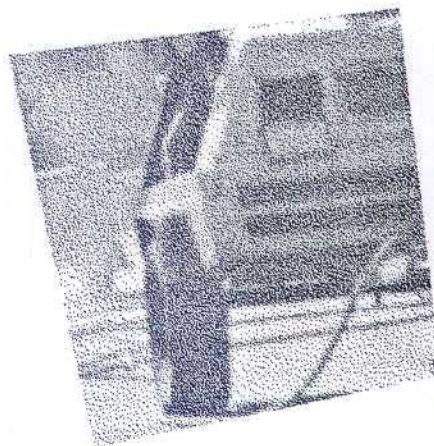


**La prévention des accidents
causés par le monoxyde
de carbone lors de l'utilisation
des petits équipements
actionnés par des moteurs
à combustion interne**

Marc Baril
Charles Beaudry



**BILANS DE
CONNAISSANCES**

Juillet 2001

B-061

RAPPORT



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,

Comité de concertation

Allard, René	CSST Direction régionale Estrie Directeur Santé et sécurité
Baril, Marc	IRSST Direction des opérations
Beaudry, Charles	cSHARP Conseiller
Boivin Dominique	CSST Inspectrice
Dansereau, Gérard	CSST Direction régionale Ile-de-Montréal-5 Spécialiste en prévention-inspection
Gingras, Pierre	ASP Construction Conseiller en prévention
Goyer, Nicole	IRSST Directrice soutien analytique
La Manna, Gilberto	CSST Direction régionale Ile-de-Montréal-1 Spécialiste en prévention-inspection
Mathieu, René	Chef technicien en hygiène du travail
Ménard, Luc	CSST Direction Prévention-Inspection Conseiller en prévention-inspection
Pelletier, Pierre	Régie régionale Mauricie
Roberge, Brigitte	IRSST Direction soutien analytique
Souliny, Michel	Environnement Canada

Sommaire

Un nombre important de cas d'intoxication au monoxyde de carbone (CO) se produit annuellement suite à l'utilisation en milieu de travail d'équipements de tous genres actionnés par des moteurs à combustion interne.

Provenant majoritairement de l'oxydation incomplète de combustibles ou de carburants lors de la combustion, le CO est émis dans des proportions variables dans les gaz d'échappement.

Le type de carburant ou combustible, le type de moteur, diesel, essence 2 ou 4 temps et le ratio air/carburant contribuent dans des proportions diverses aux concentrations de CO émis.

Au cours des dix dernières années plusieurs projets de recherche ont porté sur les mécanismes de réduction des quantités de CO engendrées par les moteurs de petits équipements :

- Utilisation de moteur diesel en remplacement de moteur à essence
- Changement du jet de carburateur
- Utilisation d'un convertisseur catalytique
- Re-circulation des gaz d'échappement
- Injection d'air dans les gaz d'échappement (technique difficile à mettre en application)

Toutes ces techniques ou méthodes ont démontré un impact positif sur la réduction des quantités de CO émis. Si mises de l'avant, elles sont susceptibles de contribuer à la réduction des cas d'intoxication au CO.

Elles ne peuvent par ailleurs par leur seule mise en application réduire à néant la problématique de l'émission de CO et doivent être obligatoirement accompagnées de mesures de prévention de base notamment une ventilation appropriée qui prend en ligne de compte, le milieu, l'équipement utilisé et le niveau d'émission de CO.

De plus, une sensibilisation accrue de tous les intervenants au potentiel d'accumulation extrêmement rapide de monoxyde de carbone lors de l'utilisation de ces équipements semble essentielle pour diminuer les risques d'intoxication aiguë.

Table des matières

Sommaire	3
Table des matières	4
Liste des tableaux et des figures	5
Introduction	6
1 Effet toxique du CO	7
1.1 Toxicologie du CO	7
1.2 Valeurs d'exposition admissibles	9
2 Champ d'application du projet	10
3 Identification du risque	10
3.1 Répertoire des équipements produisant du CO	10
3.2 Facteurs influençant le niveau d'émission de CO	13
3.3 Facteurs influençant le niveau d'accumulation de CO dans la zone respiratoire	13
3.4 Niveaux d'exposition observés	13
3.4.1 Niveaux environnementaux d'exposition	14
3.4.2 Niveaux mesurés d'exposition au travail	15
3.4.3 Données factuelles sur les cas d'intoxication	16
4 Pistes de prévention	18
4.1 Utilisation d'équipements électriques	18
4.2 Réduction des émissions de CO	18
4.3 Réduction de l'accumulation de CO	20
4.4 Mécanismes d'avertissement et d'évacuation	21
4.5 Mesures générales de prévention	21
4.5.1 Information sur les risques et la toxicité	21
4.5.2 Appareils rencontrant les nouvelles restrictions de l'EPA	21
4.5.3 Calcul de la ventilation	21
.....	
5 Conclusion	23
Liste des abréviations.....	25
Bibliographie	26
Annexe	31

Liste des tableaux et figures

Tableaux

1	Manifestations cliniques associées au niveau de HbCO	8
2	Manifestations cliniques associées à la concentration de CO dans l'air	8
3	Valeurs d'exposition admissibles du monoxyde de carbone	9
4	Compendium des taux d'émission de CO	11
5	Concentration de CO en mg/m ³ à divers postes de prélèvements de la CUM	14
6	Niveaux estimés d'exposition en milieu de travail	15
7	Exemple de calcul du temps pour atteindre la VECD et la valeur DIVS.....	24

Figures

1	Description de l'ensemble des incidents rapportés par Hawkes et al. 1998	17
---	--	----

Introduction

En comparant une étude du National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) réalisée conjointement avec le département de santé publique du Colorado en 1996 (1) et les résultats des statistiques de mortalité au travail de cet état entre 1993 et 1998 (2) on estime qu'environ 0,2 % des cas d'accidents du travail mortels sont causés par une intoxication au monoxyde de carbone (CO). Ce CO provient de l'utilisation de petits équipements actionnés par un moteur à combustion interne dans les espaces fermés et semi-fermés. Compte tenu des conditions climatiques québécoises, du nombre en augmentation constante de petits équipements motorisés utilisés dans le secteur de la construction, l'administration de la CSST a demandé l'aide de l'IRSST pour documenter la problématique des outils mécanisés actionnés par des moteurs à combustion interne.

Les valeurs limites d'exposition du CO sont bien définies et les effets aigus de ce contaminant sur la santé sont bien documentés dans la littérature. De nombreux cas d'intoxication allant de la simple indisposition passagère, en passant par la nausée et la perte de conscience jusqu'à la mort par asphyxie chimique y sont répertoriés. Le niveau de connaissance sur la toxicité permet d'associer le niveau de carboxyhémoglobine dans le sang à des manifestations cliniques bien identifiées.

La perception du risque en est, elle, à un tout autre niveau. Un document de NIOSH publié conjointement avec le département de santé publique du Colorado précise que la grande majorité des gens considèrent une intoxication au CO improbable dans un édifice lorsque des ouvertures (portes, fenêtres, etc.) sont présentes, peu importe l'activité en jeu. (3) Dans cet état, il y a eu sur une période de 10 ans, une moyenne d'un accident du travail mortel par année attribuable au CO (1% des accidents mortels). (1)

Provenant majoritairement de l'oxydation incomplète de combustibles et de carburants lors de la combustion, le CO est présent en des proportions variables dans les émissions de moteurs à combustion interne. Alors que les véhicules et les systèmes de chauffage sont les sources les plus importantes de la concentration environnementale de ce contaminant, la distribution des cas de surexposition au travail suit une autre logique : 40% des cas sont associés à l'utilisation d'équipement mu par un moteur à combustion interne alors que les automobiles et les systèmes de chauffage contribuent à eux deux à 38%. (1)

Un bilan de connaissances préliminaire a déjà été complété, par la Direction de la Prévention Inspection de la CSST (4), sur les dangers potentiels associés à une exposition au monoxyde de carbone lors de l'utilisation des outils mécanisés actionnés par un moteur à combustion interne dans les espaces fermés et semi-fermés.

Le présent travail vise à compléter cette première étude.

