

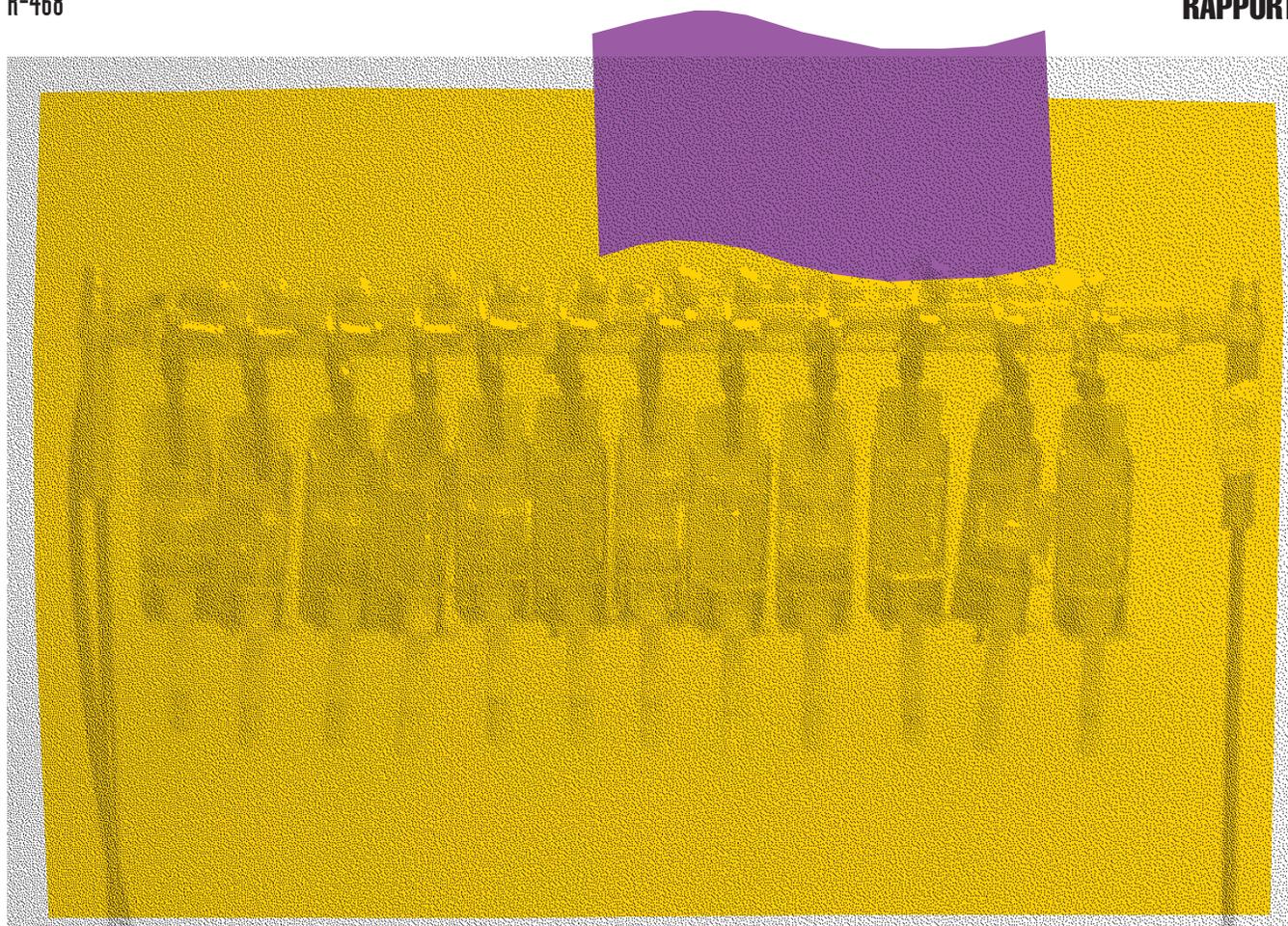
Comparaison de deux indices d'exposition à la matière particulaire de diesel

Brigitte Roberge
Michel Grenier
Rodrigue Gravel

ÉTUDES ET RECHERCHES

R-468

RAPPORT





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

NOS RECHERCHES *travaillent pour vous !*

MISSION

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

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

POUR EN SAVOIR PLUS...

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

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

Abonnement : 1-877-221-7046

Dépôt légal
Bibliothèque et Archives nationales
2006
ISBN 13 : 978-2-89631-057-9 (version imprimée)
ISBN 10 : 2-89631-057-6 (version imprimée)
ISBN 13 : 978-2-89631-058-6 (PDF)
ISBN 10 : 2-89631-058-4 (PDF)
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
Télécopieur : 514 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
août 2006

Comparaison de deux indices d'exposition à la matière particulaire de diesel

Brigitte Roberge¹, Michel Grenier² et Rodrigue Gravel¹

¹Service soutien à la recherche et à l'expertise, IRSST

²LMSM-CANMET

³Ressources informatiques, IRSST

Avec la collaboration de : Thierry Petitjean-Roget³

ÉTUDES ET RECHERCHES

RAPPORT

Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document. En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



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

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

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST

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

Remerciements : Nicole Goyer, IRSST
France C. Lafontaine, IRSST
Gary Bonnell, LMSM-CANMET
Kevin Butler, LMSM-CANMET
Eric Edwardson, LMSM-CANMET

SOMMAIRE

Le Règlement sur la santé et la sécurité dans les mines du Québec inclut une valeur limite d'exposition (VLE) à la matière particulaire générée par la combustion des moteurs alimentés au diesel. Cette valeur utilise comme indice d'exposition la mesure de la poussière combustible respirable (PCR). L'utilisation de cet indice a deux limitations majeures reliées à la méthode gravimétrique : son manque de spécificité et de sensibilité. Un autre indice, de plus en plus recommandé par les organismes de santé au travail, utilise la mesure du carbone élémentaire (CE), plus directement relié à l'exposition aux émissions de matière particulaire diesel (MPD). Le CE est mesuré par une méthode analytique thermo-optique, plus exacte que la gravimétrie. Afin de pouvoir transposer la norme d'exposition actuelle (exprimée en PCR) en CE, il importe de connaître la relation entre ces deux indices et l'applicabilité de celui du CE pour différents milieux de travail où les travailleurs peuvent être exposés à la MPD.

Les résultats de l'étude permettent de comparer les mesures de la MPD obtenues selon deux méthodes analytiques retenues dans les milieux québécois de travail (mines et garages d'entreposage de véhicules de transport en milieu urbain), la mesure de l'exposition au CE des travailleurs miniers québécois et l'analyse de la corrélation entre les indices d'exposition couramment utilisés (PCR, CE ou CT). Ces résultats sont tributaires, notamment de la diversité entre les milieux et des véhicules. Ils ne sont pas obtenus en laboratoire ou en milieu dont les paramètres sont contrôlés, mais en situations réelles de travail au Québec. Dans les mines, le ratio PCR/CE moyen est de 2,2. Ce facteur calculé à partir des résultats obtenus dans les mines québécoises, pourrait servir à estimer les valeurs d'exposition au CE à partir de données historiques d'exposition au PCR. Pour ce qui est des garages, le ratio PCR/CE est beaucoup plus élevé et variable que celui obtenu dans les mines.

Des mineurs ayant fait l'objet de cette étude, quatre ont été exposés à des concentrations de CE qui sont au-dessus de la VLE américaine de $308 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dans tous les cas, il s'agit de préposés à la production, soit des opérateurs d'équipement lourd (camions ou chargeuses).

Le but de l'étude était de démontrer que l'exposition à la MPD, bien qu'étant un mélange complexe de composés distincts, peut être estimée à partir d'un indice, tel le CE. Ce dernier n'est qu'un indice de cette exposition. Idéalement, il faudrait pouvoir mesurer la MPD dans sa totalité. Cette mesure pourrait être réalisable dans un avenir plus ou moins rapproché; mais pour l'instant, la mesure du CE semblerait être un bon indicateur de l'exposition au MPD.

En conclusion, il semble que la précision de la méthode du CE, sa correspondance directe avec l'exposition à la MPD et la corrélation entre l'indice CE et celui du PCR dans les mines québécoises favorisent l'utilisation de l'indice CE.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE.....	iii
TABLE DES MATIÈRES	v
1. INTRODUCTION	1
2. OBJECTIFS	5
3. MÉTHODOLOGIE.....	7
3.1 Méthodes analytiques.....	7
3.1.1 Méthode des poussières combustibles respirables (PCR).....	7
3.1.2 Méthode NIOSH 5040 – Analyse des carbones élémentaire et organique.....	8
3.2 Stratégie de prélèvement.....	9
3.2.1 Montage pour les prélèvements en poste fixe.....	10
3.2.2 Milieux d'intervention	11
3.2.2.1 Mines	11
3.2.2.2 Garages d'entreposage de véhicules de transport urbain.....	12
4. RÉSULTATS.....	13
4.1 Mines	13
4.1.1 Description des véhicules	13
4.1.2 Variation des concentrations.....	14
4.1.3 Concentration des prélèvements aux postes fixes.....	14
4.1.4 Ratios	15
4.1.5 Exposition des travailleurs.....	15
4.1.6 Analyse statistique	16
4.2 Garages	18
4.2.1 Description des véhicules	18
4.2.2 Variation des concentrations.....	18
4.2.3 Concentrations des prélèvements aux postes fixes	20
4.2.4 Ratios	20
4.2.5 Analyse statistique	21
5. DISCUSSION.....	23
5.1 Variation dans les concentrations	23
5.2 Concentration des prélèvements aux postes fixes.....	24
5.3 Ratios	24
5.3.1 Ratio CT/CE.....	24
5.3.2 Ratio CT/PCR.....	26
5.3.3 Ratio PCR/CE.....	26
5.4 Analyse statistique	26
5.4.1 Mines	26
5.4.2 Garages	27
5.5 Exposition des travailleurs miniers.....	28

5.6	Représentativité de l'indice de l'exposition.....	29
5.7	Limites de l'étude	29
6.	CONCLUSION.....	31
7.	RÉFÉRENCES	33
ANNEXE 1 : TABLEAUX DES CONCENTRATIONS OBTENUES ET CALCUL DES RATIOS		35

LISTE DES FIGURES

Figure 1	: Méthode des poussières combustibles respirables (PCR) par gravimétrie.....	8
Figure 2	: Méthode des carbones élémentaire et organique par thermo-optique NIOSH 5040.....	9
Figure 3	: Montage des trains de prélèvement	10
Figure 4	: Sélecteur de poussières alvéolaires	10
Figure 5	: Analyse de régression linéaire des données dans les mines	17
Figure 6	: Analyse de régression linéaire des données dans les garages	22

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	: Valeurs limites et indices d'exposition au diesel énoncés par des organismes	1
Tableau 2	: Évaluation de la MDP dans différents milieux de travail	2
Tableau 3	: Variation des concentrations obtenues pour les résultats dans les mines	14
Tableau 4	: Concentrations et ratios moyens par mine par poste de prélèvement par jour	15
Tableau 5	: Concentration moyenne par type d'emploi dans les mines	16
Tableau 6	: Pente et segment sur l'axe des Y pour les données dans les mines	17
Tableau 7	: Nombre de véhicules par type de moteur et année d'acquisition	18
Tableau 8	: Variation des concentrations obtenues dans les garages.....	19
Tableau 9	: Concentrations et ratios moyens par garage par poste de prélèvement	20
Tableau 10	: Pente et segment sur l'axe des Y pour les données dans les garages	21
Tableau 11	: Plage de concentrations des MPD par milieux d'intervention.....	24

1. INTRODUCTION

Le diesel est une source d'énergie économique dont la toxicité des gaz de combustion est bien documentée. De plus, plusieurs scientifiques reconnaissent l'effet potentiellement cancérigène de la partie solide, connue sous le nom de matière particulaire diesel (MPD). Cette matière est formée de particules de carbone solide sur lesquelles s'adsorbent des substances organiques, telles les hydrocarbures aromatiques polycycliques, et inorganiques, telles les composés de sulfate. En 1988, le *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) a publié un document classifiant les émissions de moteur au diesel comme étant un cancérigène potentiel en milieu de travail ¹. En 1989, le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a statué que ces émissions sont probablement cancérigènes pour l'humain ². En 2000, l'*Environmental Protection Agency* (EPA) des États-Unis les a également classifiés parmi les cancérigènes probables ³.

