

**Évaluation de la flexibilité
et de la fiabilité
de détecteurs personnels
de monoxyde de carbone**

**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

**Brigitte Roberge
Nicole Goyer**

Jun 1992

T-20

GUIDE TECHNIQUE



IRSST
Institut de recherche
en santé et en sécurité
du travail du Québec

La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et finance, par subvention ou contrats, des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

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

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications.

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut et de s'abonner à *Prévention au travail* en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

ATTENTION

Cette version numérique vous est offerte à titre d'information seulement. Bien que tout ait été mis en œuvre pour préserver la qualité des documents lors du transfert numérique, il se peut que certains caractères aient été omis, altérés ou effacés. Les données contenues dans les tableaux et graphiques doivent être vérifiées à l'aide de la version papier avant utilisation.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec

IRSST - Direction des communications
505, boul. de Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1 551
Télécopieur: (514) 288-7636
Site internet : www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche en santé
et en sécurité du travail du Québec,

**Évaluation de la flexibilité
et de la fiabilité
de détecteurs personnels
de monoxyde de carbone**

**Brigitte Roberge et Nicole Goyer
Programme soutien analytique, IRSST**

**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

GUIDE TECHNIQUE

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

© Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec, juin 1992.



TABLE DES MATIÈRES

	Page
Remerciements	iii
Sommaire	iv
1. Introduction	1
2. Méthodologie	2
2.1 Choix des dosimètres	2
2.2 Description des essais	3
3. Résultats et discussion	6
3.1 Caractéristiques physiques	6
3.2 Caractéristiques informatiques	9
3.3 Performance des instruments	11
4. Stratégie de mesure du CO à l'aide de dosimètres personnels	19
5. Conclusion	22
6. Références	23



LISTE DES TABLEAUX

	Page
TABLEAU 1 : Caractéristiques physiques	7
TABLEAU 2 : Versatilité	8
TABLEAU 3 : Niveau d'alarme	9
TABLEAU 4 : Caractéristiques informatiques	11
TABLEAU 5 : Influence des températures	12
TABLEAU 6 : Influence des taux d'humidité	13
TABLEAU 7 : Temps de réponse	14
TABLEAU 8 : Courbes de réponse - Exactitude	15
TABLEAU 9 : Précision - Résultats	17
TABLEAU 10 : Précision - Variations	17
TABLEAU 11 : Interférences	18
TABLEAU 12 : Performances	19

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1 : Chambre d'essai	4



Remerciements

La présente étude n'aurait pu être réalisée sans la collaboration de messieurs *Louis Plourde* du DSC Verdun, *François Peltier* de SSCAN-Grodyne, *Éric Gravel* de Rocmer, *Normand Martel* de Levitt, *Jean Daoust* de Canteck et *Rodrigue Gravel* de l'IRSST.

Nous tenons à remercier également madame *France C. Lafontaine* pour l'excellent travail de mise en page du présent document et tous les membres de l'Institut qui ont de près ou de loin collaboré à la réalisation du présent ouvrage.



Sommaire

Au Québec, la population de travailleurs exposés au monoxyde de carbone est importante; mentionnons entre autres, le secteur de l'industrie de première transformation de métaux et celui du transport et de l'entreposage. Beaucoup de données sont disponibles aux niveaux des sources d'émission et des concentrations résultantes dans l'air ambiant, mais très peu concernant les doses d'exposition à cause des limites imposées dans la métrologie de ce contaminant en milieu de travail.

Les récents développements réalisés au niveau de la miniaturisation électronique ont rendu possible la production de pile électrochimique de petit format fonctionnant par diffusion passive ainsi que l'incorporation d'une unité de saisie de données à l'unité de lecture. Ces nouveaux instruments permettent donc maintenant de combler la lacune au niveau de la métrologie. Le but de la présente étude était d'évaluer la flexibilité et la fiabilité d'instruments miniaturisés, actuellement disponibles sur le marché.

L'étude a été menée principalement en laboratoire où six instruments répondant aux critères de pré-sélection ont été évalués. Les paramètres étudiés étaient associés à trois catégories: caractéristiques physiques, caractéristiques informatiques et performance des instruments. Le paramètre le plus important pour faire une étude sérieuse et fiable en hygiène industrielle est la performance du système de détection. Les lacunes notées lors de notre évaluation font principalement référence aux spécifications des fabricants, qui sont incomplètes sur plusieurs points.

Tous les détecteurs de monoxyde de carbone évalués permettent de faire des prélèvements personnels en zone respiratoire, de connaître ainsi les doses d'exposition du travailleur à ce contaminant et d'établir leurs profils d'exposition à l'aide du logiciel respectif à chacun. Leurs caractéristiques physiques permettent de combler la lacune décrite quant à la métrologie du monoxyde de carbone. Les détecteurs évalués offrent différentes combinaisons de possibilités et de performance qui rendent chacun d'eux acceptables en fonction des objectifs fixés lors des interventions en hygiène industrielle.



1. Introduction

Le monoxyde de carbone est un gaz inflammable, incolore et inodore. C'est un asphyxiant chimique reconnu depuis longtemps. Lorsqu'inhalé, il passe rapidement dans le sang où, après avoir déplacé l'oxygène, il s'associe à l'hémoglobine pour former la carboxyhémoglobine (COHb). Il est émis normalement lors de la combustion incomplète de tout matériel organique (1-2). Le Règlement sur la Qualité du Milieu de Travail du Québec (R.Q.M.T. S-2.1, r.15) et le "Threshold Limit Values" de l'"American Conference of Governmental Industrial Hygienists (A.C.G.I.H.)" fixent la valeur de concentration moyenne à 50 ppm en monoxyde de carbone, pour huit heures de travail, et celle de concentration maximale à 400 ppm. De plus, une intention de changement a été émise en 1991 par l'A.C.G.I.H., à l'effet d'abaisser la norme de concentration moyenne à 25 ppm pour 8 heures (3-5).