1 Effet toxique du CO

Bien qu'on soupçonne le CO d'avoir des effets chroniques même à de basses concentrations, tels une augmentation du risque de maladies cardio-vasculaires, pulmonaires, cérébro-vasculaires et des effets sur la reproduction (5), le présent document ne s'attarde qu'aux conditions qui entraînent une intoxication immédiate suite à une exposition à des concentrations élevées de ce contaminant. Le CO, qui est produit essentiellement par la combustion incomplète de carburants, est classifié comme un poison mortel. C'est un des multiples produits retrouvés dans les gaz d'échappement de moteurs à combustion interne. Il peut s'accumuler dans divers endroits perçus comme étant bien aérés. C'est un gaz incolore, inodore, sans saveur et non irritant qui peut rendre une personne inconsciente.

1.1 Toxicologie du CO

Reconnaître les symptômes précurseurs d'une intoxication au CO est parfois difficile car ils sont souvent pris pour des symptômes d'autres maladies comme la grippe, le rhume ou une intoxication alimentaire. La confusion et un affaiblissement empêchent souvent les personnes de s'extraire d'une situation dangereuse.

Le CO agit essentiellement par la création d'un lien chimique, plus fort que celui de l'oxygène, à l'hémoglobine du sang (carboxyhémoglobine) réduisant ainsi la capacité du sang de porter l'oxygène aux cellules du corps. Il s'agit d'asphyxie chimique. Il peut aussi interférer avec certaines fonctions cellulaires en se liant à certaines d'entre elles. Pour des raisons physiologiques, les femmes enceintes et les personnes avec des conditions cardio-vasculaires préalables sont plus susceptibles à l'intoxication au CO.

Bien que l'intensité des symptômes varient d'un individu à l'autre, en moyenne, on peut relier ceux-ci à la concentration de carboxyhémoglobine (HbCO) dans le sang. Les fumeurs sont des personnes plus à risque car leur sang contient déjà de 5 à 6 % de HbCO (pouvant aller jusqu'à 10 – 12 %) (6) alors que celui des non-fumeurs ne contient normalement que 0,3 à 0,8 % de HbCO. (7)

Cette concentration de HbCO est reliée à la concentration de CO dans l'air, au temps d'exposition et au rythme respiratoire de la personne exposée. Par exemple, une exposition de 8 heures à 46 mg/m³ de CO avec un rythme respiratoire de 20 litres par minute entraîne un niveau de HbCO de 5%. (5)

Certains auteurs tel Orser (8) ont choisi de représenter cette information de façon générale pour en tirer une relation entre effets cliniques et concentration dans l'air. Bien que cette information doive être utilisée avec prudence, elle permet de visualiser plus facilement les conditions environnementales dangereuses.

Tableau 1
Manifestations cliniques associées au niveau de HbCO (6)

Saturation du sang en HbCO (%)	Réponse chez un adulte sain	Réponse chez un patient avec maladie coronarienne sévère
0,3 – 0,7 2 - 5	Niveau normal (production endogène).	
5 - 10	Augmentation compensatoire du débit sanguin du SNC et du débit coronarien. Possibilité d'effets neuro-comportementaux.	Diminution du niveau d'activité physique qui entraîne des douleurs rétrosternales.
10 - 20	Céphalées légères (maux de tête), fatigue, étourdissement.	Augmentation de la fréquence et complexité des extrasystoles ventriculaire à l'exercice.
20 - 30	Céphalées modérées, nausées, diminution de la dextérité manuelle fine, anomalie de la réponse visuelle évoquée, hyperhémie et tachycardie.	L'exercice peut précipiter un infarctus du myocarde.
30 - 40	Céphalées sévères, nausées et vomissements, hypotension, ataxie.	
40 - 50	Syncope	
50 - 65	Coma et convulsions	
> 65 - 70	Décès en l'absence de traitement	

Tableau 2
Manifestations cliniques associées à la concentration de CO dans l'air

Concentration dans l'air		Réponse chez un adulte sain
ppm	mg/m ³	
35	40	Norme d'exposition pour 8 heures du RQMT
200	230	Légers maux de tête en 2-3 heures (Norme québécoise d'exposition pour 15 minutes)
400	460	Maux de tête, dangereux pour la vie au-delà de 3 heures
800	920	Maux de tête, étourdissements, nausée, perte de conscience après 2 heures, mort en 2-3 heures
1200 (9)	1380	Niveau de « Danger immédiat pour la vie et la santé » (DIVS), i.e. la concentration maximale dont une personne peut s'échapper après une exposition de 30 minutes, sans protection et sans effets négatifs
1000 à 10000	1150 à 11500	Maux de tête, étourdissements et nausées en 13-15 minutes, perte de conscience et mort en 10-45 minutes
10000 à 40000	11500 à 45715	Mort en quelques minutes.

1.2 Valeurs d'exposition admissibles

Les valeurs d'exposition au monoxyde de carbone admissibles au Québec sont précisées dans le Règlement sur la qualité du milieu de travail. (10) Ces valeurs, qui restent inchangées dans le Projet de Règlement sur la qualité du milieu de travail publié en 1998 dans la Gazette officielle du Québec (11), sont similaires à plusieurs valeurs normatives et réglementaires en vigueur dans divers pays.

Tableau 3

Organisme normatif ou réglementaire	Valeurs d'exposition admissibles (VEA) du monoxyde de carbone						Notations et Remarques
	VEMP		VECD		Plafond		
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	
Québec (10)	35	40	200	230	---	---	
Ontario (7),	35	40	400	457	---	---	(12) Ces valeurs sont à l'étude
États-Unis (13),	50	55	---	---	---	---	
Suède (5)	35	40	100	120	---	---	
Allemagne (5)	30	33	---	---	---	---	
U.E. (14)	20	23	100	115	---	---	
ACGIH (5)	25	29	---	---	---	---	Organisme normatif
NIOSH (9),	35	40	---	---	200	229	Organisme normatif

2 Champ d'application du projet

L'utilisation de petits équipements actionnés par des moteurs à combustion interne est un phénomène en croissance. La gamme des machines activées de la sorte est assez large et couvre autant des équipements lourds qu'on trouve exclusivement sur de gros chantiers que des équipements de jardinage résidentiel.

Dans le but de cerner l'analyse de la documentation pertinente, nous avons choisi de nous limiter à un sous-ensemble de la liste des équipements utilisée par l'Environmental Protection Agency des États-Unis (EPA) dans le cadre de son projet d'étude d'impact sur l'environnement de ce genre d'équipements. (15) Seuls ceux dont la dimension permettait leur utilisation à l'intérieur de sites fermés ou semi-fermés ont été conservés pour les fins de cette revue.

La liste d'équipements, regroupés par secteur (équipements de construction, équipements de jardinage, équipements forestiers, équipements commerciaux légers, équipements industriels), est présentée à l'annexe 1.

Le cas des chariots-élévateurs faisant déjà l'objet d'une surveillance particulière par un groupe de travail québécois, l'information présentée dans ce document à leur sujet n'est utilisée qu'à titre comparatif.

Suite à une revue de la documentation, les auteurs n'ont retenu que les événements reliés au travail, puisque les intoxications au CO hors-travail sont associées à l'automobile et aux diverses sources de chauffage. (6)

3 Identification du risque

Une recherche approfondie de la littérature n'a mis en évidence que quelques publications spécifiques concernant l'exposition au CO lors de l'utilisation de petits équipements au travail. La majorité des travaux concernant ces équipements sont associés à leur contribution à la pollution environnementale.

3.1 Répertoire des équipements produisant du CO

Dans le cadre de son étude d'impact sur l'environnement des émissions de CO par les moteurs à combustion interne d'équipements hors-route (contribution évaluée à 15 % de l'inventaire global de CO au États-Unis), l'EPA a déterminé les taux d'émission en terme de la puissance du moteur, du type de carburant et du type de moteur. (15) D'autres organismes, comme la Society of Automotive Engineers (SAE) et Environnement Canada, ont aussi analysé le taux d'émission de certains de ces équipements dans le cadre d'études environnementales. On retrouve au tableau 4 les taux tels que rapportés par tous ces organismes.

Les taux d'émission sont exprimés en grammes de CO par cheval-vapeur (horse-power) par heure (g/hp-h). Cette unité, bien que non conforme au système métrique (g/kw-h), nous semble plus pertinente car plus conforme à l'information disponible sur le marché de l'achat et de la location des équipements au Québec.

