.3	19.9	28.9	20.2	34.3	22.0	34.4
Jaurès_classe3		I	E	27.5	25.4	21.1	25.8	20.4	24.8	20.1	16.4	22.3	23.1
Jaurès_classe7		I	E	28.2	12.6	20.3	19.1	22.5	19.0	22.3	26.0	23.3	19.2
Calinoux_activites	CALUIRE ET CUIRE	I	C	24.8	17.4	21.6	13.9	20.1	10.8	21.6	17.1	22.0	14.8
Calinoux_dortoir		I	C	24.1	8.9	20.7	9.9	16.8	11.5	20.6	9.6	20.6	10.0
Calinoux_SdB		I	C	24.0	9.7	22.2	10.1	21.3	14.5	21.8	14.0	22.3	12.1
Collonges_petits	COLLONGES AU MT D'OR	I	E			20.2	9.2	19.9	8.6	19.8	11.5	20.0	9.8
Collonges_moyens		I	E	26.0	11.7	21.4	10.2	22.5	9.5	20.3	13.4	22.5	11.2
Collonges_grands		I	E	26.0	20.2	20.8	21.8	21.2	10.5	20.0	11.3	22.0	16.0
Emy_activites	CALUIRE ET CUIRE	I	C	26.4	42.6	23.8	29.3	21.6	19.2	20.5	11.1	23.1	25.6
Emy_SdB		I	C	24.9	33.3	23.8	28.6	21.4	20.8	20.5	14.8	22.7	24.4
Emy_dortoirBB		I	C	25.1	24.5	21.5	28.5	20.6	14.8	19.7	6.9	21.7	18.7
Station fixe de Vaulx en Velin	VAULX EN VELIN	EXT	ST	24.8	2.8	15.8	2.7	3.4	3.9	9.6	2.1	13.4	2.9

AGGLOMERATION DE ST ETIENNE													
Péruvère_classe des petits/moyens	FRAISSES	I	E	27.8	18.6	22.8	22.6	22	13.4	21	12.8	23.5	16.9
Péruvère_classe des grands		I	E	27.8	19.8	22.1	24.1	23	17.9	22	14.9	23.8	19.2
Péruvère_classe des grands/moyens		I	E	27.7	22.1	21.3	30.2	21	14.9	21	16.6	22.7	20.9
Ecole Mat_Petits	ROCHE LA MOLIERE	I	E	25.3	36.2	22.3	30.3	20	11.9	21	23.7	22.1	25.5
Ecole Mat_Moyens		I	E	27.7	18.5	21.4	29.7	21	19.4	21	17.2	22.9	21.2
Ecole Mat_Grands		I	E	27.1	16.3	21.2	21.8	21	15.9	21	14.7	22.5	17.2
Centre 2_Petits	ST ETIENNE	I	E	26.5	44.3	23.3	39.7	21	25.4	22	30.3	23.2	34.9
Centre 2_Grands		I	E	24.6	32.0	21	36.2	20	28.2	21	24.1	21.6	30.1
Centre 2_Moyens		I	E	23.3	40.2	21.5	28.1	21	23.9	22	23.5	21.9	28.9
Les Picoti_Dortoir Grands	LE CHAMBON FEUGEROLLES	I	C	26	10.4	22.2	8.7	22	3.0	22	8.2	23.1	7.6
Les Picoti_Salle de vie Grands		I	C	26.7	10.4	24.5	10.7	23	5.8	23	8.2	24.4	8.8
Les Picoti_Salle de vie Bébés		I	C	26.9	10.7	24.2	9.1	21	5.8	21	3.5	23.4	7.3
Castor et Pollux_Salle de vie Bébés	ST PRIEST EN JAREZ	I	C	26.1	10.3	23	11.1	22	9.5	23	9.1	23.6	10.0
Castor et Pollux_Salle de vie Grands		I	C	26	10.1	22.1	11.1	23	8.9	24	9.4	23.8	9.9
Castor et Pollux_Dortoir Bébés		I	C	25.1	9.9	21.4	9.4	21	7.6	22	8.2	22.3	8.8
Jean Macé_Dortoir Bébés_Groupe tropique	ST ETIENNE	I	C	27.9	12.8	18.6	10.4	20	7.1	20	7.5	21.5	9.5
Jean Macé_Salle de vie inter-âge_Groupe fermette		I	C	28.3	10.9	21.4	16.2	22	9.0	22	11.1	23.3	11.8
Jean Macé_Salle de vie inter-âge_Groupe marmotte		I	C	26.6	9.6	19.9	8.6	21	5.8	22	6.8	22.4	7.7
Station fixe "Saint-Etienne Sud"	ST ETIENNE	EXT	ST	24.8	2.7	14.7	1.7	3.5	3.7	8	2.4	12.8	2.6