Au Québec, la population de travailleurs exposés à ce contaminant est importante: mentionnons entre autres, le secteur de l'industrie de première transformation de métaux, où du monoxyde de carbone est émis par les procédés de réduction du minerai, et celui du transport et de l'entreposage où des niveaux, souvent élevés de ce contaminant, ont été mesurés dans l'environnement de travail. Beaucoup de données sont disponibles aux niveaux des sources d'émission et des concentrations résultantes dans l'air ambiant mais très peu, concernant les doses d'exposition et ce, à cause des limites imposées par l'instrumentation disponible (6-10).

En effet, les techniques de mesure actuellement utilisées en hygiène industrielle ne permettent pas d'établir de façon directe les profils et les doses d'exposition des travailleurs pour tous les types d'émission de ce contaminant, ni de suivre les concentrations en zone respiratoire des travailleurs. La technique la plus répandue est l'utilisation d'instrument à lecture directe qui donne une mesure instantanée des concentrations. De plus, il est difficile de placer l'instrument en zone respiratoire et le calcul des doses d'exposition au moyen d'un lecteur graphique est un travail harassant sans compter l'alourdissement du train de prélèvement. Une autre technique utilisée est le prélèvement d'air dans un sac et une analyse subséquente. Dans ce cas-ci, le sac peut être placé en zone respiratoire mais il peut également gêner les mouvements du travailleur dans l'exécution de ses tâches. De plus, cette technique permet uniquement



une mesure de concentration moyenne pour la période de prélèvement sans aucune information sur la fluctuation des niveaux dans le temps. Une lacune importante existe donc au niveau de la métrologie du monoxyde de carbone en milieu de travail.

Les récents développements réalisés au niveau de la miniaturisation électronique ont rendu possible la production de pile électrochimique de petit volume fonctionnant par diffusion passive ainsi que l'incorporation d'une unité de saisie de données à l'unité de lecture. Ces nouveaux instruments permettent donc maintenant de combler la lacune décrite plus haut.

Le but de la présente étude était d'évaluer la flexibilité et la fiabilité d'instruments miniaturisés, actuellement disponibles sur le marché.

2. Méthodologie

2.1 Choix des dosimètres

Six instruments ont été retenus selon les critères de pré-sélection suivants: portabilité du détecteur en zone respiratoire du travailleur, accumulation des données et affichage des concentrations ponctuelles. Il s'agit de l'InterScan modèle 2000 jumelé à l'accumulateur de données modèle 9000, du Multiwarn de Dräger, du PAC II de Dräger, du Datalogger 190 de Dräger, du PM 7700 de Metrosonics et de l'Exotox 75 de Neotronics.

Tous ces détecteurs ont comme système de détection une pile électrochimique comprenant deux ou trois électrodes. Le principe d'une pile électrochimique est basé sur la diffusion du contaminant gazeux à travers une membrane semi-perméable et son oxydation au contact de l'électrode métallique imprégnée d'un catalyseur, l'électrode de travail. À l'électrode de référence, l'oxygène de l'air est réduit. Le signal ainsi produit correspond à la concentration du monoxyde de carbone. Pour stabiliser le signal, certains instruments ont une troisième électrode.



2.2 Description des essais

L'étude a été menée principalement en laboratoire où les instruments ont été évalués quant à leur exactitude, leur précision, l'autonomie des piles et les interférences. Subséquemment, quelques essais en milieu de travail ont été faits afin de vérifier la flexibilité des détecteurs par rapport aux caractéristiques physiques. Les paramètres étudiés étaient associés à trois catégories: caractéristiques physiques, caractéristiques informatiques et performance des instruments.

Les caractéristiques physiques étudiées ont été la taille et le poids de l'instrument, la versatilité c'est-à-dire la possibilité de mesurer d'autres gaz, la simplicité d'utilisation, la façon de fixer les différents niveaux d'alarme, le design de l'instrument en ce qui a trait à la nuisance créée lors de l'exécution des tâches du travailleur et la façon de le fixer en zone respiratoire.

Le logiciel fourni avec chaque instrument a été étudié en fonction de la capacité de mémoire pour l'accumulation de données, la simplicité d'utilisation, la flexibilité des systèmes d'acquisition et de traitement des données par rapport aux possibilités d'histogrammes, d'incursion dans le temps et la compatibilité avec d'autres logiciels graphiques.

Les essais relatifs aux performances des instruments comprenaient les stabilités du zéro et de l'étalonnage, l'influence du taux d'humidité et de la température, les temps et les courbes de réponse, l'exactitude, la précision et les interférences potentielles. L'exactitude, synonyme de justesse, réfère à la différence entre la concentration lue sur le détecteur et la concentration réelle du mélange. La précision représente la fidélité à obtenir des résultats identiques suite à la mesure d'un seul et même phénomène. Les réponses des détecteurs ont été vérifiées lors de concentrations stables faibles ou fortes et lors de concentrations fluctuantes. L'intégration des pointes d'exposition par rapport à la diffusion passive et aux essais en longue durée a également été vérifiée.

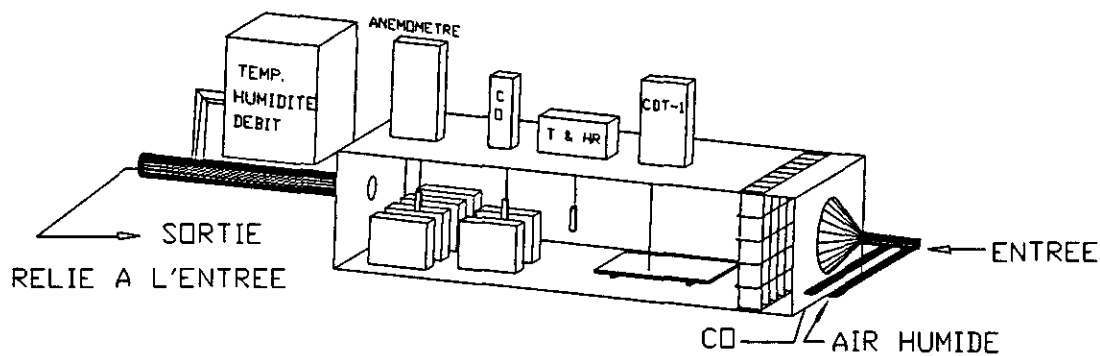
La chambre d'essai de dimensions de 0,5 x 0,5 x 1,5 mètre (largeur x hauteur x longueur) était faite en acrylique. Un moteur électrique et un ventilateur, un treillis et un tissu poreux ont permis la circulation du mélange monoxyde de carbone-air à une vitesse constante au cours des essais. Les concentrations de monoxyde de carbone sont générées à partir d'un gaz analysé (~ 1 000 ppm) et d'air. La vitesse de cet écoulement



a été mesurée par un anémomètre à fil chaud. Les mesures ont été prises à l'intérieur de la section transversale délimitée par les détecteurs. Ceux-ci ont été localisés de façon à ne pas interférer les uns les autres dans l'écoulement laminaire de l'air. Ce système à boucle fermée est schématisé à la figure 1.