Tableau 4
Compendium des taux d'émission de CO

Type d'équipement	Diesel, Essence ou Propane	Force du moteur	Moteur 2 / 4 temps	Taux d'émission de CO*
	D, E, P	hp	2, 4	g/ hp-h
EQUIPEMENTS DE CONSTRUCTION				
Dameuses	D	3 à 4 ⁽¹⁶⁾		5
	E	3 à 4 ⁽¹⁶⁾	4	380
	E	3 à 4 ⁽¹⁶⁾	2	925
Plaque vibrante	D	4 à 8 ⁽¹⁶⁾		5
	E	4 à 8 ⁽¹⁶⁾	4	380
	E	4 à 8 ⁽¹⁶⁾	2	925
Épandeuse de béton	D			5
Rouleaux Rouleaux compresseurs	D			5
	E		4	385
Équipement de pavage Finisseur de ciment Vibrateur de ciment	D			5
	E		4	380
	E		2	925
Foreuses Foreuses horizontales	D			10
	E		4	260
	E		2	925
Scie à béton/industrielle (E, 95 cm ³ ⁽¹⁶⁾)	D			10
	E		4	380
Mélangeur (Baratte) à ciment (E, 5hp, 160 cm ³ ⁽¹⁶⁾)	D			5
	E		4	380
Chariots élévateurs tout terrain	D			10
	E		4	260
Chargeurs sur roue	D			5
	E		4	215
Tracteurs sur roues	D			5
Rétrocaveuse	D			10
	E		4	260
Motobasculeur (E, 16hp, 380 cm ³ ⁽¹⁶⁾)	D			5
	E		4	380
Autres équipements de construction Pompe à béton Marteau-piqueur hydraulique / pneumatique	D			10

Tableau 4 Compendium des taux d'émission de CO (suite)

Type d'équipement	Diesel, Essence ou Propane	Force du moteur	Moteur 2 / 4 temps	Taux d'émission de CO*
	D, E, P	hp	2, 4	g/ hp-h
ÉQUIPEMENT DE JARDINAGE				
Scies à chaîne < 4hp	E		2	1330
ÉQUIPEMENT FORESTIER				
Scies à chaîne > 4 hp	E		2	975
ÉQUIPEMENTS COMMERCIAUX LÉGERS				
Génératrices Génératrice portative (5 à 8 hp ⁽¹⁶⁾)	D	< 50		5
	E	< 50	4	675
	E	< 50	2	925
Pompes Pompe portative (E, 5.5 hp, 160cm ³ ⁽¹⁶⁾) Pompe industrielle Pompe à rebuts Pompe à incendie	D	< 50		5
	E	< 50	4	675
	P	< 50	4	215
Compresseurs d'air	D	< 50		5
	E	< 50	4	675
Compresseurs de gaz (E, 5.5 hp, 160cm ³ ⁽¹⁶⁾)	P	< 50	4	150
Soudeuses	D	< 50		5
	E	< 50	4	675
Machines à nettoyage sous pression (5,5 hp ⁽¹⁷⁾) (E, 11 hp, 360 cm ³ ⁽¹⁶⁾)	D	< 50		5
	E	< 50	4	675
ÉQUIPEMENTS INDUSTRIELS				
Équipement de levage Plate-forme d'accès télescopique Table élévatrice à ciseaux Plate-forme d'accès télescopique autonome Chariot-élévateur	D			10
	E		4	260
	P		4	85
Chariot-élévateur (1800cc ⁽¹⁸⁾)	P	45-50 ⁽¹⁹⁾	4 ⁽¹⁸⁾	85 ^(18, 19)
“Balayeuses/Nettoyeuses” Balayeuses Nettoyeuses	D			10
	E		4	260
	P		4	85
Autres équipements industriels Polisseuses à plancher Décapeuses	D			10
	E		4	260
	E		2	630

* Toutes les valeurs citées proviennent de l'EPA (15) sauf indication contraire; elles sont ajustées au multiple de 5 au-dessus de la valeur dans le document.

Les valeurs de l'EPA représentent une moyenne des émissions mesurées à différents régimes et charges et prennent en compte l'effet de l'utilisation réelle de l'équipement. Elles s'appliquent à l'ensemble des petits équipements d'un même type (le type est représenté en caractères gras dans chaque case)

3.2 Facteurs influençant le niveau d'émission de CO

Le niveau d'émission de CO d'un petit moteur est fonction : du type de moteur, du type de carburant et du mélange air/carburant.

La compilation du tableau 4 met en évidence l'impact du carburant sur le taux d'émission de CO. L'utilisation de carburant diesel engendre des émissions en général de 5-10 g/hp-h alors que les moteurs à essence ou propane pour les mêmes types d'équipement varient de 260 à 925 g/hp-h. Les handicaps des équipements fonctionnant au diesel sont le taux élevé d'émissions de particules solides de combustion incomplète (suies), les concentrations élevées de NOx et les odeurs.

La substitution du propane à l'essence réduit le taux d'émission de façon significative dans la mesure où il permet d'obtenir un mélange d'air/carburant moins riche tout en conservant l'efficacité optimale du moteur. On réduit de 55% (372 g/hp-h à 168 g/hp-h) le taux d'émission d'un moteur quatre temps de 4,5 hp en lui substituant un système au propane. (20) La réduction est de l'ordre de 67% dans le cas des taux de l'EPA.

Le type de moteur est le deuxième élément en importance. Les émissions de moteur deux temps fonctionnant au même ratio air/carburant qu'un moteur quatre temps devrait produire des quantités similaires de CO. (20) L'analyse des résultats présentés au tableau 4 permet d'établir que, dans les conditions réelles d'usage d'un même type équipement, l'utilisation d'un moteur quatre temps engendre une réduction de 1,4 à 2,4 de la concentration de CO.

Le troisième élément est le ratio air/carburant et le type de mélange. Les ajustements sont généralement élevés en carburant comparativement à l'air pour ces moteurs à essence de façon à obtenir un fonctionnement en douceur du moteur et le refroidissement du carburant. (20) Une diminution du ratio sous le niveau optimal de fonctionnement réduit la force du moteur et augmente la température de la tête du cylindre ce qui peut réduire le temps de vie du moteur. (21) Tout ajustement vers un mélange moins riche doit tenir compte de ces deux facteurs.

3.3 Facteurs influençant le niveau d'accumulation de CO dans la zone respiratoire

Si on exclut la captation par conversion catalytique, les seuls facteurs susceptibles d'influencer l'accumulation du CO dans la zone respiratoire sont liés à la ventilation des lieux : le taux de changement d'air frais, l'homogénéité du remplacement d'air et les parcours des gaz d'échappement.

3.4 Niveaux d'exposition observés

On a choisi de présenter la contribution environnementale du CO à l'exposition des individus pour en déterminer l'importance relative dans le contexte québécois.

3.4.1 Niveaux environnementaux d'exposition

Des concentrations provenant de sources autres que celles du milieu de travail peuvent-elles contribuer de façon significative à l'exposition d'un travailleur? En d'autres mots, y-a-t-il un « bruit de fond » important à considérer lors de l'évaluation hypothétique de l'exposition au travail, soit pour la VEMP soit pour la VECD?

Le monoxyde de carbone est un des polluants les plus communément surveillés par les organismes d'assainissement de l'air pour évaluer la qualité de l'air respirable dans les milieux hautement urbanisés. Provenant majoritairement des sources de combustion associées au chauffage et aux véhicules automobiles, la concentration environnementale de monoxyde de carbone peut varier en fonction du temps à long, moyen et court terme.

On utilise ici les niveaux observés par la Communauté urbaine de Montréal à titre d'indicateur pour vérifier cette contribution au Québec. (22)

Tableau 5

Concentration de CO en mg/m³ à divers postes de prélèvements de la CUM				
Station de prélèvement	Période de mesure	Moyenne pour la période	Écart type pour la période	Maximum horaire observé
3	1994-2000	0,4	0,4	5,8
28	1994-2000	0,8	0,7	15,6
29	1994-2000	0,5	0,6	10,6
61	1994-2000	1,0	0,7	12,2

L'ensemble de ces données est issu de moyennes horaires calculées par les systèmes instrumentaux en place aux différentes stations de prélèvement. Pour l'ensemble de la période de mesure citée, de 1994 à l'été 2000, 99,2% de ces 338 608 moyennes horaires sont inférieures à 5 mg/m³, 99,996% à 10 mg/m³ et 100% à 16 mg/m³.