AGGLOMERATION DE BOURG-EN-BRESSE													
PARANT-Classe des grands	BOURG-EN- BRESSE	I	E	26.3	47.1	20.5	38.3	20	30.9	21	35.7	21.9	38.0
PARANT-Classe des petits		I	E	25.9	48.5	20.7	43.1	20	34.0	20	31.7	21.7	39.3
PARANT-Classe des tout petits		I	E	25.7	45.8	20.5	46.1	19	31.4	20	29.7	21.4	38.3
ARBELLES-Classe des grands	BOURG-EN- BRESSE	I	E	26.3	20.8	23.8	19.7	20	9.3	22	10.3	22.9	15.0
ARBELLES-Classe des tout petits		I	E	27.1	19.5	24.0	20.3	20	10.4	21	13.6	23.1	15.9
ARBELLES-Dortoir		I	E	27.5	29.0	24.2	20.5	21	10.5	23	13.9	23.9	18.5
RIBAMBELLE-Salle de jeux petits-moy	BOURG-EN- BRESSE	I	C	22.2	21.7	21.2	25.2	23	15.8	22	18.2	22.2	20.2
RIBAMBELLE-Dortoir des petits		I	C	22.0	21.6	20.3	17.8	22	7.8	20	13.1	21.1	15.1
RIBAMBELLE-Salle bains des grands		I	C	23.7	14.4	19.9	21.5	22	17.1	21	20.6	21.9	18.4
CASSENOISETTE-Salle d'activités	BOURG-EN- BRESSE	I	C	25.1	15.8	20.8	16.6	20	11.9	20	12.7	21.4	14.3
CASSENOISETTE-Salle de bains des bébés		I	C	27.3	18.1	20.2	19.0	20	14.0	20	15.5	21.8	16.6
CASSENOISETTE-Dortoir des grands		I	C	25.6	13.2	19.9	11.4	19	8.1	19	11.3	20.9	11.0
PERONNAS-Salle activités des grands	PERONNAS	I	C	26.7	26.4	21.8	25.0	24	16.5	22	18.1	23.5	21.5
PERONNAS - Dortoir petits-moy		I	C	25.7	25.3	20.6	24.2	21	14.1	21	15.5	21.9	19.8
PERONNAS - Salle change des petits		I	C	26.2	30.8	22.7	28.1	23	16.4	22	15.4	23.3	22.7
PERONNAS - Cour extérieure		EXT	C	23.2	3.2	14.0	1.5	2.4	2.9	8.5	2.3	12.0	2.5
Station fixe de Bourg-en-Bresse	BOURG-EN-B.	EXT	ST	25.6	3.4			3.5	3.1	6.7	2.5	11.9	3.0