Selon la définition de l'*American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) ⁴, une poussière alvéolaire a un diamètre inférieur à 10 µm et une taille médiane de 4 µm. Si celle-ci est combustible, elle se consume à une température de 400 °C pendant 2 heures ⁵. La MPD a un diamètre médian de 0,2 µm dont 90 % des particules a un diamètre inférieur à 1,0 µm ⁶. Actuellement, seul le Règlement sur la santé et la sécurité dans les mines du Québec ⁷ inclut une valeur limite d'exposition (VLE) à la MPD. Cette valeur utilise comme indice d'exposition la mesure de la poussière combustible respirable (PCR). Elle a été abaissée en février 2004 de 1,5 mg/m³ à 0,6 mg/m³ (1 500 µg/m³ à 600 µg/m³).

D'autres indices d'exposition à la MPD sont également utilisés. Ils se basent notamment, sur la mesure du carbone total (CT) ou du carbone élémentaire (CE) ^{4;8-10}. Le carbone total inclut le carbone élémentaire (CE) et le carbone organique (CO). Ce dernier est un regroupement de composés complexes, tels les aldéhydes et les hydrocarbures aromatiques polycycliques. Le tableau 1 liste des VLE émises par différents organismes.

Tableau 1 : Valeurs limites et indices d'exposition au diesel énoncés par des organismes

Règlement/Organisme	Date	Valeur limite (µg/m ³)	Indice d'exposition utilisé
Règlement sur la santé et la sécurité dans les mines du Québec (7)	2004	600	PCR
Comité canadien ad hoc sur le diesel	1990	1 500 *	PCR
U.S. Mine Safety and Health Administration, (MSHA) (9)	2001 2005	400 308	CT CE
American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) (4)	1995	150	Émission diesel, particule (D<1 µm)
	1999	50	Émission diesel, particule (D<1 µm)
	2001	20	CE
	2003	Retrait	---
Allemagne (10)	2002	Général : 100/150	CE/CT (si > 50 % matière organique)
		Mines et tunnels : 300	CT

* : Cette VLE est utilisée dans plusieurs provinces canadiennes.

D : Diamètre de la matière particulaire.

La mesure du PCR a l'avantage d'être une méthode simple et peu coûteuse puisqu'elle consiste en une mesure gravimétrique avant et après une combustion de la MPD. Cependant, l'utilisation de cet indice d'exposition a deux limitations majeures reliées à la méthode analytique. La

première concerne sa limite de détection qui est estimée être plus élevée que celle de la méthode du CE. La deuxième vient du fait de son manque de spécificité, car d'autres poussières combustibles présentes dans le milieu de travail (huiles, lubrifiants, etc.) vont aussi être pesées, donc contribuer à surestimer l'exposition à la MPD.

La mesure du CE se fait par une méthode analytique thermo-optique. De fait, l'instrument mesure séparément le CE et le CO; leur somme correspond à la mesure du CT^{11;12}. Cette méthode analytique est sensible, spécifique et reproductible^{13;14}. Cependant, comme pour la mesure du PCR, l'exposition à la MPD selon le CO et, par conséquent le CT, peut être surévaluée à cause des possibilités d'interférences dues aux autres composés organiques présents. Pour cette raison, la mesure du CE serait une mesure plus spécifique de l'exposition aux émissions de moteurs au diesel¹⁵. Afin de limiter le prélèvement de poussières grossières, l'utilisation d'un sélecteur de poussières alvéolaires, telles que décrites par l'ACGIH, est recommandée^{11;15}.

Le ratio PCR/CE est peu documenté et dépendrait de différents facteurs reliés au type de milieu de travail⁶. Pour le secteur des mines, quelques études rapportent un ratio CT/CE d'environ 2 mais, sans référence à la concentration du PCR^{13;14;16;17}. Une étude statistique dans des mines canadiennes et américaines a révélé qu'il y a une forte relation entre les valeurs du CT et du PCR et que le ratio CT/CE est d'environ 2,0⁶. Des ratios peuvent être calculés à partir de différentes études portant sur la mesure de l'exposition des travailleurs ou sur la comparaison de méthodes à partir de prélèvements en postes fixes. Les ratios ainsi obtenus seraient très variables. Celui du CT/CE varierait de 1,9 à 6 dans les fonderies et dans les chemins de fer^{15;18}. Il y a peu de données sur le ratio PCR/CE.

Bien que la législation québécoise concerne actuellement seulement l'exposition à la MPD pour les travailleurs miniers, plusieurs autres milieux de travail utilisent des véhicules fonctionnant au diesel, exposant leurs travailleurs à des concentrations parfois élevées. Le tableau 2 résume les concentrations rapportées dans la littérature pour différents milieux de travail. Ces concentrations montrent que l'exposition peut être importante, en plus d'être très variable selon le milieu.

Tableau 2 : Évaluation de la MDP dans différents milieux de travail

Milieu de travail	Type de mesure	Nombre de prélèvements	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Réf
			CE	PCR	
Fabrication de moteurs	AA	103	0,05 – 6,3		15
Fonderie	AA	31	0,48 - 130		15
Chemins de fer	AA	57	0,4 - 60	10 - 1510	18
	Personnel	48	2,9 – 17,1		19
	AA	49	1,0 – 45,0		20
	AA/Personnel	40	2,3 – 11,5		21
Camionnage	Personnel	147	3,8 – 13,8		22
Construction de tunnels	Personnel	68	0,5 - 178		23
	AA/Personnel	25	16,8 – 217,5		21
Garage de réparation autobus	AA/Personnel	50	13,7 – 138,1		21

AA : Air ambiant : prélèvement en poste fixe.

Personnel : Zone respiratoire du travailleur.

Au Canada, la méthode du PCR est spécifiée dans la plupart des règlements miniers. La réduction des VLE utilisant l'indice du PCR va faire en sorte que la méthode du PCR par mesure gravimétrique sera inexploitable à cause de sa limite de quantification. Actuellement, l'utilisation de la méthode analytique thermo-optique de NIOSH 5040¹¹ pour l'analyse du CO et du CE n'est pas très répandue au Canada.

Afin de transposer la norme actuelle, exprimée en PCR, en CE et de soutenir le comité de révision du Règlement sur la santé et la sécurité dans les mines du Québec, il importe de connaître la relation entre ces deux indices.

2. OBJECTIFS

Les objectifs de l'étude sont :

- d'établir un (ou des) facteur(s) de corrélation entre la concentration de poussière combustible respirable (actuellement utilisée comme indice d'exposition exprimé en PCR) et la concentration de carbone élémentaire (CE) afin de permettre le lien entre les données historiques d'exposition (PCR) et les données futures exprimées en CE;
- de documenter d'autres milieux de travail québécois;
- d'évaluer l'utilisation du carbone élémentaire comme indice de l'exposition des travailleurs à la matière particulaire diesel.

3. MÉTHODOLOGIE

Les méthodes analytiques et la stratégie de prélèvement adoptée sont décrites dans la présente section. La stratégie fait référence au montage utilisé pour les prélèvements en poste fixe et les milieux d'intervention.

3.1 Méthodes analytiques

Les méthodes analytiques pour les prélèvements de MPD sont la gravimétrie pour les poussières combustibles respirables (indice d'exposition exprimé en PCR) et la méthode thermo-optique (indice d'exposition exprimé en CE ou en CT).

3.1.1 Méthode des poussières combustibles respirables (PCR)²⁴

Cette méthode comporte des mesures gravimétriques effectuées respectivement avant et après une combustion. Elle consiste à exposer les matières particulaires prélevées sur un filtre à membrane d'argent à une température de 400 °C pour une période de 2 heures (figure 1). Ce filtre a une porosité de 0,8 µm. L'argent dans celui-ci agit comme catalyseur, permettant à la matière particulaire de brûler à de plus faibles températures. La différence de masse sur le filtre avant et après incinération correspond au poids des matières particulaires ainsi consommées. Cette masse, en majorité à base de carbone, est l'estimation de la masse des MPD dans le milieu de travail où le prélèvement a été effectué. Le calcul de la concentration se fait à partir du poids obtenu et du volume calculé à l'aide du débit et de la durée du prélèvement.

La présence de certaines poussières minérales peut entraîner une sous-estimation de la quantité de particules générées par la combustion des moteurs au diesel. Ce problème risque, notamment, de survenir dans les mines possédant des gisements fortement sulfurés ou utilisant un carburant à forte teneur en soufre. De plus, le brouillard d'huile de forage, la fumée de cigarette et d'autres sources de carbone organique peuvent entraîner une surestimation de l'exposition à la MPD.

Étant donné que cette méthode repose entièrement sur la pesée des particules, l'exactitude est < 10 % de la masse totale, telle que mesurée à partir d'échantillons de MPD purs produits sur banc d'essai en laboratoire. La précision analytique est de ± 0,04 mg ou 40 µg. La plage de mesure est 0,04 à 3,0 mg/m³ ou 40 – 3 000 µg/m³ pour un volume de prélèvement de 1 000 litres et une limite de détection d'environ 40 µg/m³.



Figure 1 : Méthode des poussières combustibles respirables (PCR) par gravimétrie

3.1.2 **Méthode NIOSH 5040 – Analyse des carbones élémentaire et organique** ¹¹

La technique d'analyse par thermo-optique tel que prescrit par la méthode NIOSH 5040 (figure 2) s'avère plus complexe que celle de la méthode du PCR (gravimétrie). La température et l'atmosphère de la cellule d'analyse sont suivies et contrôlées afin de mesurer séparément le CE et le CO. Le prélèvement est effectué sur un filtre à membrane de quartz de 37 mm de diamètre. Étant donné les dimensions réduites de la cellule d'analyse, une portion de la surface totale du filtre de prélèvement est utilisée pour analyse (1,5 cm²). Le dépôt sur le filtre encapsulé dans une cassette ayant un petit orifice d'entrée n'est pas toujours homogène, particulièrement pour les poussières minérales. La quantité de particules déposées diminue à partir du centre du filtre. Cependant pour des fins de contrôle de qualité relatif à l'uniformité du dépôt de MPD, un deuxième prélèvement du filtre est fait à intervalle régulier et les résultats de ces deux portions sont comparés.

Dans un premier temps, une atmosphère à base d'hélium (99,999 % d'hélium, grade 5) est injectée dans la cellule contenant la portion du filtre. Avec l'augmentation de la température, le CO est identifié à partir des émanations de dioxyde de carbone (CO₂). Ces dernières sont transformées en méthane, puis mesurées. Par la suite, la température est abaissée et l'injection d'une atmosphère riche en oxygène est effectuée. Enfin, la température est augmentée à nouveau. Cette tranche de l'analyse permet de mesurer le CE. Les proportions exactes du CE et du CO sont déterminées à l'aide d'un faisceau laser utilisé pour mesurer la transmission de la lumière au travers du filtre et de l'échantillon. La mesure de l'intensité du faisceau laser est affectée par le phénomène de pyrolyse du carbone organique dans la première phase de l'analyse.