Ces données moyennes sont comparables à celles de grandes métropoles comme Frankfort et Londres (2 à 4 mg/m³) mais elles sont beaucoup plus faibles que celles de Los Angeles où les moyennes annuelles sont de l'ordre de 8 mg/m³. (5)

Même si les conditions hivernales semblent entraîner des niveaux environnementaux légèrement plus élevés, ceux-ci demeurent largement en deçà des niveaux pouvant mener à des cas d'intoxication aiguë au CO ou même à une contribution significative à la VEMP (40 mg/m³) d'un travailleur utilisant un équipement actionné par un moteur à combustion interne.

Alors que le niveau engendré par la cigarette dans les boîtes de nuit et les brasseries avant la naissance des règles anti-tabac pouvait atteindre 15 ± 8 mg/m³ (23) le niveau observé lors de la conduite automobile entre la résidence et le lieu de travail peut atteindre des valeurs entre 7 et 18 mg/m³ selon la région géographique aux États-Unis. (24)

3.4.2 Niveaux mesurés d'exposition au travail

Tableau 6
Niveaux estimés d'exposition en milieu de travail

Activité	VEMP		VECD	
	Sans mesures de réduction	Avec mesures de réduction	Sans mesures de réduction	Avec mesures de réduction
	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³	mg/m ³
Construction				
Finissage de ciment (Essence/ Moteur 4,5 - 5 hp)	17 ± 13 ⁽⁷⁾		154 ± 90 ⁽⁷⁾	
Compresseur à air (Essence)			368 ⁽³⁾	
Nettoyage à eau sous pression (Moteur 8 hp)			515 à 625 ⁽³⁾	
Pompe à eau (Moteur 8 hp)			220 à 450 ⁽³⁾	
Scie à ciment (Essence/Moteur 5hp)			960 ⁽³⁾	
Établissements industriels et commerciaux				
Polissage de planchers (Propane/Moteur 16 hp, 2 temps)	9 ± 5 ⁽²⁵⁾	0,8 ± 0,2 ⁽²⁶⁾ (Convertisseurs catalytiques, alarmes et contrôle numérique d'injection)	155 ± 58 ⁽²⁵⁾	7 ± 5 ⁽²⁶⁾
Concentration moyenne du lieu lors de l'opération de chariots-élévateurs (Propane)	51 ± 15 ⁽²⁷⁾	29 ± 8 ⁽²⁷⁾ (Entretien et réduction de l'utilisation)	108 ± 40 ⁽²⁷⁾ 210 à 390 ⁽²⁸⁾	62 ± 25 ⁽²⁷⁾
Concentration moyenne du lieu lors de l'opération de chariots-élévateurs (Diesel)	< 7 ⁽²⁹⁾			
Fermes				
Nettoyage à eau sous pression (Essence / Moteur 5,5 hp, 4 temps)			343 à 743 ⁽¹⁷⁾	
Industrie forestière				
Scies à chaînes (Essence / Moteurs 2 temps)	14 à 34 ^(30, 31)		455 ⁽³¹⁾	

Lors du finissage de ciment dans des sous-sols résidentiels, l'opération d'une machine à essence, en moyenne pour 23 minutes, a entraîné des VECD moyennes de CO de 147 mg/m³ sans l'utilisation de chaufferettes et de 191 mg/m³ avec leur usage. (7) La VEMP n'a jamais été dépassée contrairement à la VECD qui, elle, l'a été à 6 reprises sur un total de 26 mesures. Un protocole d'échantillonnage ne visant que la VEMP serait donc insuffisant pour évaluer le risque dans ce cas. Dans une autre publication concernant la même expérience, on mentionne que des essais pour diminuer la concentration de CO en installant un ventilateur axial ont en fait mené à une augmentation de la concentration de 36% (32) sans préciser la cause ou les conditions.

Dans un cas du polissage de planchers avec une machine fonctionnant au propane, alors que la VEMP n'était que de 9 ± 5 mg/m³, la VECD, dans des locaux ventilés (Université d'Arizona), atteignait des valeurs approchant la limite réglementaire du Québec, 155 ± 58 mg/m³. (25) Les taux de ventilation ne sont pas précisés dans cette étude.

On a vérifié les conditions ayant mené à un cas d'intoxication au CO dans une ferme lors de l'utilisation d'un appareil de nettoyage à eau sous pression. Les auteurs ont simulé l'utilisation de cet appareil dans un garage de 727 pi² et de 8360 pi³. Avec toutes les ouvertures bouchées, la concentration de CO a atteint 229 mg/m³ en 5 minutes, 1370 en 15 minutes et au-delà de 2170 en 19 minutes près de l'appareil. Avec portes et fenêtres ouvertes (env. 20% de la surface de plancher), la concentration de CO a atteint 229 mg/m³ en 3 minutes et a atteint une valeur limite de 752 en 12 minutes pour fluctuer ensuite entre 343 et 743 près de l'appareil. (17)

Le niveau d'exposition au CO, lors de l'utilisation de scies à chaînes dans des conditions particulières du milieu forestier, serait indépendant de la marque et de l'âge de la machine. Il serait plutôt fonction de l'opération qui influence le régime du moteur et des positions contraignantes lors de certaines tâches qui forcent le travailleur de s'approcher du tuyau d'échappement. (30, 31)

L'analyse des valeurs dans le tableau 6 semble indiquer que si la VECD est souvent dépassée lors de l'utilisation des petits équipements, la VEMP pourrait dans beaucoup de cas ne pas être en cause. Ceci confirme l'opinion d'un des auteurs à l'effet qu'une évaluation qui se limiterait à la mesure de l'exposition pondérée sur huit heures ne permettrait pas de cerner le risque le plus fréquent d'intoxication.

3.4.3 Données factuelles sur les cas d'intoxication

Il existe peu d'information sur les cas d'intoxication au monoxyde de carbone au Québec.

On répertorie dans les statistiques d'accidents indemnisés de la CSST, sur une période de 3 ans entre 1995 et 1997, 92 cas d'intoxication accidentelle au CO et 2 cas reconnus de maladies professionnelles reliées au CO. Le secteur de la construction compte 10 cas à lui seul. Aucun décès relié au CO n'a été enregistré. (33) On observe donc environ une

trentaine de cas indemnisés d'intoxication au CO par année.

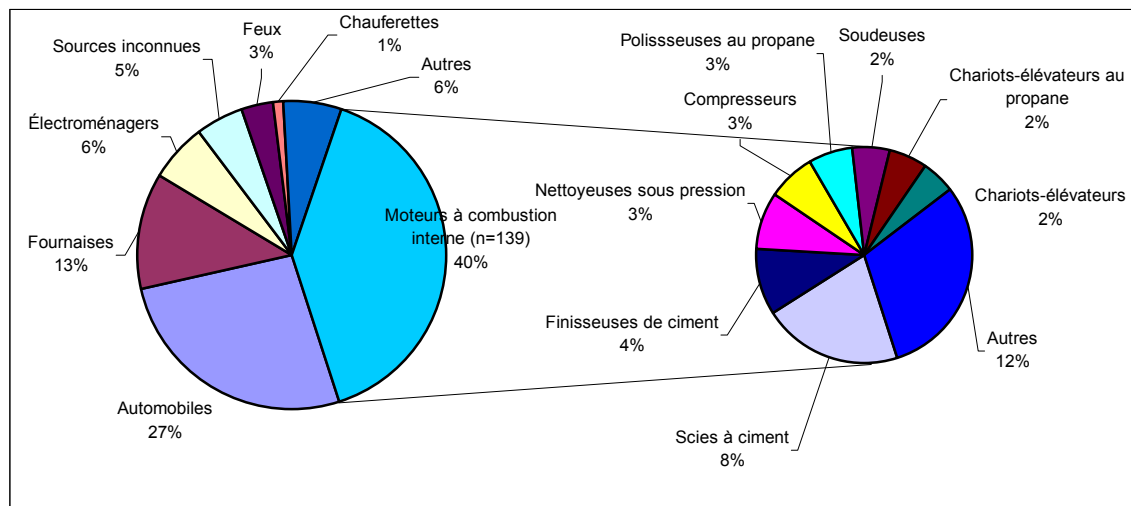
Un rapport des cas de traitement à la chambre hyperbare de l'hôpital Sacré-Coeur de Montréal signale, sur une période de 2 ans (1994-1995), 20 cas d'intoxication au CO lors du travail, ce qui correspond à 11% de l'ensemble des intoxications involontaires au CO. De ce nombre, 30 à 45% serait associé à l'usage d'équipements actionnés par un moteur à combustion interne, autres que les véhicules. (34)

