

Évaluation en temps réel de vapeurs de formaldéhyde



ÉTUDES ET RECHERCHES

Brigitte Roberge
Rodrigue Gravel

R-430

RAPPORT





Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

NOS RECHERCHES *travaillent pour vous !*

MISSION

- ▶ Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.
- ▶ Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.
- ▶ Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

POUR EN SAVOIR PLUS...

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement.

www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CSST.

Abonnement : 1-877-221-7046

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1551
Télécopieur : (514) 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca

© Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
septembre 2005

Évaluation en temps réel de vapeurs de formaldéhyde

Brigitte Roberge et Rodrigue Gravel
Hygiène du travail, IRSST

ÉTUDES ET
RECHERCHES

RAPPORT

 Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca

Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site Web de l'IRSST.

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSSST

**Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document
ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.**

Table des matières

1.	Introduction	4
2.	Objectifs de l'étude	4
3.	Méthodologie	5
3.1.	Principe de fonctionnement des instruments évalués.....	5
3.1.1.	Photoacoustique : Innova modèle 1312 (7,8).....	5
3.1.2.	Spectroscopie : Miran (8,9).....	6
3.1.3.	Colorimétrie : Dräger modèle CMS (10,11)	7
3.1.4.	Électrochimie : PPM Technology modèle Formaldemeter ^{MD} 400 (12).....	8
3.2.	Conditions de génération.....	8
3.3.	Substances étudiées	11
3.4.	Essais	12
4.	Résultats	14
4.1.	Génération de formaldéhyde	14
4.2.	Courbes de réponse des instruments	15
4.3.	Effet des substances sur la lecture des instruments.....	17
4.4.	Interférence due aux substances sur la lecture des instruments	17
5.	Interprétation des résultats et discussion.....	19
5.1.	Courbes de réponses des instruments.....	19
5.1.1.	Innova.....	19
5.1.2.	Miran	19
5.1.3.	CMS	19
5.1.4.	PPM.....	20
5.2.	Effet des substances sur la lecture des instruments.....	20
5.3.	Interférence des substances sur la lecture des instruments	21
5.3.1.	Innova.....	22
5.3.2.	Miran	22
5.3.3.	CMS	22
5.3.4.	PPM.....	22
5.4.	Résumé des essais <i>effet et interférence</i>	24
5.5.	Évaluation en temps réel du formaldéhyde	25
5.5.1.	Innova.....	25
5.5.2.	Miran	25
5.5.3.	CMS	25
5.5.4.	PPM.....	26
6.	Conclusion.....	26
7.	Références	27

Liste des tableaux

Tableau 1 : Méthodes analytiques des substances à l'étude.....	12
Tableau 2 : Méthode analytique par aldéhydes.....	13
Tableau 3 : Résultats analytiques par aldéhyde	15
Tableau 4 : Moyenne des écarts-type du Innova et du Miran par plage de lectures	16
Tableau 5 : Moyenne des écarts-type des lectures du CMS et du PPM par plage de lectures.....	17
Tableau 6 : Effet et interférence des substances sur la lecture des instruments.....	18
Tableau 7 : Erreur calculée et écart type des lectures par rapport à l'écart acceptable.....	19
Tableau 8 : Effet sur la lecture en terme des rapports aux normes par substance.....	20
Tableau 9 : Interférence sur la lecture en terme de rapport des concentrations de formaldéhyde général à sa norme et de la différence des lectures des résultats et résultats analytiques en formaldéhyde.....	23
Tableau 10 : Effet et interférence sur la lecture des instruments	24

Liste des figures

Figure 1 : Schéma du montage de génération	9
Figure 2 : Courbes de réponse du Innova et du Miran	16
Figure 3 : Courbes de réponse du CMS et du PPM	17

Liste des annexes

Annexe 1 : Estimation de la variation des concentrations de formaldéhyde général.....	29
Annexe 2 : Lectures de la courbe de réponse du Innova et du Miran	30
Annexe 3 : Courbes de réponse du CMS et du PPM	31

Résumé

Certains agresseurs chimiques, tels le formaldéhyde, ont une valeur d'exposition admissible (VEA) à ne pas dépasser (valeur plafond). Or, la méthode d'évaluation couramment utilisée en hygiène du travail nécessite un grand volume et une longue durée de prélèvement sur un milieu collecteur. Elle est mieux adaptée pour évaluer une exposition de longue durée qu'une valeur plafond. Dans une telle situation, l'utilisation d'instruments à lecture directe permet une évaluation instantanée en temps réel. Par contre, l'interprétation des lectures exige beaucoup de vigilance, car la présence concomitante d'autres substances peut induire des lectures erronées.

Les caractéristiques physiques de certains instruments à lecture directe occasionnent des restrictions importantes pour une évaluation d'une valeur plafond, notamment en zone respiratoire du travailleur. Plusieurs limites doivent être prises en compte lors de l'interprétation des lectures obtenues.

La présente étude vise à documenter en laboratoire l'effet et/ou l'interférence sur la lecture d'instruments à lecture directe pour la mesure du formaldéhyde et ce, en présence d'autres substances et ainsi, d'estimer la faisabilité technique de le mesurer en temps réel. Les objectifs poursuivis sont :

- Évaluer l'impact de la présence concomitante d'une ou de plusieurs substances chimiques sur la performance analytique de ces instruments (effet et interférence).
- Documenter une méthode d'évaluation en temps réel de l'exposition aux vapeurs de formaldéhyde et ainsi, être en mesure de mieux évaluer une valeur plafond.

Des vapeurs de formaldéhyde ont été générées par chauffage du paraformaldéhyde à des concentrations variant de 0,1 à 2 ppm dans une chambre de génération, conçue à cet effet. Les vapeurs de substances organiques, pouvant être présentes en milieux de travail simultanément au formaldéhyde, ont été générées à des concentrations allant de 5 % à plus de 100 % de leur norme respective. Les instruments ont été exposés à ces vapeurs (effet sur la lecture) et à des mélanges d'une substance et de formaldéhyde (interférence).

Les lectures ainsi obtenues ont été analysées par rapport à la norme de formaldéhyde actuellement en vigueur au Québec, celle des substances à l'étude ainsi que des caractéristiques physiques et opérationnelles des instruments.

Le nombre de lectures par essai pour certains instruments limite la portée des résultats de la présente étude. Les essais sont fonction des conditions environnementales et méthodologiques dans lesquelles l'étude a été effectuée. Les résultats ne peuvent s'appliquer à d'autres contextes sans procéder à des essais spécifiques en lien avec des objectifs particuliers.

1. Introduction

À la demande du Conseil d'administration de la Commission de la santé et sécurité du travail (CSST), l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) a réalisé entre 2002 et 2004 une étude sur l'évaluation de l'*Impact d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde* (1) dont la norme actuellement en vigueur au Québec est de 2 ppm ou 3 mg/m³ (2).

Dans le cadre de cette étude (1), la problématique de l'utilisation d'instruments à lecture directe (ILD) pour l'évaluation en temps réel des concentrations de vapeurs de formaldéhyde a pris une acuité nouvelle. En effet, lors des interventions dans les établissements, certaines lectures prises à l'aide d'ILD à des postes de travail ont été difficilement explicables. Elles semblaient être associées à la présence concomitante d'autres substances organiques rendant cette évaluation en temps réel des concentrations du formaldéhyde inapproprié, voire impossible à interpréter.

En hygiène du travail, il existe des méthodes dites intégrées d'évaluation des vapeurs de formaldéhyde émises en milieux de travail pour des expositions de longue durée. Ces méthodes, largement documentées, ne font pas l'objet d'un bilan dans le cadre de la présente étude. La méthode analytique normalisée de l'IRSST 295-1 (3) consiste en un prélèvement effectué sur un tube de polymère XAD-2 imprégné d'hydroxyméthyle pipéridine.

Ces méthodes dites intégrées ne permettent pas d'évaluer les concentrations ponctuelles et instantanées, donc de vérifier le respect de la norme plafond. Pour réaliser une évaluation en temps réel, des ILD sont disponibles et utilisés couramment par les intervenants en santé et en sécurité du travail au Québec. Ces instruments ont des limites d'utilisation qui, fréquemment, ne sont pas spécifiées par leurs fabricants. Enfin, certaines de leurs caractéristiques physiques et d'opération limitent leur capacité à évaluer la valeur plafond d'un contaminant.

2. Objectifs de l'étude

La présente étude vise à documenter en laboratoire les *effets*¹ et les *interférences*² induits par des substances organiques concomitamment présentes avec le formaldéhyde en milieux de travail sur certains instruments à lecture directe et ainsi, estimer la faisabilité technique de mesurer en temps réel des vapeurs de formaldéhyde. Les objectifs poursuivis sont :

- Évaluer l'impact de la présence concomitante d'une ou de plusieurs substances chimiques sur la réponse de quatre instruments à lecture directe (effet et interférence).
- Documenter une méthode d'évaluation en temps réel de l'exposition aux vapeurs de formaldéhyde et ainsi, être en mesure de mieux évaluer une valeur plafond.

Afin d'atteindre ces objectifs, il faut s'assurer dans un premier temps de la performance des instruments telle que spécifié par leurs fabricants, leur exactitude, leur précision et leur limite de quantification fixées. Ces données sont rapportées intégralement dans le présent rapport ont été vérifiées en établissant la courbe de réponse.

¹ Une substance peut induire un effet sur le signal (lecture) du système de détection d'un instrument exposé à celle-ci à une concentration connue.

² Un mélange composé d'une substance et de formaldéhyde peut interférer sur la lecture d'un instrument exposé à celui-ci.

Enfin, la présente étude vise à apporter des réponses expliquant certaines incohérences observées dans les lectures des instruments utilisés au cours de l'étude réalisée (1).

3. Méthodologie

Des concentrations connues de formaldéhyde (HCHO) (3) et d'autres substances organiques sélectionnées pour leur présence potentielle en même temps que le formaldéhyde dans les milieux de travail ont été générées dans une chambre similaire à celle développée par l'IRSST pour établir le diagnostic de l'asthme professionnel (4). La méthode de génération du formaldéhyde à partir du paraformaldéhyde utilisée dans cette étude correspond à celle décrite par Balmat en 1985 (5). Elle est utilisée notamment pour le diagnostic de l'asthme professionnel et pour l'étalonnage des instruments de mesure du formaldéhyde, disponibles à l'IRSST.

Les substances et le formaldéhyde générés au cours des essais ont été quantifiés selon les méthodes documentées et normalisées de l'IRSST. Les instruments à l'étude ont été étalonnés selon les méthodes de l'IRSST, s'il y a lieu, par le fabricant lui-même ou selon ses spécifications, quand de telles méthodes ne sont pas documentées par l'IRSST.

3.1. Principe de fonctionnement des instruments évalués

Les instruments évalués dans la présente étude sont un moniteur photoacoustique de marque Innova modèle 1312 (méthode d'étalonnage IRSST-39A) (6) muni du filtre UA 986, un spectrophotomètre dans la région de l'infrarouge de marque Thermo Environmental Instruments modèle Miran série SapphIRe, un lecteur par colorimétrie de marque Dräger modèle CMS et un détecteur par électrochimie de marque PPM Technology modèle Formaldemeter^{MD} 400. À l'exception du Miran, ces instruments ont été utilisés dans l'étude demandée par la CSST (1).

La présente section résume les principes de détection de chacun des instruments et les spécifications techniques disponibles émises par leur fabricant. Certaines caractéristiques mentionnées occasionnent des restrictions importantes pour une évaluation d'une valeur plafond, notamment en zone respiratoire du travailleur en cours d'exécution de ses tâches.

3.1.1. Photoacoustique : Innova modèle 1312 (7,8)

Le principe de la technique par photoacoustique consiste en une excitation des molécules par une radiation dans la région de l'infrarouge (IR) et une détection des ondes de pression ainsi générées à l'aide de microphone. L'effet photoacoustique se décrit par la génération d'ondes de pression suite à l'absorption d'une lumière pulsée de la région de l'infrarouge à travers un prélèvement gazeux. Cette radiation du spectre électromagnétique est fonction du filtre optique utilisé spécifique à une ou des substances. Quand la substance est irradiée par cette onde lumineuse, elle absorbe une partie de l'énergie selon sa concentration. Les fluctuations de température suite à l'énergie absorbée par la substance génèrent des ondes de pression dans la chambre d'analyse de l'instrument. Ces ondes de pression sont mesurées par un microphone à condensateur et sont proportionnelles à la concentration de la substance, exprimée en ppm ou en mg/m³.