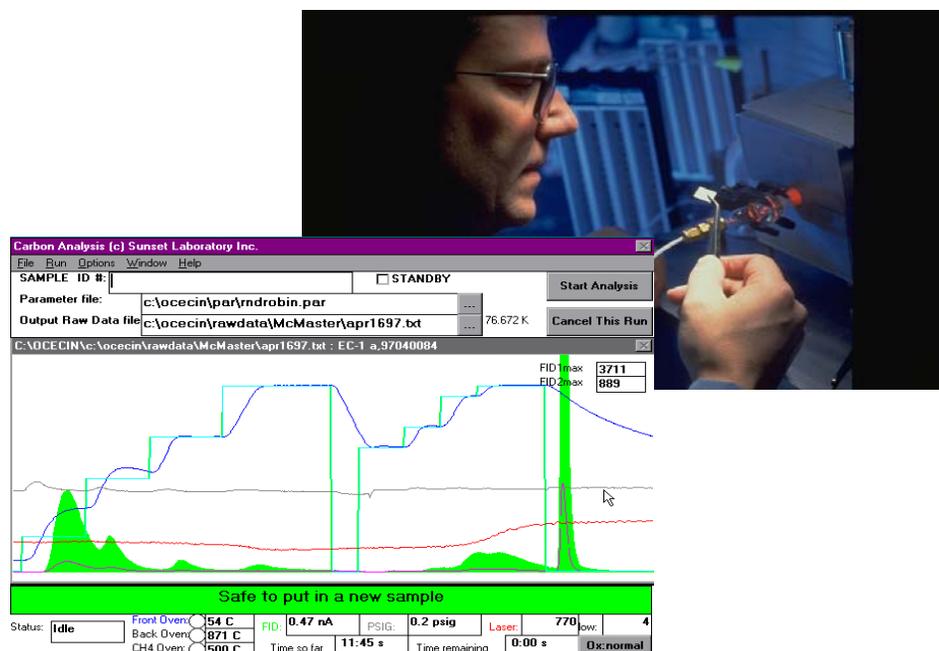


Figure 2 : Méthode des carbones élémentaire et organique par thermo-optique NIOSH 5040

Enfin, comme pour la méthode du PCR, la masse respective du CE et du CO, le débit et la durée du prélèvement servent à calculer la concentration de la MPD. La limite de détection pour la mesure du CE est d'environ $3,0 \mu\text{g}$ ou $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour un volume de prélèvement de 960 litres. Sa plage de concentrations est 6 à $630 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les poids du CO et du CE sont corrigés en fonction des poids moyens respectifs des filtres témoins. Cette étape en est une de contrôle de qualité et vise à soustraire la portion du CO qui s'accumule invariablement sur les filtres avec le temps et toute contamination du CE qui ne serait pas liée aux prélèvements. Tous les filtres utilisés sont d'abord exposés à une température de 800°C pendant 2 heures afin d'éliminer le CO et le CE. Par la suite, un groupe de filtres témoins accompagne les filtres qui serviront à l'intervention et subit le même traitement (transport et manipulation), sans faire l'objet de prélèvement. Toute trace de CO ou de CE décelée au niveau des filtres témoins (non exposés) servira de correction pour les filtres utilisés lors des prélèvements.

3.2 Stratégie de prélèvement

Dans la présente étude, les milieux de travail ciblés sont deux mines québécoises et sept garages d'entreposage de véhicules de transport en milieu urbain. Deux interventions ont eu lieu dans deux garages, portant le nombre d'interventions à neuf. L'ensemble des données a été traité à l'aide du logiciel de statistique NCSS²⁵ pour établir la corrélation entre les résultats et estimer un modèle pour transposer les résultats colligés en PCR en CE ou en d'autres indices appropriés.

3.2.1 Montage pour les prélèvements en poste fixe

Le montage des trains de prélèvements en poste fixe (figure 3) était composé d'une pompe de marque Gast © série 3032 [3 450 révolutions par minute (rpm), d'une capacité de 0,12 kW (1/6 HP)]. Son volume d'aspiration est suffisant pour alimenter douze sélecteurs de poussières alvéolaires, soit six pour la PCR et six pour le CE et le CO. Pour chacune des méthodes, le sélecteur (figure 4) est identique : un cyclone de nylon de 10 mm de type Dorr-Oliver et une vis de réglage de débit mono voie. La hauteur des cassettes, positionnées en alternance par rapport aux méthodes analytiques, correspond à la zone respiratoire d'un travailleur moyen.

Pompe de marque Gast ©



Figure 3 : Montage des trains de prélèvement

Vis de réglage de débit mono voie



Figure 4 : Sélecteur de poussières alvéolaires

Le débit des prélèvements en poste fixe et en zone respiratoire des travailleurs était ajusté au début de l'intervention à 1,7 L/min à l'aide d'un débitmètre à bulles de marque Gilibrator © avec une cellule de 20 cc/min à 6 L/min (pour les garages) ou à piston de marque DryCal de Bios International © (pour les mines). Ces instruments, approuvés standard primaire par le *National Institute of Science and Technology* (NIST), ont une exactitude de 99 %. Leur mode de détection est basé sur la mesure d'un volume ou d'un espace fixe invariable en fonction des conditions environnementales²⁶. L'écart entre les débits initial et final ne dépassait pas 5 %. La durée des prélèvements était entre trois à six heures pour un volume de 500 à 700 litres (0,5 à 0,7 m³).

3.2.2 Milieux d'intervention

Deux interventions étalées sur deux jours consécutifs ont eu lieu dans des mines québécoises. Neuf interventions ont eu lieu dans des garages d'entreposage de véhicules de transport en milieu urbain pendant la période de réchauffement des véhicules. Dans chacun des milieux d'intervention, les prélèvements ont été répartis sur trois postes fixes afin de couvrir une large plage de concentrations et ce, pour les fins de comparaison des deux méthodes analytiques (PCR et NIOSH 5040). Enfin, des prélèvements en zone respiratoire de travailleurs miniers uniquement ont été effectués (méthode NIOSH 5040).

3.2.2.1 Mines

Les mines seront libellées mine A, mine opérant en profondeur dans le nord-ouest du Québec et mine B, mine de profondeur moyenne dans la même région. Elles exploitent des gisements aurifères. Trois postes fixes ont été répartis dans chacune des mines en tenant compte de la circulation de véhicules et du débit d'air de ventilation. Ces prélèvements ont été faits sur deux jours consécutifs de production normale.

Les trois sites de prélèvement en poste fixe à la mine A étaient situés dans la section profonde de la mine (environ 2 km de profondeur). Le premier poste était situé à environ 2 030 m de profondeur et à proximité (environ 300 m) d'un garage d'entretien. Le débit de ventilation était de 54 m³/s. L'air provenait directement du réseau d'air frais et la contamination au diesel à ce poste était fonction des activités au niveau du garage et de la circulation locale dans les deux sens pour l'accès au garage. Les véhicules étaient des véhicules de production et de service. Le deuxième poste était situé à la fin de la rampe d'accès à un sous niveau de production. Le débit de ventilation était d'environ 14 m³/s et la circulation de véhicules lourds (camions de 50 tonnes, chargeuses navettes) et de véhicules de service était intense. Le troisième poste était situé en face de plusieurs chantiers d'exploitation. Le débit de ventilation était de 45 m³/s, dont la moitié provenait du réseau d'air frais et l'autre moitié d'autres chantiers. Des véhicules de production (camions et chargeuses) y circulaient majoritairement. Ce poste devait correspondre à des concentrations les plus élevées.

Les trois sites de prélèvement à la mine B étaient situés à environ 0,5 km de profondeur. Le premier poste était installé à 607 m de profondeur. Le débit de ventilation était de 54 m³/s. L'air à ce site provenait directement de la surface et était contaminé par la circulation des véhicules de production et de service aux niveaux inférieurs. Le deuxième poste était situé à 381 m de profondeur. Le débit de ventilation était d'environ 38 m³/s en provenance de niveaux inférieurs. Comme pour le poste #1, la qualité de l'air était affectée par les activités de production dans les niveaux inférieurs. Le troisième poste était situé à 444 m de profondeur. Le débit de ventilation était de 73 m³/s en provenance des niveaux inférieurs.

Afin de documenter l'exposition des travailleurs, un groupe représentatif de travailleurs a été sélectionné dans chaque mine. Les prélèvements couvraient le quart de travail complet pour la mesure du CO et du CE, selon la méthode NIOSH 5040.

À la mine A, les prélèvements en personnel étaient effectués en zone respiratoire de préposés à la production (des opérateurs de camions à benne ou de chargeuses navettes) et de travailleurs de

service (des mécaniciens, des électriciens, des préposés à l'entretien des chemins et à la livraison de matériel). Ceux à la mine B étaient effectués en zone respiratoire de préposés à la production et des travailleurs de service, incluant des mécaniciens, des électriciens, des préposés à l'entretien des chemins, à la livraison de matériel ainsi que certains contremaîtres.

3.2.2.2 Garages d'entreposage de véhicules de transport urbain

Les interventions dans les garages ont été réalisées en hiver, lors de la sortie des véhicules tôt le matin après une période d'inactivité pour une grande majorité d'entre eux couvrant plus de 36 heures. Cette période d'inactivité nécessite une période de réchauffement pour rétablir la pression dans les systèmes hydrauliques, durant laquelle le moteur tourne à environ 1 000 rpm, d'où la possibilité d'un taux empoussièrément plus grand qu'aux autres moments de la journée. Sept des neuf interventions dans les garages ont eu lieu le lundi matin. En ce qui a trait aux deux autres interventions, une a eu lieu un mercredi matin et l'autre un dimanche soir au cours d'une période de réchauffement préventif des véhicules.

La durée des prélèvements était fonction de l'horaire de sortie des véhicules. Les postes fixes encadraient principalement les zones des véhicules n'ayant pas été en service entre le vendredi en fin de journée et le lundi matin vers 4h00 (correspondant à la période d'inactivité). Ces véhicules sont fréquemment plus âgés que ceux en service les fins de semaine. Enfin, il y avait parfois un quatrième poste, en fonction de l'horaire du retour des véhicules, situé à proximité de la guérite de poste de surveillant. À ce poste, il n'y avait qu'un seul prélèvement par type d'analyse.

Compte tenu qu'aucun travailleur n'œuvre en permanence dans les garages durant la période de démarrage matinal, aucune évaluation de l'exposition de travailleurs n'a été effectuée. Les chauffeurs démarrent le véhicule et font une inspection visuelle de celui-ci de quelques minutes.

4. RÉSULTATS

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude visent à comparer deux méthodes analytiques utilisant des indices d'exposition différents, le PCR, le CE ou le CT. Ils sont rapportés par milieu sous format d'une description des véhicules, de la variation des concentrations obtenues, du calcul des ratios, de l'exposition des travailleurs, s'il y a lieu, et enfin, de l'analyse statistique des résultats.

4.1 Mines

Les résultats analytiques et les calculs des ratios pour les mines sont rapportés au tableau 1.1 de l'annexe 1, ceux des prélèvements en zone respiratoire des travailleurs par mine, par jour de prélèvement au tableau 1.2 de cette annexe. Le poids du CO et du CE des filtres, par conséquent celui du CT, a été corrigé en fonction du poids moyen des filtres témoins. La correction du CO était de 6,5 µg/filtre. Aucune correction n'a été apportée aux poids du CE.