Une analyse des données du Centre anti-poison du Québec (CAPQ) pour la période de 1994 à juin 1996 indique que 31% des interventions associées aux intoxications involontaires au CO sont reliées au travail, soit 553 (221 par année). (6)

Dans l'étude précédemment citée (1), on a répertorié 349 cas d'intoxication au CO dans le milieu de travail sur une période de 10 ans, soit 15% de tous les cas d'intoxications involontaires de cette période. Ces données sont issues d'un système gouvernemental de surveillance médicale, en place au Colorado depuis 1985; pour être répertorié, le cas se devait d'être soit

- une personne avec un taux de HbCO de plus de 12% tel que mesuré dans un laboratoire clinique,
- une personne traitée en chambre hyperbare pour intoxication au CO,
- une personne dont le certificat légal de mortalité spécifie le CO comme cause de la mort et
- jusqu'en 1989, une personne recevant une indemnisation pour un accident du travail causé par le CO.

Figure 1 Description de l'ensemble des incidents rapportés par Hawkes et al. 1998



Le nombre total des intoxications associés aux petits équipements s'élève à 139 (40% ou 36% si on exclut la contribution des chariots-élévateurs alors que le nombre hors du travail n'est que de 2%). De ceux-ci, 96 % se sont produits dans un endroit fermé ou semi-fermé dont 50 % dans l'industrie de la construction.

Les auteurs notent que ces résultats représentent une estimation minimale; en évaluant l'efficacité du système de surveillance, ils ont observé que seulement 65% des cas traités en chambre hyperbare pour intoxication au CO avaient été déclarés au système de surveillance.

Dans certaines conditions non seulement l'opérateur est-il susceptible d'être exposé au CO mais également les autres travailleurs ou usagers qui partagent le même espace comme dans le cas des occupants d'un édifice après le polissage du plancher. (25)

Une revue de la mortalité et morbidité au travail associée au CO tel que répertorié par le Center for Disease Control (CDC) entre 1982 et 1999, fait mention de quatre intoxications impliquant des chariots-élévateurs au propane (35, 36), dix-neuf associés au nettoyage sous pression (3, 37, 38), un avec une scie à béton (3), un avec une pompe à eau (3) un au polissage de planchers (39), un avec une génératrice (3), un lors de l'utilisation d'un compresseur à air (3) et un, suite à une exposition à l'extérieur en utilisant un tracteur de ferme (40). Environ 70% de ces cas d'intoxication implique une exposition de moins de quatre heures.

Durant la même période le CDC a répertorié 16 événements d'intoxication dans des lieux publics, résidentiels et dans des véhicules routiers.

On retrouve dans la littérature une série d'autres cas d'intoxication impliquant des chariots-élévateurs (18, 41), des scies à ciment ou des finisseurs de ciment. (8)

Bien qu'il ne s'agisse pas à proprement parler d'un équipement actionné par un moteur à combustion interne, il est bon de noter qu'on cite les décolleuses à papier peint comme une source importante de CO dans les travaux de construction. (42)

4 Pistes de prévention

4.1 Utilisation d'équipements électriques

La solution idéale étant l'élimination à la source, le remplacement des moteurs à combustion interne par une source d'énergie non polluante comme l'énergie électrique serait l'alternative première à considérer. Cependant, même si des équipements énumérés dans le tableau existent en version électrique, les contraintes reliées à la précarité des installations et la maniabilité des outils semblent limiter leur utilisation dans les activités de construction.

4.2 Réduction des émissions de CO

Au début des années 1990, plusieurs projets de recherche ont vu le jour aux États-Unis pour évaluer des mécanismes de réduction de pollution engendrée par les moteurs de petits équipements (21, 43, 44, 45, 46); des projets de règlement en Californie et à l'EPA, depuis lors en vigueur sous des formes modifiées, étaient à l'origine de ces efforts pour restreindre les émissions de ces équipements.

Plusieurs alternatives ont été envisagées :

- L'utilisation de carburants modifiés,
- L'appauvrissement du mélange (changement du jet du carburateur),
- L'utilisation d'un convertisseur catalytique avec ou sans air supplémentaire
- La recirculation des gaz d'échappement au moteur,
- L'injection d'air dans l'échappement (oxydation thermique) et
- L'ajustement de la synchronisation de l'allumage.

Alors que l'ajustement de la synchronisation de l'allumage (43) s'est avéré une mesure inefficace, les autres alternatives ont toutes contribué à réduire les émissions de CO dans certains cas de façon significative.

L'utilisation d'un moteur diesel de 15,6 hp pour le même usage qu'un moteur à essence quatre temps de 11 hp permet de réduire les émissions de 254 à 3,31 g/hp-h. (21) L'utilisation d'une essence modifiée avec de l'éthanol permet de réduire de 137 à 79 g/hp-h pour un moteur 2 temps de 6 hp alors que les résultats sont moins significatifs avec un moteur 4 temps de 3,5 hp où la réduction constatée n'est que de 358 à 323 g/hp-h. (45)

Le changement du jet de carburateur peut à lui seul diminuer les émissions de CO de 81% sans perte significative de puissance (21) ou 85% avec cependant une perte de puissance de 10%. (43)

L'utilisation d'un convertisseur catalytique a permis de diminuer les émissions de CO d'une génératrice à essence de 3kW de 93 à plus de 99%, selon la charge, lors d'un essai en laboratoire. (46) Cependant, l'utilisation de scies à chaînes commerciales en Autriche dotées de convertisseur catalytique depuis 1990 permet d'estimer que la réduction des émissions de ces équipements à moteur à essence 2 temps se situe en règle générale aux environs de 60%. (44)

La recirculation des gaz d'échappement au moteur peut aussi contribuer à la réduction des émissions de CO dans des proportions variables de 60% (43) à 20% (21) mais cette option peut avoir un impact sur la puissance du moteur. D'installation simple, cette mesure pourrait représenter par ailleurs une augmentation significative du coût de l'équipement. (43)

L'injection d'air dans les gaz d'échappement (21, 43) est une mesure plus difficile à mettre en application à cause des petites dimensions des tuyaux d'échappement des petits équipements. Alors que l'injection d'air dans le silencieux est sans effet sur l'émission du CO, l'injection en amont peut réduire ces émissions d'environ 65% à plein régime mais devient inefficace lorsque le moteur est au ralenti. Les auteurs signalent cependant que l'application commerciale de cette méthode demandera beaucoup plus de recherche avant d'être pratiquement réalisable à cause de la complexité de l'équipement requis.

Dans une étude concernant les polisseuses de plancher actionnées au propane, on a réussi à réduire de 96% les émissions de CO en installant sur chaque appareil testé un convertisseur catalytique et un système de contrôle numérique du mélange air-essence.

(26) L'auteur note cependant qu'une défaillance de l'avertisseur du système de contrôle numérique, un filtre à air bloqué ou une bougie défectueuse annule l'effet des mécanismes de contrôle.

Dans le cas du finissage du ciment, les auteurs d'une étude indiquent que l'ajustement de la carburation ainsi que les convertisseurs catalytiques sont des pistes prometteuses mais sans indiquer d'application commerciale. Ils font de plus observer que les appareils électriques, bien que souhaitables pour la santé des travailleurs, entraînent de nombreux problèmes fonctionnels qui limitent leur utilisation. (7)

Suite à la publication des nouvelles règles concernant les émissions des équipements hors-route de l'EPA (en vigueur pour les moteurs à étincelles de 19kW (25 hp) ou moins fabriqués depuis 1997 (47) et tous les moteurs à compression (48)), on peut s'attendre à un effort des manufacturiers pour réduire les émissions de la majorité des équipements utilisant des moteurs deux temps. Parmi les moteurs quatre temps, les génératrices, les pompes, les compresseurs à air, les soudeuses et les machines à nettoyage sous pression sont également touchés par ces nouvelles règles.

