

**Détermination
d'un indice du maintien
de la qualité de l'air
lors de l'utilisation
de moteurs diesels**

Jacques Lavoie
Brigitte Roberge
Jean Lambert
Louis Lazure

Septembre 1991 R-054

RAPPORT



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

**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

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,

**Détermination
d'un indice du maintien
de la qualité de l'air
lors de l'utilisation
de moteurs diesels**

Jacques Lavoie et Brigitte Roberge
Programme soutien analytique, IRSST

Jean Lambert
Université de Montréal

Louis Lazure
Société de transport de la Communauté urbaine de Montréal

RAPPORT

Jacques Lavoie, Brigitte Roberge,
Jean Lambert et Louis Lazure

Détermination d'un indice du maintien de la qualité de l'air lors de l'utilisation de moteurs diesels

Problème de santé:

Les effets toxiques des contaminants

Groupe de travailleurs concerné:

Les travailleurs exposés aux émissions
d'échappement des moteurs diesels

TABLE DES MATIÈRES

1.0 INTRODUCTION	2
<i>Les contaminants</i>	2
<i>Indice du maintien de la qualité de l'air</i>	2
2.0 MATÉRIEL ET MÉTHODES	3
<i>Site d'échantillonnages</i>	3
<i>Protocole expérimental</i>	3
<i>Méthodologie et instrumentation</i>	3
<i>Analyse statistique des résultats</i>	3
3.0 RÉSULTATS	4
4.0 DISCUSSION	9
5.0 CONCLUSION	9
RÉFÉRENCES	10
REMERCIEMENTS	10

1.0 INTRODUCTION

L'attention portée aux engins diesels est très grande, non seulement à cause de leurs avantages techniques et économiques, mais également à cause des risques à la santé qui s'y rattachent (1).

L'utilisation de moteurs diesels est suffisamment répandue pour qu'une portion significative de l'ensemble des travailleurs québécois soit exposée aux gaz d'échappement. Au Québec, seulement dans le secteur du transport et de l'entreposage, environ 114 000 travailleurs sont potentiellement exposés aux contaminants émis (2).

Les contaminants

Tout moteur à combustion interne émet, suite à une combustion complète, des gaz dont la composition est la suivante: H_2O , CO_2 (anhydride carbonique), N_2 (azote) et O_2 (oxygène) (1). D'autres produits tel le SO_2 (oxyde de soufre) peuvent être générés dépendant de la teneur en soufre du combustible. Pour les moteurs diesels, le combustible est normalement constitué de 85-86 % de carbone, de 13-14 % d'hydrogène et de 0,05 à 0,7 % de soufre (3).

Dans les conditions réelles d'opération, la combustion est la plupart du temps incomplète et les produits sont émis sous forme de gaz, de vapeurs, de brouillards et de particules. Les contaminants générés font partie d'un ensemble très complexe dont les composantes connues sont les oxydes d'azote (NO , NO_2), les oxydes de soufre (SO_2 , SO_3), le monoxyde de carbone (CO), les hydrocarbures oxydés (méthanol, formaldéhyde, propylaldéhyde, acroléine, butyraldéhyde, acétone, phénol, etc.), les hydrocarbures aromatiques, les acides inorganiques (H_2SO_4 , HNO_3) et les particules solides (4).

Les contaminants à contrôler pour évaluer l'exposition aux gaz d'échappement émis par les moteurs Diesel sont les matières particulaires, les oxydes d'azote et le monoxyde de carbone (5,6,7). Parmi ces contaminants, les oxydes d'azote et les matières particulaires sont ceux qui doivent attirer notre attention à cause des concentrations habituellement retrouvées (6,7).

Indice du maintien de la qualité de l'air

Plusieurs auteurs ont recherché une méthode simple qui produirait des résultats représentatifs du niveau de contamination émise par les échappements de moteurs Diesel (1,6,7,8). Une de ces méthodes est la mesure de la concentration de l'anhydride carbonique (CO_2) (6). La concentration de ce gaz est fonction du taux de consumma-

tion du combustible, de l'état des véhicules, du taux de ventilation et du volume de l'espace dans lequel sont opérés les moteurs diesels (1). La relation avec les contaminants a été examinée selon le principe que les concentrations de CO_2 sont le résultat de la quantité de combustible et de la dilution des gaz d'échappement, si la concentration ambiante de CO_2 c'est-à-dire celle qui prévalait avant le départ des véhicules, est soustraite (6,7).