4.1.1 Description des véhicules

Les véhicules de service ont un moteur de capacité moindre que ceux affectés à la production. Ils sont également moins récents et peuvent parfois subir un entretien à intervalle plus étalé. Par conséquent, ils sont habituellement plus pollués, toutes proportions gardées. En effet, la réglementation québécoise pour les mines mentionne une limite de monoxyde de carbone¹ dans les gaz d'échappement pour ceux-ci de 1 000 ppm alors que celle pour les véhicules de production est de 750 ppm.

Les véhicules de production de la mine A comprenaient une quarantaine de chargeuses navettes et de camions à benne d'une puissance d'environ 300 HP. Certains véhicules sont moins puissants (185 HP à 235 HP). Il y a également deux camions de capacité de 50 tonnes ayant une puissance de 575 HP. La plupart de ces véhicules sont fabriqués par Tamrock© et propulsés par des moteurs de marques Detroit Diesel© et Deutz©. Notons que quelques-uns des véhicules de production étaient munis de cabines filtrées et climatisées. La centaine de véhicules de service incluent la flotte de foreuses ainsi que des véhicules utilitaires et de transport du personnel. La puissance de ces véhicules varie entre 20 HP et 160 HP. La liste des fabricants est variée avec des moteurs de marques Deutz©, Kubota© et Detroit Diesel©, entre autres.

Les véhicules de production de la mine B comprenaient une vingtaine de chargeuses navettes et de camions à benne d'une puissance moyenne de 200 HP. La grande majorité de ces véhicules sont des chargeuses munies de moteurs de marque Deutz©. Les véhicules de service, au nombre d'environ 70, incluent la flotte de foreuses ainsi que des véhicules utilitaires et de transport du personnel. La puissance de ces véhicules varie entre 30 HP et 170 HP, pour la plupart. La liste des fabricants est aussi extrêmement variée avec des moteurs de marques Deutz© et Toyota©, dans la majorité des véhicules.

¹ Dans ce rapport, l'utilisation de l'acronyme CO fait référence au *carbone organique dans les matières particulaires de diesel (MPD)* et non au symbole chimique du monoxyde de carbone.

4.1.2 Variation des concentrations

À chaque poste fixe équipé de 12 sélecteurs de poussières alvéolaires (figures 3 et 4), le calcul de l'écart-type des concentrations obtenues sur la moyenne de celles-ci a été effectué pour les deux séries de prélèvements afin d'estimer la variation des concentrations par méthode. Cette variation moyenne, exprimée en pourcentage, pour les résultats dans les mines québécoises du PCR, du CE, du CO et par conséquent du CT, est rapportée au tableau 3.

Tableau 3 : Variation des concentrations obtenues pour les résultats dans les mines

Mine	PCR (%)	CE (%)	CO (%)	CT (%)
A	5,0	1,4	2,7	1,9
	5,3	3,1	3,0	2,5
	11,0	1,8	3,5	1,3
	6,9	1,3	2,3	0,8
	3,1	1,2	4,0	2,5
	1,5	2,3	5,4	3,3
Moyenne	5,5	1,9	3,5	2,1
B	5,2	3,1	3,0	2,6
	10,5	1,5	2,3	1,2
	5,9	1,5	4,0	1,9
	2,5	5,2	2,3	2,8
	3,9	1,9	3,5	1,4
	6,9	1,9	2,5	1,3
Moyenne	5,8	2,5	2,9	1,9

4.1.3 Concentration des prélèvements aux postes fixes

Les concentrations moyennes du PCR, du CE, du CO et du CT par mine, par poste et par jour de prélèvement sont énumérées au tableau 4. Les résultats moyens du PCR à la mine A varient entre 227 et 755 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ceux du CE, entre 99 et 282 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, du CO 101 et 345 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et du CT 203 et 626 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

D'après le tableau 1.1 de l'annexe 1, les concentrations du CE à la mine A sont fréquemment plus élevées que celles du CO, sauf pour le poste 2 le jour 2 (2/2). De plus, les mesures prises à l'emplacement 2 ce deuxième jour (2/2) dépassent les VLE du Québec (PCR) et des États-Unis (CE). Toutefois, ces résultats ne sont pas représentatifs de l'exposition de travailleurs à la mine puisqu'il s'agit de prélèvements en poste fixe dans une galerie principale.

Selon le tableau 4, les résultats moyens du PCR à la mine B varient entre 210 et 361 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ceux du CE, entre 113 et 176 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, du CO 48 et 119 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et du CT 162 et 295 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.1.4 Ratios

Les ratios CT/CE, PCR/CE et CT/PCR sont calculés à partir des résultats analytiques. Le MSHA⁹ fait référence à une valeur de 1,3 pour le ratio CT/CE. Certains résultats ont été éliminés suite à des difficultés analytiques. Les ratios moyens sont énumérés au tableau 4.

Tableau 4 : Concentrations et ratios moyens par mine par poste de prélèvement par jour

M	P/J*	Concentration moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) \pm écart-type				Ratio moyen \pm écart-type		
		PCR	CE **	CO **	CT ***	CT/CE	PCR/CE	CT/PCR
A	1/1	227 \pm 11	99 \pm 1,4	104 \pm 2,8	203 \pm 3,9	2,1 \pm 0,02	2,3 \pm 0,09	0,9 \pm 0,04
	2/1	430 \pm 23	181 \pm 5,6	195 \pm 5,9	376 \pm 9,5	2,1 \pm 0,04	2,4 \pm 0,10	0,9 \pm 0,04
	3/1	374 \pm 41	234 \pm 4,3	134 \pm 4,7	368 \pm 4,7	1,6 \pm 0,03	1,6 \pm 0,15	1,0 \pm 0,11
	1/2	356 \pm 25	169 \pm 2,3	101 \pm 2,3	270 \pm 2,1	1,6 \pm 0,02	2,1 \pm 0,15	0,8 \pm 0,05
	2/2	755 \pm 23	282 \pm 3,4	345 \pm 13,8	626 \pm 16	2,2 \pm 0,04	2,7 \pm 0,07	0,8 \pm 0,03
	3/2	491 \pm 8	249 \pm 5,7	192 \pm 10,4	442 \pm 15	1,8 \pm 0,03	2,0 \pm 0,05	0,9 \pm 0,03
B	1/1	319 \pm 17	121 \pm 3,7	131 \pm 3,9	252 \pm 6,7	2,1 \pm 0,03	2,6 \pm 0,19	0,8 \pm 0,06
	2/1	237 \pm 25	120 \pm 1,8	57 \pm 1,3	177 \pm 2,1	1,5 \pm 0,01	2,0 \pm 0,21	0,8 \pm 0,09
	3/1	355 \pm 21	176 \pm 2,6	119 \pm 4,8	295 \pm 5,6	1,7 \pm 0,03	2,0 \pm 0,11	0,8 \pm 0,05
	1/2	361 \pm 9	160 \pm 8,4	104 \pm 2,4	263 \pm 7,5	1,7 \pm 0,04	2,2 \pm 0,11	0,7 \pm 0,02
	2/2	210 \pm 8	113 \pm 2,1	48 \pm 1,7	162 \pm 2,2	1,4 \pm 0,02	1,9 \pm 0,08	0,8 \pm 0,03
	3/2	291 \pm 20	145 \pm 2,8	86 \pm 2,1	231 \pm 3,0	1,6 \pm 0,02	2,0 \pm 0,12	0,8 \pm 0,05

M : Mine.

P/J* : Poste de prélèvement par journée.

** : Concentration après correction du poids moyen des filtres témoins.

*** : Concentration du CE + concentration du CO = concentration du CT.

4.1.5 Exposition des travailleurs

Des prélèvements ont été faits en zone respiratoire de préposés à la production, de travailleurs de service et de contremaîtres. Le tableau 5 énumère les concentrations moyennes par type d'emploi similaire.

Trois des 26 prélèvements de la mine A ont été retirés pour raison de défauts techniques. Ces concentrations moyennes varient entre 37,9 et 433,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le CE, entre 65,9 et 268,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le CO et entre 145,0 et 701,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le CT. Parmi les 24 prélèvements retenus de la mine B (un prélèvement ayant été retiré pour raison de défauts techniques), les concentrations en zone respiratoire des travailleurs varient entre 24,8 et 398,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le CE, 51,4 et 324,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le CO et 68,8 et 723,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le CT.

Tableau 5 : Concentration moyenne par type d'emploi dans les mines

Tâche	Concentration moyenne ($\mu \pm s$) (nombre de prélèvements)						Ratio CT/CE	
	CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ***		CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ***		CT ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ****		$\mu \pm s$	
	Jour 1	Jour 2	Jour 1	Jour 2	Jour 1	Jour 2	Jour 1	Jour 2
Mine A								
Opérateur camion	164 ± 101 (4)		124 ± 54		289 ± 143		1,9 ± 0,5	
Opérateur chargeuse	277 ± 126 (6)	184 ± 82 (7)	163 ± 73	137 ± 38	385 ± 231	322 ± 104	1,6 ± 0,1	2,0 ± 0,9
Mécanicien Feed		89 ± 17 (3)		81 ± 17		170 ± 33		1,9 ± 0,1
Camion de service		149 ± 79 (2)		108 ± 16		257 ± 95		1,8 ± 0,3
Électricien	73		102		175		2,4	
Moyenne pour la mine A							1,9 ± 0,3	
Mine B								
Mineur développement *	103 ± 32 (2)	105 ± 41 (4)	119 ± 95	150 ± 63	222 ± 109	255 ± 103	2,1 ± 0,7	2,0 ± 0,9
Mineur production *	154 ± 51 (3)	138 ± 1 (2)	124 ± 28	138 ± 30	279 ± 45	276 ± 29	1,9 ± 0,5	2,0 ± 0,3
Préposé au service		134 ± 39 (3)		121 ± 28		256 ± 12		2,0 ± 0,4
Opérateur chargeuse	398		325		723		1,8	
Entretien chemins	212		120		331		1,6	
Réhabilitation	59 ± 48 (2)	131	89 ± 64	96	148 ± 112	227	2,6 ± 0,3	1,7
Livraison dynamite	83		100		183		1,5	
Entretien **	53	113 ± 57 (2)	30	96 ± 12	86	209 ± 68	1,5	2,0 ± 0,3
Tech hyg du travail		152		150		302		2,0
Moyenne pour la mine B							1,9 ± 0,3	

* : Comprend le contremaître, s'il y a lieu.

** : Comprend électricien Feed (jour 1), soudeur et mécanicien (jour 2).

*** : Concentration après correction du poids moyen des filtres témoins.

**** : Concentration du CE + concentration du CO = concentration du CT.

4.1.6 Analyse statistique

En plus des modèles estimés, selon que le segment sur l'axe des Y passe par zéro ou non, le tableau 6 énumère la corrélation (R^2), l'erreur type pour la pente et le segment sur l'axe des Y, les limites inférieures et supérieures à un niveau de confiance de 95 % pour la pente et le segment ainsi que la probabilité de la linéarité des données avec une supposition raisonnable à 0,02. La figure 5 illustre dans un format graphique l'analyse de régression linéaire des données résumées au tableau 6.