Cependant la réduction requise des émissions n'est qu'environ de 50%, ce qui est loin d'assurer des conditions d'émission sans risques pour les travailleurs qui oeuvrent dans des lieux fermés ou semi-fermés. Les taux d'émission de CO de ces nouveaux équipements ne devront pas dépasser 387 à 600 g/hp-h selon la cylindrée du moteur pour les moteurs à étincelles (spark-ignition) et 2,7 à 8,5 g/hp-h selon la cylindrée du moteur pour les moteurs à compression (compression-ignition).

4.3 Réduction de l'accumulation de CO

L'article de Earnst et al. (1997) est assez révélateur sur les limites de la ventilation par dilution à réduire les concentrations de CO lors de l'utilisation de petits équipements actionnés par moteur à combustion interne sous les limites acceptables d'exposition. (49) Les auteurs ont enquêté un cas d'intoxication de deux travailleurs utilisant une scie à béton (moteur à essence de 5 hp) dans une salle de bain publique de 66 m³ (2332 pi³) ventilée par un ventilateur au plafond et les portes ouvertes. Ils ont utilisé les principes de la ventilation par dilution pour simuler l'accumulation de CO lors de cet accident.

Le taux d'accumulation du CO dans un lieu est égal au taux d'émission moins le taux d'élimination (par dilution) ou en termes mathématiques :

$$\frac{VdC}{dt} = G - \frac{Q}{k} C$$

où V = volume de la pièce (unité de volume)

C = Concentration du contaminant (unité de masse ou de volume par volume)

t = temps

G = taux d'émission (unité de masse ou de volume par unité de temps)

Q = taux volumétrique de ventilation (unité de volume par unité de temps)

k = facteur de mélange (l'homogénéisation parfaite signifie k=1) (sans unité)

Q/k = taux volumétrique réel de ventilation

En utilisant ce modèle les auteurs ont pu déterminer que le taux d'émission se situait à 318 g/hp-h (ce qui se compare bien à la valeur de 380 g/hp-h disponible au tableau 4 pour ce genre d'équipement) et que le taux réel de ventilation (Q/k) était 1420 m³/h (836 pi³/m – cfm). Dans ces conditions, la VECD (230 mg/m³) était dépassée après 32 secondes et on aurait atteint une concentration à l'équilibre de 1120 mg/m³ en 21 minutes.

Ils en déduisaient qu'il faudrait un taux de ventilation environ 6 fois plus élevé pour empêcher la concentration de dépasser la VECD.

Bien que la ventilation à la source sur les pièces d'équipement permettrait sans doute de contrôler les concentrations de CO sous la VECD, ce type d'utilisation avec des équipements mobiles est difficile à imaginer. Cependant une piste intéressante, pour les équipements plus stationnaires, comme les pompes ou les génératrices, pourrait être des systèmes d'aspiration mobiles envoyant les gaz d'échappement à l'extérieur ou des systèmes similaires couplés à des convertisseurs catalytiques (munis d'alarmes) pour la recirculation de l'air dans le lieu de travail.

4.4 Mécanismes d'avertissement et d'évacuation

Il existe depuis plusieurs années des détecteurs fixes ou portatifs de CO. Cependant en plus de ne pas être à la portée de toutes les bourses, ces équipements doivent être étalonnés régulièrement ce qui exige de la part des usagers une rigueur d'opération difficile à contrôler dans beaucoup d'environnements.

4.5 Mesures générales de prévention

4.5.1 Information sur les risques et la toxicité

Plusieurs documents d'information générale sont déjà disponibles, en version papier ou sur l'Internet auprès de divers organismes tel le NIOSH ou l'OSHA, sur les risques d'intoxication associés aux petits moteurs à combustion interne et les mesures générales de prévention. (50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58)

4.5.2 Appareils rencontrant les nouvelles restrictions de l'EPA

Concernant les taux d'émission de CO des équipements, il serait utile aux usagers d'obtenir de la part des fournisseurs ou des locateurs la confirmation que leurs équipements rencontrent les nouvelles normes d'émission de l'EPA. Bien que cette assurance soit insuffisante pour assurer la sécurité des travailleurs, elle fournit quand même une réduction appréciable des émissions notamment dans le cas des scies à chaînes.

4.5.3 Calcul de la ventilation

De plus en utilisant les principes de la ventilation par dilution, on pourrait développer pour les usagers d'équipements munis de moteur à combustion interne un petit document leur permettant de calculer facilement divers scénarios en fonction des paramètres du travail à accomplir.

Prenons l'exemple suivant et voyons quels éléments d'information pourraient être utiles tout en étant faciles d'accès :

Un finisseur de ciment à moteur à essence 4 temps de 5 hp va être utilisé dans un projet de construction. On simule le taux d'accumulation de CO pour trois volumes de pièce (1000, 10000 et 100000 pi³) et 3 taux de changement d'air frais à l'heure (1, 10 et 20) et on assume une homogénéisation parfaite (k=1) donc sans effet de la position du travailleur par rapport à la source.

En utilisant la relation établie précédemment,

$$\frac{VdC}{dt} = G - \frac{Q}{k} C$$

on peut calculer les temps suivants pour atteindre la VEA - VECD de 230 mg/m³ et la valeur DIVS de 1380 mg/m³

Tableau 7

Exemple de calcul du temps pour atteindre la VECD et la valeur DIVS

Scénario	Description du lieu	Volume de l'aire	Taux de ventilation	Temps pour atteindre la VECD	Temps pour atteindre la valeur DIVS
1	Plus petite pièce, plus faible taux de ventilation – grande salle de bain (10x10x10 pi.)	28,3 m ³ (1000 pi ³)	1 changement d'air frais à l'heure (28,3 m ³ /h)	t 12 secondes	t 75 secondes
2	Pièce moyenne, plus haut taux de ventilation - grand appartement (20x50x10 pi.)	283 m ³ (10000 pi ³)	10 changements d'air frais à l'heure (2830 m ³ /h)	t 2,5 minutes	Jamais Ceq Valeur équilibre 671 mg/m ³
3	Très grande aire, très haut taux de ventilation - mini entrepôt (100x100x10 pi.)	2830 m ³ (100000 pi ³)	20 changements d'air frais à l'heure (56634 m ³ /h)	Jamais Ceq Valeur équilibre 33,5 mg/m ³	---

On a obtenu ces valeurs en utilisant les relations suivantes déduites de l'équation du taux d'accumulation et le tableau 4 où on a extrait le taux d'émission par unité de force d'un finisseur de ciment avec un moteur à essence 4 temps (380 g/hp-h):

$$t = - 60 \frac{V}{Q'} \ln (1 - (C \cdot 10^{-3} \cdot Q' / F \cdot G')) \quad \text{et} \quad C_{eq} = \frac{F \cdot G' \cdot 10^3}{Q'}$$

où t = temps en minutes pour atteindre la valeur de concentration C

V = volume du lieu en m^3

Q' = taux volumétrique de ventilation réel (Q / k) en m^3/h

C = concentration du contaminant en mg/m^3

F = force du moteur en hp

G' = taux d'émission du moteur par unité de force en g/hp-h

C_{eq} = concentration à l'équilibre quand l'émission est égale à l'élimination

Quand on applique la première équation à la VECD et à la valeur de DIVS, on obtient les deux formules simplifiées où

- t représente le temps où cette valeur sera dépassée et
- Q'' la ventilation réelle qu'il faut assurer pour ne jamais la dépasser.

Pour la VECD :

$$t = - 60 \frac{V}{Q'} \ln (1 - (0,230 \cdot Q' / F \cdot G')) \text{ minutes} \quad Q'' = 4,35 F \cdot G' \cdot m^3/h$$

Pour la valeur DIVS :

$$t = - 60 \frac{V}{Q'} \ln (1 - (1,38 \cdot Q' / F \cdot G')) \text{ minutes} \quad Q'' = 0,725 F \cdot G' \cdot m^3/h$$

Bien que la ventilation réelle ne soit pas une donnée facile à définir, elle pourrait permettre à l'utilisateur de prévoir des mesures de protection supplémentaires pour son personnel.