Les conditions environnementales de température et d'humidité ont été créées et maintenues par un contrôleur de débit, de température et d'humidité (Miller-Neilson Research Inc., modèle HCS-301). Un élément chauffant équipé d'une thermistance et d'un contrôleur, conçu et réalisé à l'atelier d'électronique de l'IRSST, a été utilisé pour les températures élevées. Un atomiseur a aussi été utilisé pour générer les taux élevés d'humidité. Les températures ont été suivies par un instrument de référence mesurant les variations de résistance alors que les différents taux d'humidité l'ont été par un instrument de référence mesurant les variations de capacitance.

Figure 1 : Chambre d'essai



- CDT-1 : Contrôleur de température, conçu et réalisé à l'IRSST.
CO : Instruments d'analyse du mélange généré.



Le monoxyde de carbone présent dans la chambre d'essai a été analysé par un instrument à lecture directe ayant comme système de détection une pile électrochimique (Ecolyser 2000) et par un analyseur à infrarouge non-dispersif (Dasibi 3003). Un accumulateur de données (Telog 2101) était jumelé à l'instrument à lecture directe. Tous les instruments de référence utilisés ont été étalonnés selon les spécifications des fabricants respectifs. De plus, avant et après chaque session d'essai, les détecteurs évalués ont été étalonnés selon les spécifications des fabricants à l'aide d'un gaz étalon primaire.

Les tests préliminaires ont permis d'établir les conditions adéquates en fonction de la diffusion passive des détecteurs et des limitations techniques relatives au montage. La diffusion passive recommande une vitesse minimale de 0,05-0,10 m/sec et la performance ne serait pas affectée par une plus grande vitesse pourvu que le rapport longueur-diamètre de la chambre d'essai (L/d) soit supérieur à 2,5 (11). Nos essais ont été faits à 0,35 m/sec et le rapport (L/d) était de 2,8.

Les stabilités du zéro et de l'étalonnage ont été vérifiées après des périodes d'utilisation continue variant de deux à huit heures. Le zéro de l'instrument a été préalablement vérifié avec de l'azote et l'étalonnage a été fait selon les spécifications du fabricant avec un gaz étalon primaire. L'instrument a été contre-vérifié de la même manière après les périodes d'utilisation et après une période de repos de 16 heures.

L'étude des conditions environnementales a consisté en une vérification des réponses de l'instrument lorsque celui-ci est soumis à des variations de taux d'humidité ou de températures. Pour ces essais, les concentrations générées de monoxyde de carbone et les vitesses d'air dans la chambre d'essai étaient connues et stables. Lors des essais de variations de taux d'humidité, la température de la chambre d'essai était maintenue constante. Lors des essais de variations de températures, le taux d'humidité était maintenu constant.

Deux temps de réponse, en secondes, ont été déterminés. Le premier correspondait au moment où la lecture atteignait 90% de la concentration réelle. Le deuxième était celui où la lecture a diminué à 10% de la concentration initiale suite à une exposition à l'air zéro gaz.

Pour déterminer la courbe de réponse des instruments, différents essais avec



fluctuations dans les concentrations ont été faits. Les températures, taux d'humidité et vitesses d'air étaient maintenus constants et suivis par des instruments de référence. La vérification des réponses a consisté en une prise de lectures ponctuelles sur chaque instrument en cours de génération dans la chambre d'essai. Ces lectures ont été ensuite comparées avec celles enregistrées par l'accumulateur de données au moyen du logiciel fourni avec l'instrument. Les lectures ponctuelles de l'instrument ont été enregistrées afin de vérifier l'exactitude de ses réponses et des seuils d'alarme-pics, en fonction de concentrations fluctuantes ou stables, faibles ou fortes. L'intégration des pointes d'exposition par rapport à la diffusion passive a fait l'objet d'attention particulière quant à la réponse de l'instrument et de l'accumulation des données.

Les tests de fiabilité ou précision se réfèrent à la mesure d'un même phénomène répété plusieurs fois. Ils ont été faits en exposant l'instrument à un mélange de monoxyde de carbone de concentration connue et stable pendant deux minutes puis en l'exposant à de l'air zéro gaz pendant une minute. Cette exposition a été répétée successivement cinq fois.

La réponse de l'instrument a été vérifiée en présence de différents produits chimiques, fréquemment présents avec le monoxyde de carbone en milieux de travail, et énumérés dans les spécifications de certains fabricants.

3. Résultats et discussion

3.1 Caractéristiques physiques

Les observations relatives à ces caractéristiques sont résumées aux tableaux 1 à 3.

Le tableau 1 résume les dimensions des différents détecteurs étudiés, l'autonomie de leur système d'alimentation et leur poids. Trois détecteurs ont des dimensions et poids ne nuisant pas à l'exécution des tâches du travailleur. En effet, les PAC II, Datalogger 190 et PM 7700 sont compacts, légers et se portent dans la poche d'une veste.

L'Interscan est constitué de trois composantes distinctes, soit l'unité de lecture avec affichage numérique des concentrations ponctuelles, l'accumulateur de données et



le senseur. L'Interscan et le PM 7700 ont un senseur qui se fixe au col au moyen d'une pince.