Des mesures entreprises sous contrôle expérimental strict par certains chercheurs ont démontré que les concentrations des contaminants CO , NO et particules sont dans un rapport relativement constant avec les concentrations de CO_2 (6,7). Les droites des concentrations de CO_2 en fonction des différents contaminants ont été tracés et les analyses par régression linéaire des différentes droites ont indiqué qu'il y avait une corrélation significative. Les coefficients de corrélation étaient très élevés pour la relation avec les concentrations de CO , NO et de particules, suggérant que les concentrations de CO_2 peuvent prédire fidèlement les niveaux de ces contaminants (7).

Cependant, parce que les concentrations des émissions peuvent changer d'un garage à l'autre, entraînant des changements dans les rapports de CO_2 , la mesure du CO_2 est insuffisante pour contrôler la qualité de l'air. Les autres contaminants doivent être mesurés initialement et périodiquement. Le CO_2 peut être utilisé comme indice du niveau de contamination des autres composantes des émissions de gaz d'échappement des moteurs diesels si une relation entre le CO_2 et chacun des contaminants est, premièrement établie et deuxièmement mesurée périodiquement. Ainsi ces résultats impliquent qu'en connaissant l'équation de régression contaminant- CO_2 , le CO_2 peut être utilisé pour:

- 1.- estimer les concentrations de chaque contaminant;
- 2.- contrôler l'utilisation des systèmes de ventilation;
- 3.- permettre un suivi de la qualité de l'air intérieur et de la qualité de l'entretien des véhicules.

Les objectifs de cette recherche sont donc de:

- 1) prédire les concentrations des contaminants émis par les moteurs diesels à partir des concentrations du CO_2 ;
- 2) proposer un indice du maintien de la qualité de l'air basé sur la mesure du CO_2 ;
- 3) appliquer cet indice dans les garages où il y a utilisation de moteur Diesel.

Toutes les références sont inscrites à la page 10 du présent document.

2.0 MATÉRIEL ET MÉTHODES

Site d'échantillonnage

Trois garages d'une société de transport par autobus ont été retenus pour la réalisation de ce projet. Ces garages ont été choisis à cause de la conception différente des systèmes de ventilation.

Dans chacun des garages, les relevés des concentrations de contaminants ont été pris en station fixe, dans l'air ambiant. Les prélèvements ont été réalisés en hiver, lors de la sortie des véhicules, le lundi matin, soit après une période d'inactivité de plus de deux jours. Une telle période d'inactivité nécessite un réchauffement des moteurs d'une durée plus longue, d'où la possibilité d'une concentration accrue des contaminants dans l'air. Le choix des sites de prélèvement a été établi à partir des mouvements de véhicules à l'intérieur du garage. Le nombre de véhicules entreposés dans chacun des garages variait entre 150 et 200.

Dans chacun des garages, les systèmes de ventilation générale (soufflage et extraction) étaient en opération, permettant d'obtenir selon les spécifications des systèmes et en supposant un mélange homogène, entre trois et quatre changements d'air frais à l'heure.

Protocole expérimental

Les concentrations des produits d'émission sélectionnés ont été mesurées au niveau de l'air ambiant de trois garages. L'échantillonnage a débuté au mois de décembre 1987.

Une autre série d'échantillonnages a été reprise, au mois de février 1988, pour vérifier si les équations de régression des contaminants en fonction des concentrations de CO_2 avaient changé. Enfin, dans le but d'obtenir un plus grand nombre de résultats, les échantillonnages ont été refaits en février 1989.

Méthodologie et instrumentation

Les principaux contaminants émis: CO , NO , NO_2 et les matières particulaires totales (MPT) ont été mesurés en même temps que le CO_2 selon les méthodes standards de l'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST) (9). À cause des très faibles concentrations prélevées lors d'une étude préliminaire, le SO_2 n'a pas été retenu comme contaminant (communication privée).