5 Conclusion

Il n'existe pas de solution unique pour résoudre le problème des intoxications au CO suite à l'utilisation de petits équipements actionnés par des moteurs à combustion interne.

Si l'on peut espérer qu'au cours des prochaines années l'impact de la législation américaine permettra de réduire de moitié les concentrations de CO générées par les moteurs qui actionnent les petits équipements, le problème restera d'actualité. Malgré la réduction anticipée, le nombre d'incidents en milieu de travail ne devrait pas diminuer de

façon significative. Par ailleurs aucune des percées technologiques recensées au cours des dernières années pour tenter de réduire le problème n'offrent de solutions tangibles.

Seul un ensemble concerté de mesures devrait permettre de réduire de façon significative le nombre d'incidents en milieu de travail. On peut raisonnablement croire que :

Une campagne d'information spécifique sur les risques associés à l'utilisation de petits équipements actionnés par des moteurs à combustion interne, mettant en évidence le grand potentiel de surexposition sur des périodes de courte durée alors que les moyennes sur huit heures sont amplement respectées, qui ciblerait les travailleurs de la construction associée à

une prise de conscience des inspecteurs notamment qui œuvrent sur les chantiers de construction et au

développement pour les usagers d'équipements munis de moteur à combustion interne d'outils leur permettant de calculer facilement divers scénarios en fonction des paramètres du travail à accomplir

devraient permettre de sensibiliser le milieu de la construction à cette problématique.

En parallèle une campagne ciblée sur les locateurs devrait permettre ;

de leur faire prendre conscience des risques associés à la location d'équipement non entretenus conformément aux normes des fabricants,

de les encourager à remplacer les moteurs deux temps par des moteurs quatre temps lorsque possible et

les encourager à informer leurs clientèles (ex., par l'entremise de placards, pamphlets etc. disponibles via la CSST) des risques d'intoxication associés à l'utilisation d'équipement actionnés par des moteurs à combustion interne.

Au niveau recherche une meilleure connaissance des émissions de petits moteurs qui actionnent certains équipements devraient permettre une meilleure connaissance de la problématique tout en fournissant aux intervenants impliqués des données plus appropriées pour se prendre en charge.

Liste des abréviations

ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
ASP	Association sectorielle paritaire de santé et sécurité (du Québec)
CSST	Commission de la santé et de la sécurité du travail (du Québec)
CUM	Communauté urbaine de Montréal
DIVS	Danger immédiat pour la vie et la santé
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
OSHA	Occupational safety and health administration
RQMT	Règlement sur la qualité du milieu de travail (du Québec)
SNC	Système nerveux central
U.E.	Union européenne
VECD	Valeur d'exposition de courte durée (15 minutes)
VEMP	Valeur d'exposition moyenne pondérée (8 heures)

Bibliographie

- (1) Hawkes A.P., McCammon J.B., Hoffman R.E., Indoor Use of Concrete Saws and Other Gas-Powered Equipment: analysis of reported carbon monoxide poisoning cases in Colorado, JOEM, Volume 40 no 1, 49-54, 1998.
- (2) Bureau of Labor Statistics, U.S. Department of Labor, in cooperation with state and federal agencies, Census of fatal occupational injuries, 1993-1998
- (3) NIOSH/CDPHE/CPSC/OSHA, Alert: Preventing Carbon Monoxide Poisoning from Small Gasoline-Powered Engines and Tools, National Institute for Occupational Safety and Health, 1996.
- (4) Fournier K., Ménard L., Outils mécanisés actionnés par un moteur à combustion : utilisation dans les espaces fermés et semi-fermés, Rapport non publié CSST, 1999.
- (5) WHO-IPCS, Environmental Health Criteria 213, Carbon Monoxide (Second Edition), 1999.
- (6) Comité provincial sur les empoisonnements au monoxyde de carbone au Québec, Étude descriptive des empoisonnements involontaires au monoxyde de carbone au Québec, Février 1997
- (7) Hafliðson W.O., Figueira C.S., Carbon monoxide exposure of concrete finishers, Appl Occup. Environ. Hyg., Vol 12 no 2, 126-131, 1997
- (8) Orser J., Carbon monoxide : dealing with the invisible. Everyone knows that carbon monoxide is deadly; but just how serious and widespread the hazard may be is an unknown, OHS Canada. Vol. 15/no. 1, p. 54-56, Jan./Feb. 1999
- (9) NIOSH, Online Pocket Guide to Chemical Hazards, Site Internet du NIOSH (<http://www.cdc.gov/niosh/npg/pgdstart.html>), 2000-11-30
- (10) Règlement sur la qualité du milieu de travail, R.R.Q., c.S-2.1, r. 15, Éditeur officiel, Québec.
- (11) Projet de règlement Qualité du milieu de travail, Gazette officielle du Québec 16 septembre 1998, 130^{ième} année, No. 38, p. 5103-5209, Éditeur officiel, Québec.
- (12) Ministre du travail, Annonce du 21 juin 2000 « Occupational exposure limits », Site Internet du Ministère du travail de l'Ontario (<http://www.gov.on.ca/LAB/leg/lege.htm>), 2000-12-04

- (13) OSHA, 29CFR Part 1910 Subpart Z, Toxic and hazardous substances, Table Z-1 Limits for air contaminants
- (14) U.E. Scientific committee for occupational exposure limits (SCOEL), Occupational exposure limits, Direction générale "For employment industrial relation and social affairs", 1998, (<http://europa.eu.int/comm/dg05/h&s/mainhs.htm>)
- (15) EPA, Nonroad engine and vehicle emission study report, Report EPA-21A-2001, United States Environmental Protection Agency, 1991
- (16) Bellavance G., Loutec, Communication personnelle, novembre 2000
- (17) Venable, H. , Wallingford, K., Roberts, D., Booher, D. Simulated carbon monoxide exposure in an enclosed structure from a gasoline-powered pressure washer, Appl Occup. Environ. Hyg., Vol 10 no 7, 581-584, 1995
- (18) Fawcett, T.A. et al., Warehouse worker's headache Carbon monoxide poisoning from propane-fueled forklifts, JOM, p. 12-15, Janvier 1992
- (19) Marcoux, J.L., Liftow inc., Communication personnelle, 2000-12-07
- (20) White J.J, Carroll J.N., Hare C.T., Emission Factors for Small Utility Engines, SAE Technical Paper 910560 présenté au "International Congress & Exposition", Détroit MI, Février-Mars 1991.
- (21) White J.J, Carroll J.N., Hare C.T., Lourenco J.G., Emission Control Strategies for Small Utility Engines, SAE Technical Paper 911807 présenté au "International Congress & Exposition", Détroit MI, FévrierMars 1991.
- (22)Gagnon, C., Service d'assainissement de l'air de la Communauté urbaine de Montréal, Communication privée et extrait de la Base de données de la CUM, novembre 2000.
- (23) Chappel, S.B., Parker R.J., Smoking and carbon monoxide levels in enclosed public places in New Brunswick, Can. J. of Public Health, Vol. 68 Mars/Avril, 1977
- (24) Holland D.M., Carbon monoxide levels in microenvironment types of four U.S. cities, Environment international, Vol. 9/No. 5, p. 369-377, 1983
- (25) Demer F.R., Rosen J.C., Finman T.J., Carbon monoxide exposures during the use of propane-powered floor burnishers, Appl Occup. Environ. Hyg., Vol 11 no 8, 1087-1091, 1996