L'instrument de marque Innova modèle 1312, nommé dans ce rapport Innova, fonctionne selon ce principe. La longueur d'onde centrale sélectionnée pour la mesure du formaldéhyde est de 3,6 µm. La limite de quantification linéaire pour le filtre utilisé dans l'instrument faisant l'objet de la présente étude est 0,06 ppm. La précision est de 1 % de la lecture. La dérive du zéro est équivalente à ± 2,5 % par période de trois mois. Le temps de réponse de l'instrument fonctionnant en continu est d'environ 60 secondes selon les paramètres utilisés, tels le nombre de

filtres optiques sélectionnés, la longueur de la sonde de prélèvement, le mode d'analyse, etc. Le débit d'aspiration de la période de purge de la sonde de prélèvement et de la chambre d'analyse est 1,8 L/min et celui pour emplir la chambre d'analyse 0,3 L/min. Pour une opération optimale, la température de cette chambre doit atteindre 25 °C de plus que la température ambiante du prélèvement. Cet écart implique que l'instrument nécessite une très longue période de réchauffement, environ 90 minutes.

Même si une substance absorbe l'énergie correspondant à ses liaisons chimiques spécifiques, il peut y avoir interférence due aux structures similaires des autres substances présentes dans le prélèvement. Pour obtenir une meilleure sélectivité, il est possible d'irradier la substance à analyser ainsi que celle interférant sur la lecture pour atténuer l'effet de cette dernière en utilisant des filtres distincts et spécifiques à chacune des substances. Il s'agit de l'utilisation en mode compensation croisée qui nécessite un étalonnage particulier.

Cet instrument a deux modes de compensation croisée, un mode pour compenser la contribution due à une substance simultanément présente dans le prélèvement à analyser, compensation mentionnée précédemment, et un autre, pour l'atténuation ou la compensation du signal dû à l'humidité du prélèvement. Seul le mode de compensation pour l'humidité a été utilisé au cours des essais de l'étude bien que, selon le fabricant, le filtre pour la mesure des vapeurs de formaldéhyde UA 986 ne soit pas affecté par l'humidité. L'instrument a été étalonné avant le début des essais selon la méthode d'étalonnage 39-A de l'IRSST (6), méthode de référence conforme aux spécifications du fabricant.

3.1.2. Spectroscopie : Miran (8,9)

La vapeur irradiée par la lumière à une certaine longueur d'onde dans la région de l'infrarouge (IR) absorbe une partie de l'énergie lumineuse de façon proportionnelle à sa concentration. Selon la loi de Beer-Lambert, l'absorbance à une longueur d'onde spécifique et correspondant à l'empreinte d'une substance est directement proportionnelle à la concentration de cette dite substance à analyser.

Pour la mesure du formaldéhyde avec l'instrument de marque Thermo Environmental Instruments modèle Miran série SapphIRE, nommé dans le rapport Miran, la source de radiation est un filament d'alliage métallique incandescent. Lorsque chauffée à 825 °C, cette source émet toutes les longueurs d'onde du spectre de l'infrarouge. Un couperet rotatif, appelé *hacheur optique*, interrompt et synchronise le faisceau lumineux unique à une intensité. Le faisceau lumineux simple traverse un filtre optique variable qui élimine les longueurs d'onde non pertinentes à l'analyse avant d'atteindre la chambre d'analyse. Dans cette dernière, ce faisceau lumineux est réfléchi sur des miroirs et parcourt un chemin optique de 0,5 ou de 12,5 mètres (m), selon le contaminant à analyser. Une quantité d'énergie est absorbée par la substance à analyser avant que la radiation infrarouge atteigne le détecteur. Ce dernier est un filament de tantalate de lithium (LiTaO₃), sensible à de faibles variations de chaleur. L'énergie reçue par le détecteur est convertie en un signal électrique, qui est amplifié et transmis à l'affichage numérique en terme de concentration, exprimée en ppm ou en mg/m³.

Dans cet instrument, la longueur d'onde sélectionnée pour la mesure du formaldéhyde est de 3,573 µm, avec un chemin optique de 12,5 m. Selon les spécifications du fabricant, la limite de quantification linéaire est 0,11 ppm. L'exactitude est de 10 % de la lecture. Le débit d'aspiration du prélèvement est de 14 L/min. Le volume de la cellule est de 2,23 L. Les conditions

d'opération normale sont de 5 ° à 40 °C, 5 à 95 % d'humidité relative et à une pression atmosphérique variant de 86 à 106 kPa.

Étant donné que les vapeurs absorbent l'énergie sur une gamme spectrale étroite, et seulement aux longueurs d'ondes spécifiques aux liens chimiques présents, les instruments se basant sur la spectroscopie infrarouge offrent une certaine sélectivité. Il peut, cependant, arriver qu'une vapeur soit de structure très similaire à celle faisant l'objet d'analyse et interfère sur la lecture. Leurs spectres peuvent être semblables et les bandes d'absorption peuvent se chevaucher, surestimant ainsi la concentration réelle.

Le mode de compensation pour le Miran est relatif à la température, à l'humidité et à la pression. Ce mode est pour atténuer les effets sur la lecture des conditions environnementales. De plus, la compensation tend à éliminer la dérive due à une variété de facteurs incluant le bruit de fond électronique. Au cours du cycle de vérification du zéro, elle compare le signal à la longueur d'onde analytique à celui d'une longueur d'onde de non absorption de référence, 4,004 μm . Le signal analytique est alors ajusté, si nécessaire, pour annuler la dérive potentielle du zéro. Dans le mode d'opération des essais, les mesures sont affichées après 80 secondes. L'instrument évalué a été étalonné avant le début des essais par le fabricant. Aucun certificat d'étalonnage n'a été émis.

3.1.3. Colorimétrie : Dräger modèle CMS (10,11)

Le système de mesure de la technique par colorimétrie évalué dans l'étude est de marque Dräger modèle CMS (*Chips measurement system*). Son principe de détection est basé sur la réaction chimique du gaz ou vapeur à analyser avec un produit réactif approprié inséré dans un tube capillaire d'une plaquette. Cette réaction est suivie par un système optoélectronique. Le résultat, exprimé en ppm, est affiché. Chaque plaquette comprend dix tubes capillaires. Les paramètres nécessaires à la mesure, tels le débit massique, le temps maximum de la réaction, etc. sont mémorisés dans le code à barres imprimé sur la plaquette et sont décodés par l'instrument.

Le formaldéhyde réagit avec l'hydroxylaminophosphate contenu dans les tubes capillaires pour dégager de l'acide phosphorique (H_3PO_4). Cet acide est détecté au moyen d'un indicateur de pH par le changement de coloration de vert bleu à jaune.

Bien que l'instrument fonctionne par diffusion passive, les essais ont été effectués en utilisant le système d'aspiration intégré afin d'assurer une aspiration uniforme des prélèvements du mélange généré. Le débit d'aspiration de la pompe est inférieur à 500 mL/min. La plage de mesure pour le formaldéhyde est 0,2 à 5 ppm, 0,2 ppm étant la plus petite lecture possible (limite minimale de quantification) rapportée par le fabricant. Les composants électroniques de l'instrument ne permettent pas d'afficher une lecture inférieure à 0,2 ppm, ni aucune valeur négative. Le temps nécessaire à la réaction varie en fonction de la concentration de vapeurs présentes dans le prélèvement, de 100 à 600 secondes. Selon les spécifications du fabricant, l'exactitude est de $\pm 0,19$ ppm à 1 ppm et de $\pm 0,95$ ppm à 5 ppm. Le coefficient de variation ou précision est de ± 25 % pour une plage de 0,2 à 0,9 ppm et de ± 15 % pour une plage de 1 à 5 ppm. Les lectures doivent être corrigées pour la température et l'humidité des prélèvements, - 2,5 % par °C pour les températures supérieures à 20 °C et de + 3,3 % par °C pour les températures inférieures à 20 °C, - 2 % par mg/L pour l'humidité de 2 à 8 mg/L et + 4 % par mg/L pour l'humidité de 10 à 12 mg/L. Selon les spécifications du fabricant, les plaquettes pour le formaldéhyde sont étalonnées à 20 °C et 50 % d'humidité relative pour une plage de mesure de 0,2 à 5 ppm.

Cet instrument, nommé dans ce rapport CMS, est vérifié par le fabricant en fonction de son temps d'utilisation, après environ 450 lectures ou annuellement. La période de vérification établie par le

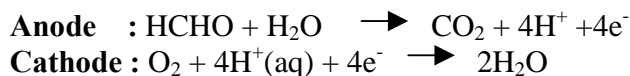
fabricant est inscrite dans les paramètres de l'instrument, empêchant ainsi son utilisation si cette période est atteinte. L'instrument utilisé pour les essais a été vérifié avant le début de l'étude par le fabricant.

3.1.4. Électrochimie : PPM Technology modèle Formaldemeter^{MD} 400 (12)

Le détecteur de marque PPM Technology modèle Formaldemeter^{MD} 400, nommé dans le présent rapport PPM, comprend une cellule fonctionnant par électrochimie. Cette cellule est constituée de deux électrodes en métal baignant dans un électrolyte approprié pour quantifier les vapeurs de formaldéhyde. Les vapeurs prélevées au moyen d'un système d'aspiration interne passent au-dessus de la cellule générant un voltage à l'électrode catalytique active suite à la réaction d'oxydation du formaldéhyde. L'amplitude de ce voltage est directement proportionnelle à la concentration du formaldéhyde. La température d'opération est de 5 ° à 40 °C. Les composants électroniques de l'instrument ne permettent pas d'afficher une lecture inférieure à zéro, donc aucune valeur négative. La lecture affichée est exprimée en ppm. Sa précision est de ± 10 % de la lecture à 2 ppm. Le fabricant ne fournit pas d'information relative à l'exactitude. Selon le manuel d'instruction du fabricant, une lecture de fond d'environ 0,05 ppm peut être obtenue dans une atmosphère exempte de formaldéhyde. Cette valeur servira de limite de quantification, car aucune mention relative à une telle limite n'est rapportée dans le manuel d'instruction de l'instrument ni sur les sites Internet consultés :

<http://www.ppm-technology.com/formaldemeter.html> et <http://www.enmet.com> .

Selon le fabricant de l'instrument utilisé, la réaction chimique impliquée est :



Pour contrer certaines interférences, l'instrument est muni d'un filtre. Le phénol et le résorcinol peuvent être éliminés par l'utilisation de ce filtre. Enfin, l'instrument peut lire les concentrations du formaldéhyde de façon ponctuelle sur une très courte période, environ 8 secondes. Toutefois, il a besoin d'une période de décontamination entre chacun des prélèvements. Cette période est fonction du niveau de contamination; plus le milieu est contaminé, plus cette période est longue. Cette dernière, selon le fabricant, peut atteindre plus de trois minutes entre chaque prélèvement.

Le PPM est étalonné au début de chacun des essais à l'aide d'un tube de perméation selon la méthode recommandée par le fabricant. La concentration de formaldéhyde émise par le tube de perméation dépend de la température de la solution et de la concentration dans la phase aqueuse, conformément à la loi d'Henry. En fonction des conditions environnementales ambiantes, une concentration connue de formaldéhyde est libérée et aspirée par l'instrument. À une température stable de 22 ° et 23 °C et 25 % d'humidité relative, le tube de perméation émet entre 2,93 ppm et 3,15 ppm de formaldéhyde, selon la charte qui l'accompagne.

3.2. Conditions de génération

Des vapeurs de formaldéhyde ont été générées à des concentrations variant de 0,1 à 2,5 ppm dans une chambre, schématisée à la figure 1. Les conditions environnementales des générations varient entre 18 et 22 % d'humidité relative et entre 20 ° et 22 °C.