- Le CO a été quantifié à l'aide d'un instrument à lecture directe (I.L.D.) de marque Ecolyser, série 2000, (pile électrochimique).
- Les oxydes d'azote (NO et NO_2) ont été quantifiés avec un I.L.D. de marque Ecolyser, série 7000, (piles

électrochimiques).

- Le CO_2 a été quantifié avec deux spectrophotomètres infra-rouge de marque A.D.C., modèle P.M.-3 et avec un chromatographe à gaz portatif de marque AID, modèle S11-17.
- Les matières particulaires totales (MPT) ont été collectées avec des pompes à haut débit de marque Gilian sur des filtres en chlorure de polyvinyle, 0,8 micromètre et quantifiées par gravimétrie.

Analyse statistique des résultats

Le modèle probabiliste qui caractérise le mieux la relation contaminant/ CO_2 et ce, pour chaque contaminant, a été recherché pour déterminer s'il s'agissait d'une relation logarithmique, exponentielle, polynomiale, logistique, etc. La première étape a consisté à étudier la nature de la relation contaminant/ CO_2 pour chacun des garages et pour l'ensemble des garages. Cette première étape a permis de considérer deux classes de modèles, soit les modèles exponentiels et les modèles polynomiaux. En d'autres termes, l'augmentation de la concentration d'un contaminant donné suit-elle un accroissement exponentiel en fonction du CO_2 ou cette augmentation croît-elle suivant une fonction polynomiale du CO_2 ? La classe de modèles retenue a été la classe exponentielle, en ce sens que la qualité d'ajustement a été meilleure et que les coefficients de détermination multiple ajustés (R^2) ont été supérieurs à ce qui a été trouvé dans la classe des modèles polynomiaux.

À l'aide de ce modèle probabiliste, la concentration d'un contaminant à partir des concentrations du CO_2 contenues dans l'étendue des valeurs observées pourra être prédite.

La deuxième étape a consisté à ajuster les modèles exponentiels par la méthode des moindres carrés. À ce niveau, le coefficient de corrélation (r) et l'écart-type des observations autour de la régression ($S_{y.x}$) ont été calculés.

La dernière étape a consisté à effectuer une analyse des valeurs résiduelles afin de s'assurer de la qualité d'ajustement. À cette fin, la normalité et l'homocédasticité (l'homogénéité ou l'égalité des variances) des valeurs résiduelles ont été vérifiées. La présence de valeurs aberrantes a été également testée. Comme les ajustements des régressions ont été effectués selon des modèles linéaires en utilisant le logarithme du contaminant pour les modèles exponentiels, la linéarité de l'ajustement a été également vérifiée.

La concentration maximum observée pour le CO_2 représentera la limite de la valeur admissible à des fins de prédiction. Il faut souligner que cette valeur limite est la concentration

maximum observée pour l'ensemble des trois garages puisque des modèles pour chaque contaminant à partir des données de l'ensemble des trois garages ont été ajustés afin de maximiser la qualité de l'inférence statistique. Ces modèles tiendront compte de la spécificité de chaque garage au besoin.

Enfin, les intervalles de confiance ont été calculés. Il s'agit de l'intervalle dans lequel la courbe exponentielle a une probabilité (ex. 0,95) de passer, pour un niveau de CO₂ donné.

3.0 RÉSULTATS

Les résultats pour chacun des contaminants mesurés sont donnés aux figures 1 à 4.

Les ajustements des modèles de régression multiple avec leurs statistiques appropriées sont aussi présentés dans ces tableaux.

Le tableau 1 présente un résumé des quatre modèles de régression exponentiels.

Dans le tableau 2, les valeurs prédites des contaminants pour les limites inférieures et supérieures du CO₂ retrouvées dans chaque modèle sont présentées.

Enfin, à l'aide de l'erreur-type des valeurs prédites, des intervalles de confiance pour les concentrations paramétriques, et ce, pour les limites supérieures du CO₂ ont été construits afin de rechercher si ces intervalles risquaient de contenir les concentrations moyennes admissibles (10). Ces résultats sont présentés au tableau 3.

FIGURE 1

Régression multiple de la concentration du NO_2 (ppm), c.a.d., $\ln(\text{NO}_2 + 1)$, en fonction de la concentration du CO_2 (ppm) et de l'identification du garage (n = 225).