Quant aux Multiwarn et Exotox, ils ont d'autres senseurs, des piles rechargeables et une pompe électrique incorporée rendant leur poids nettement supérieur. Ils peuvent fonctionner par diffusion passive ou à l'aide de la pompe. De plus, la façon de les porter au niveau de l'abdomen peut nuire à l'exécution des tâches du travailleur.

L'autonomie des piles de chaque détecteur a été vérifiée. Elle correspond aux spécifications des fabricants respectifs.

TABLEAU 1 : Caractéristiques physiques

INSTRUMENT	Dimension Hauteur x Largeur x Épaisseur (mm)	Pile ¹ (h)	Poids (g)
Interscan 2000	165 x 76 x 60	250	557
Interscan 9000	152 x 89 x 38		312
Multiwarn	190 x 124 x 63	10	1 400
Pac II	127 x 68 x 28	300	280
Datalogger 190	124 x 60 x 26	720	190
PM 7700	122 x 76 x 23	50	400
Exotox 75	160 x 110 x 80	10	960

¹ Autonomie des piles exprimée en heures

Le tableau 2 résume certaines fonctions des différents détecteurs évalués. Certaines sont simultanées et d'autres, interchangeables.

L'accumulateur de données, modèle 9000 de marque Interscan, peut être jumelé aux autres détecteurs de même marque, soit le chlore, l'acide chlorhydrique, les oxydes d'azote, etc. Le détecteur de marque Multiwarn contient un senseur d'oxygène, un senseur de gaz combustibles et un senseur de gaz toxique, soit le CO ou le H₂S. Les détecteurs des modèles PAC II et Datalogger 190 de Dräger sont des détecteurs conçus pour un contaminant unique et spécifique; pour les fins de cette étude, il s'agit donc d'un



détecteur de CO. Le capteur du PM 7700 peut être changé facilement pour évaluer d'autres contaminants en le fixant à la même unité de lecture et de saisie de données. Le détecteur de marque Exotox modèle 75 a un capteur d'oxygène, un capteur de gaz combustibles et une possibilité de deux capteurs simultanés de gaz toxique au choix. De plus, il donne la lecture de la température et de l'humidité.

TABLEAU 2 : Versatilité

INSTRUMENT	FONCTIONS SIMULTANÉES	FONCTIONS INTERCHANGEABLES
Interscan 2000 Interscan 9000		Cl ₂ , HCl, HCN, NO, NO ₂ , H ₂ S et SO ₂
Multiwarn	O ₂ et gaz combustibles (LIE) ¹	Un capteur: CO, H ₂ S
Pac II	---	H ₂ S, O ₂ , SO ₂ , NO et NO ₂
Datalogger 190	---	H ₂ S, SO ₂ et NO ₂
PM 7700	---	H ₂ S, SO ₂ et Cl ₂
Exotox 75	O ₂ et gaz combustibles (L.I.E.) Lectures: T et H _R	Deux capteurs au choix: H ₂ S, Cl ₂ , SO ₂ , NO ₂

¹ L.I.E. : Limite Inférieure d'Explosivité

Le tableau 3 décrit les plages de lecture et les niveaux d'alarme. Tous les détecteurs ont des alarmes sonores; pour certains, il est possible de placer un écouteur et, pour d'autres, il y a un voyant lumineux clignotant. Sauf pour le détecteur de marque Interscan, les niveaux d'alarmes peuvent être fixés par l'utilisateur.

Tous les détecteurs évalués sont relativement simples d'utilisation. Les interrupteurs de mise en fonction du module d'accumulation de données de marque Interscan modèle 9000 sont petits et très rapprochés l'un de l'autre; il est donc possible de les actionner simultanément après la saisie de données et ainsi perdre ces dernières. Certains manuels d'instruction ne sont pas suffisamment explicites ou subdivisés de façon claire pour permettre de s'y retrouver facilement et rapidement.



Trois d'entre eux, Interscan, Multiwarn et Exotox pouvaient présenter des inconvénients à cause de leur dimension. De plus, l'Interscan a un niveau d'alarme fixé par le fabricant. Le modèle Multiwarn évalué avait une plage de lecture limitée de 0-200 ppm. Cependant, des plages de lecture plus étendues sont disponibles.

TABLEAU 3 : Niveau d'alarme

INSTRUMENT	Plage de lecture	Sonore/ Visuelle	Niveaux fixés ⁽¹⁾
Interscan	0-500 ppm	. 91 dB . écouteur . clignotant	. un seul (VLE)
Multiwarn	0-200 ppm	. 85 dB(A) . clignotant . écouteur	. VLE . O ₂ & LIE
Pac II	0-500 ppm	. 75 dB(A) . écouteur	. VLE . VME
Datalogger 190	0-999 ppm	. sonore	. VLE . VME
PM 7700	0-999 ppm	. sonore	. VLE (8h) . VLE (15mn) . VME
Exotox 75	0-999 ppm	. sonore . clignotant	. O ₂ , LIE, T, H _R . VLE . VME

(1) VLE : Valeur Limite d'Exposition

VME : Valeur Moyenne d'Exposition

O₂ : Oxygène

LIE : Limite Inférieure d'Explosivité

3.2 Caractéristiques informatiques

Les observations relatives à ces caractéristiques sont données au tableau 4.

Les accumulateurs de données de marque Interscan et PM 7700 ont une capacité



de mémoire de plusieurs intervalles, soit par secondes, soit par minutes, soit par heures. Leurs histogrammes et calculs sont fonction de la programmation faite avant la saisie de données. Parmi les instruments évalués, seul celui de marque Interscan n'affiche pas les doses d'exposition après la période de prélèvement. L'accès à ces doses se fait uniquement par l'intermédiaire du logiciel. Sa présentation à l'écran et les explications de son manuel d'instruction ne facilitent pas son utilisation.

L'instrument de marque PAC II a une capacité limitée d'accumulation de données de huit heures; après cette période, les premières données sont perdues selon le principe "première entrée, première sortie". Les instruments Multiwarn et PAC II utilisent le même logiciel, avec lequel il est impossible de faire des incursions dans le temps. La version fournie avec les instruments que nous avons évalués, n'était pas compatible avec d'autres chiffriers couramment utilisés, tel Lotus 123. La présentation à l'écran et celle du manuel d'instruction ne facilitaient pas la compréhension des séquences à suivre lors de l'utilisation. Nous n'avons pu vérifier les données accumulées avec le PAC II suite à un problème de communication entre le détecteur et le micro-ordinateur.