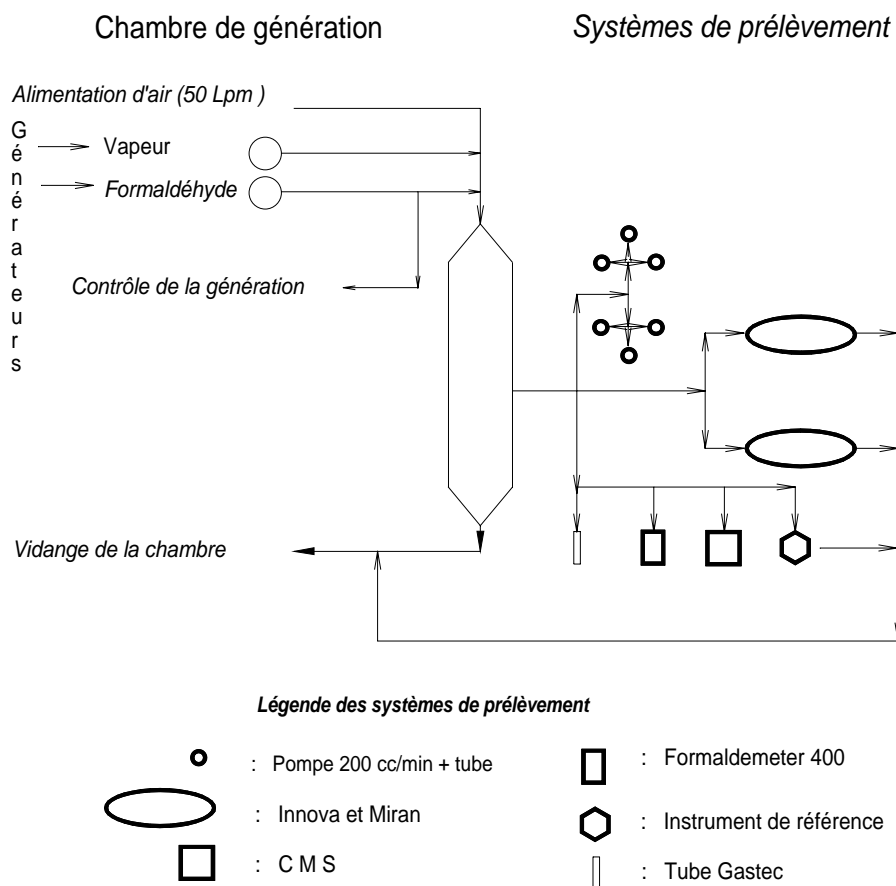


Figure 1 : Schéma du montage de génération

Les vapeurs de formaldéhyde sont produites en chauffant du paraformaldéhyde à une température de 80 °C (5). Le chauffage du paraformaldéhyde tel que décrit par Balmat est à la base de la méthode utilisée dans la présente étude.

300 à 500 mg de paraformaldéhyde solide sont déposés dans le réservoir d'un générateur plongé dans un bain thermostaté rempli d'huile de silicone chauffée à 80 °C. Un débit d'air de 0,5 à 1,1 L/min circule dans ce générateur et entraîne les vapeurs de formaldéhyde produites par la dépolymérisation du paraformaldéhyde ainsi chauffé. 10 à 60 % des vapeurs de formaldéhyde ainsi générées sont ensuite éliminées directement à la sortie du générateur et le reste est mélangé à un débit d'air de dilution de 50 L/min. Cette élimination permet une stabilité dans la génération en atténuant les pulsations inhérentes au procédé de génération. Ce mélange dilué est ensuite dirigé vers une chambre où une concentration stable et connue y est maintenue. Cette chambre est maintenue à une pression négative d'environ 0,4 cm d'eau, afin d'éviter toute fuite accidentelle. Tous les paramètres de génération sont ajustés et contrôlés par un logiciel informatique conçu et réalisé par l'IRSST.

Des prélèvements de formaldéhyde ainsi généré sont effectués sur des tubes de XAD-2 imprégnés d'hydroxyméthyle pipéridine (120/60 mg). Ils sont analysés par chromatographie en phase gazeuse avec détection à l'azote et au phosphore (CPG-DAP) selon la méthode analytique IRSST 295-1 (3) dont la limite de quantification est de 2 µg. L'exactitude de la méthode 295-1

(3) est 85 % et son incertitude étendue 10,1 %³ L'incertitude étendue comprend le coefficient de variation analytique et celui assumé pour le système de prélèvement, avec une certitude de ± 95 %. Les résultats de ces prélèvements ont servi de référence.

Six prélèvements simultanés sont effectués à un débit d'environ 0,2 L/min pour recueillir un volume total de 25 L pour les essais relatifs à la courbe de réponse des instruments. Le temps de prélèvement est estimé en fonction de la concentration ciblée par l'essai et correspond à la durée de l'essai qui varie de 30 à 100 minutes.

Pour évaluer l'effet d'une autre substance ou l'interférence sur la lecture des instruments, un deuxième générateur, non chauffé a été utilisé. Lors des essais pour estimer l'effet d'une substance, la substance seule est générée. Six prélèvements sur le milieu collecteur approprié à la substance (tableau 1) ont été effectués en parallèle à l'exposition des instruments. Ces résultats analytiques ont servi de référence pour estimer l'effet sur la lecture des instruments.

Les essais pour estimer l'interférence due à une substance impliquaient la génération simultanée de formaldéhyde et de la dite substance, donc l'utilisation des deux générateurs. Trois prélèvements de formaldéhyde sur XAD-2 et trois prélèvements sur le milieu collecteur approprié à la substance étaient effectués simultanément avec l'exposition des instruments. Les résultats analytiques obtenus en conformité aux méthodes de référence de l'IRSST servaient de référence pour estimer l'interférence sur la lecture. Un seul exemplaire de chaque instrument était exposé en parallèle aux différents mélanges à plusieurs concentrations sur plus d'une journée.

Les évacuations des instruments demandant un grand volume d'aspiration sont retournées dans le circuit de génération afin d'éviter les pulsations de pression occasionnées par cette aspiration. Pour ce qui a trait aux prélèvements des instruments ayant de faibles volumes d'aspiration, le mélange est évacué directement dans l'air de la hotte. La sortie de la chambre de génération, installée dans la hotte, est munie d'un filtre capteur afin de ne pas évacuer les mélanges générés à l'environnement.

L'instrument nommé dans la figure 1, instrument de référence, était utilisé pour percevoir les fluctuations dans les concentrations générées. Il n'était pas utilisé à titre de référence pour l'interprétation des résultats. Il fonctionne selon le principe de photoionisation et est de marque Rae Systems modèle MiniRae Plus (13). Selon les spécifications du fabricant, il a une exactitude de 10 % de la lecture ou ± 2 ppm pour un étalonnage à l'aide de 100 ppm d'isobutylène. Le temps de réponse pour atteindre 90 % de la concentration réelle est inférieur à trois secondes. La photoionisation est une technique non spécifique de détection des substances ionisables. L'énergie émise par la lampe, dont la longueur d'onde est dans la région de l'ultraviolet, ionise les substances ayant un potentiel égal ou supérieur à leur pouvoir d'ionisation (8,13). La lampe de l'instrument utilisé a un potentiel d'ionisation de 10,6 eV. Une courbe de réponse de cet instrument pour chacune des substances à générer a été préalablement élaborée aux concentrations ciblées.

Compte tenu que cet instrument ne pouvait pas suivre les concentrations de méthanol, la lecture obtenue via le filtre UA 936 pour le méthanol installé dans l'Innova a servi pour ce suivi. Ce filtre a une limite de quantification pour le méthanol de 0,08 ppm. Sa longueur d'onde centrale est 9,8 μm . Cet instrument a été préalablement étalonné selon la méthode IRSST 39-A (6).

³ Les données d'exactitude et d'incertitude étendue ont été obtenues conformément à l'instruction de travail 1-G-020 actuellement en processus d'approbation (27/05/2005) du Manuel qualité Direction des opérations, Services et expertise de laboratoire IRSST.

Au cours des essais, des prélèvements ponctuels par colorimétrie sur tubes de marque Gastec (14) pour la détection du méthanol, du phénol et du formaldéhyde ont également été effectués. La réaction chimique pour le méthanol entraîne un changement de coloration de rose saumon à bleu pâle et est donné par l'équation suivante :



La plage de mesure, selon le nombre de coups de pompe, est de 20 à 1 000 ppm. L'écart relatif standard est de 15 % pour la plage couverte par l'étude de 40 à 200 ppm pour un volume de 100 mL correspondant à un coup de pompe. Le temps de réaction est de trois minutes par coup de pompe.

La réaction chimique pour le phénol entraîne un changement de coloration de jaune pâle à gris et est résumée par l'équation suivante :



La plage de mesure, pour deux coups de pompe, est de 1 à 25 ppm avec un écart relatif standard de 15 % pour la plage 1 à 5 ppm et de 10 % pour la plage de 5 à 25 ppm.

La réaction chimique pour le formaldéhyde entraîne un changement de coloration de jaune à brun rougeâtre et est résumée par l'équation suivante :



La plage de mesure, pour cinq coups de pompe ou 500 mL, est de 0,1 à 5 ppm avec un écart relatif standard de 1 % pour la plage 0,1 à 0,5 ppm et 5 % pour la plage de 0,05 à 5 ppm. La pompe utilisée pour ces prélèvements est de modèle GV-100s et a été préalablement vérifiée selon les spécifications du fabricant.

3.3. Substances étudiées

Les substances étudiées étaient le méthanol, le phénol, le toluène, le xylène, l'éthylbenzène, l'alcool isobutylique, l'éthanol, le naphta VM&P. Ces substances peuvent être présentes, selon le procédé industriel, dans des milieux de travail où les vapeurs de formaldéhyde sont susceptibles d'être également présentes, notamment dans les industries du bois et des panneaux agglomérés (phénol), de la fabrication de formaldéhyde et de résines à base de formaldéhyde (phénol, méthanol), les services de thanatopraxie (méthanol), les secteurs du meuble (solvants, tel toluène, xylène, éthylbenzène, isobutanol, naphta VM&P), l'industrie de la transformation de matières plastiques (phénol), de la finition textile (solvants et colorants) et les laboratoires de pathologie (toluène, éthanol). Ces secteurs d'activités (15-22) ont fait l'objet d'intervention dans le cadre de l'étude sur l'abaissement de la norme du formaldéhyde (1).

La quantification de ces substances étudiées était effectuée selon les méthodes analytiques normalisées de l'IRSST par chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation à la flamme (CPG-DIF). Les résultats analytiques de ces prélèvements ont servi de valeur de référence. Des prélèvements simultanés par essai (six pour les essais sur l'effet et trois pour ceux sur l'interférence) sont effectués à un débit variant selon les spécifications de la méthode analytique. Le temps de prélèvement tient compte de ce débit et du volume prélevé. Il est estimé en fonction de la concentration ciblée par l'essai et correspond à la durée de l'essai qui a varié de 15 à 97 minutes.

Les numéros des méthodes pour ces substances, leur exactitude (E) et leur incertitude étendue (IE), la limite de quantification analytique (LQ), le volume de prélèvement (V) et le matériel de prélèvement nécessaire sont énumérés au tableau 1, tel que décrit par l'IRSST dans le *Guide d'échantillonnage des concentrations de l'air en milieu de travail* (23).

Tableau 1 : Méthodes analytiques des substances à l'étude

Substance	Méthode	E ¹ (%)	IE ¹ (%)	LQ (µg)	V (L)	Matériel de prélèvement	VEMP ² VECD ³ (ppm)	
							Méthanol	92-2
Éthanol	91-2	nd	10,7	95	1	Charbon actif # 1 (100/50 mg)	1 000	--
Éthylbenzène	250-1	99	9,9	43,3	10	Charbon actif # 1 (100/50 mg)	100	125
Naphta VM&P	29-1	98	10,0	170	10	Charbon actif # 1 (100/50 mg)	300	--
Toluène	16-2	92	10,1	10	5	Charbon actif # 1 (100/50 mg)	50	--
Xylène	101-2	99	10,6	50	12	Charbon actif # 1 (100/50 mg)	100	150
Isobutanol	278-1	95	10,1	75	10	Charbon actif # 1 (100/50 mg)	50	--
Phénol	12-4	nd	nd	6,2	15	Barboteur (VC) (NaOH 0,1N)	5	--

1. Les données d'exactitude et d'incertitude étendue ont été obtenues conformément à l'instruction de travail 1-G-020 actuellement en processus d'approbation (27/05/2005) du Manuel qualité Direction des opérations, Services et expertise de laboratoire IRSST.
 2. VEMP : Valeur d'exposition moyenne pondérée – 8 heures.
 3. VECD : Valeur d'exposition de courte durée – 15 minutes.
- nd : non disponible.

3.4. Essais

Des essais spécifiques ont été effectués afin de valider la génération de formaldéhyde sans l'apport d'autres substances pouvant induire une lecture des instruments. Ils devaient donc, confirmer l'absence ou la présence d'autres aldéhydes ou d'autres substances potentiellement entraînées au cours de la dépolymérisation du paraformaldéhyde par chauffage (5).

Des prélèvements sur tube contenant 120/60 mg de copolymère styrène-divinylbenzène imprégné de 2-hydroxyméthyle pipéridine (Orbo 23) ont été effectués en triplicata à trois reprises à une concentration d'environ 1 ppm de formaldéhyde aux conditions de génération utilisées dans l'étude. L'analyse de ces prélèvements a été effectuée par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG-SM) (23). Certains aldéhydes visés par ces essais ne sont pas réglementés au Québec (2). Les résultats analytiques de trois autres prélèvements sur XAD-2, effectués simultanément aux tubes Orbo 23, ont servi de référence (3). La liste des aldéhydes, des méthodes analytiques et de leur limite de quantification analytique (LQ), du volume de prélèvement recommandé ainsi que les valeurs d'exposition (23), s'il y a lieu, sont énumérées au tableau 2.