Tableau 6 : Pente et segment sur l'axe des Y pour les données dans les mines

Modèle estimé	R ²	Pente, <i>m</i> ±erreur type	Segment, <i>b</i> ±erreur type	Niveau de confiance de 95 %				P *
				Inf <i>m</i>	Sup <i>m</i>	Inf <i>b</i>	Sup <i>b</i>	
CT = 2,099 CE - 51,989	0,865	2,099±0,10	-51,989±18,62	1,895	2,303	-89,166	-14,813	0,000000
CT = 1,828 CE	0,979	1,828±0,03	0,000	1,762	1,893	---	---	0,000000
CT = 0,853 PCR - 6,272	0,942	0,853±0,03	-6,272±10,40	0,801	0,905	-6,272	-27,046	0,062466
CT = 0,838 PCR	0,992	0,838±0,01	0,000	0,819		---	---	0,062775
PCR = 2,265 CE -19,532	0,777	2,265±0,15	-19,532±27,206	1,967	2,563	-73,851	34,786	0,000000
PCR = 2,163 CE	0,971	2,163±0,05	0,000	2,072	2,254	---	---	0,000000

Inf *m* : Limite inférieure pour la pente.

Sup *m* : Limite supérieure pour la pente.

Inf *b* : Limite inférieure pour le segment sur l'axe des Y. Sup *b* : Limite supérieure pour le segment sur l'axe des Y.

p* : Niveau de probabilité de linéarité des données avec supposition raisonnable à 0,02, estimé à partir du logiciel NCSS (*Lack of Linear Fit F (0,0) Test*).

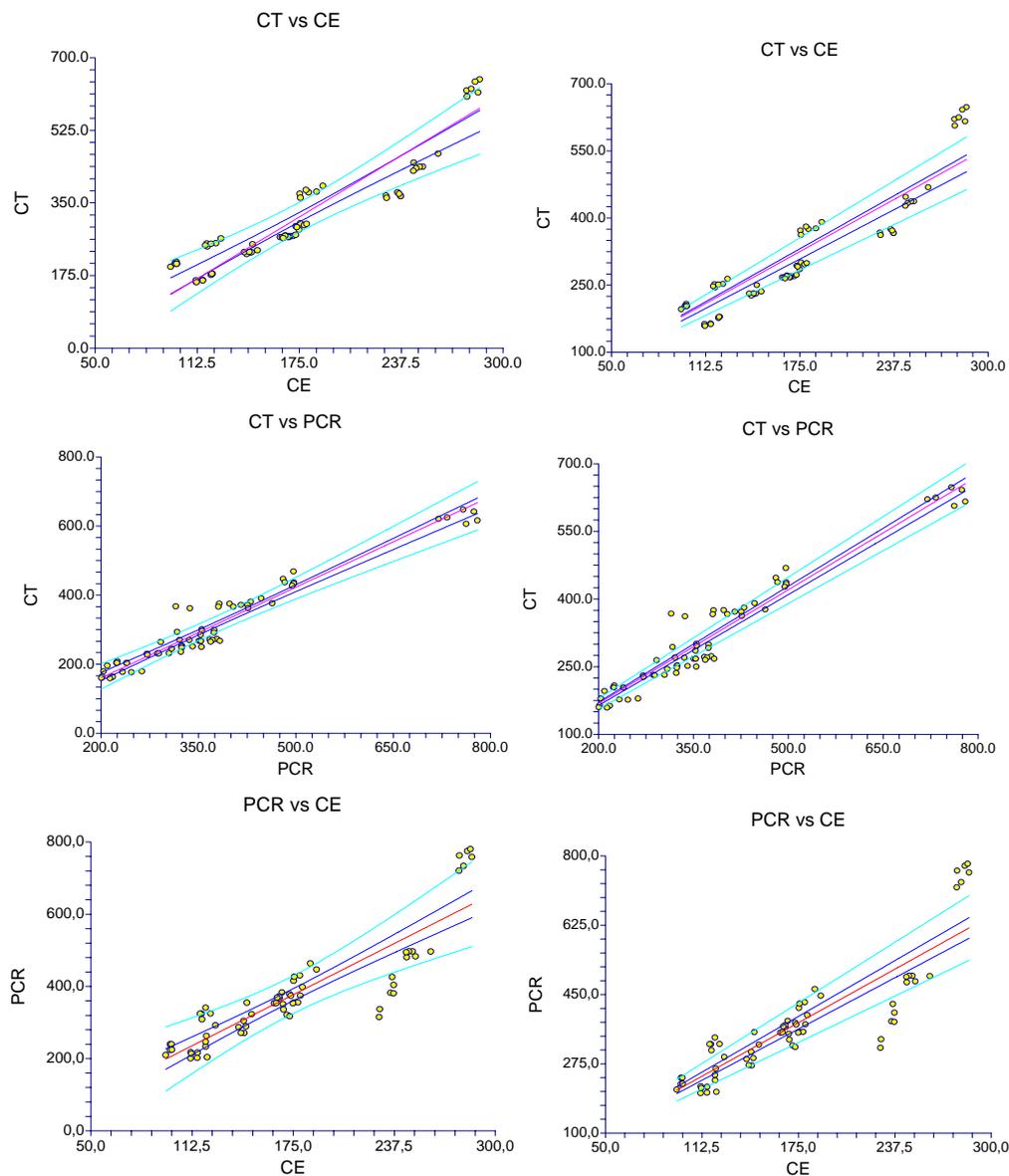


Figure 5 : Analyse de régression linéaire des données dans les mines

Les graphiques à la droite de la figure 5 correspondent aux modèles estimés dont le segment sur l'axe des Y passe par zéro et ce, respectivement pour chacune des paires de variables, ceux à gauche aux autres modèles estimés (segment ne passant pas par zéro).

4.2 Garages

Les résultats analytiques obtenus dans les garages et les calculs des ratios sont rapportés au tableau 1.3 de l'annexe 1. Le poids du CO et du CE des filtres, par conséquent celui du CT, a été corrigé en fonction du poids moyen des filtres témoins. La correction du CO était de 5,5 µg/filtre tandis qu'aucune correction n'a été apportée aux résultats du CE.

4.2.1 Description des véhicules

En période de réchauffement, les moteurs tournent à 1 000 rpm. Selon les compagnies de transport, la fréquence d'entretien ne serait pas prédéterminée. Un mauvais fonctionnement se doit d'être signalé immédiatement. La période des départs des véhicules par poste de prélèvement (donc, l'écart entre le départ du premier véhicule et celui du dernier dans la zone de prélèvement) s'étale entre 34 et 217 minutes. Après le départ matinal de tous les véhicules entourant un poste fixe, les prélèvements se poursuivent, car des véhicules sont encore en période de réchauffement dans d'autres sections du garage.

Le nombre de véhicules par garage variait entre 122 et 299. Les véhicules sont munis d'un des cinq types de moteurs énumérés au tableau 7. Le nombre de véhicules et leur année d'acquisition sont également mentionnés.

Tableau 7 : Nombre de véhicules par type de moteur et année d'acquisition

Type de moteur	Véhicules	Année
Detroit © 6V71 avec contrôle d'injection mécanique, sans catalyseur	23 *	1988
Detroit © 6V92 avec système de contrôle d'injection électronique, sans catalyseur	34 – 124	1989-1994
Cummins © L10 avec système de contrôle mécanique, sans catalyseur	15 *	1989
Cummins © C8.3 avec système de contrôle d'injection mécanique, avec catalyseur	45 – 98	1995-1998
Cummins © ISC-ISL avec système de contrôle d'injection électronique, avec catalyseur	49 – 91 **	1999-2004

* : Un seul garage a des véhicules avec ce type de moteur.

** : Il n'y a pas de véhicules avec ce type de moteur dans un des garages.

4.2.2 Variation des concentrations

À chaque poste fixe équipé de 12 sélecteurs de poussières alvéolaires, le calcul de l'écart-type des concentrations obtenues sur la moyenne de celles-ci, a été effectué pour les deux séries de prélèvements afin d'estimer la variation des concentrations obtenues pour chacune des méthodes. Les calculs de cette variabilité moyenne, exprimée en pourcentage, pour les résultats dans les garages du PCR, du CE, du CO et, par conséquent du CT, sont rapportés au tableau 8.

Tableau 8 : Variation des concentrations obtenues dans les garages

Garage	PCR (%)	CE (%)	CO (%)	CT (%)
A	15,7	13,2	18,8	17,7
	19,8	6,5	9,3	8,5
	6,4	4,3	3,4	2,7
	6,2	3,2	6,6	6,0
	17,0	4,4	7,1	5,6
	0,0	3,4	2,0	2,0
Moyenne	10,9	5,8	7,9	7,1
B	6,5	2,1	2,9	1,9
	2,6	2,1	4,6	3,9
	8,5	2,0	2,5	2,2
	9,2	1,7	4,3	3,3
	7,0	1,2	1,3	0,8
	4,4	2,1	4,7	2,6
Moyenne	6,4	1,9	3,4	2,5
C	12,7	1,6	3,1	2,8
	12,1	3,9	4,5	4,0
	6,8	2,9	2,8	2,8
	3,9	4,6	4,1	4,1
	21,7	2,8	1,7	1,4
	12,9	1,8	4,8	3,7
Moyenne	11,7	2,9	3,5	3,1
D	16,7	4,4	5,7	4,9
	8,5	1,3	2,4	2,0
	20,2	1,6	2,8	2,3
Moyenne	15,1	2,4	3,6	3,1
E	8,1	4,5	4,7	4,6
	15,0	2,6	2,6	1,7
	11,8	1,7	1,9	1,5
Moyenne	11,7	2,9	3,1	2,6
F	15,1	2,6	2,0	1,8
	10,8	4,1	2,8	2,1
	22,4	5,7	6,9	3,8
Moyenne	16,1	4,2	3,9	2,6
G	13,7	5,4	4,2	4,5
	11,2	1,9	3,2	2,9
	26,6	4,1	7,0	5,2
Moyenne	17,2	3,8	4,8	4,2
H	24,0	5,1	3,0	2,9
	21,1	10,0	6,5	6,5
Moyenne	22,5	7,5	4,7	4,7
I	10,0	3,7	2,6	2,3
	25,2	4,4	2,5	1,8
	23,5	3,0	3,2	2,4
Moyenne	19,6	3,7	2,8	2,2

4.2.3 Concentrations des prélèvements aux postes fixes

Les concentrations moyennes aux postes fixes sont résumées au tableau 9. Les concentrations moyennes du CE qui varient de 9,8 à 95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sont inférieures à celles du CO (74 à 402 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Les concentrations moyennes du PCR varient de 110 à 623 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.2.4 Ratios

Les ratios moyens sont également énumérés au tableau 9. Le ratio CT/PCR semble plus stable que les deux autres ratios, CT/CE et PCR/CE.