- (26) Demer F.R., Carbon monoxide exposures from propane-powered floor burnishers following addition of emissions controls, *Appl Occup. Environ. Hyg.*, Vol 13 no 11, 788-791, 1998
- (27) McCammon J.B et al., Carbon monoxide poisoning related to the indoor use of propane-fueled forklifts in Colorado workplaces, *Appl Occup. Environ. Hyg.*, Vol 11 no 3, 192-198, 1996.
- (28) Mahoney D.P., Carbon monoxide exposure from fork truck exhaust, *Professional Safety*, Vol 35 no. 9, p. 15-17, Septembre 1990
- (29) Groves J., Cain J.R., A survey of exposure to diesel engine exhaust emissions in the workplace, *Ann. Occup. Hyg.*, 44 No.6, 435-448, 2000.
- (30) Nilsson C-A, Lindahl R.& Norstrom A., Occupational exposure to chainsaw exhausts in logging operations. *Am Ind Hyg Assoc J*, 48: 99-105, 1987.
- (31) Bünger J., Bombosch F., Mesecke U., Hallier E., Monitoring and analysis of occupational exposure to chain saw exhausts, *AIHAJ*, Vol.58, no.10, 747-751, 1997
- (32) Anonyme, Carbon monoxide : exposure is a particular risk for concrete finishers, *Construction safety*. Vol. 8/no. 1, p. 11-13, Printemps 1997
- (33) CSST Base de données relationnelle de l'Infocentre - mise à jour 1999 (compilation spéciale effectuée à l'IRSST), Novembre 2000
- (34) Provencher, S., Intoxications au monoxyde de carbone traitées à la chambre hyperbare de l'hôpital du Sacré-Coeur de Montréal 1993-1 995, Direction de la santé publique de la Régie régionale de la santé et des services sociaux de Montréal-Centre, 1997
- (35) Center for Disease Control, Epidemiologic Notes and Reports Carbon Monoxide Poisoning in a Garment-Manufacturing Plant -- North Carolina, *MMWR*, August 21, 1987 / 36(32);543-5
- (36) Center for Disease Control, Carbon Monoxide Poisoning Associated with Use of LPG-Powered (Propane) Forklifts in Industrial Settings -- Iowa, 1998, *MMWR*, December 17, 1999 / 48(49);1121-4
- (37) Center for Disease Control, Unintentional Carbon Monoxide Poisoning from Indoor Use of Pressure Washers -- Iowa, January 1992-January 1993, *MMWR*, October 15, 1993 / 42(40);777-779,785

- (38) Center for Disease Control, Carbon Monoxide Poisoning from Use of Gasoline-Fueled Power Washers in an Underground Parking Garage -- District of Columbia, 1994, MMWR, May 12, 1995 / 44(18);356-357,363-364
- (39) Center for Disease Control, Carbon Monoxide Poisoning Associated with a Propane-Powered Floor Burnisher -- Vermont, 1992, MMWR, September 24, 1993 / 42(37);726-728
- (40) Center for Disease Control, Outdoor Carbon Monoxide Poisoning Attributed to Tractor Exhaust -- Kentucky, 1997, MMWR, December 26, 1997 / 46(51);1224-1227
- (41) Genesove L., Carbon monoxide: The silent killer, Accident Prevention, Vol.43, No.6, p.14-19, Nov.-Dec. 1996
- (42) Anonyme, Les décolleuses à papier, Memo-pratique F5M0190, Tiré à part de « Sauvegarde des chantiers », Comité national de l'O.P.P.B.T.P.
- (43) Burrahm R.W., White J.J., Carrol J.N., Small Utility Engine Emissions Reduction Using Automotive Technology, SAE Technical Paper 911805 présenté au "International Congress & Exposition", Milwaukee, Septembre 1991.
- (44) Laimbock F.J., Landeri C.J., 50cc Two-Stroke Engines for Mopeds, Chainsaws and Motorcycles with Catalysts, SAE Technical Paper 901598, Milwaukee, Septembre 1990.
- (45) Hare C.T., White J.J., Toward the Environmentally-Friendly Small Engine: Fuel, Lubricant and Emission Measurement Issues, SAE Technical Paper 911222 présenté au "Small Engine Technology Conference", Yokohama Japon, Février-Mars 1991.
- (46) Swiatek G, Rudnicki R., Gettel L., Unger T., Catalytic Exhaust Emission Control of Small Internal Combustion Engines, SAE Technical Paper 891799, Milwaukee, 1989.
- (47) Environmental Protection Agency, Control of Emissions from nonroad spark-ignition engines, Code of Federal Regulations, 7-1-00 Edition, Title 40 Part 90 Subpart B, § 90.103
- (48) Environmental protection agency, Control of Emissions from new and in-use nonroad compression-ignition engines, Code of Federal Regulations, 7-1-00 Edition, Title 40 Part 89 Subpart B, § 89.112
- (49) Earnest G.S., Mickelsen R.L., McCammon J.B., O'Brien D.M., Carbon Monoxide Poisonings From Small, Gasoline-Powered, Internal Combustion Engines: Just What is a "Well-ventilated Area"?, Am Ind Hyg Assoc J, 58: 787-791, 1997.

- (50) Mayo Clinic, Carbon monoxide – How to protect your family,
<http://www.mayohealth.org/mayo/9612/htm/monoxide.htm>
- (51) Anonyme, Frequently asked questions about carbon monoxide detectors,
<http://www.freenet.msp.mn.us/people/guestb/pubed/cofaq/html>
- (52) Anonyme Carbon Monoxide dot Org – A health and Information Resource,
<http://www.carbonmonoxide.org>
- (53) Anonyme Carbon monoxide is the number 2 cause of poisoning in North America, <http://www.carbon-monoxide.net/indexco.html>
- (54) Varon J., Marik P.E., Carbon monoxide poisoning,
<http://www.ispub.com/journals/IJEICM/Vol1N2/CO.htm>
- (55) OSHA, Occupational Safety and Health Guideline for Carbon Monoxide,
<http://www.osha-slc.gov/SLTC/healthguidelines/carbonmonoxide/recognition.html>
- (56) Ministère du travail de l'Ontario, Carbon monoxide poisoning in enclosed and semi-enclosed worksites, Alert / Ontario Ministry of labour, 1994
- (57) Anonyme, Prévenir l'intoxication au monoxyde de carbone lors de l'utilisation d'une génératrice, Prévention au travail. Vol. 12/no 1, p. 39, hiver 1999
- (58) Siegfried C., Le CO, un ennemi invisible, Sauvegarde des chantiers. No 253, p. 20-21, mai-juin 1994

Annexe

Liste des petits équipements considérés

Équipements de construction	Dameuses	Tampers
	Plaque vibrante	Plate compactors
	Épandeuse de béton	Concrete pavers
	Rouleaux	Rollers
	Rouleaux compresseurs	Static and vibratory rollers
	Équipement de pavage	Paving equipment
	Finisseur de ciment	Concrete finishers
	Vibrateur de ciment	Concrete vibrators
	Équipements divers de pavage	Other miscellaneous paving equipment
	Foreuses	Bore/drill rigs
	Foreuses horizontales	Horizontal boring machines
	Scie à béton/industrielle	Concrete/industrial saws
	Mélangeur (Baratte) à ciment	Cement and mortar mixers
	Chariots élévateurs tout terrain	Rough terrain forklifts
	Chargeurs sur roue	Rubber tired loaders
	Tracteurs sur roues	Rubber tired dozers
	Rétrocaveuse	Tractor/loaders/backhoes
	Motobasculeur	Dumpers/tenders
Autres équipements de construction	Other construction equipment	
Pompe à béton	Concrete pumps	
Marteau-piqueur hydraulique / pneumatique	Concrete breakers	

Équipement de jardinage	Scies à chaîne < 4hp	Chain saws < 4 hp	
Équipement forestier	Scies à chaîne > 4 hp	Chain saws > 4 hp	
Équipements commerciaux légers	Génératrices	Generators	
	Génératrice portative	Portable generators	
	Pompes	Pumps	
	Pompe portative	Portable pumps	
	Pompe industrielle	Industrial pumps	
	Pompe à rebuts	Mud/trash pumps	
	Pompe à incendie	Fire pumps	
	Compresseurs d'air	Air compressors	
	Compresseurs de gaz	Gas compressors	
	Soudeuses	Welding machines	
	Machines à nettoyage sous pression	Pressure Washers	
	Équipements industriels	Équipement de levage	Lifting Equipment
		Plate-forme d'accès télescopique	Boom lifts
		Table élévatrice à ciseaux	Scissor lifts
Plate-forme d'accès télescopique autonome		Self propelled elevating platforms	
“Balayeuses/Nettoyeuses”		Sweepers/Scrubbers	
Balayeuses		Industrial sweepers	
Nettoyeuses		Scrubbers	
Autres équipements industriels		Other industrial equipment	
Décapeuses		Strippers	
Polisseuses à plancher		Floor buffers (burnishers)	

Remerciements

Nous tenons à remercier M. Pierre Gingras pour l'identification du sous-ensemble des équipements utilisé pour cette étude.