Tableau 2 : Méthode analytique par aldéhydes

Liste des aldéhydes	Méthode IRSST	LQ (µg)	Volume (L)	VEMP ¹	VECD ²
				(ppm)	
Acétaldéhyde	322-1	0,09	10	25	--
Isovaléraldéhyde	324-1	0,05	10	--	--
Isobutyraldéhyde	325-1	0,03	10	--	--
Hexanal	327-1	0,07	10	--	--
Heptanal	321-1	0,04	10	--	--
Furfural	328-1	0,11	10	2	--
Acroléine	284-1	0,02	10	0,1	0,3
Propionaldéhyde	323-1	0,04	10	--	--
Butyraldéhyde	324-1	0,10	10	--	--
Valéraldéhyde	326-1	0,30	10	--	--

1. VEMP : Valeur d'exposition moyenne pondérée – 8 heures

2. VECD : Valeur d'exposition de courte durée – 15 minutes

Des prélèvements pour détecter la présence d'acide formique ont également été faits dans le mélange concentré de formaldéhyde à la sortie du générateur contenant le paraformaldéhyde. Ils ont été faits à l'aide de tubes fonctionnant par colorimétrie de marque Gastec (14). Les tubes utilisés sont dédiés à la détection de l'acide acétique. Le fabricant suggère de multiplier la lecture correspondant au changement de coloration par le facteur 2,6 lorsqu'en présence d'acide formique. La plage de mesure pour cet acide est de 5,2 à 130 ppm pour un volume de 100 mL. L'écart relatif standard est de 10 % pour une plage de 2 à 10 ppm. Le même tube a été utilisé avec quatre coups de pompe pour un volume de prélèvement de 400 mL. Ce prélèvement de volume, quatre fois supérieur à celui recommandé, sur le même tube visait à s'assurer de ne pas percevoir de changement de coloration (rose à jaune).

Afin de documenter la variation des concentrations de formaldéhyde généré, elle a été estimée à partir des lectures prises à chaque minute par des instruments ayant un système de détection par photoacoustique au cours des essais préliminaires de la présente étude et des vérifications effectuées après l'étalonnage des instruments qui constituent le parc d'instruments de l'IRSST. Cette vérification est effectuée de façon régulière après l'étalonnage de ces instruments à différentes concentrations cibles et représente un nombre significatif de lectures.

Après les ajustements des paramètres de génération pour les substances organiques, le mesurage était effectué à l'aide des instruments à lecture directe à l'étude. Ces lectures, exprimées en concentration de formaldéhyde, étaient comparées aux résultats analytiques moyens des six tubes de prélèvement appropriés à la substance générée (tableau 1). Cette comparaison servait à estimer si la substance générée affectait la lecture de l'instrument étudié. Tous les instruments étaient exposés à trois concentrations distinctes ou plus des substances ciblées. Les concentrations ont varié entre 5 % et 88 % de leur norme respective actuellement en vigueur au Québec, sauf pour le phénol. Pour cette dernière notamment, elles ont été supérieures afin de confirmer ou d'infirmer un résultat. La durée des essais variait jusqu'à 100 minutes et tenait compte du débit et du volume nécessaires aux prélèvements effectués en parallèle sur milieux collecteurs pour analyse.

Un autre mesurage était réalisé en présence concomitante d'une substance et de formaldéhyde afin d'estimer les interférences potentielles de cette substance sur la lecture des instruments. Pour ces essais, les vapeurs de formaldéhyde générées correspondaient à une valeur médiane,

d'environ 1 ppm ou 50 % de la norme de formaldéhyde actuellement en vigueur au Québec. Les concentrations générées des substances ont varié entre 5 % à supérieur à 100 % de leur norme respective. Elles ont été élevées dans certains cas afin de confirmer ou d'infirmer les résultats. Ces deux séries de mesurages ont été effectuées à des concentrations distinctes et connues sur différentes journées.

La durée des essais était fonction des concentrations générées et ce, tant pour le formaldéhyde que pour les substances. Elle était fonction du volume nécessaire pour les prélèvements sur les tubes collecteurs. Le nombre de lectures effectuées par les instruments est tributaire de cette durée et des caractéristiques d'opération des instruments. Donc, plus l'essai était long, notamment pour une faible concentration, plus le nombre de lectures était grand. La moyenne de ces lectures prises au cours des essais est rapportée à titre de résultat et comparée aux résultats analytiques.

4. Résultats

Les résultats analytiques des prélèvements sur tubes pour l'évaluation des vapeurs de formaldéhyde et des substances organiques ont servi de référence pour évaluer l'impact (effet et/ou interférence) de la présence concomitante d'autres substances. Ils intègrent l'ensemble des variations des concentrations dans le système de génération au cours des essais.

En premier lieu, les résultats analytiques des aldéhydes pouvant être générés par chauffage du paraformaldéhyde sont rapportés ainsi que l'estimation de la variation des concentrations de formaldéhyde généré. Enfin, les lectures des instruments au cours des essais pour estimer effet et/ou interférence sur la lecture des instruments sont rapportées.

4.1. Génération de formaldéhyde

Les résultats analytiques pour les aldéhydes, effectués sur des tubes Orbo 23 sont colligés au tableau 3. Ils correspondent à la valeur minimale rapportée (VMR) pour les trois prélèvements par essai, essai répété à trois reprises. Les résultats calculés et exprimés en ppm pour les prélèvements sont transcrits sans tenir compte du nombre significatif de décimales. Les résultats moyens par essai de formaldéhyde, obtenus suite aux prélèvements sur les tubes Orbo 23 et sur XAD-2, y sont également colligés ainsi que leur écart type, s'il y a lieu.

Le volume moyen de prélèvements sur les tubes Orbo 23 par essai est respectivement de 12,71 L, 13,80 L et 14,16 L et la durée de 105, 115 et 118 minutes. Les prélèvements sur XAD-2 pour analyse selon la méthode 295-1 rapportés à la dernière ligne du tableau ont des volumes moyens respectifs de 22 L, 23,4 L et 24,4 L et leur durée est la même que celle pour les prélèvements sur les tubes Orbo 23.

Tableau 3 : Résultats analytiques par aldéhyde

Aldéhyde analysé	VMR* / LQ**	Résultat analytique*** des trois prélèvements (ppm)		
		Essai 1	Essai 2	Essai 3
Acétaldéhyde	< 0,09 µg	0,0058	0,0053	0,0052
Isovaléraldéhyde	< 0,05 µg	0,0032	0,0029	0,0029
Isobutyraldéhyde	< 0,03 µg	0,0020	0,0018	0,0017
Hexanal	< 0,07 µg	0,0045	0,0042	0,0040
Heptanal	< 0,04 µg	0,0025	0,0024	0,0023
Furfural	< 0,11 µg	0,0071	0,0065	0,0064
Acroléine	< 0,02 µg	0,0013	0,0011	0,0011
Propionaldéhyde	< 0,04 µg	0,0025	0,0024	0,0023
Butyraldéhyde	< 0,10 µg	0,0064	0,0059	0,0058
Valéraldéhyde	< 0,30 µg	0,0192	0,0177	0,0173

Résultats analytiques de référence :

Formaldéhyde 295-1	0,2 µg **	1,02 ± 0,04	0,92 ± 0,04	0,93 ± 0,04
--------------------	-----------	-------------	-------------	-------------

*VMR : Valeur minimale rapportée inscrite sur le rapport d'analyse.

**LQ : Limite de quantification de la méthode analytique.

*** Le résultat rapporté, VMR, est calculé en fonction du volume et du temps de prélèvement par essai. Il est exprimé en ppm. Ceux obtenus par la méthode 295-1 servent de référence.

Des prélèvements à la sortie du générateur de formaldéhyde, avant la dilution, à l'aide de tubes par colorimétrie de marque Gastec (14) n'ont pas révélé la présence d'acide formique dans le mélange concentré généré. Aucun changement de coloration n'a été observé.

La moyenne des écarts-type de 6 078 lectures, correspondant aux lectures faites en parallèle avec des prélèvements sur tubes XAD-2 lors de l'étalonnage des instruments du parc de l'IRSST a été utilisé pour estimer la variation des concentrations générées de formaldéhyde, ainsi établie à 0,1 ppm de formaldéhyde. Le nombre de lectures par essai et la concentration moyenne ainsi que l'écart type sont rapportés au tableau de l'annexe 1.

4.2. Courbes de réponse des instruments

La figure 2 présente la courbe de réponse du Innova et celle du Miran. Le tableau de l'annexe 2 collige les données qui ont servi à établir les courbes de la figure 2. La moyenne des lectures effectuées par les instruments est comparée aux résultats moyens d'analyse des six tubes de XAD-2, prélevés simultanément pour une concentration générée de formaldéhyde. L'erreur des lectures correspond au rapport de la différence entre la moyenne des lectures des instruments et celle des résultats analytiques. Ce rapport, exprimé en pourcentage (%), est assimilé à l'exactitude.

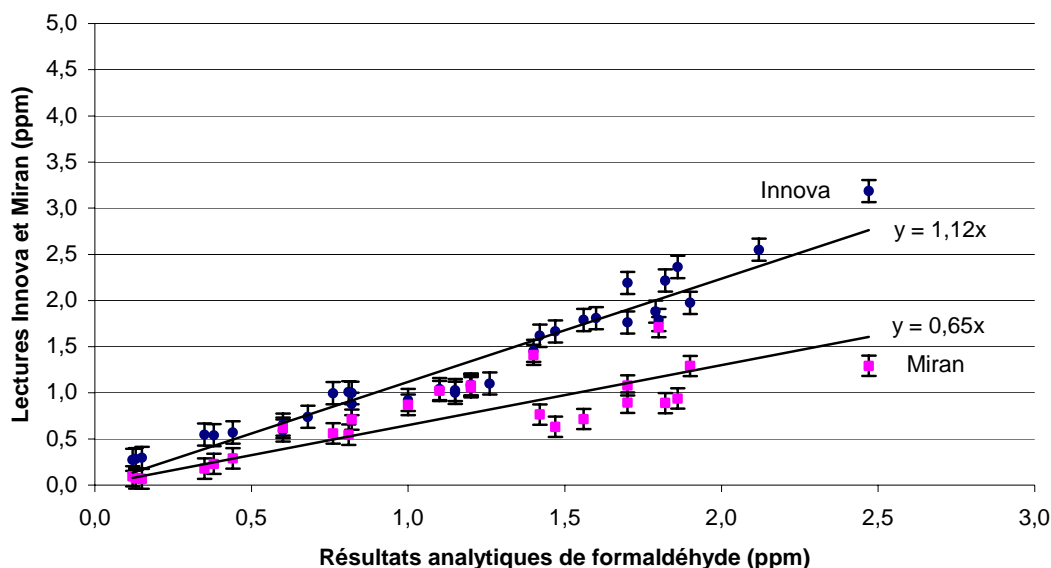


Figure 2 : Courbes de réponse du Innova et du Miran

Les moyennes des écarts-type par plage de lectures pour ces deux instruments sont colligées au tableau 4. Cet écart-type est pris en considération pour estimer la précision des lectures.

Tableau 4 : Moyenne des écarts-type du Innova et du Miran par plage de lectures

Plage de lectures	Innova (ppm)	Miran (ppm)
0,1 - 1,6 ppm	0,10	0,10
0,1 - 1,7 ppm	0,12	0,10
0,1 - 2,5 ppm	0,15	0,11
0,17 - 2,5 ppm	0,16	0,11

La figure 3 présente la courbe de réponse des instruments dont les systèmes de détection sont respectivement la colorimétrie, CMS, et l'électrochimie, PPM. Le tableau de l'annexe 3 collige les données qui ont servi à établir les courbes de la figure 3.

La moyenne d'un minimum de quatre lectures obtenues avec ces instruments est comparée aux résultats moyens d'analyse des six tubes. Toutes les lectures rapportées pour le CMS dans ce rapport ont été corrigées pour la température - 2,5 % par °C, et pour l'humidité - 0,03 % par mg/L, compte tenu des écarts entre les conditions environnementales des essais par rapport aux spécifications de vérification du fabricant. L'erreur des lectures pour ces deux instruments, exprimée en pourcentage, y est également rapportée.