Tableau 9 : Concentrations et ratios moyens par garage par poste de prélèvement

G	P	Concentration moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) \pm écart-type				Ratio moyen		
		PCR	CE *	CO *	CT *	CT/CE	PCR/CE	CT/PCR
A	1	110 \pm 17,3	24,3 \pm 3,2	97,0 \pm 18,2	121,9 \pm 21,5	5,0 \pm 0,20	4,5 \pm 0,56	1,1 \pm 0,17
	1"	117 \pm 23,1	23,3 \pm 1,5	80,7 \pm 7,5	104,3 \pm 8,9	4,4 \pm 0,12	5,0 \pm 1,01	0,9 \pm 0,25
	2	220 \pm 14,1	35,3 \pm 1,5	121,3 \pm 4,1	156,7 \pm 4,1	4,4 \pm 0,23	6,4 \pm 0,57	0,7 \pm 0,00
	2"	280 \pm 17,3	35,7 \pm 1,2	145,0 \pm 9,6	180,8 \pm 10,8	5,0 \pm 0,15	7,9 \pm 0,45	0,7 \pm 0,06
	3	125 \pm 21,2	26,3 \pm 1,2	88,0 \pm 6,2	114,3 \pm 6,4	4,3 \pm 0,21	4,9 \pm 1,06	0,9 \pm 0,14
	3"	170 \pm 0,0	29,0 \pm 1,0	103,7 \pm 2,1	132,7 \pm 2,6	4,6 \pm 0,15	5,9 \pm 0,28	0,8 \pm 0,00
B	1	623 \pm 40,4	95,0 \pm 2,0	402,0 \pm 11,5	497,1 \pm 9,4	5,2 \pm 0,20	6,5 \pm 0,50	0,8 \pm 0,00
	1"	437 \pm 11,5	72,3 \pm 1,5	278,3 \pm 12,7	350,7 \pm 13,8	4,9 \pm 0,12	6,0 \pm 0,25	0,8 \pm 0,06
	2	540 \pm 45,8	86,0 \pm 1,7	318,0 \pm 7,9	403,9 \pm 8,9	4,7 \pm 0,10	6,3 \pm 0,44	0,8 \pm 0,06
	2"	383 \pm 35,1	67,3 \pm 1,2	211,7 \pm 9,0	278,8 \pm 9,1	4,1 \pm 0,12	5,7 \pm 0,50	0,8 \pm 0,06
	3	573 \pm 40,4	92,7 \pm 1,2	350,7 \pm 4,5	443,4 \pm 3,5	4,8 \pm 0,10	6,2 \pm 0,40	0,8 \pm 0,06
	3"	390 \pm 17,3	71,7 \pm 1,5	239,3 \pm 11,2	308,0 \pm 8,1	4,3 \pm 1,10	5,5 \pm 0,32	0,8 \pm 0,06
C	1	360 \pm 45,8	36,7 \pm 0,6	206,3 \pm 6,4	243,1 \pm 6,9	6,6 \pm 0,12	9,9 \pm 1,39	0,7 \pm 0,10
	1"	253 \pm 30,6	30,7 \pm 1,2	169,7 \pm 7,6	200,6 \pm 8,1	6,6 \pm 0,21	8,2 \pm 1,01	0,8 \pm 0,10
	2	510 \pm 34,6	59,0 \pm 1,7	340,0 \pm 9,5	398,8 \pm 11,2	6,8 \pm 0,06	8,7 \pm 0,50	0,8 \pm 0,06
	2"	393 \pm 15,3	45,3 \pm 2,1	246,7 \pm 10,2	291,8 \pm 12,1	6,5 \pm 0,06	8,7 \pm 0,53	0,7 \pm 0,06
	3	293 \pm 51,3	41,3 \pm 1,2	190,7 \pm 3,2	231,8 \pm 3,3	5,6 \pm 0,15	7,1 \pm 1,15	0,8 \pm 0,10
	3"	237 \pm 30,6	33,3 \pm 0,6	147,3 \pm 7,0	180,8 \pm 6,7	5,4 \pm 0,31	7,1 \pm 0,95	0,8 \pm 0,10
D	1	222 \pm 37,0	34,3 \pm 1,5	133,5 \pm 7,6	168,0 \pm 8,2	4,9 \pm 0,21	6,5 \pm 1,27	0,7 \pm 0,11
	2	280 \pm 23,7	40,3 \pm 0,5	174,0 \pm 4,1	214,2 \pm 4,2	5,3 \pm 0,12	7,0 \pm 0,52	0,8 \pm 0,08
	3	180 \pm 36,3	32,6 \pm 0,5	116,8 \pm 3,3	149,5 \pm 3,4	4,6 \pm 0,08	5,5 \pm 1,12	0,9 \pm 0,19
E	1	320 \pm 26,1	82,8 \pm 3,8	181,5 \pm 8,6	264,4 \pm 12,0	3,2 \pm 0,04	3,9 \pm 0,27	0,8 \pm 0,08
	2	272 \pm 40,9	68,5 \pm 1,8	137,5 \pm 3,6	205,8 \pm 3,4	3,0 \pm 0,06	4,0 \pm 0,66	0,8 \pm 0,12
	3	314 \pm 37,1	84,8 \pm 1,5	173,3 \pm 3,3	258,2 \pm 4,0	3,1 \pm 0,05	3,7 \pm 0,50	0,9 \pm 0,09
F	1	283 \pm 42,7	39,3 \pm 1,0	173,0 \pm 3,5	212,2 \pm 3,9	5,4 \pm 0,15	7,2 \pm 1,11	0,8 \pm 0,15
	2	152 \pm 16,4	33,3 \pm 1,4	74,3 \pm 2,1	107,6 \pm 2,3	3,2 \pm 0,15	4,6 \pm 0,71	0,7 \pm 0,11
	3	143 \pm 32,0	44,0 \pm 2,5	81,3 \pm 5,6	125,3 \pm 4,8	3,9 \pm 0,22	3,3 \pm 0,73	0,9 \pm 0,23
G	1	295 \pm 40,4	44,7 \pm 2,4	186,5 \pm 7,8	230,9 \pm 10,4	5,2 \pm 0,08	6,7 \pm 1,12	0,8 \pm 0,15
	2	330 \pm 36,9	43,5 \pm 0,8	215,0 \pm 6,8	258,6 \pm 7,6	5,9 \pm 0,12	7,6 \pm 0,89	0,8 \pm 0,13
	3	168 \pm 21,7	47,2 \pm 1,9	81,7 \pm 5,7	128,8 \pm 6,7	2,7 \pm 0,10	3,3 \pm 0,83	0,8 \pm 0,08
H	1	197 \pm 47,2	14,9 \pm 0,8	133,7 \pm 4,0	148,5 \pm 4,3	10,0 \pm 0,46	13,2 \pm 2,53	0,8 \pm 0,16
	2	120 \pm 25,3	9,8 \pm 1,0	78,7 \pm 5,1	88,5 \pm 5,7	9,0 \pm 0,67	12,2 \pm 2,21	0,8 \pm 0,22
I	1	232 \pm 23,2	34,0 \pm 1,3	152,3 \pm 4,0	186,1 \pm 4,4	5,5 \pm 0,17	6,8 \pm 0,48	0,8 \pm 0,10
	2	217 \pm 54,7	31,5 \pm 1,4	126,2 \pm 3,2	157,8 \pm 2,8	5,0 \pm 0,23	6,9 \pm 1,60	0,8 \pm 0,21
	3	242 \pm 56,7	58,5 \pm 1,8	113,4 \pm 3,6	171,6 \pm 4,2	2,9 \pm 0,09	4,1 \pm 0,99	0,7 \pm 0,19

G : Garage.

P : Poste de prélèvement.

* : Concentration après correction du poids moyen des filtres témoins.

CT : Concentration du CE + concentration du CO = concentration du CT.

Pour les trois premiers garages, la stratégie consistait à recueillir trois séries de prélèvements couvrant la période de sortie de tous les véhicules et les trois autres avaient une période allongée après leur sortie afin d'avoir un plus grand volume de prélèvement et ce, pour un même emplacement. La différence de poids sur les filtres entre ces deux séries étant non significative, la période de prélèvement a été modifiée pour les autres garages afin de couvrir uniquement la période complète de sortie des véhicules et ce, pour les 12 prélèvements.

4.2.5 Analyse statistique

En plus des modèles estimés selon que le segment sur l'axe des Y passe par zéro ou non, le tableau 10 énumère la corrélation (R^2), l'erreur type pour la pente et le segment sur l'axe des Y, les limites inférieures et supérieures avec un niveau de confiance de 95 % pour la pente et le segment ainsi que la probabilité de la linéarité des données avec une supposition raisonnable à 0,02.

Tableau 10 : Pente et segment sur l'axe des Y pour les données dans les garages

Modèle estimé	R^2	Pente, m ±erreur type	Segment, b ±erreur type	Niveau de confiance de 95 %				P *
				Inf m	Sup m	Inf b	Sup b	
CT = 3,439 CE + 56,409	0,606	3,439±0,26	56,409±14,27	2,92	3,96	28,13	84,69	0,000002
CT = 4,391 CE	0,937	4,391±0,11	0,000	4,18	4,60	---	---	0,000000
CT = 0,709 PCR + 20,80	0,916	0,709±0,02	20,480±6,48	0,67	0,75	7,64	33,32	0,014038
CT = 0,768 PCR	0,987	0,768±0,01	0,000	0,75	0,78	---	---	0,003032
PCR = 4,258 CE + 80,474	0,510	4,258±0,39	80,474±21,47	3,48	5,03	37,94	123,01	0,000119
PCR = 5,615 CE	0,916	5,615±0,16	0,000	5,30	5,93	---	---	0,000010

Inf m : Limite inférieure pour la pente.

Sup m : Limite supérieure pour la pente.

Inf b : Limite inférieure pour le segment sur l'axe des Y. Sup b : Limite supérieure pour le segment sur l'axe des Y.

p* : Niveau de probabilité de linéarité des données avec supposition raisonnable à 0,02, estimé à partir du logiciel NCSS (*Lack of Linear Fit F (0,0) Test*).

La figure 6 illustre dans un format graphique l'analyse de régression linéaire des données résumées au tableau 10. Les graphiques à la droite de la figure 6 correspondent aux modèles estimés dont le segment sur l'axe des Y passe par zéro et ce, respectivement pour chacune des paires de variables, ceux à gauche aux autres modèles estimés.