Le logiciel accompagnant le Datalogger 190 de Dräger est beaucoup plus simple d'utilisation et les commandes d'accès sont clairement identifiées à l'écran. Il y a possibilité d'incursion et les données peuvent être transférées sur Lotus 123. Un inconvénient a été relevé, soit le fait qu'il n'y a pas de commande de retour au menu principal à partir du mode graphique. Après douze heures de cueillette de données, l'instrument cesse de fonctionner et maintient les données en mémoire jusqu'à un mois.

Le logiciel, fourni avec l'instrument PM 7700, est simple d'utilisation. Les séquences à suivre pour les incursions dans le temps ainsi que pour le transfert des données vers Lotus 123 sont claires. La présentation à l'écran des menus du logiciel et son manuel d'instruction facilitent son utilisation.

Le logiciel accompagnant l'instrument de marque Exotox modèle 75 demande un apprentissage avec une personne ressource connaissant très bien ses fonctions; il n'est pas facile d'utilisation. Après la cueillette de données, ces dernières peuvent être gardées en mémoire jusqu'à un mois. Il y a possibilité d'incursion dans le temps et de transfert vers d'autres chiffriers.

À l'exception de l'Interscan, les valeurs d'exposition peuvent être directement lues



sur le numérique du détecteur en cours de prélèvement ou à la fin de cette période. L'accès aux fonctions d'accumulation des données et de mise en marche se fait par l'utilisation d'une clé pour les Multiwarn, PAC II et Datalogger 190. Pour le PM 7700, il y a possibilité de limiter cet accès à l'hygiéniste au moyen d'un code de sécurité. Ce dernier a un désavantage car il peut être mis en opération par inadvertance. Pour l'Exotox, cet accès se fait par l'intermédiaire de touche sur le détecteur.

TABLEAU 4 : Caractéristiques informatiques

INSTRUMENT	Mémoire	Histogramme	Incursion	Compatibilité
Interscan	16h	oui	oui	Lotus 123
Multiwarn	12h	oui	non	non
PAC II	8h	oui	non	non
Datalogger 190	12h	oui	oui	Lotus 123
PM 7700	1000 intervalles	oui	oui	Lotus 123
Exotox 75	30 h	oui	oui	Lotus 123

3.3 Performance des instruments

Chaque essai relatif à la performance des détecteurs a été répété de trois à cinq fois en laboratoire. Les concentrations générées en monoxyde de carbone ont été différentes en fonction des essais et de plusieurs paramètres, qui ont été contrôlés par des instruments de référence. Des relations statistiques ont été utilisées uniquement dans l'interprétation de la précision des détecteurs.

Les tableaux 5 à 10 résument les résultats obtenus pour les différents essais relatifs à la performance des instruments.

3.3.1 Effet de la température et de l'humidité

Les effets de variations du taux d'humidité et de températures ont été évalués.



Les résultats sont rapportés aux tableaux 5 et 6.

Pour ces essais, la réponse du détecteur devait demeurer la même ou à l'intérieur des spécifications du fabricant, l'exactitude du senseur n'étant pas un critère retenu. Les essais à basse température n'ont pu être réalisés. Le détecteur de marque Exotox n'a pu être évalué pour les essais de température. Les détecteurs ont bien répondu, à l'exception du PAC II, pour lequel une augmentation de l'ordre de 5% a été observée à des niveaux d'humidité supérieurs à 50%.

TABLEAU 5 : Influence des températures

Humidité : 35 - 38 %

Vitesse de l'air : 0,35 - 0,40 m/sec

INSTRUMENT	CONCENTRATIONS GÉNÉRÉES (ppm)	CONCENTRATIONS LUES (ppm)	
		25° C	40° C
Interscan 2000	21	24	25
	81	101	100
Multiwarn (diffusion)	21	23	23
	81	84	83
Multiwarn (pompe)	21	23	23
	81	84	83
Pac II	21	22	20
	81	81	83
Datalogger 190 avec filtre	21	19	19
	81	74	72
PM 7700	21	22	23
	81	83	81

**TABLEAU 6 : Influence des taux d'humidité**

Température : 23° C

Vitesse de l'air : 0,35 - 0,40 m/sec

INSTRUMENT	CONCENTRATIONS GÉNÉRÉES (ppm)	CONCENTRATIONS LUES (ppm)				
		10 %	29 %	50 %	70 %	82 %
Interscan 2000	14,5	15	15	15	15	15
	91,0	99	99	99	99	99
Multiwarn (diffusion)	14,5	16	16	18	18	17
	91,0	93	93	93	94	95
Multiwarn (pompe)	14,5	15	15	17	17	18
	91,0	93	93	94	94	94
Pac II	14,5	13	17	18	18	18
	91,0	92	92	96	96	96
Datalogger 190 avec filtre	14,5	13	13	13	14	13
	91,0	90	90	90	90	90
PM 7700	14,5	15	15	16	16	15
	91,0	91	91	91	92	92
Exotox 75 (pompe)	14,5	15	15	15	15	15
	91,0	91	91	91	91	92

3.3.2 Stabilité de l'étalonnage

Les ajustements du zéro et de l'étalonnage chimique sont demeurés stables soit une variation inférieure à 2% ou 1 ppm pour une période de 8 heures.

Au cours des essais, nous avons noté que le détecteur de marque Interscan, le seul non blindé, était sensible aux champs électriques présents dans le laboratoire. Cet instrument a donc été étalonné à l'intérieur d'une cage de Faraday. Cependant, afin d'évaluer son comportement dans les conditions réelles de terrain, sa performance a été



étudiée dans les mêmes conditions que celles utilisées pour les autres instruments. De plus, son étalonnage nécessite une longue période de stabilisation, soit de 15 à 20 minutes en présence du gaz étalon dans la mini-chambre d'exposition fournie par le fabricant.