Statistiques du modèle: $R^2 = 0,293$ $F = 47,555$ $Sy.x = 0,186$
 $r = 0,547$ $p \approx 0,0000$

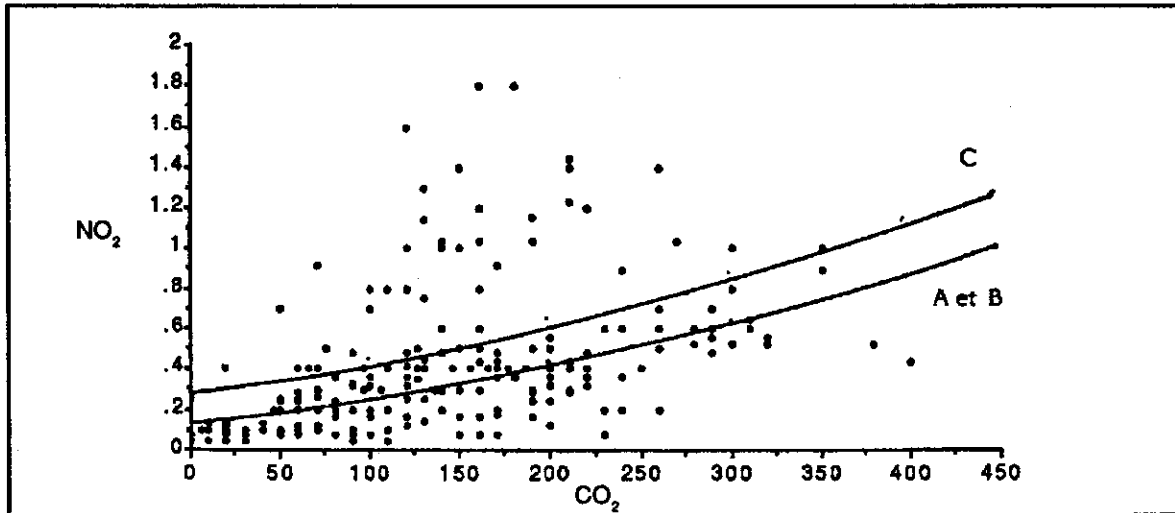
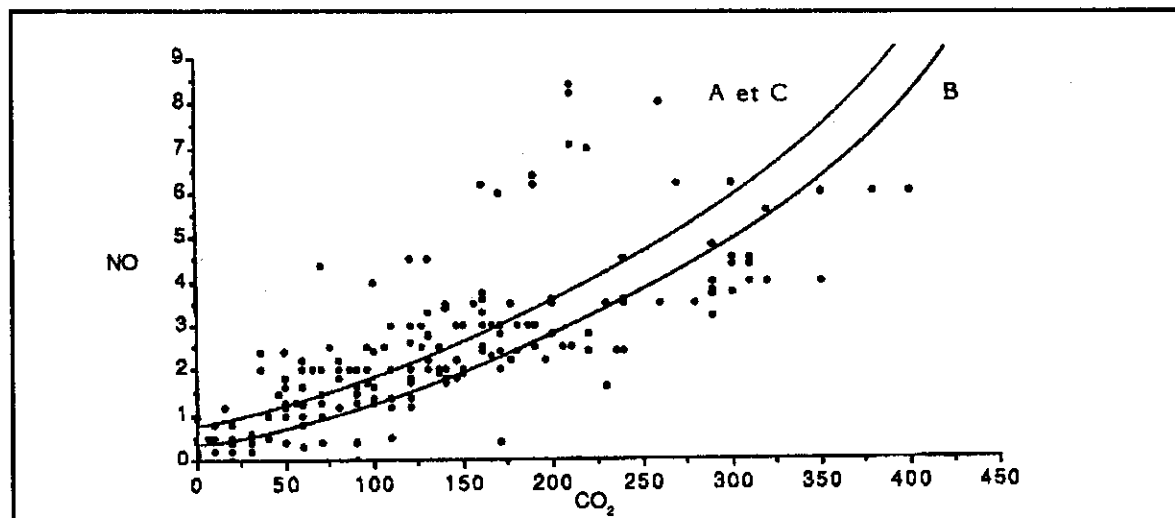


FIGURE 2

Régression multiple de la concentration du NO (ppm), c.a.d., $\ln(\text{NO} + 1)$, en fonction de la concentration du CO_2 (ppm) et de l'identification du garage (n = 205).