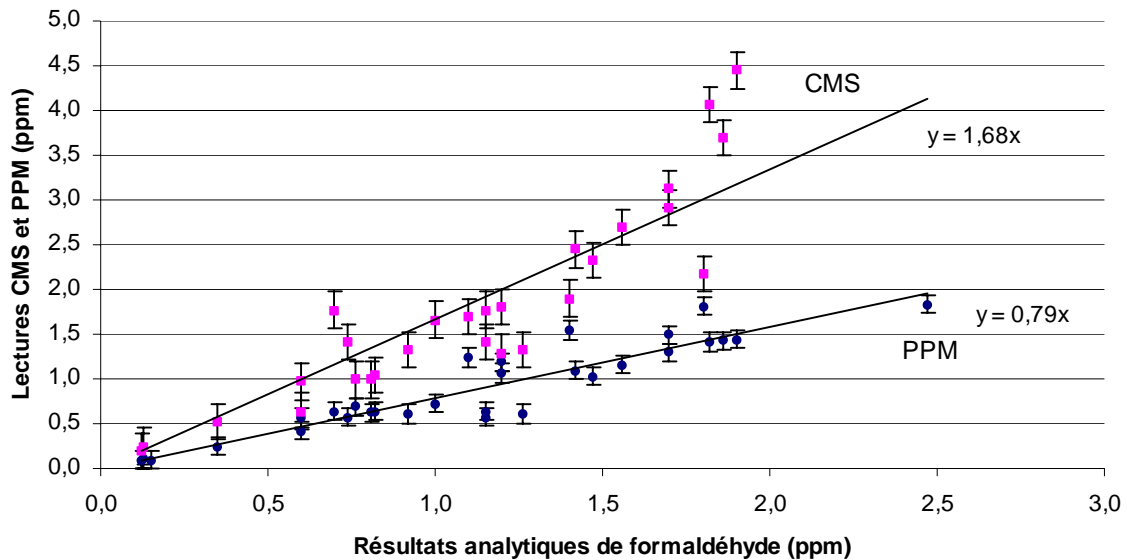


Figure 3 : Courbes de réponse du CMS et du PPM

Les moyennes des écarts-type par plage de lectures pour ces deux instruments sont colligées au tableau 5. Cet écart-type calculé à partir d'au moins quatre lectures est pris en considération pour estimer la précision de leurs lectures.

Tableau 5 : Moyenne des écarts-type des lectures du CMS et du PPM par plage de lectures

Plage de lectures	CMS (ppm)	PPM (ppm)
0,1 - 1,0 ppm	0,25	0,06
0,1 - 1,6 ppm	0,30	0,09
1,1 - 1,6 ppm	0,36	0,11
0,17 - 2,5 ppm	0,33	0,11

4.3. Effet des substances sur la lecture des instruments

Les résultats des essais d'exposition à une substance pour en déterminer son effet potentiel sur la lecture des instruments sont présentés au tableau 6. Les lectures moyennes par instrument, exprimées en ppm, étaient analysées au regard de la moyenne des résultats analytiques pour ces substances et du rapport de la concentration générée à la norme de celles-ci. Le tableau 6 rapporte la norme des substances et le rapport des concentrations générées à cette norme.

4.4. Interférence due aux substances sur la lecture des instruments

Les résultats des essais d'exposition à un mélange constitué de concentrations connues d'une substance et de formaldéhyde pour estimer l'interférence de la substance sur la lecture des instruments sont présentés au tableau 6. Les lectures moyennes, exprimées en ppm, par instrument étaient analysées au regard de la moyenne des résultats analytiques respectifs pour les deux constituantes du mélange auquel les instruments étaient exposés et du rapport de la concentration générée à la norme de la substance. L'importance de l'effet et/ou de l'interférence est relative à ce rapport. Plus le rapport est faible et que la lecture de l'instrument est élevée, plus cet effet et/ou cette interférence limitent l'utilisation de l'instrument dans un milieu de travail spécifique.

Tableau 6 : Effet et interférence des substances sur la lecture des instruments

Concentration générée (ppm) par substance	Norme (ppm)	Rapport à la norme (%)	Moyenne des lectures (ppm) par ILD			
			Innova	Miran	CMS (Corrigée)	PPM
Naphtha VM&P :	300	6	4,67	0,37	< 0,20	< 0,1
		18	35,15	3,08	< 0,20	< 0,1
		24	82,02	4,18	< 0,20	< 0,1
Naphtha VM&P/formaldéhyde :	300	20	107,6	6,27	3,78	0,87
		21	98,1	6,13	3,12	0,79
Éthylbenzène :	100	22	1,46	0,17	< 0,20	< 0,1
		47	3,53	0,65	< 0,20	< 0,1
		64	5,40	1,05	< 0,20	< 0,1
Éthylbenzène/formaldéhyde :	100	66	6,55	1,62	2,92	0,90
		69	6,54	1,55	2,84	0,81
Butanol :	100	5	0,91	0,41	< 0,20	< 0,1
		14	3,45	1,21	< 0,20	< 0,1
		29	10,67	2,60	< 0,20	0,22
Butanol/formaldéhyde :	100	44	27,2	4,62	3,26	1,74
		48	29,7	4,57	3,57	1,68
Xylènes :	100	7	0,73	< 0,11	< 0,20	< 0,1
		29	2,20	< 0,11	< 0,20	< 0,1
		49	3,52	0,17	< 0,20	< 0,1
Xylènes/formaldéhyde :	100	15	2,02	1,00	1,35	0,5
		15	1,87	0,79	1,29	0,4
		12	2,28	1,50		
		30	3,08	1,27		
Toluène :	50	16	0,48	0,11	< 0,20	< 0,1
		40	0,85	0,20	< 0,20	< 0,1
		66	1,19	0,27	< 0,20	< 0,1
Toluène/formaldéhyde :	50	86	2,92	1,66	3,20	0,96
		86	2,84	1,58	3,43	0,86
		162	5,28		4,63	1,32
Éthanol :	1000	8	24,90	4,58	< 0,20	1,90
		14	295,4	8,40	< 0,20	6,50
		36	2793	20,21	< 0,20	12,50
Éthanol/formaldéhyde :	1000	13	489	9,00	1,70	7,10
		14	520	10,0	1,99	6,60
Méthanol :	200	32	22,7	-0,63	< 0,20	0,90
		51	85,5	-1,41	< 0,20	0,97
		78	797,4	-2,93	< 0,20	1,47
		88	1816	-6,28		2,65
Méthanol/formaldéhyde :	200	27	33,5	-0,21		2,43
		71	555	-1,97	1,66	2,59
		69	544	-2,33	1,79	2,00
		88	1822	-4,19		4,24
Phénol :	5	110	0,23	-0,76	< 0,20	8,84
		112	0,24	-0,53	< 0,20	3,61
		122	0,21	-1,55	< 0,20	
		174	0,26	-1,99		
		232	0,39	-1,27		
Phénol/formaldéhyde :	5	68	2,18	1,44	0,85	5,15
		114	5,03	2,76	1,15 *	5,33

* Moyenne des lectures suite à l'élimination des lectures > 5 ppm

5. Interprétation des résultats et discussion

L'interprétation des résultats vise à : 1) évaluer l'effet et/ou l'interférence potentiels de substances sur la lecture des instruments et 2) documenter l'évaluation en temps réel du formaldéhyde à l'aide des quatre instruments.

5.1. Courbes de réponses des instruments

L'erreur calculée entre les lectures pour chacun des instruments à l'étude et les résultats analytiques de formaldéhyde sur tube XAD-2 (annexes 2 et 3) décrit l'exactitude des instruments aux conditions d'étalonnage lors des essais. L'addition de la limite de quantification rapportée par le fabricant et la variation estimée des concentrations générées de formaldéhyde est comparée à l'écart type des lectures obtenues pour ces essais et sert à estimer la précision des instruments. Le résultat de cette addition est appelé écart acceptable dans le tableau 7 qui collige l'erreur calculée (ligne 2) et l'écart type des lectures par instrument (ligne 3) ainsi que l'écart acceptable (ligne 6).

Tableau 7 : Erreur calculée et écart type des lectures par rapport à l'écart acceptable

	Innova	Miran	CMS	PPM
Erreur calculée (exactitude)	± 12 %	13 %	+ 50 %	± 21%
Écart type obtenu (précision)	0,15 ppm	0,11 ppm	0,31 ppm	0,11 ppm
Limite de quantification	0,06 ppm	0,11 ppm	0,2 ppm	0,05 ppm
Variation des concentrations	0,1 ppm	0,1 ppm	0,1 ppm	0,1 ppm
Écart acceptable	0,16 ppm	0,21 ppm	0,3 ppm	0,15 ppm

5.1.1. Innova

Les lectures obtenues avec l'Innova pour les concentrations inférieures à 0,5 ppm de formaldéhyde semblent inexactes par rapport aux résultats analytiques, car l'erreur au niveau cette plage de lecture est supérieure à + 30 %. Pour la plage variant de 0,5 à 1,7 ppm, l'erreur moyenne est ± 12 %. En conséquence, la lecture de cet instrument est estimée exacte au regard de la moyenne obtenue pour la plage de 0,5 à 1,7 ppm. La moyenne des écarts-type de cette plage (0,15 ppm) est inférieure à l'écart estimé acceptable. Donc, la lecture de cet instrument est estimée précise (répétitive).

5.1.2. Miran

Selon les résultats obtenus avec le Miran, l'erreur calculée pour la plage de 0,6 à 1,4 ppm varie en moyenne de 13 %. Sur toute la plage de lecture, les lectures sont inférieures aux résultats analytiques aux conditions d'étalonnage effectué par le fabricant. Au regard des moyennes des écarts-type (0,11 ppm), les lectures sont estimées comme étant précises (répétitives) sur toute la plage des concentrations couverte par les essais.

5.1.3. CMS

Les lectures corrigées pour la température et l'humidité du prélèvement pour le CMS tendent vers le double des résultats analytiques et ce, sur la plage complète des essais. L'erreur moyenne calculée des lectures de cet instrument pour l'évaluation du formaldéhyde est supérieure à 50 % et ce, malgré la correction apportée. L'écart-type entre les lectures corrigées pour la plage allant jusqu'à 2,5 ppm est supérieur à l'écart estimé acceptable de 0,3 ppm. Toutefois, les écarts-type de ses lectures corrigées dans la plage inférieure à 1,6 ppm sont inférieurs ou égaux à cet écart.

Compte tenu des moyennes des écarts-type (0,31 ppm), sa lecture corrigée est estimée non précise (non répétitive), particulièrement dans la plage supérieure à 1,1 ppm.

5.1.4. PPM

Les moyennes des lectures obtenues avec le PPM sont inférieures aux résultats analytiques. L'écart entre ces deux concentrations varie jusqu'à - 34 %. L'erreur moyenne est estimée à $\pm 21,3$ %. L'écart-type entre les lectures (0,11 ppm) est inférieur à l'écart acceptable. Au regard des moyennes des écarts-type, la lecture de cet instrument est estimée précise (répétitive).

5.2. Effet des substances sur la lecture des instruments

Une substance peut induire un effet faussement positif ou négatif sur le signal du système de détection d'un instrument. Pour estimer cet effet à partir des résultats de l'étude, deux critères sont établis. Le premier critère s'énonce comme suit : la lecture moyenne à une concentration donnée pour une dite substance doit être supérieure au double de la limite de quantification de l'instrument à évaluer. Le deuxième critère établi est fonction de différents rapports calculés : celui de la concentration générée de la substance sur sa norme (tableau 8, colonne 2), celui des lectures des instruments sur la norme du N HCHO (tableau 8, colonnes subséquentes). Si le rapport des lectures des instruments par rapport à la norme actuelle de formaldéhyde est inférieur à 15 % (0,3 ppm), la substance est estimée comme n'induisant pas d'effet sur la lecture.