Les procédures d'étalonnage des autres détecteurs étaient simples à exécuter.

3.3.3 Temps et courbes de réponse

Les résultats relatifs aux temps de réponse des détecteurs sont présentés au tableau 7. Tous les détecteurs ont eu un temps de réponse (90%) égal ou inférieur à 60 secondes ($n = 3$ pour chaque concentration). Toutefois, ceux notés pour les détecteurs de marque Interscan, Multiwarn et PM 7700 étaient supérieurs aux spécifications de leur fabricant respectif. Celui de retour à 10% est supérieur à 60 secondes pour le détecteur de marque Interscan.

TABLEAU 7 : Temps de réponse

Température : 22° C
Humidité : 25%

Vitesse d'air : 0,30 - 0,40 m/sec
Concentrations : 42,7 et 280 ppm

INSTRUMENT	SPÉCIFICATIONS DU FABRICANT (sec)	TEMPS DE RÉPONSE 90 % (sec)	TEMPS DE RETOUR 10 % (sec)
Interscan 2000	15	60	65
Multiwarn	30	45	50
Pac II	60	15	15
Datalogger 190	< 60	15	15
PM 7700	35	60	60
Exotox 75	< 80	50	50

Les essais relatifs à l'exactitude des détecteurs sont résumés au tableau 8. Sont également rapportées les spécifications du fabricant, lorsqu'elles étaient disponibles.

La différence entre les lectures ponctuelles et celles enregistrées par les accumulateurs de données, qui sont des moyennes sur une période de une minute, était



inférieure à 5 %.

Par rapport à la diffusion passive, les détecteurs répondaient rapidement aux variations de concentrations et ce, en fonction de leurs temps de réponse respectifs. De plus, l'intégration des pointes d'exposition a été représentative des concentrations simulées dans la chambre d'exposition, que ce soit pour de fortes concentrations, pour de courtes périodes d'exposition et lors d'essais de longue durée. Seul le détecteur Exotox modèle 75 n'a pas été évalué par rapport à la diffusion passive suite à la non disponibilité du module, tous les essais ayant été effectués à l'aide de la pompe électrique incorporée. Après une très forte concentration générée (> 600 ppm), le détecteur PM 7700 a donné une réponse supérieure à la concentration réelle et ce, même aux basses concentrations. Un étalonnage chimique a été alors nécessaire.

TABLEAU 8 : Courbes de réponse - Exactitude

Température : 23° C
Humidité : 30 %

Vitesse d'air : 0,30 - 0,40 m/sec

INSTRUMENT	SPÉCIFICATION DU FABRICANT	CONCENTRATION (ppm)					
		12	30	69	91	125	400
Interscan	2 % de lecture	12 (0) ¹	34 (13)	73 (6)	99 (9)	--	428 (7)
Multiwarn	± 2 ppm ou 3 %	12 (0)	28 (6)	68 (1)	93(1 2)	126 (1)	
PAC II	± 3 %	13 (8)	32 (6)	75 (9)	92 (1)	125 (0)	412 (3)
Datalogger 190	± 3 %	9 (25)	25 (16)	61 (12)	90 (1)	112 (10)	385 (4)
PM 7700	---	10 (16)	28 (6)	73 (6)	91 (0)	118 (6)	412 (3)
Exotox 75	± 1 ppm	10 (16)	32 (6)	73 (6)	91 (0)	131 (5)	410 (2)

¹ Le chiffre entre parenthèses donne la variation en % de lecture.



3.3.4 Précision

Les résultats des tableaux 9 et 10 résument les essais de fiabilité c'est-à-dire la précision des détecteurs. Le maintien des réponses des détecteurs lors des cinq expositions successives de 92 et 0 ppm est le critère retenu pour le classement des détecteurs précis.

Lors de ces essais, la réponse du détecteur de marque Interscan est inférieure de 4 à 5 ppm de la concentration réelle; pour l'exposition d'une minute, elle a en plus une tendance à augmenter. Ce phénomène vient confirmer que le détecteur, bien que précis, n'est pas exact et que son temps de réponse, spécialement lors du retour à zéro, est supérieur à 60 secondes. Celle du détecteur de marque Multiwarn de Dräger est précise; mais elle ne revient pas à zéro et demeure supérieure de 3 à 4 ppm. Selon le tableau 7, son temps de réponse est très près du temps d'essai lors de l'exposition à 0 ppm de CO.

Le PAC II est précis mais ne revient pas à zéro lors de l'exposition à l'air zéro gaz. Sa réponse se situe entre 6 et 8 ppm, bien que son temps de réponse, noté au tableau 7, soit inférieur à 60 secondes, laissant ces résultats inexplicables. Le Datalogger 190 est le seul dont la réponse revient à zéro. Le détecteur PM 7700 est précis. Mais, lors de l'exposition à de l'air zéro gaz, sa réponse ne revient pas à zéro ce qui serait potentiellement expliqué par son temps de réponse de 60 secondes. La réponse de l'Exotox glisse de 5 ppm entre le premier essai (91 ppm) et le dernier (86 ppm) et ne revient pas à zéro.

**TABLEAU 9 : Précision - Résultats**

Température : 22° C

Humidité : 30 %

Concentration de CO : 92 ppm (1)

Concentration de CO : 0 ppm (2)

INSTRUMENT	CONCENTRATIONS LUES (ppm)									
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Interscan 2000	88	5	87	4	87	7	88	7	87	8
Multiwarn	92	3	92	4	92	5	92	4	92	4
Pac II	93	6	92	7	93	8	92	7	93	7
Datalogger 190	87	0	88	0	88	0	87	0	87	0
PM 7700	93	3	93	4	93	4	93	4	93	4
Exotox 75	91	2	89	2	88	1	87	2	86	1

TABLEAU 10 : Précision - Variations

Instrument	Concentrations mesurées				
	92 ppm			0 ppm	
	x	σ	cv	x	σ
Interscan	87,4	0,5	<1%	6,2	0,6
Multiwarn	92,0	0,0	0%	4,0	0,7
Pac II	92,6	0,5	<1%	7,0	0,7
Datalogger 190	87,4	0,5	<1%	0,0	0,0
PM 7700	93,0	0,0	0%	3,8	0,4
Exotox 75	88,2	1,9	2%	1,6	0,5

3.3.5 Interférences

Le tableau 11 regroupe les concentrations lues par les détecteurs en présence de certains produits chimiques susceptibles de se retrouver avec le CO en milieu de travail.