Statistiques du modèle: $R^2 = 0,645$ $F = 186,288$ $Sy.x = 0,288$
 $r = 0,805$ $p \approx 0,0000$



- R^2 : Coefficient de détermination multiple ajusté.
- r : Coefficient de corrélation multiple.
- $Sy.x$: Écart-type des observations à la régression.
- F : Statistique F sur l'ensemble des variables indépendantes.
- p : Degré de signification associé à la statistique F.

FIGURE 3

Régression multiple de la concentration du CO (ppm), c.a.d., $\ln(\text{CO} + 1)$, en fonction de la concentration du CO_2 (ppm) et de l'identification du garage (n = 257).

Statistiques du modèle: $R^2 = 0,447$ $F = 104,529$ $Sy.x = 0,317$
 $r = 0,672$ $p \approx 0,0000$

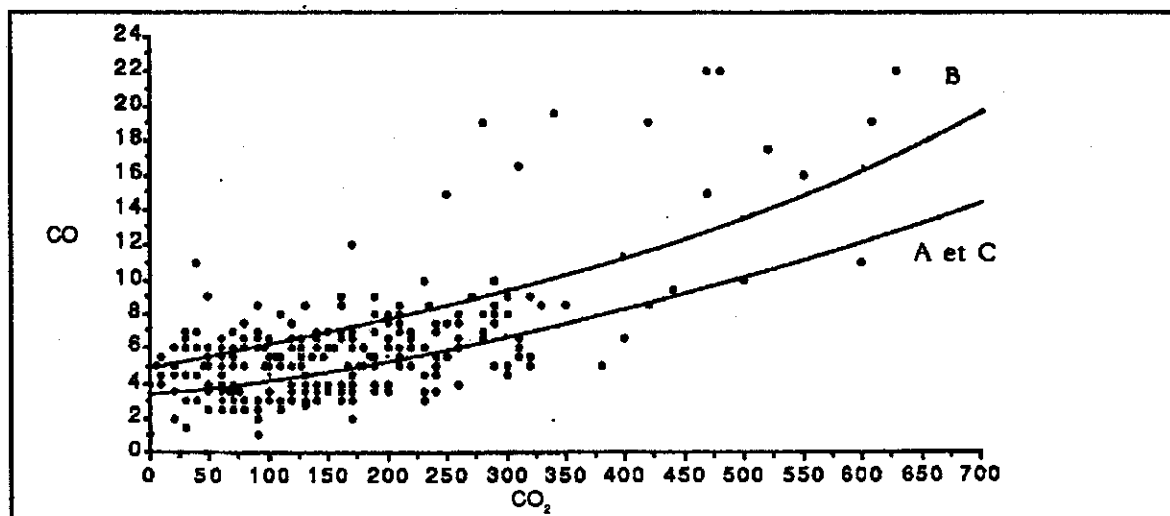
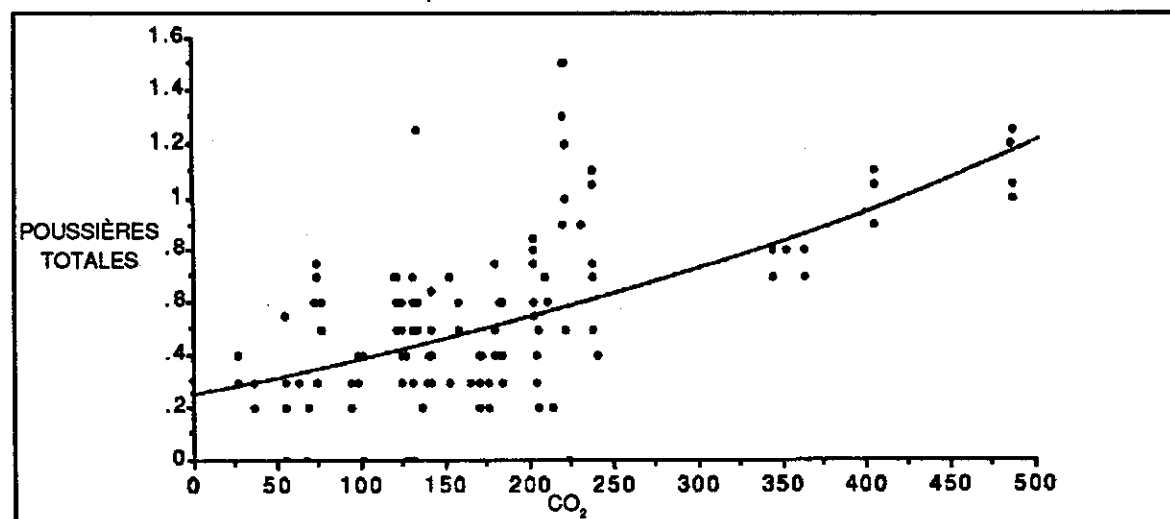