Nom_site	Commune	Lieu	Type	Campagne 1 12-16 juin 2006		Campagne 2 2-6 octobre 2006		Campagne 3 11-15 décembre 2006		Campagne 4 5-9 mars 2007		MOYENNE 4 campagnes	
				T°C	C _{Formaldéhyde}	T°C	C _{Formaldéhyde}	T°C	C _{Formaldéhyde}	T°C	C _{Formaldéhyde}	T°C	C _{Formaldéhyde}
AGGLOMERATION D'ANNECY													
NOVEL-Salle de classe	ANNECY	I	E	25.8	28.9	20.6	40.4	22	21.3	22	23.4	22.7	28.5
NOVEL-Salle BCD		I	E	27.1	28.5	20.6	32.0	24	15.3	21	19.1	23.2	23.7
NOVEL-Salle EPS		I	E	25.2	21.2	20.6	16.4	22	8.3	23	12.5	22.6	14.6
BARRAL-Classe petits-moy n°8	SEYNOD	I	E	24.3	45.1			22	37.4	20	37.1	22.1	39.8
BARRAL-Classe des petits n°44		I	E	24	58.6	21	60.0	23	28.6	21	34.8	22.3	45.5
BARRAL-Salle de jeux	MEYTHET	I	E	23.9	54.2	21	63.3	23	40.1	21	39.3	22.3	49.2
MEYTHET-Classe des petits		I	E	26.2	44.6	20.6	55.8	25	11.9	21	9.6	23.3	30.5
MEYTHET-Classe des moyens		I	E	27.6	39.7	21.8	44.0	21	15.9	20	21.3	22.7	30.2
MEYTHET-Classe des grands	ANNECY	I	E	25.7	49.6	19.8	43.9	21	13.6	19	13.1	21.6	30.1
BONLIEU-Salle principale		I	C	23.6	35.1	24	30.4			24	24.5	23.7	30.0
BONLIEU-Dortoir des moyens	ANNECY	I	C	23.3	33.2	23.1	32.8	21	17.5	23	19.6	22.6	25.8
BONLIEU-Salle de bains		I	C	22.4	39.5	22.9	33.9	21	19.1	22	20.3	22.2	28.2
METZ-Salle jour des bébés	METZ-TESSY	I	C	24.9	16.5	22.2	20.1	22	14.5	21	15.2	22.5	16.6
METZ-Chambre petits-moy		I	C	23.8	18.9	21.4	14.4	19	8.7	20	17.3	21.2	14.8
METZ-Salle de bains		I	C	24.9	18.6	22.5	19.3	21	16.5	23	10.0	22.7	16.1
Station fixe "Novel" Annecy	ANNECY	EXT	ST	22.9	3.9	13	1.7	0.5	4.2	5.1	1.9	10.4	2.9

AGGLOMERATION DE CHAMBERY													
PASTEUR-Salle de sport n°8	CHAMBERY	I	E	24	18.1	20.3	22.5	20	11.0	19	13.6	20.6	16.3
PASTEUR-Classe des petits Rch		I	E	23.9	37.8	23.2	35.6	19	18.5	18	20.1	21.0	28.0
PASTEUR-Classe des moyens 1er		I	E	26.9	17.5	22.7	18.2	20	13.7	23	24.4	23.1	18.5
CHYLEHT-Classe 1	CHAMBERY	I	E	27.6	53.3	23.6	48.3	24	25.1	23	32.4	24.5	39.8
CHYLEHT-Classe 2		I	E	27.4	52.4	23.8	40.3	23	21.4	22	28.9	24.2	35.8
CHYLEHT-Salle de jeux	BASSENS	I	E	27.1	50.0	24.1	43.6	21	24.6	21	32.6	23.5	37.7
BASSENS-Salle de jeux		I	C	25.9	50.8	23.2	54.2	21	24.8	22	32.2	23.1	40.5
BASSENS-Chambre		I	C	23.4	39.9	19.5	36.9	19	21.0	20	25.7	20.6	30.9
BASSENS-Salle de bains	COGNIN	I	C	24.4	41.7	21.8	49.7	20	23.8	21	30.1	21.8	36.3
COGNIN-Salle principale		I	C	27.1	25.3	22.3	44.4	21	34.2	20	33.9	22.8	34.5
COGNIN-Nursérie	COGNIN	I	C	26.2	29.8	22.9	44.2	22	33.1	20	31.7	22.7	34.7
COGNIN-Dortoir		I	C	25.7	27.9	21.3	41.2	17	32.2	19	29.6	20.9	32.7
COGNIN - Cour extérieure	COGNIN	EXT	C	21.4	4.9	14	1.9	1.2	3.3	8.3	2.2	11.2	3.1
Station fixe "Pasteur" Chambéry	CHAMBERY	EXT	ST	23.4	3.9	15	1.9	2.1	3.2	8.6	2.1	12.3	2.8