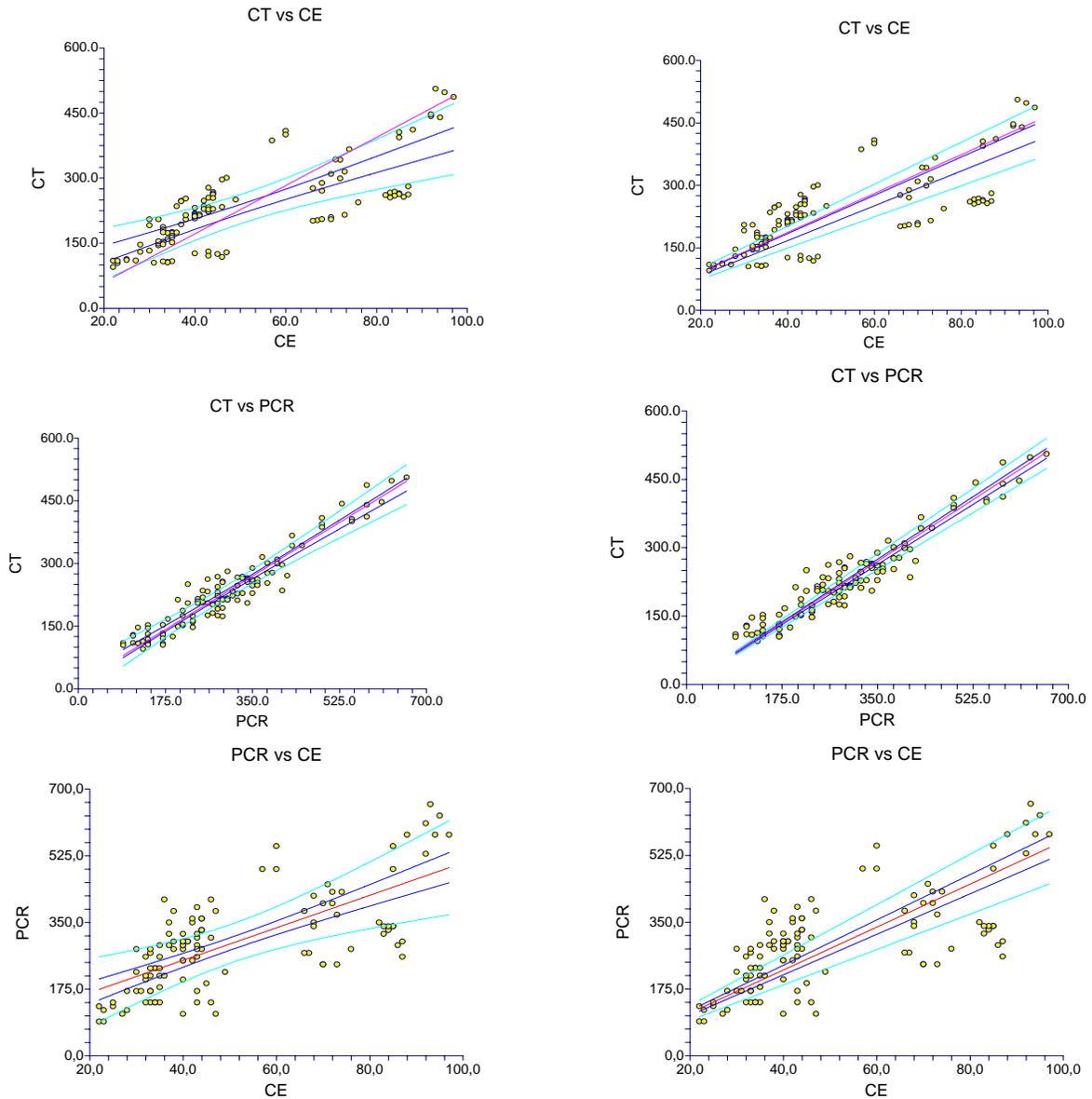


Figure 6 : Analyse de régression linéaire des données dans les garages

5. DISCUSSION

Cette section du rapport traite de la variation des concentrations pour chaque poste fixe de prélèvements, des concentrations du PCR, du CE et du CT et des ratios CT/CE, CT/PCR et PCR/CE, de leur analyse statistique, de l'exposition des travailleurs miniers et des limites de l'étude. Les discussions des résultats se limitent aux objectifs énoncés précédemment. Celles reliées à la toxicologie ou à la légitimité de techniques, documentées dans la littérature, dépassent la portée du travail de l'étude.

5.1 Variation dans les concentrations

La variation des concentrations est calculée à l'aide de l'écart-type des six prélèvements effectués simultanément pour chacune des méthodes analytiques. Le calcul de l'écart-type des concentrations obtenues sur la moyenne de celles-ci a été effectué pour les deux séries de prélèvements (PCR et CE-CO) afin d'estimer cette variation.

Pour les deux méthodes, la variation des concentrations obtenues est reliée aux erreurs aléatoires de prélèvement (telles la variation des débits, des lectures du débitmètre, la durée du prélèvement) et celles au niveau de l'analyse, telles que décrites dans les sections 3.1.1 et 3.1.2 pour les méthodes du PCR et NIOSH 5040, respectivement.

À la mine A, les moyennes sont de 5,5 % pour les concentrations du PCR et de 1,9 % pour celles du CE, 3,5 % celles du CO et 2,1 % celles du CT. À la mine B, elles sont de 5,8 % pour les concentrations du PCR et de 2,5 % pour celles du CE, 2,9 % celles du CO et 1,9 % celles du CT. Pour tous les résultats obtenus dans les mines, l'écart-type moyen, exprimé en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, est de $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le PCR et de $4,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le CE, $5,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le CO et $7,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le CT. En résumé, pour les mines, la variation dans les concentrations selon la méthode du PCR est en moyenne de 2 à 3 fois plus élevée que celle du CE et du CO selon la méthode NIOSH 5040.

Les moyennes des variations par méthode pour les concentrations obtenues aux postes fixes dans les garages sont 13,1 % pour le PCR, 3,7 % pour le CE, 4,4 % pour le CO et 3,7 % pour le CT. Compte tenu de certaines caractéristiques propres aux garages H et I, leurs concentrations sont éliminées du calcul des moyennes. Ces dernières seraient alors de 11,8 % pour le PCR, 3,5 % pour le CE, de 4,5 % pour le CO et de 3,8 % pour le CT. En effet, l'âge moyen des véhicules dans ces garages est supérieur; l'environnement urbain est notamment, caractérisé par une circulation majoritairement de véhicules à moteur au diesel comparativement aux autres garages où la circulation extérieure comprend un plus fort volume de véhicules à essence. Par conséquent, tel que discuté plus loin, la proportion du CO et du CE correspondrait moins à l'ensemble des résultats dans ces garages. Pour tous les résultats obtenus dans les garages (excluant les garages H et I), la variation dans les concentrations obtenues du PCR est environ 3,4 fois celle du CE, 2,7 fois celle du CO et 3,1 fois pour la mesure du CT. Exprimées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, elle est de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le PCR, $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le CE, $6,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le CO et $7,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le CT.

En conclusion, les conditions des prélèvements dans les deux milieux d'intervention étant identiques pour la méthode du PCR et celle de NIOSH 5040, le pourcentage de variation a été

estimé 2 à 3 fois plus élevé pour la méthode du PCR comparativement à celle de NIOSH 5040 (CE et CO).

5.2 Concentration des prélèvements aux postes fixes

Les concentrations des MPD aux postes fixes ne peuvent pas être comparées à des limites d'exposition, car elles n'ont pas été prélevées en zone respiratoire de travailleurs. Elles n'ont pas dépassé les VLE du Québec (PCR) et des États-Unis (CE, selon MSHA). Toutefois, il est possible de ressortir quelques points à partir des plages de concentrations colligées au tableau 11.

Tableau 11 : Plage de concentrations des MPD par milieux d'intervention

Milieu d'intervention	PCR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CT ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Mine A	210-780	96-286	99-362	196-648
Mine B	201-374	112-180	47-137	159-301
Garages	80-660	8-97	72-413	95-506

Dans les mines, 6 des 72 prélèvements de PCR (8,5 %) étaient au-dessus de la VLE de $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il en est de même pour les concentrations du CT en les comparant à la même valeur. Dans les garages, seulement 2 % des prélèvements du PCR étaient supérieurs à celle-ci. Pour ce qui est du CE, aucun des prélèvements dans les mines ou les garages n'a excédé la VLE américaine (MSHA) de $308 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les concentrations du PCR dans les mines varient entre 210 et $780 \mu\text{g}/\text{m}^3$, celles dans les garages entre 90 et $610 \mu\text{g}/\text{m}^3$, excluant les garages H et I. En général, celles des garages sont inférieures à celles des mines. Dans les mines, les proportions du CE et du CO sont comparables. Toutefois, cette situation ne prévaut pas dans les garages. En effet, les concentrations du CO dans les garages sont de 3 à 4 fois plus élevées que celles du CE. Les raisons pouvant expliquer cette différence sont discutées plus loin.

En résumé, les proportions du CE et du CO dans la matière particulaire émise par les moteurs au diesel semblent spécifiques aux milieux et aux caractéristiques des activités qui s'y tiennent. Le type de moteurs (avec ou sans contrôle électronique, avec ou sans catalyseur), leur régime d'utilisation (bas régime ou vitesse de croisière), leur âge et leur entretien sont notamment des facteurs ayant un impact sur les proportions du CE et du CO dans les MPD.

5.3 Ratios

Trois ratios sont calculés à partir des concentrations obtenues aux postes fixes, CT/CE, CT/PCR et PCR/CE.

5.3.1 Ratio CT/CE

À la mine A, la moyenne du ratio CT/CE est $1,9 \pm 0,27$, celle de la mine B $1,7 \pm 0,24$. Selon les résultats de l'étude, ce ratio varie entre 1,4 et 2,2. Une étude non publiée (www.deep.org) mais résumée dans un rapport technique²⁷ effectuée dans une mine canadienne rapporte un ratio

CT/CE moyen de 1,7, pour une plage de 1,4 et 2,3. Ce ratio est plus élevé que le ratio de 1,3 rapporté par MSHA, associé au secteur des mines américaines excluant les mines de charbon. Ce ratio a été utilisé aux États-Unis pour le calcul de la norme d'exposition au CE de $308 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à partir de l'ancienne norme du CT de $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Dans les garages, ce ratio CT/CE est plus élevé que celui obtenu dans les mines. Il a une moyenne de $4,5 \pm 0,85$, pour une plage variant entre 2,7 et 6,8. Cette moyenne ne comprend pas les résultats obtenus dans les garages H et I, compte tenu de particularités spécifiques dans la configuration des lieux, de l'âge des véhicules et/ou de l'organisation du travail (démarrage préventif). En effet, leurs résultats sont significativement différents de l'ensemble des autres garages. Tel que discuté précédemment, l'environnement urbain de ces garages, l'âge des véhicules pourraient être des facteurs contributifs à la proportion du CE et du CO. Certains facteurs environnementaux dans les garages font en sorte que la proportion du CO, donc du CT, est plus élevée que celle du CE.

Pour ce qui a trait aux facteurs pouvant affecter les proportions du CE et du CO dans les émissions des véhicules, mentionnons à titre d'hypothèse la plus plausible, le type de moteurs, leur régime d'utilisation, leur entretien, la présence ou l'absence de filtres ou de catalyseurs.

Le type de moteur au diesel, dont les moteurs conventionnels et ceux à module de contrôle électronique, pourrait affecter la quantité de matière particulaire émise, ainsi que les caractéristiques dans les proportions du CE et du CO. Les moteurs modernes équipés de modules de contrôle électroniques seraient plus performants et auraient des émissions plus propres, selon plusieurs spécialistes dans ce domaine. De plus, ils requerraient habituellement moins d'entretien. Or, selon les spécialistes en mécanique, l'entretien d'un moteur au diesel pourrait affecter la concentration et le profil des émissions de MPD. Enfin, les véhicules plus âgés (dix ans ou plus) et les véhicules de services (petites cylindrées) sont plus fréquemment équipés de moteurs conventionnels.

Le régime de travail des véhicules pourrait également affecter les concentrations et les proportions du CO et du CE dans la MPD. Il est habituellement reconnu que l'efficacité optimale des moteurs au diesel se situe dans une plage où le régime de fonctionnement et le couple sont relativement élevés. L'utilisation des moteurs à bas régime ou de façon transitoire pourrait avoir un impact sur cette proportion en favorisant la production du CO et augmentant ainsi le ratio CT/CE. Compte tenu que les prélèvements dans les garages correspondaient à la période de réchauffement des véhicules, le régime du moteur favoriserait une production du CO en plus grande quantité.

Finalement, l'utilisation de catalyseurs pourrait avoir un impact sur la concentration et les proportions de la MPD émise en réduisant la fraction organique, donc le CO, dans la MPD. Or, les moteurs les plus âgés, entre autres, ne sont pas munis de ces systèmes.

Au niveau de l'environnement, les facteurs pouvant affecter le ratio CT/CE sont multiples. Dans les mines, ceux-ci incluent la présence des lubrifiants mécaniques et hydrauliques ainsi que la présence de brouillards d'huile provenant, entre autres, des travaux de forage. De plus, dans les garages, l'environnement urbain et ses polluants seraient des facteurs contributifs aux concentrations du CO et, dans une moindre mesure, à celles du CE.

5.3.2 Ratio CT/PCR

En théorie, la mesure du PCR et celle du CT devraient donner des résultats similaires. En effet, la méthode NIOSH 5040 correspondrait à la mesure du CT en quantifiant les deux fractions séparément, celles du CO et du CE. Dans les cas du PCR, le CO et le CE sont incinérés et mesurés sans différenciation.