FIGURE 4

Régression multiple de la concentration des matières particulaires totales (mg/m^3), c.a.d., $\ln(\text{MPT} + 1)$, en fonction de la concentration du CO_2 (ppm) et de l'identification du garage (n = 119).

Statistiques du modèle: $R^2 = 0,317$ $F = 55,841$ $Sy.x = 0,172$
 $r = 0,568$ $p \approx 0,0000$



- R^2 : Coefficient de détermination multiple ajusté.
- r : Coefficient de corrélation multiple.
- $Sy.x$: Écart-type des observations à la régression.
- F : Statistique F sur l'ensemble des variables indépendantes.
- p : Degré de signification associé à la statistique F.

TABLEAU 1

Tableau résumé des modèles de régression multiple mettant en relation chaque contaminant avec l'anhydride carbonique (CO₂) et l'identification du garage.

A) Dioxyde d'azote (NO₂) = e^{(0,115 + 1,303 (10⁻³) CO₂ + 0,131 (C))} - 1

B) Oxyde d'azote (NO) = e^{(0,576 + 4,664 (10⁻³) CO₂ - 0,199 (B))} - 1

C) Monoxyde de carbone (CO) = e^{(1,496 + 1,794 (10⁻³) CO₂ + 0,296 (C))} - 1

D) Matières particulaires totales (MPT) = e^{(0,219 + 1,109 (10⁻³) CO₂)} - 1

* Lorsque le nom d'un garage apparaît, l'on rajoute (ou soustrait) la valeur du coefficient associé à ce nom. Pour tout autre garage ce coefficient est ignoré.

TABLEAU 2

Prédiction des concentrations des contaminants pour les limites inférieures et supérieures du CO₂ retrouvées dans chaque modèle.

Contaminant	Garage	Limites du CO ₂		Valeurs prédites du contaminant	
		MIN	MAX	MIN	MAX
NO ₂ (ppm)	C	N.D.	400	0,3	1,2
	Autres			0,1	0,9
NO (ppm)	B	N.D.	400	0,5	8,4
	Autres			0,8	10,5
CO (ppm)	C	N.D.	630	5,0	17,6
	Autres			3,5	12,8
MPT (mg/m ³)	Tous	27	488	0,3	1,1

N.D.: non-décelé

TABLEAU 3

Concentrations prédites vs concentrations moyennes admissibles

Contaminant	Concentration prédite maximum	Intervalle de confiance (I.C.) (0,95)	Concentration moyenne admissible (10)	Limite supérieure de l'I.C./ concentration moyenne admissible
NO ₂ (ppm)	1,2	(1,1, 1,2)	5,0 ppm *	24,6 %
NO (ppm)	10,5	(10,4, 10,6)	25,0 ppm	42,5 %
CO (ppm)	17,6	(17,4, 17,7)	50,0 ppm	35,5 %
MPT (mg/m ³)	1,1	(1,0, 1,2)	10,0 mg/m ³	12,4 %

* Valeur plafond à ne jamais dépasser

4.0 DISCUSSION

Comme il est constaté aux figures 1 à 4, la concentration de CO₂ peut prédire de façon significative la variation de la concentration de chaque contaminant dans les limites des concentrations observées et en supposant que les données spatio-temporelles soient gardées constantes, c'est-à-dire à la condition qu'il n'y ait aucun changement au niveau de la ventilation, de la superficie du garage ou de l'entretien des véhicules. Il peut être également remarqué que la relation contaminant/CO₂ dans les modèles exponentiels est différente d'une façon statistiquement significative d'un garage à l'autre sauf pour les matières particulaires totales (MPT).