Tableau 8 : Effet sur la lecture en terme des rapports aux normes par substance

Substance	Concentration générée /Ns	Lecture Innova / N HCHO	Lecture Miran / N HCHO	Lecture CMS / N HCHO	Lecture PPM / N HCHO
Naphta VM&P	5,7 %	233 %	18,5 %	< 10 %	5 %
	17,7 %	1 757 %	154 %	< 10 %	5 %
	24,0 %	4 101 %	209 %	< 10 %	5 %
Éthylbenzène	22,0 %	73 %	8,5 %	< 10 %	5 %
	47,0 %	177 %	32 %	< 10 %	5 %
	64,0 %	270 %	52 %	< 10 %	5 %
Butanol	5,0 %	46 %	21 %	< 10 %	5 %
	14,0 %	173 %	61 %	< 10 %	5 %
	29,0%	534 %	130 %	< 10 %	11 %
Xylènes	7,0 %	37 %	5,5 %	< 10 %	5 %
	29,0 %	110 %	5,5 %	< 10 %	5 %
	49,0 %	176 %	8,5 %	< 10 %	5 %
Toluène	16,0 %	24 %	5,5 %	< 10 %	5 %
	40,0 %	43 %	10,0 %	< 10 %	5 %
	66,0 %	69 %	13,5 %	< 10 %	5 %
Éthanol	7,6 %	1 245 %	229 %	< 10 %	95 %
	14,1 %	14 777 %	420 %	< 10 %	325 %
	36,1 %	139 650 %	1 010 %	< 10 %	625 %
Méthanol	32,5 %	1 135 %	- 32 %	< 10 %	45 %
	51,0 %	4 275 %	- 71 %	< 10 %	49 %
	78,5 %	39 870 %	- 147 %	< 10 %	74 %
	88,0 %	90 800 %	- 314 5	< 10 %	133 %
Phénol	110,0 %	12,5 %	- 27 %	< 10 %	181 %
	112,0 %	10,5 %	- 77 %	< 10 %	181 %
	122,0 %	11,5 %	- 38 %	< 10 %	- - -
	174,0 %	13,0 %	- 100 %	< 10 %	- - -
	232,0 %	19,5 %	- 64 %	< 10 %	- - -

À titre d'exemple, une substance dont la concentration générée équivaut à moins 5 % de sa norme peut induire une lecture supérieure au double de la limite de quantification de l'instrument et équivaloir à plus de 200 % de la norme québécoise pour le formaldéhyde. Ainsi, une concentration d'éthanol (7,6 % de sa norme ou 76 ppm) affecte grandement la lecture du Innova (1245 % ou 24,9 ppm par rapport à la norme de 2 ppm de formaldéhyde). Dans une telle situation, l'instrument ne pourrait être utilisé avec fiabilité en présence de la substance et ce, même à de faibles concentrations.

Seul le phénol n'induit pas d'effet sur le signal de détection du Innova avec le filtre pour la mesure du formaldéhyde. Le méthanol et le phénol induit négativement un effet sur le signal du Miran. Les substances évaluées ne semblent pas induire un effet sur la lecture du CMS. L'éthanol, le phénol et le butanol, selon la concentration de ce dernier induisent un effet sur le signal du PPM. L'affichage du CMS et du PPM ne permet pas des lectures négatives.

En conclusion, au regard de l'estimation de l'effet d'une substance, l'évaluation du formaldéhyde dans les milieux de travail où certaines de ces substances sont émises par le procédé et ce, même en l'absence de formaldéhyde, ne peut être effectuée avec fiabilité à l'aide des instruments ayant comme système de détection la photoacoustique (Innova) et la spectroscopie dans la région de l'infrarouge (Miran). Par contre, lors d'émissions de phénol inférieures au double de sa norme actuelle, notamment dans le secteur du plastique (résine phénolique), un instrument ayant une détection par photoacoustique peut être utilisé en portant une attention toute particulière aux concentrations des substances présentes. Le CMS pourrait être utilisé dans de tels milieux, car sa lecture n'est pas affectée par ces substances en l'absence du formaldéhyde, mais il faut tenir compte de son erreur et de son manque de précision ainsi que les calculs de correction pour les conditions environnementales ambiantes. Le PPM ne pourrait pas être utilisé pour l'évaluation du formaldéhyde dans les milieux où des alcools sont émis, notamment en pathologie et en thanatopraxie.

5.3. Interférence des substances sur la lecture des instruments

Des stratégies d'évaluation en terme de valeur d'exposition moyenne pondérées (VEMP) sont documentées dans la littérature (24-26). Par contre, l'évaluation d'une substance ayant une valeur plafond à l'aide d'un instrument à lecture directe présente souvent des difficultés techniques en ce qui a trait à l'interprétation des données, car certaines substances présentes dans le milieu de travail peuvent constituer, notamment une interférence sur le signal d'un instrument.

Afin de déterminer s'il y a interférence sur la lecture des instruments lorsqu'ils sont exposés à des mélanges constitués de formaldéhyde et d'une substance, différents calculs sont présentés au tableau 9 : le rapport des concentrations générées de formaldéhyde dans le mélange en fonction de sa norme québécoise actuellement en vigueur ($R_{HCHO/2}$), exprimé en pourcentage, ainsi que celui de la différence entre les lectures moyennes obtenues pour chacun des instruments et le résultat analytique de formaldéhyde. Ces rapports illustrent la lecture obtenue en lien avec la norme de formaldéhyde (HCHO). À titre d'exemple, 130 ppm d'éthanol en présence de 0,6 ppm de HCHO entraîne une lecture significativement différente de la concentration réelle de formaldéhyde. Les lectures respectives pour chacun des instruments lorsque exposés à ce mélange sont 489 ppm (2 4450 %), 9 ppm (450 %), 1,7 ppm (85 %) et 7,1 ppm (355 %).

Deux critères sont établis pour estimer une interférence sur la lecture d'un instrument par une substance. Le premier critère fait référence aux rapports des lectures par rapport à la norme de formaldéhyde (colonnes 3, 5, 7 et 9 du tableau 9) qui doivent être différents de ceux des

concentrations de formaldéhyde à sa norme (colonne 2 du tableau 9). Si ces rapports des lectures sont supérieurs à ceux des concentrations générées de formaldéhyde, l'interférence est dite positive. S'ils sont inférieurs, elle est dite négative. En ce qui a trait au deuxième critère, la différence entre les lectures des instruments et le résultat analytique de formaldéhyde (colonnes 4, 6, 8 et 10 du tableau 9) doit être supérieure au double de la limite de quantification de l'instrument fixée par leur fabricant. Si les deux critères retenus sont rencontrés de façon positive, l'interférence est alors, dite positive, et vice versa.

5.3.1. Innova

Au regard des deux critères établis pour estimer l'interférence, toutes les substances faisant l'objet de l'étude interfèrent positivement sur la lecture du Innova lors de l'utilisation du filtre UA 986 pour la mesure du formaldéhyde. Par ailleurs, cet instrument peut fonctionner avec le mode de compensation pour des substances. Ce mode d'opération n'a pas été évalué dans la présente étude. À titre d'exemple, pour réduire l'interférence de ces substances, l'instrument doit être doté de filtre pour la mesure de la substance et procéder à un étalonnage en compensation croisée. Ainsi, dans un milieu où il y a application de vernis et de peinture, notamment dans le secteur du meuble, il devrait être muni de quatre filtres UA 987 pour chacune des substances suivantes, l'éthylbenzène, le xylène, le toluène et le méthanol, en plus de celui pour le formaldéhyde, UA 986.

5.3.2. Miran

Le naphtha VM&P, l'éthylbenzène, le butanol, le toluène, l'éthanol et le phénol interfèrent positivement sur le système de détection du Miran. Le xylène ne répond pas au deuxième critère quant à la différence entre la lecture et le résultat analytique de formaldéhyde, cet écart étant légèrement inférieur au double de la limite de quantification. Par contre, en tenant compte des résultats relatifs à l'erreur de cet instrument, les lectures inscrites au tableau 9 décrivent une interférence produite par le xylène, car les lectures obtenues sont supérieures à celles escomptées suite aux essais relatifs à la courbe de réponse. Enfin, le méthanol interfère de façon négative sur le signal du Miran, car les valeurs pour les deux critères sont négatives.

5.3.3. CMS

Au regard des critères retenus, toutes les substances faisant l'objet de l'étude interfèrent positivement sur la lecture du CMS de Dräger lors de l'utilisation de plaquettes pour la mesure du formaldéhyde pour une plage de 0,2 à 5 ppm. Toutes les lectures corrigées pour la température et l'humidité, obtenues au cours des essais pour estimer l'interférence, sont supérieures à celles anticipées par rapport aux essais relatifs à la courbe de réponse.

5.3.4. PPM

Les substances faisant l'objet de l'étude interfèrent sur sa lecture du PPM. Le naphtha VM&P, l'éthylbenzène, le xylène et le toluène, ont une interférence négative. Selon le tableau 9, les lectures obtenues au cours des essais pour estimer l'interférence sont inférieures à celles anticipées suite aux essais relatifs aux courbes de réponse.

Tableau 9 : Interférence sur la lecture en terme de rapport des concentrations de formaldéhyde généré à sa norme et de la différence des lectures des résultats et résultats analytiques en formaldéhyde

Mélange de HCHO et de	R HCHO/2 (ppm *)	L-Innova/2 (ppm *)	L-Innova-R	L-Miran/2 (ppm *)	L-Miran-R	L-CMS**/2 (ppm *)	L-CMS**-R	L-PPM /2 (ppm *)	L-PPM-R
Naphta VM&P	85 % (1,7)	5 380 % (107,6)	105,9 ppm	313 % (6,27)	4,6 ppm	189 % (3,78)	2,08 ppm	43,5 % (0,87)	- 0,83 ppm
	70 % (1,4)	4 905 % (98,1)	96,7 ppm	306 % (6,13)	4,7 ppm	156 % (3,12)	1,72 ppm	39,5 % (0,79)	- 0,61 ppm
Éthylbenzène	65 % (1,3)	328 % (6,55)	5,3 ppm	81 % (1,62)	0,32 ppm	146 % (2,92)	1,62 ppm	45 % (0,90)	- 0,40 ppm
	55 % (1,1)	32 % (6,54)	5,4 ppm	78 % (1,55)	0,45 ppm	142 % (2,84)	1,74 ppm	41 % (0,79)	- 0,29 ppm
Butanol	80 % (1,6)	1 360 % (27,2)	25,6 ppm	231 % (4,62)	3,0 ppm	163 % (3,26)	1,66 ppm	87 % (1,74)	0,14 ppm
	75 % (1,5)	1 485 % (29,7)	28,2 ppm	229 % (4,57)	3,1 ppm	179 % (3,57)	2,07 ppm	84 % (1,68)	0,18 ppm
Xylène	40 % (0,8)	100 % (2,02)	1,2 ppm	50 % (1,0)	0,20 ppm	55 % (1,35)	0,55 ppm	25 % (0,5)	- 0,30 ppm
	35 % (0,7)	94 % (1,87)	1,2 ppm	40 % (0,79)	0,09 ppm	59 % (1,29)	0,59 ppm	20 % (0,4)	- 0,30 ppm
	65 % (1,3)	114 % (2,28)	1,0 ppm	75 % (1,50)	0,20 ppm	---	---	---	---
	50 % (1,0)	154 % (3,08)	2,1 ppm	64 % (1,27)	0,27 ppm	---	---	---	---
Toluène	65 % (1,3)	146 % (2,92)	1,6 ppm	83 % (1,66)	0,36 ppm	160 % (3,20)	1,90 ppm	48 % (0,96)	- 0,34 ppm
	55 % (1,1)	142 % (2,84)	1,7 ppm	79 % (1,58)	0,48 ppm	172 % (3,43)	2,33 ppm	43 % (0,86)	- 0,24 ppm
	90 % (1,8)	264 % (5,28)	3,5 ppm	---	---	231 % (4,63)	2,83 ppm	66 % (1,32)	- 0,48 ppm
Éthanol	30 % (0,6)	24 450 % (488,6)	488 ppm	450 % (9,0)	8,4 ppm	85 % (1,70)	1,10 ppm	355 % (7,10)	6,50 ppm
	45 % (0,8)	26 000 % (519,8)	519 ppm	500 % (10)	9,1 ppm	100 % (1,99)	1,09 ppm	330 % (6,6)	5,70 ppm
Méthanol	75 % (1,5)	1 675 % (33,5)	32,0 ppm	- 11 % (-0,21)	- 1,7 ppm	---	---	121 % (2,43)	0,93 ppm
	45 % (0,9)	27 750 % (554,9)	554 ppm	- 99 % (-1,97)	- 2,9 ppm	83 % (1,66)	0,76 ppm	130 % (2,59)	1,70 ppm
	45 % (0,9)	27 200 % (543,9)	543 ppm	- 117 % (-2,33)	- 3,2 ppm	90 % (1,79)	0,89 ppm	100 % (2,0)	1,10 ppm
	85 % (1,7)	91 100 % (1 821,7)	1 820 ppm	- 210 % (-4,19)	- 5,9 ppm	---	---	212 % (4,24)	2,54 ppm
Phénol	28 % (0,56)	109 % (2,18)	1,62 ppm	72 % (1,44)	0,9 ppm	43 % (0,85)	0,29 ppm	258 % (5,15)	4,59 ppm
	55 % (1,1)	252 % (5,03)	3,9 ppm	138 % (2,76)	1,7 ppm	> 58	na	266 % (5,33)	4,23 ppm

Mélange : Le mélange est composé de formaldéhyde et d'une substance, à des concentrations connues.