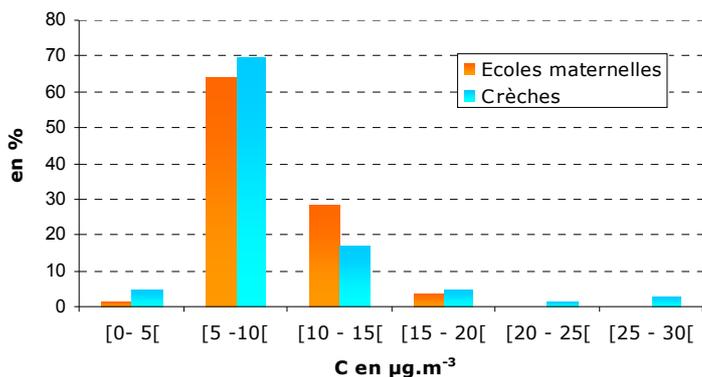
ANNEXE 2

Répartition des concentrations de formaldéhyde et d'acétaldéhyde

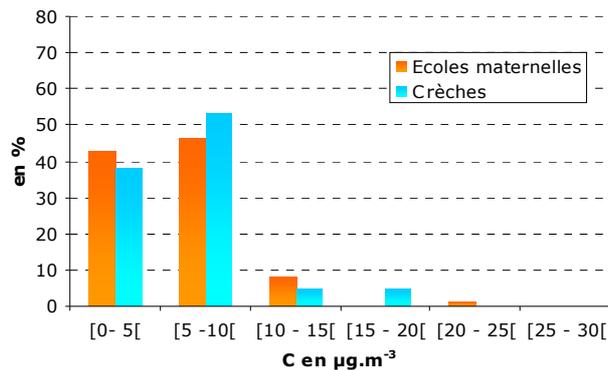
Répartition des concentrations par classe pour le formaldéhyde

Classe de concentration (en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	Ecoles maternelles								Crèches							
	C1		C2		C3		C4		C1		C2		C3		C4	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
[0 - 5[	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	2	3.0	12	18.2
[5 - 10[	0	0.0	3	3.6	11	13.1	7	8.3	6	9.1	7	10.6	15	22.7	18	27.3
[10 - 15[	7	8.3	8	9.5	21	25.0	22	26.2	16	24.2	16	24.2	21	31.8	21	31.8
[15 - 20[	19	22.6	10	11.9	21	25.0	15	17.9	14	21.2	14	21.2	18	27.3	5	7.6
[20 - 25[	10	11.9	19	22.6	15	17.9	24	28.6	9	13.6	7	10.6	6	9.1	4	6.1
[25 - 30[	10	11.9	11	13.1	9	10.7	4	4.8	7	10.6	8	12.1	0	0.0	5	7.6
[30 - 35[	8	9.5	9	10.7	5	6.0	8	9.5	4	6.1	5	7.6	3	4.5	0	0.0
[35 - 40[	8	9.5	6	7.1	1	1.2	4	4.8	5	7.6	2	3.0	0	0.0	12	18.2
[40 - 45[	6	7.1	9	10.7	1	1.2	0	0.0	4	6.1	5	7.6	0	0.0	0	0.0
[45 - 50[	7	8.3	3	3.6	0	0.0	0	0.0	0	0.0	1	1.5	0	0.0	0	0.0
[50 - 55[	5	6.0	1	1.2	0	0.0	0	0.0	1	1.5	1	1.5	0	0.0	0	0.0
[55 - 60[	1	1.2	1	1.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
[60 - 65[	1	1.2	3	3.6	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
[65 - 70[	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0

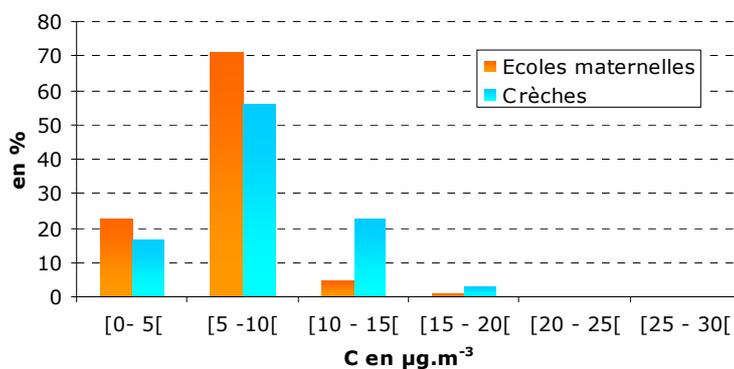
Répartition des concentrations par classe pour l'acétaldéhyde