Ce phénomène d'interférence est relatif au produit et à sa concentration. Pour tous les détecteurs, les lectures ont été inférieures à 1 ppm en présence de 2,5% de méthane (CH_4) et 0,6% de propane (C_3H_8).

TABLEAU 11 : Interférences

INSTRUMENT	CONCENTRATION LUES (ppm de CO)					
	40 ppm NO	18 ppm NO ₂	9 ppm H ₂ S	21 ppm SO ₂	1 % C ₂ H ₄	499 ppm H ₂
Interscan 2000	- 22	- 21	- 13	- 6	> 500	> 350
Multiwarn	89	5	45	21	> 200	88
PAC II	80	6	43	18	> 500	54
Datalogger 190	77	< 1	< 1	< 1	> 200	33
PM 7700	12	< 1	< 1	< 1	> 999	> 999
Exotox 75	13	< 1	< 1	< 1	> 999	7

Tous les fabricants fournissent une liste, plus ou moins exhaustive, de produits chimiques qui interfèrent au niveau de la réponse du détecteur. Parmi ceux évalués, seul le Datalogger 190 avait un filtre interférentiel standard d'AMER-sorb pour les essais. Toutefois, aucun essai n'a été fait de façon spécifique pour l'évaluer et son état de contamination était inconnu, le filtre étant scellé. La mesure du monoxyde de carbone dans l'air requiert la présence d'un filtre interférentiel, afin d'éliminer les interférences dues aux hydrocarbures insaturés. La condition du filtre est fonction de la coloration des granules qui passent du violet au brun, suivant leur contamination; le changement de coloration vers le brun indique une diminution d'efficacité. Ce filtre peut être obtenu directement auprès du fabricant ou préparé par l'utilisateur (granules : matériel de fonctionnement IRSST 2028). Les fabricants Interscan, Metrosonics offrent des filtres interférentiels pour la détection du CO.

Le tableau 12 résume les différentes cotes. Le signe plus (+) signifie que le détecteur répond aux spécifications en rubrique et le signe moins (-), qu'il n'y répond pas.



TABLEAU 12 : Performances

Instrument	Interscan	Multiwarn	PAC II	Data-logger 190	PM 7700	Exotox 75
Encombrement	-	-	+	+	+	-
Versatilité	-	+	-	-	+	+
Alarme	-	+	+	+	+	+
Utilisation	+	+	+	+	+	+
Piles	+	-	+	+	+	-
Mémoire	+	-	-	+	+	+
Utilisation	-	-	-	+	+	-
Doses affichées	-	+	+	+	+	+
Incursion	+	-	-	+	+	+
Compatibilité	+	-	-	+	+	+
T° C & H _r %	+	+	-	+	+	+
Temps réponse	-	-	+	+	-	+
Exactitude	-	+	-	-	+	-
Précision	-	+	-	+	+	-

4. Stratégie de mesure du CO à l'aide de dosimètres personnels

Le choix d'un détecteur se fait en fonction des besoins et des objectifs en vue d'apporter des solutions pratiques aux problèmes d'hygiène industrielle vécus dans l'entreprise. Les caractéristiques étudiées permettent de sélectionner un instrument et d'y jumeler une stratégie correspondant aux attentes et aux objectifs fixés.

Un regard sur les différents contaminants présents dans l'entreprise et l'ampleur du problème qu'ils présentent, individuellement ou globalement, permet de fixer un choix entre un détecteur multi-gaz ou un détecteur distinct par contaminant. Trois situations possibles peuvent être identifiées: soit le monoxyde de carbone comme seul contaminant,



soit plus d'un contaminant à mesurer simultanément et soit plus d'un contaminant à mesurer individuellement.

Dans le cas où le monoxyde de carbone est le contaminant majeur, le choix pourrait être porté vers un détecteur unique. En plus de l'exactitude et de la précision du détecteur, il serait important alors de regarder la plage de lecture du détecteur par rapport aux concentrations susceptibles d'être retrouvées dans le milieu, les temps de réponse, l'accès aux fonctions et aux doses. Seul l'Interscan n'offre pas l'accès aux doses sur l'affichage numérique et les interrupteurs de l'accumulateur sont faciles d'accès par le travailleur, entre autres. L'accès aux fonctions d'accumulation des données se fait par l'intermédiaire d'une clé pour les PAC II et Datalogger 190. Pour le PM 7700, il y a possibilité de limiter cet accès à l'hygiéniste au moyen d'un code de sécurité. Ce dernier présente cependant un désavantage car il peut être mis en opération par inadvertance sans en connaître le code exact. L'accès aux doses pour ces trois derniers détecteurs, se fait facilement. Le logiciel et ses possibilités pourraient également être des critères de sélection. D'autres facteurs, qui n'ont pas été traités dans l'étude, peuvent être pris en considération, tels la robustesse du boîtier, le blindage, les pièces de remplacement et leur facilité de changement.

Si la mesure du monoxyde de carbone conjointement à celles du pourcentage d'oxygène et de la limite inférieure d'explosivité (L.I.E.) correspondent à des besoins en instrumentation, les détecteurs multi-gaz (Multiwarn, Exotox) présentent plusieurs atouts. Ils ont un capteur d'oxygène et évaluent le milieu en terme de LIE, en plus de capteur(s) de gaz toxique. L'Exotox possède simultanément deux capteurs de gaz toxique parmi un choix de quatre. Seul le capteur du CO a été évalué. Ces deux instruments cumulent les données pour tous les capteurs présents simultanément dans le détecteur et affichent les doses d'exposition. Le détecteur choisi peut offrir la possibilité de jumeler simultanément d'autres capteurs de gaz toxique, offrant une plus grande versatilité à l'instrumentation.