R HCHO/2 : Rapport des concentrations générées de HCHO rapportées en ppm entre parenthèse en fonction de la norme québécoise de formaldéhyde (2 ppm), exprimé en pourcentage.

L/2 : Rapport de la lecture de chacun des instruments rapportée en ppm entre parenthèse sur la norme québécoise de formaldéhyde (2 ppm).

L ... -R : Différence entre la lecture de chacun des instruments et le résultat analytique du formaldéhyde généré.

* La concentration générée pour la substance lors de l'essai est entre parenthèse.

** Lecture corrigée pour la température et pour l'humidité selon les spécifications du fabricant.

na : Non applicable.

De plus, les rapports des lectures (premier critère) sont inférieurs au rapport des concentrations de formaldéhyde générées et leurs différences avec les résultats analytiques sont négatifs. Ce constat suscite un questionnement relatif à l'effet de ces substances sur la lecture de cet instrument. Les conclusions de ces essais sont qu'elles n'ont pas d'effet sur la lecture. Or, si ces substances ont une interférence négative au regard des critères établis, leur effet pourrait-il être négatif si l'instrument pouvait afficher une valeur négative ? L'étude ne peut que soulever la question. L'éthanol, le méthanol et le phénol interfèrent positivement sur la lecture. Le butanol ne répond pas au deuxième critère sur la différence entre la lecture et le résultat analytique, lors des essais d'interférence, cet écart étant légèrement inférieur au double de la limite de quantification. Donc, compte tenu de la lecture attendue en fonction de sa courbe de réponse, du critère relatif au rapport à la norme de formaldéhyde (premier critère), le butanol, selon sa concentration, interfère positivement sur la lecture.

5.4. Résumé des essais effet et interférence

Les conclusions des essais pour estimer l'effet et l'interférence des substances sont résumées au tableau 10, exprimées en terme de lecture faussement positive (+) ou négative (-) en présence d'une substance ou d'interférence positive ou négative en présence d'un mélange composé d'une substance et de formaldéhyde. L'annotation zéro (0) indique qu'aucun effet ou interférence sur la lecture n'a été observé suite aux essais de la présente étude.

Tableau 10 : Effet et interférence sur la lecture des instruments

Substance	Innova		Miran		CMS		PPM	
	Effet	Interférence	Effet	Interférence	Effet *	Interférence	Effet **	Interférence
Naphta VM&P	+	+	+	+	0	+	0	-
Éthylbenzène	+	+	+ ***	+	0	+	0	-
Butanol	+	+	+	+	0	+	+ ***	+ ***
Xylènes	+	+	0	+ ***	0	+	0	-
Toluène	+	+	0	+	0	+	0	-
Éthanol	+	+	+	+	0	+	+	+
Méthanol	+	+	-	-	0	+	+	+
Phénol	0	+ ***	-	+	0	+ ***	+	+

* Il peut exister un biais dans l'évaluation de l'effet, car l'instrument n'affiche pas de lecture inférieure à 0,2 ppm, ni négative.

** Il peut exister un biais dans l'évaluation de l'effet, car l'instrument n'affiche pas de lecture négative.

*** Selon la concentration de la substance, il y a une lecture faussement positive ou interférence.

Les résultats des essais pour estimer l'effet et l'interférence ont été compilés à partir des lectures sur un seul instrument. Bien que répétés pour confirmation de ceux-ci, ces essais ne répondent pas aux critères d'analyse statistique reconnus pour établir ou modifier l'exactitude, la précision et la limite de quantification d'un instrument. Les mesurages pour estimer l'effet d'une substance sur la lecture d'un instrument ont été faits à trois concentrations distinctes sur plus d'une journée. Ceux pour estimer l'interférence ont été faits sur au moins deux concentrations sur plus d'une journée. La moyenne des lectures de chacun des instruments au cours d'un essai à une concentration ciblée constitue le résultat rapporté. Le nombre des lectures par essai est fonction de la durée de l'essai, de la concentration ciblée, du volume nécessaire pour l'analyse. Celui pour le CMS et le PPM est inférieur à celui pour l'Innova et le Miran. Ce nombre moindre est dû au délai d'analyse pour le CMS et à celui de la décontamination pour le PPM. Il limite la portée des résultats pour ces deux instruments. À titre d'exemple, un essai de 60 minutes à environ 1 ppm de

formaldéhyde comprend, théoriquement 60 lectures pour l'Innova, 45 pour le Miran, 14 pour le CMS et un nombre moindre, difficile à estimer, pour le PPM. De plus, pour ce dernier, le temps de décontamination observé en milieux de travail (1) et lors de la présente étude est nettement supérieur à celui rapporté par le fabricant. Enfin, l'effet d'une substance sur la lecture de cet instrument entraîne une contamination réduisant sensiblement ce nombre de lectures au cours d'un même essai.

5.5. Évaluation en temps réel du formaldéhyde

Plusieurs caractéristiques physiques et d'opération des instruments limitent la faisabilité de l'évaluation en temps réel des vapeurs de formaldéhyde. Plusieurs observations faites au cours de l'étude d'impact de l'abaissement de la norme (1) avaient soulevé des questions importantes quant à l'interprétation des lectures lors de l'évaluation en milieu de travail.

5.5.1. Innova

L'Innova a un court délai d'analyse, environ une minute. La lecture est affichée à la fin de ce délai et peut fournir des lectures permettant de brosser le portrait d'une exposition au formaldéhyde de quelques secondes (durée du prélèvement) à toutes les minutes environ (délai d'analyse). En utilisant une longue sonde de prélèvement, l'évaluation de l'exposition d'un travailleur en zone respiratoire pourrait être faite. Par contre, il est lourd et gros, voire difficilement maniable en milieux de travail, particulièrement, parce qu'il n'a pas de système intégré d'alimentation. L'ajout en parallèle d'un tel système (batterie 12 Volts, 80 Ampères/heure et inverseur de courant) accroît son manque de maniabilité. Enfin, cet instrument peut fonctionner en mode compensation croisée en utilisant un filtre spécifique pour chacune des substances interférant sur le signal du système de détection. Cette multiplication de filtres entraîne un délai d'analyse accru.

Les substances ayant fait l'objet des présents essais et susceptibles d'être présentes dans le milieu de travail induisent un effet ou interfèrent sur la lecture de l'instrument, rendant celui-ci non fiable pour une évaluation dans certains milieux de travail. En conclusion, l'évaluation en zone respiratoire du travailleur présente des contraintes au regard des caractéristiques de l'instrument et du système d'alimentation ajouté en parallèle.

5.5.2. Miran

Le Miran est lourd, gros et possède un système intégré d'alimentation. Le délai d'analyse du prélèvement est supérieur à une minute. La lecture est affichée à la fin de ce délai. Une évaluation en zone respiratoire du travailleur en cours d'exécution de ses tâches est potentiellement réalisable en utilisant une sonde de prélèvement d'environ 1 cm de diamètre. L'instrument peut fournir des lectures permettant de brosser le portrait d'une exposition au formaldéhyde de quelques secondes (durée du prélèvement) à toutes les 80 secondes environ (délai d'analyse). Les substances ayant fait l'objet des présents essais et susceptibles d'être présentes interfèrent sur la lecture, rendant l'instrument non fiable pour une évaluation de vapeurs de formaldéhyde dans de tels milieux de travail. Ses caractéristiques physiques limitent l'évaluation en zone respiratoire du travailleur.

5.5.3. CMS

Le CMS est compact, léger et possède un système d'alimentation intégré. La durée du prélèvement est fonction de la concentration dans le milieu. Ce délai avant l'affichage varie de 250 secondes, pour les concentrations supérieures à 1 ppm, à 10 minutes, pour les concentrations

inférieures à 0,5 ppm. Le prélèvement peut être effectué en zone respiratoire du travailleur au cours de l'exécution de ses tâches, car l'instrument peut être muni d'une sonde de prélèvement avec un système d'aspiration intégré. L'instrument peut fournir des lectures permettant de broser le portrait intégré d'une exposition au formaldéhyde sur la période de prélèvement dont la durée varie de quelques secondes à dix minutes. Il faut tenir compte des conditions environnementales de température et d'humidité relative du milieu. Des corrections doivent être apportées à la lecture en fonction de l'écart de température et celui d'humidité entre le milieu à évaluer et la température de vérification par le fabricant. Elles peuvent représenter une différence significative dans des situations extrêmes. Enfin, les substances faisant l'objet des essais de la présente étude interfèrent sur la lecture. Un effet négatif potentiel n'a pu être perçu, car l'instrument ne donne aucun résultat inférieur à 0,2 ppm.

5.5.4. PPM

Le PPM est compact, léger et possède un système d'alimentation intégré. La lecture est affichée après un maximum de huit secondes. Le temps de décontamination après un prélèvement peut atteindre plus de trois minutes, en fonction de la concentration en formaldéhyde dans le milieu. Le prélèvement pourrait être effectué en zone respiratoire du travailleur au cours de l'exécution de ses tâches permettant ainsi de broser le portrait d'une exposition au formaldéhyde variant de quelques secondes aux trois minutes ou plus, selon la concentration de formaldéhyde. Enfin, les substances faisant l'objet des essais de la présente étude interfèrent sur la lecture, notamment les alcools et le phénol. Un filtre interférentiel est disponible pour éliminer l'effet du phénol. Ce filtre n'a pas été évalué au cours des présents essais.

En conclusion, compte tenu des résultats obtenus dans la présente étude, les lectures obtenues avec ces quatre instruments doivent être interprétées en portant une attention toute particulière à la présence suspectée d'autres substances. Selon le milieu de travail, plusieurs substances peuvent avoir un effet sur leur lecture ou interférer celle-ci. Ces instruments possèdent des caractéristiques d'opération contraignant l'évaluation de l'exposition à une substance ayant une valeur plafond comme norme.

6. Conclusion

L'évaluation de l'exposition des travailleurs à une substance ayant une valeur plafond, tel le formaldéhyde, est complexe. Le recours à des instruments à lecture directe représente une solution. Toutefois, les caractéristiques physiques des instruments peuvent créer certaines restrictions parfois majeures pour cette évaluation, plus particulièrement, en zone respiratoire du travailleur lors de l'exécution de ses tâches. De plus, plusieurs limites doivent être prises en compte lors de l'interprétation des lectures ainsi obtenues. Bien que la lecture soit affichée dans un délai relativement court, il faut considérer la présence d'autres substances dans le milieu de travail qui peuvent avoir un effet sur la lecture de l'instrument ou l'interférer. La connaissance de la présence de telles substances dans le milieu à évaluer permet d'anticiper une erreur significative du diagnostic au regard du respect de la norme québécoise actuelle du formaldéhyde.

Les résultats présentés sont fonction des conditions environnementales et méthodologiques dans lesquelles l'étude a été effectuée de même que les normes actuellement en vigueur au Québec. Ils ne peuvent s'appliquer à d'autres contextes sans procéder à des essais spécifiques en lien avec des objectifs particuliers.