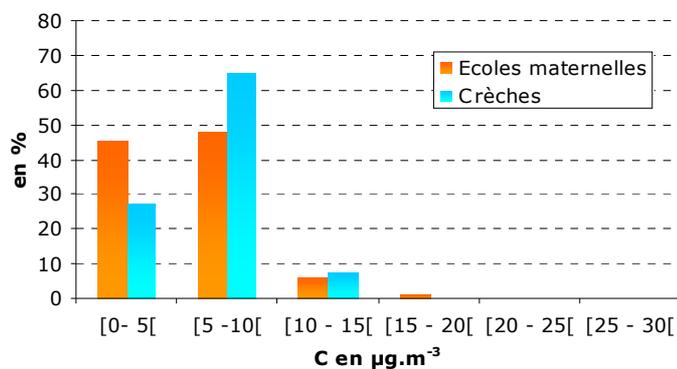
Campagne 1



Campagne 2



Campagne 3



Campagne 4

ANNEXE 3 Répétabilité des mesures

Méthodologie :

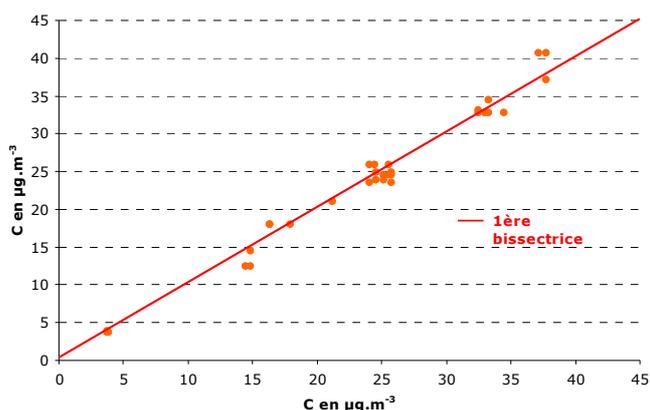
Afin d'évaluer la répétabilité des mesures, des triplets ont été réalisés à chaque campagne sur 3 sites.



Triplet de tubes

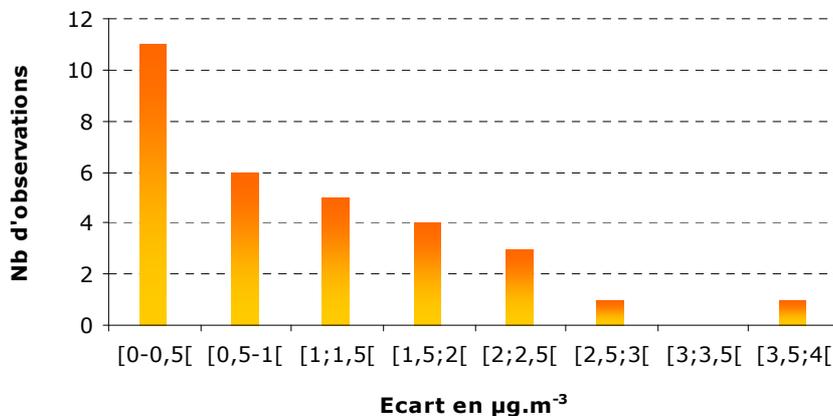
Résultats :

Les résultats des tubes placés sur le triplet sont comparés deux à deux (cf figure ci-dessous).



Les écarts sont reportés sur l'histogramme ci-dessous. La moyenne de l'écart absolu entre deux mesures réalisées simultanément est de 1 µg.m⁻³.

La moyenne de l'écart relatif est de 2,7%.



ANNEXE 4

Les boîtes à moustaches

La boîte à moustaches sert à représenter les principales statistiques de l'échantillon :

- Min : Valeur minimum observée dans l'échantillon
- Max : Valeur maximum observée dans l'échantillon
- Médiane : 50% des valeurs observées dans l'échantillon sont inférieures à cette valeur (la médiane sépare l'échantillon en deux parties contenant le même nombre de valeurs)
- 1^{er} quartile (P25) : 25% des valeurs observées dans l'échantillon sont inférieures à cette valeur
- 3^{ème} quartile (P75) : 75% des valeurs observées dans l'échantillon sont inférieures à cette valeur