Lors de l'analyse des valeurs résiduelles, aucun modèle n'a démontré de la non-normalité, de l'hétéroscédasticité, de la non-linéarité ou la présence de valeurs aberrantes.

Les coefficients de détermination multiple ajustés (R²) ont varié de 0,293 (NO_x) à 0,645 (NO) ce qui dénote des ajustements moyens à bons. Les coefficients de corrélation multiples respectifs ont varié de 0,547 à 0,805, rejoignant ainsi les résultats obtenus par d'autres chercheurs qui ont trouvé des coefficients de corrélation élevés dans leurs études sur l'utilisation du CO₂ comme contrôle de la qualité de l'air dans les mines (12).

Au tableau 1, dans le calcul de la prédiction d'un contaminant (sauf pour les matières particulaires totales), il faut tenir compte du garage. Par exemple, pour la prédiction du NO₂ il faut rajouter la valeur de 0,131 à l'exponentielle pour le garage C. Pour les garages A et B, cette valeur est ignorée. Pour le NO, la valeur 0,199 doit être soustraite à l'exponentielle pour le garage B et ignorée pour les garages A et C. Pour le CO, la valeur 0,296 doit être rajoutée à l'exponentielle pour le garage C et, encore une fois, ignorée pour les garages A et B.

Au tableau 2, les valeurs prédites des contaminants pour les limites supérieures et inférieures de CO₂ retrouvées dans chaque modèle sont présentées. Par exemple, dans la régression exponentielle du NO₂ avec les CO₂, les valeurs limites du CO₂ sont non-décélées (N.D.) et 400 ppm respectivement. Pour ces deux limites, les valeurs prédites du NO₂ sont de 0,1 ppm et 0,9 ppm pour les garages A et B, et de 0,3 ppm et 1,2 ppm pour le garage C. De la même façon, la limite supérieure de CO₂ pour le NO est de 400 ppm, ce qui correspond à 10,5 ppm de NO pour les garages A et C et à 8,4 ppm de NO pour le garage B. Pour le CO la limite supérieure de CO₂ est de 630 ppm et ceci correspond à 17,6 ppm de CO pour le garage C et à 12,8 ppm pour les garages A et B. Enfin, pour les MPT la limite supérieure de CO₂ est de 488 ppm ce qui correspond à 1,1 mg/m³ de MPT, et ce, pour les trois garages.

Il est donc possible d'utiliser 400 ppm de CO₂ comme indice du maintien de la qualité de l'air pour ces trois garages. Bien entendu, cette valeur de 400 ppm ne comprend pas les concentrations ambiantes de CO₂ présentes avant le

démarrage des véhicules et ne peut être indicatrice des concentrations des contaminants lorsqu'elle est dépassée. De plus, l'application de cet indice fait référence aux concentrations moyennes admissibles, normes qui essaient de prévenir les effets toxiques des contaminants. Ces normes n'ont aucune relation connue avec la cancérogénicité possible ou soupçonnée des gaz d'échappement de moteurs diesels.

Enfin, au tableau 3, les intervalles de confiance pour les limites supérieures du CO₂ ont été construits afin de déterminer si ces intervalles risquaient de contenir les concentrations moyennes admissibles (10). Il est observé dans ce tableau que les bornes supérieures de ces intervalles de confiance représentent entre 12,4 % et 42,5 % des concentrations moyennes admissibles respectivement. De plus, la concentration des substances de ce mélange ne peut être calculée à cause des effets différents sur les mêmes organes du corps humain.