7. Références

- (1) Goyer, N., Perreault, G., Beaudry, C., Bégin, D., Bouchard, M., Carrier, G., Gérin, M., Lefebvre, P., Noisel, N., (2004). *Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde*. Études et recherches, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, R-386, 126p. Montréal, Québec.
- (2) Gouvernement du Québec. (2001). *Règlement sur la santé et la sécurité du travail*. Décret 885-2001, Éditeur officiel, Québec.
- (3) IRSST (1995). *Analyse du formaldéhyde dans l'air - Méthode 295-1*. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail du Québec, Montréal, Québec.
- (4) Lemièrre, C., Clouthier, Y., Perreault, G., Drolet, D., Cartier, A., Malo, J.L., (1996). *Closed-circuit Apparatus for Specific Inhalation Challenges with an Occupational Agent, Formaldehyde, in Vapor Form*. Occupational and Environmental Lung Disease, CHEST 106(6) pp1631-1635.
- (5) Balmat, J.L., (1985). *Generation of Constant Formaldehyde Levels for Inhalation Studies*. American Industrial Hygiene Association Journal 46(12) pp690-692.
- (6) IRSST (2000). *Étalonnage d'un instrument à lecture directe ayant un système de détection par spectroscopie photoacoustique infrarouge - Méthode 39-A*. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, Montréal, Québec.
- (7) Innova (1997). *1312 Photoacoustic Multi-gas Monitor - Technical Documentation - Instruction Manual and Field Guide*. Innova AirTech Instruments A/S, Ballerup, Denmark.
- (8) Legris, M., Roberge, B., Pépin, P. (2004). *Manuel d'hygiène du travail : du diagnostic à la maîtrise des facteurs de risque*, Échantillonnage et analyse de l'air en temps réel, pp459-489. AQHSST Modulo-Griffon, Mont-Royal, Québec.
- (9) Miran 205B Series SapphIRe (1999). *Portable Ambient Air Analysers, Instruction Manual*. Thermo Environmental Instruments Franklin, MA.
- (10) Dräger (1998). *Mode d'emploi Analyseur CMS avec DataRecorder intégré*. Dräger Sicherheitstechnik GmbH, Lübeck, Allemagne.
- (11) Dräger (2004). *Livre de poche Tubes réactifs/CMS Dräger*. Dräger Sicherheitstechnik GmbH, Lübeck, Allemagne.
- (12) PPM Technology (2001). *PPM Formaldemeter^{MD} 400 Opération Manual*. Bangor, United Kingdom.
- (13) RAE Systems (1998) *Operation and maintenance Manual MiniRae Plus*. 002-4001, Sunnyvale, CA.
- (14) Gastec (2000). *Manuel Technologie d'analyse environnementale*, Gastec Corporation IMO-1-01, Japon.
- (15) Goyer, N., Beaudry, C., Bégin, D. et al, (2004). *Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde Industrie de fabrication panneaux agglomérés*. Études et recherches, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, RA3-386, 100p. Montréal, Québec.

- (16) Goyer, N., Beaudry, C., Bégin, D. et al, (2004). *Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde Autres industries du bois*. Études et recherches, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, RA4-386, 49p. Montréal, Québec.
- (17) Goyer, N., Bégin, D. et al, (2004). *Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde Industrie de la fabrication de meubles en bois*. Études et recherches, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, RA5-386, 50p. Montréal, Québec.
- (18) Goyer, N., Beaudry, C., Bégin, D. et al, (2004). *Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde Industries de fabrication de formaldéhyde et de résines à base de formaldéhyde*. Études et recherches, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, RA6-386, 54p. Montréal, Québec.
- (19) Goyer, N., Bégin, D. et al, (2004). *Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde Laboratoires de pathologie*. Études et recherches, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, RA8-386, 38p. Montréal, Québec.
- (20) Goyer, N., Bégin, D. et al, (2004). *Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde Industrie des services funéraires*. Études et recherches, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, RA9-386, 24p. Montréal, Québec.
- (21) Goyer, N., Bégin, D. et al, (2004). *Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde Industrie de finition textile*. Études et recherches, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, RA10-386, 54p. Montréal, Québec.
- (22) Goyer, N., Beaudry, C., Bégin, D. et al, (2004). *Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde Industrie de transformation de matières plastiques*. Études et recherches, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, RA11-386, 52p. Montréal, Québec.
- (23) IRSST (2005). *Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail*, 8^e édition revue et mise à jour, Études et recherches, Guide technique T-06, 191p, Montréal, Québec.
- (24) Deadman, J-E., (2004). *Manuel d'hygiène du travail : du diagnostic à la maîtrise des facteurs de risque*, Enquête préliminaire en hygiène du travail, pp377-390. AQHSST Modulo-Griffon, Mont-Royal, Québec.
- (25) Lavoué, J., Deadman, J-E., (2004). *Manuel d'hygiène du travail : du diagnostic à la maîtrise des facteurs de risque*, Enquête approfondie en hygiène du travail : Stratégies d'évaluation de l'exposition et d'interprétation des données, pp391-437. AQHSST Modulo-Griffon, Mont-Royal, Québec.
- (26) Gagné, D., Chabot, A., Asselin, M., Mastromatteo, M., (2004). *Manuel d'hygiène du travail : du diagnostic à la maîtrise des facteurs de risque*, Échantillonnage intégré et analyse de l'air, pp439-457. AQHSST Modulo-Griffon, Mont-Royal, Québec.

Annexe 1 : Estimation de la variation des concentrations de formaldéhyde généré

Nombre de mesures par essai	Concentration moyenne par essai (ppm)
	$\mu \pm \sigma$
443	0,24 ± 0,07
570	0,28 ± 0,02
478	0,29 ± 0,03
664	0,28 ± 0,07
379	0,24 ± 0,03
316	0,26 ± 0,04
225	0,54 ± 0,06
174	0,57 ± 0,05
233	0,56 ± 0,04
114	0,53 ± 0,05
249	0,97 ± 0,08
175	1,00 ± 0,04
225	1,00 ± 0,19
152	1,00 ± 0,17
138	1,10 ± 0,15
166	0,92 ± 0,06
117	0,95 ± 0,04
148	0,96 ± 0,20
155	1,03 ± 0,20
116	1,62 ± 0,07
128	1,67 ± 0,08
118	1,77 ± 0,10
79	1,65 ± 0,08
84	1,65 ± 0,08
77	1,76 ± 0,09
52	2,26 ± 0,13
78	2,26 ± 0,11
81	2,38 ± 0,11
53	2,38 ± 0,12
54	3,18 ± 0,22
37	3,24 ± 0,25

Nombre total	6 078 mesures	
Moyenne des écarts type		0,098 ppm

Annexe 2 : Lectures de la courbe de réponse du Innova et du Miran

Résultats d'analyse (ppm) $\mu \pm \sigma$ *	Lecture Innova (ppm) $\mu \pm \sigma$ **	Erreur (%)	Lecture Miran (ppm) $\mu \pm \sigma$ **	Erreur (%)
0,12 ± 0,01	0,28 ± 0,02	> 100	< 0,11	
0,13 ± 0,01	0,28 ± 0,07	> 100	< 0,11	
0,15 ± 0,01	0,29 ± 0,03	> 100	< 0,11	
0,35 ± 0,03	0,56 ± 0,04	+ 60	0,18 ± 0,03	- 49
0,38 ± 0,03	0,54 ± 0,06	+ 42	0,23 ± 0,04	- 39
0,44 ± 0,02	0,57 ± 0,05	+ 30	0,29 ± 0,03	- 34
0,60 ± 0,01	0,61 ± 0,06	+ 2	dt	
0,60 ± 0,06	0,64 ± 0,05	+ 7	0,62 ± 0,16	+ 3
0,68 ± 0,00	0,74 ± 0,11	+ 9	***	
0,76 ± 0,04	0,97 ± 0,08	+ 27	0,55 ± 0,06	- 28
0,81 ± 0,01	1,00 ± 0,04	+ 23	0,55 ± 0,02	- 32
0,82 ± 0,03	1,00 ± 0,19	+ 22	0,71 ± 0,14	- 13
0,82 ± 0,07	0,88 ± 0,08	+ 7	***	
1,00 ± 0,05	0,93 ± 0,12	- 7	0,87 ± 0,16	- 13
1,10 ± 0,08	1,01 ± 0,09	- 8	1,02 ± 0,15	- 7
1,15 ± 0,02	1,00 ± 0,17	- 13	***	
1,15 ± 0,06	1,03 ± 0,20	- 10	***	
1,20 ± 0,05	1,09 ± 0,15	- 9	1,06 ± 0,16	- 11
1,20 ± 0,05	1,08 ± 0,10	- 10	1,08 ± 0,12	- 10
1,26 ± 0,05	1,10 ± 0,15	- 13	***	
1,40 ± 0,21	1,45 ± 0,26	+ 4	1,41 ± 0,12	+ 0,7
1,42 ± 0,05	1,62 ± 0,07	+ 14	0,79 ± 0,06	- 44
1,47 ± 0,07	1,67 ± 0,08	+ 14	0,63 ± 0,03	- 57
1,56 ± 0,04	1,79 ± 0,10	+ 15	0,72 ± 0,05	- 54
1,60 ± 0,09	1,81 ± 0,15	+ 13	***	
1,70 ± 0,05	2,19 ± 0,47	+ 29	0,89 ± 0,25	- 48
1,70 ± 0,09	1,76 ± 0,21	+ 4	1,08 ± 0,13	- 36
1,79 ± 0,20	1,88 ± 0,44	+ 5	***	
1,80 ± 0,12	1,79 ± 0,55	- 0,5	1,71 ± 0,11	- 5
1,82 ± 0,05	2,22 ± 0,10	+ 22	0,90 ± 0,05	- 51
1,86 ± 0,08	2,38 ± 0,11	+ 28	0,94 ± 0,05	- 49
1,90 ± 0,21	1,99 ± 0,16	+ 5	1,29 ± 0,18	- 32
2,12 ± 0,11	2,55 ± 0,20	+ 20	***	
2,47 ± 0,12	3,18 ± 0,22	+ 29	1,28 ± 0,21	- 48
Moyenne des écarts type	0,15		0,11	
Moyenne de l'erreur		12 %		- 13 %

* Moyenne des six tubes ± leur écart-type.

** Moyenne des lectures ± leur écart-type

*** L'instrument n'a pas été exposé au cours de cet essai.

Annexe 3 : Courbes de réponse du CMS et du PPM

Résultats d'analyse (ppm) $\mu \pm \sigma$ *	Lecture corrigée CMS (ppm) $\mu \pm \sigma$ **	Erreur (%)	Lecture PPM (ppm) $\mu \pm \sigma$ **	Erreur (%)
0,12 ± 0,01	< 0,20		0,09 ± 0,01	- 25
0,13 ± 0,01	0,25 ± 0,17	+ 92	0,10 ± 0,06	- 23
0,15 ± 0,01	< 0,20		0,10 ± 0,02	- 33
0,35 ± 0,03	0,52 ± 0,13	+ 49	0,24 ± 0,04	- 31
0,60 ± 0,01	0,97 ± 0,27	+ 62	0,42 ± 0,08	- 30
0,60 ± 0,06	0,64 ± 0,13	+ 7	0,57 ± 0,07	- 5
0,70 ± 0,06	1,77 ± 0,36	> 100	0,64 ± 0,16	- 9
0,74 ± 0,01	1,41 ± 0,36	+ 91	0,57 ± 0,04	- 23
0,76 ± 0,04	0,99 ± 0,31	+ 30	0,69 ± 0,03	- 9
0,81 ± 0,01	0,99 ± 0,19	+ 22	0,62 ± 0,04	- 23
0,82 ± 0,03	1,04 ± 0,18	+ 27	0,64 ± 0,14	- 22
0,92 ± 0,04	1,32 ± 0,19	+ 43	0,61 ± 0,05	- 34
1,00 ± 0,05	1,66 ± 0,43	+ 66	0,72 ± 0,07	- 28
1,10 ± 0,08	1,69 ± 0,32	+ 54	1,24 ± 0,14	+ 13
1,15 ± 0,02	1,41 ± 0,36	+ 23	0,57 ± 0,04	- 50
1,15 ± 0,06	1,77 ± 0,36	+ 54	0,64 ± 0,16	- 44
1,20 ± 0,05	1,81 ± 0,56	+ 51	1,07 ± 0,22	- 11
1,20 ± 0,05	1,29 ± 0,21	+ 8	1,19 ± 0,27	- 0,8
1,26 ± 0,05	1,32 ± 0,19	+ 5	0,61 ± 0,05	- 52
1,40 ± 0,21	1,90 ± 0,33	+ 36	1,54 ± 0,10	+ 10
1,42 ± 0,07	2,45 ± 0,55	+ 73	1,09 ± 0,06	- 23
1,47 ± 0,07	2,32 ± 0,42	+ 58	1,03 ± 0,05	- 30
1,56 ± 0,04	2,70 ± 0,32	+ 73	1,16 ± 0,05	- 26
1,70 ± 0,05	2,91 ± 0,60	+ 71	1,50 ± 0,14	- 12
1,70 ± 0,09	3,12 ***	+ 84	1,30 ± 0,03	- 24
1,80 ± 0,12	2,17 ± 0,38	+ 21	1,81 ± 0,60	+ 0,6
1,82 ± 0,05	4,06 ± 0,39	> 100	1,41 ± 0,08	- 23
1,86 ± 0,08	3,70 ± 0,57	> 100	1,43 ± 0,07	- 23
1,90 ± 0,21	4,45 ***	> 100	1,44 ± 0,08	- 24
2,47 ± 0,12	> 5,0		1,83 ± 0,08	- 26
Moyenne des écarts type	0,31		0,11	
Moyenne de l'erreur		+50 %		21,3 %

* Moyenne des six tubes ± leur écart-type.

** Moyenne des lectures ± leur écart-type.

*** Une seule lecture a été retenue, car les autres affichaient une lecture > 5 ppm.