La présence du monoxyde de carbone peut ne pas être l'unique problème dans un secteur de l'entreprise; il peut y avoir dans certains postes de travail, des problèmes reliés à d'autre(s) contaminant(s) dont l'échantillonnage ne se fera pas simultanément à celui du CO. Dans telle situation, un détecteur unique mais à capteurs interchangeable peut être intéressant compte tenu de ses dimensions. Il serait important de considérer les possibilités offertes par le fabricant du détecteur choisi en regard des autres contaminants



présents et éventuellement échantillonnés. L'apprentissage à un seul logiciel est toujours souhaitable pour le transfert des connaissances aux différents utilisateurs.

Quelque soit le détecteur retenu, l'interprétation statistique est facilitée avec un tel outil, puisque l'échantillon devient unique et qu'il peut couvrir la période complète de travail. La concentration moyenne pour une période de prélèvement donnée est calculée à partir des valeurs ponctuelles mesurées dans des intervalles fixes (une minute) ou flexibles selon les possibilités offertes par le logiciel (tel Interscan, PM 7700). Les concentrations minimale, moyenne et maximale sont enregistrées en fonction de cet intervalle et la valeur moyenne d'exposition pour la période de prélèvement est calculée comme suit:

$$C = \frac{\sum t_i x_i}{\sum t_i}$$

- où C = concentration moyenne pour la période de prélèvement (ppm)
t_i = intervalle de mesures
x_i = moyenne des concentrations par intervalle

Le détecteur PM 7700 donne la concentration moyenne d'exposition de la période de prélèvement et les concentrations limites d'exposition pour 8 heures et 15 minutes en estimant la sommation des temps à 480 minutes. Certains détecteurs enregistrent les concentrations ponctuelles par intervalle moindre que une minute et ne listent pas les concentrations minimale et maximale (tel Multiwarn, PAC II, Datalogger 190, Exotox).

À l'aide des logiciels, il est maintenant possible de localiser les périodes de concentration maximale, de les calculer et d'identifier l'étape de travail ou les habitudes de travail qui s'y rattachent.

Les erreurs systématiques, tel l'étalonnage et l'utilisation non-adéquats du détecteur, restent une préoccupation importante. En effet, l'étalonnage chimique doit se faire tel que prescrit par le fabricant avant chaque séance et une vérification à la fin de la période demeure recommandable. L'utilisation d'un filtre interférentiel composé d'AMER-sorb



est fortement suggérée.

5. Conclusion

Les détecteurs de monoxyde de carbone évalués permettent de faire des prélèvements personnels en zone respiratoire, de connaître ainsi les doses d'exposition du travailleur à ce contaminant et d'établir leurs profils d'exposition à l'aide du logiciel respectif à chacun. Leurs caractéristiques physiques, et plus spécialement celles des détecteurs de marques PAC II, Dräger 190 et PM 7700, permettent de combler la lacune décrite quant à la métrologie du monoxyde de carbone. De plus, l'affichage des doses directement sur le numérique du détecteur est un atout très intéressant dans une étude d'hygiène industrielle. Un seul n'offre pas cette possibilité, soit l'Interscan.

La caractéristique informatique la plus appréciée est la simplicité d'utilisation. La possibilité d'incursion dans l'histogramme et la compatibilité avec des logiciels graphiques couramment utilisés sont des avantages d'intérêt, plus particulièrement au niveau de la présentation du rapport d'intervention. Les logiciels accompagnant les détecteurs Datalogger 190 et PM 7700 répondent à toutes les caractéristiques importantes relevées lors de notre évaluation. Il en est de même pour celui de l'Exotox mais des améliorations majeures de son manuel d'utilisation devraient être apportées.

Le paramètre le plus important pour faire une étude sérieuse et fiable en hygiène industrielle est la performance du système de détection. Les lacunes notées lors de notre évaluation font principalement référence aux spécifications des fabricants, qui sont incomplètes sur plusieurs points. L'exactitude et la précision sont les caractéristiques déterminantes d'un instrument fiable et qui méritent de faire l'objet de considération sérieuse. L'exactitude des détecteurs est souvent fonction de la plage de lecture, handicapant plus largement les basses concentrations.

Les instruments évalués offrent différentes combinaisons de possibilités et de performance qui rendent chacun d'eux acceptables en fonction des objectifs fixés lors des interventions en hygiène industrielle.



6. Références

- 1 Lauwerys, R. Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles. 2ième édition, Masson, Paris, 1982.
- 2 Patty's Industrial Hygiene and Toxicology. 3ième édition. Volume IIa. 1981
- 3 Règlement sur la Qualité du Milieu de Travail. S-2.1,r.15. Éditeur officiel du Québec 1990.
- 4 Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices, ACGIH. 1991-1992.
- 5 Notice of Intended Change - Carbon Monoxide. Cas: 630-08-0. Appl. Occ. Env. Hyg. Juillet 1991.
- 6 NIOSH. Criteria for a Recommended Standard : Occupational Exposure to Carbon Monoxide. National Institute of Safety and Health, Publication 73-11000, Cincinnati, USA, 1973.
- 7 Burgess, W.A. Recognition of Health Hazards in Industry. A Review of Materials and Processes. Wiley Interscience Publication, USA, 1981.
- 8 CSST. Monographie sectorielle. Première transformation des métaux au Québec. 1984.
- 9 CSST. Monographie sectorielle. Transport et entreposage au Québec. 1985.
- 10 Stetter, J.R., Rutt D.R. Instrumental Carbon Monoxide Dosimetry. Am. Ind. Hyg. Assoc. J., vol 41 (10), 1980.
- 11 Harper, M. Collin, J.P. Diffusive Sampling - A Review. American Industrial Hygiene Association Journal, vol 48, Mars 1987.



-
- 12 Accorsi, A. et Huré, Ph., Détecteurs portatifs d'hydrogène sulfuré. Note documentaire ND 1763-138-89. INRS, France 1990.

 - 13 Flachsbart, G., Marck, G.A., Howes, J.E., Rodes, C.E., Carbon Monoxide Exposure of Washington Commuters Technical Papers, Volume 37 no 2, Février 1987.