Ce projet a permis de démontrer qu'il y a une relation statistiquement significative entre les concentrations de contaminants émis dans les gaz d'échappement des moteurs diesels et celles du CO₂. Une telle relation peut être déterminée pour d'autres garages en prélevant un nombre significatif de mesures (une trentaine) des différents contaminants, au niveau de l'air ambiant que respirent les travailleurs. Dans les garages à évaluer, ces mesures doivent être prises à des moments stratégiques, c'est-à-dire lorsque le nombre de véhicules est maximal et les conditions environnementales sont rigoureuses.

5.0 CONCLUSION

Le CO₂ peut être utilisé efficacement afin de prédire la concentration des contaminants étudiés (NO, NO₂, CO et MPT) à l'intérieur des limites d'application observées. La relation contaminant/CO₂ pour ces trois garages demeure constante d'un garage à l'autre et les ajustements des modèles exponentiels peuvent être considérés comme de bonne qualité et la précision de prédiction (i.e. les intervalles de confiance) est excellente. Il est donc possible d'utiliser 400 ppm de CO₂ comme indice du maintien de la qualité de l'air pour ces trois garages si toutes les conditions spatio-temporelles demeurent constantes. Bien entendu, la concentration ambiante du CO₂ avant le démarrage des véhicules doit être rajoutée à cet indice. La salubrité des garages peut donc être considérée comme acceptable dans le cadre des pathologies qui ont justifié l'établissement des normes, ce qui n'inclut pas la cancérogénicité.

Le contrôle des concentrations de CO₂ pourrait dorénavant indiquer les anomalies qui surviendraient soit au niveau des systèmes de ventilation ou de l'entretien mécanique des véhicules. Le suivi routinier de la qualité de l'air de ces garages pourra être réalisé d'une façon simple et efficace en autant que l'on reste en-deçà de 400 ppm de CO₂ et qu'aucune condition d'opération ne soit modifiée comparativement au moment d'établissement des modèles de régression.

Références

- 1.- BÉLANGER, P.D. «L'apport des moteurs Diesel dans la contamination des mines souterraines» Direction de l'hygiène du travail, coordination programmation, CSST du Québec, 17 pages, 1984.
- 2.- CSST «Monographie sectorielle» Transport et entreposage au Québec, 1985. Tableau 8, p. 28.
- 3.- STEWART, D.B., MORGAN, P. AND DAINTY, E.D. «Diesel Emissions and Mine Ventilation» C.I.M. Bulletin, 1978, March, pp. 144-151.
- 4.- HOLLIDAY, M.G., SIFTON, J.W. ENGELHARDT, F.R., LANGDON, S.W. AND MENG, R.A. «Occupational Health Aspects of Diesel Exhaust Emissions in Ontario» - Occupational Health and Safety Division, Ontario Ministry of Labour, 1981.
- 5.- MCCLELLAN, R.O. «Health Effects of Diesel Exhaust: A case study in Risk Assessment» Am. Ind. Hyg. Assoc.-J., 1986, 47(1); 1-13.
- 6.- SCHNAKENBERG, G.H., JOHNSON, J.H. AND SCHAEFER, P. «Use of CO₂ Measurements in Monitoring Air Quality in Dead-End Drifts» C.I.M. Special, 1986, Vol. 36, paper # 22.
- 7.- JOHNSON, J.H. «An Overview of Monitoring and Control Methods for Diesel Pollutants in Underground Mines Using Diesel Equipment» C.I.M. Bulletin, July 1980, pp. 73-87.
- 8.- WHEELER, R.W., HEARL, F.J. AND MCCAWLEY, M. «An Industrial Hygiene Characterization of Exposure to Diesel Emission in an Underground Coal Mine» Environment International, 1981; Vol. 5, pp. 48 - 488.
- 9.- INSTITUT DE RECHERCHE EN SANTÉ ET EN SÉCURITÉ DU TRAVAIL DU QUÉBEC. «Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail» Méthode de laboratoires, 1990.
- 10.- RÈGLEMENT SUR LA QUALITÉ DU MILIEU DE TRAVAIL (S-2.1, r.15). Éditeur officiel du Québec, 1987.

Remerciements

Nous tenons à remercier, pour leurs judicieux conseils apportés à ce document, messieurs Kouami Kouacou et Jean-Pierre Amesse de la STCUM et messieurs Guy Perreault, Jacques Lesage, Daniel Drolet et madame Nicole Goyer de l'IRSST.