Pour les mines, le ratio CT/PCR est relativement constant et varie entre 0,7 et 1,0 pour une moyenne de $0,83 \pm 0,04$. Ce ratio pour les garages est semblable avec une plage de 0,7 à 1,1 pour une moyenne de $0,81 \pm 0,08$.

5.3.3 Ratio PCR/CE

Étant donné la stabilité du ratio CT/PCR, les caractéristiques du ratio PCR/CE vont ressembler à celles du CT/CE. L'importance du ratio PCR/CE réside dans l'éventualité que la norme en vigueur au Québec réfère éventuellement à la mesure du CE plutôt qu'à celle du PCR. Plusieurs juridictions dans le monde considèrent que le CE est un indice plus fiable de l'exposition aux MPD comparativement au PCR et même au CT. En effet, ce dernier peut inclure du CO en provenance d'autres sources que la combustion du diesel.

Pour chacune des mines, le ratio PCR/CE est comparable. Sa plage varie de 1,6 à 2,7 avec une moyenne de $2,2 \pm 0,31$. Donc, dans le cas des deux mines évaluées, pour transposer en CE les résultats d'exposition des travailleurs exprimés en PCR, il serait possible, sous réserve, de diviser ces résultats par 2,2 et comparer le résultat à une VLE hypothétique exprimée en CE.

Pour le cas des garages, le ratio PCR/CE est beaucoup plus élevé et variable. Il se situe entre 3,2 et 9,8 avec une moyenne de 6,0. Dans le cas des garages, l'utilité d'un indice de comparaison entre les mesures du PCR et CE est moins pertinente étant donné qu'il n'a pas ou peu d'évaluation de la VLE exprimée en PCR.

5.4 Analyse statistique

L'analyse statistique est effectuée par milieu d'intervention pour tenir compte de la grande diversité entre les milieux et des caractéristiques des véhicules qui y circulent, notamment le régime sollicité et leur âge du moteur.

5.4.1 Mines

Une analyse de régression linéaire a été effectuée sur les 68 résultats analytiques obtenus dans les deux mines et utilisés pour le calcul des ratios, discutés précédemment. Pour chacune des variables, deux modèles sont estimés selon que le segment sur l'axe des Y passe par zéro ou non.

Au regard des graphiques de la figure 5, les données dans les mines sont réparties en deux groupes distincts. Un de ceux-ci correspond aux concentrations les plus élevées. Ce groupe est associé aux concentrations au poste 2 lors de la deuxième journée dans la mine A. En effet, ce poste correspond aux concentrations moyennes du PCR de $\sim 755 \mu\text{g}/\text{m}^3$, du CE de $\sim 282 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et du CO de $\sim 345 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (voir tableau 4). Pour ces résultats, le ratio CT/CE de 2,2 est différent

par rapport à ceux obtenus la deuxième journée de prélèvement, qui sont de 1,6 et de 1,8, pour les autres postes ; il est supérieur à l'ensemble des ratios.

Les modèles estimés pour les mines ayant une meilleure corrélation (R^2) seraient ceux dont le segment sur l'axe des Y passe par zéro. Afin de permettre un lien entre les données historiques d'exposition, exprimées en PCR, avec les données futures, pouvant être exprimées en CE, ces derniers modèles décrits au tableau 6 pourraient être utilisés avec réserve compte tenu de la non linéarité des données.

En effet, les données selon les résultats de l'analyse statistique ne seraient pas considérées comme étant linéaires, puisque le niveau de probabilité de linéarité est inférieur à 0,02 (colonne droite du tableau 6). Ces données sont obtenues dans des milieux de travail où plusieurs paramètres ne sont pas contrôlés. Elles ne peuvent être comparées directement à certaines études effectuées dans des conditions contrôlées telles que celles rapportées par MSHA lors du *Final Rule Federal Register*⁹.

Les résultats sont représentatifs des conditions environnementales, de la production et de l'organisation du travail (nombre et type de véhicules, affluence de la circulation dans les zones de prélèvement, etc.) prévalant les jours des prélèvements dans chacune des mines.

5.4.2 Garages

Une analyse de régression linéaire, résumée au tableau 10, a été effectuée sur 115 résultats analytiques obtenus dans les garages d'entrepôt de véhicules de transport en milieu urbain, excluant les garages H et I. Ces garages ont été éliminés lors du traitement statistique compte tenu de l'hétérogénéité de leur configuration spatiale et de leur organisation du travail par rapport à l'ensemble des garages. Des résultats analytiques pour l'ensemble des garages avaient préalablement été éliminés suite à des problèmes techniques.

Les modèles estimés à partir des résultats obtenus dans les garages ayant une meilleure corrélation (R^2) seraient ceux dont le segment sur l'axe des Y passe par zéro. Bien qu'il y ait une forte corrélation (R^2) pour le modèle estimé, la linéarité des données n'est pas démontrée. Les données selon les résultats de l'analyse statistique ne seraient pas considérées comme étant linéaires, le niveau de probabilité de linéarité étant inférieur à 0,02. Toutefois, afin de permettre un lien entre les données d'exposition exprimées en PCR, avec des données pouvant être exprimées en CE, ces derniers modèles décrits au tableau 10 pourraient être utilisés avec réserve compte tenu de la non linéarité des données.

Les résultats sont représentatifs des conditions environnementales, de la production et de l'organisation du travail (nombre de véhicules, leur âge, le rythme des départs dans les zones de prélèvement, etc.) prévalant les jours des prélèvements dans chacun des garages.

En résumé, selon l'analyse statistique, le modèle estimé pour le CT/PCR dont le segment passe par zéro serait similaire pour les deux milieux d'intervention, mais celui CT/CE et celui PCR/CE sembleraient être plus spécifiques au milieu. Ces modèles estimés devraient être utilisés avec réserve, compte tenu que la linéarité des données n'est pas démontrée statistiquement.

5.5 Exposition des travailleurs miniers

Un total de 26 prélèvements a été effectué sur le personnel des mines A et B respectivement (pour un total de 52). Il y a trois particularités distinguant la mine A de la mine B. Premièrement, il y a interdiction de fumer sous terre à la mine A. Pour les besoins de l'analyse des résultats, l'hypothèse que les prélèvements n'ont pas été exposés à la fumée de cigarette est retenue. Cette fumée aurait pu contribuer à la fraction organique (CO) selon la méthode NIOSH 5040. Deuxièmement, à la mine A, certains véhicules de production (camions et chargeuses) sont équipés de cabines climatisées/filtrantes. Les travailleurs qui sont affectés à ces véhicules devraient en théorie être exposés à des concentrations moindres, comparativement aux travailleurs opérant des véhicules à cabine conventionnelle. Enfin, à la mine B, les opérations font en sorte que les préposés à la production ou au développement doivent utiliser plusieurs types de véhicules au cours de la même journée de travail. À la mine A, un travailleur est assigné à un seul véhicule durant son quart de travail.

Selon les résultats de la mine A, les cabines climatisées/filtrantes de certains véhicules semblent avoir un impact positif sur l'exposition des travailleurs. Au regard des véhicules de production (camions et chargeuses) utilisés le jour 1, cinq véhicules étaient équipés de cabine climatisée et cinq de cabine conventionnelle. La moyenne des concentrations du CE des opérateurs des véhicules à cabine climatisée est de $151 \mu\text{g}/\text{m}^3$ comparativement à $287 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les opérateurs de véhicules avec cabine conventionnelle. Il est possible d'énoncer le même constat pour l'exposition au CT qui est de $263 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $464 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivement. Bien que plusieurs facteurs puissent contribuer à cette différence (ventilation, nombre des véhicules circulant à proximité, etc.), celle-ci est appréciable, soit près du double pour les concentrations du CE.

Un total de 26 prélèvements a également été effectué sur le personnel de la mine B où il est permis de fumer sous terre. Parce que la fumée de cigarette peut contribuer à la concentration du CO, les fumeurs ont été identifiés. Par contre, les résultats d'un petit nombre de prélèvements ne confirment pas cet énoncé.

Il est impossible de tirer des conclusions sur le fait que les travailleurs de la mine B changent de véhicule au cours d'une journée compte tenu des différences entre les deux mines, telles la profondeur des mines, le nombre de véhicules y circulant, notamment.

Les résultats en zone respiratoire des mineurs québécois ont été comparés, à titre indicatif, à la VLE provisoire des États-Unis de $308 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le CE. À la mine A, 13 % des prélèvements retenus (3 sur 23) sont au-dessus de cette VLE. À la mine B, 4% des prélèvements retenus (1 sur 25) est au-dessus de cette VLE. Toutefois, un niveau d'action, correspondant à la moitié de la VLE d'un contaminant, est fréquemment utilisé en hygiène du travail. Au regard d'un tel niveau d'action pour la MPD, $154 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le CE, près de 48 % (11 sur 23) des prélèvements sur les mineurs de la mines A et 24 % (6 sur 25) de ceux de la mine B ont un résultat supérieur à ce niveau d'action.

Il y a une variabilité appréciable dans le ratio CT/CE sur les travailleurs. La moyenne de ce ratio pour les travailleurs de la mine A est respectivement de 1,8 et de 2,0 pour les prélèvements du jour 1 et du jour 2 et est similaire à celle mesurée aux postes fixes dont la moyenne est de 1,9.

Celle pour les travailleurs de la mine B est respectivement de 2,0 et 2,1 pour les jours 1 et 2 et est plus élevée que celle mesurée aux postes fixes dont la moyenne est de 1,7.

5.6 Représentativité de l'indice de l'exposition

L'indice d'exposition à la MPD utilisé depuis plusieurs années au Québec et dans d'autres provinces canadiennes correspond à la concentration PCR, selon la méthode gravimétrique. Les résultats de la présente étude sont analysés afin d'établir un (ou des) facteur(s) de corrélation entre cet indice et les mesures futures, qui pourraient être exprimées sous forme de CE selon les intentions des organismes réglementaires. De plus, il semble, selon le ratio et le modèle estimé statistiquement, que le facteur 2,2 dans le cas des mines faisant partie de l'étude, pourrait être utilisé pour transposer les valeurs historiques du PCR en indice d'exposition exprimé en CE.

La fluctuation dans le ratio obtenu du CT/CE dans les deux milieux de travail, notamment due à la contribution du CO sur le CT, pourrait, entre autres, être associée aux conditions de la combustion du diesel et de l'environnement, de l'entretien des véhicules et de leur âge. Or, dans l'environnement, tant des mines que d'un milieu urbain, le CO est présent et n'origine pas nécessairement de la combustion au diesel. Par contre, le CE proviendrait habituellement de cette combustion.

Les diverses sources environnementales du CO soutiendraient que le CE serait un indice faible de l'exposition des travailleurs à la MPD. De plus, plusieurs juridictions hors Québec ont adopté ou considèrent le CE comme indice d'exposition. Les ratios pourraient être adaptables pour les mines mais en ce qui a trait à d'autres milieux, notamment les garages d'entreposage de véhicules de transport en milieu urbain, une investigation spécifique devrait être faite, telle que le démontrent les résultats dans les garages.

En conclusion, l'utilisation du CE comme indice de l'exposition aux MPD est une approche pragmatique qui tente d'éliminer les problèmes reliés à la présence des substances à base de carbone organique de sources autres que les émissions des moteurs au diesel. Le CE ne représente qu'une mesure indirecte de la MPD. Éventuellement, une meilleure approche pourrait être disponible.

5.7 Limites de l'étude

Les résultats obtenus dans ces milieux de travail québécois sont tributaires de facteurs non contrôlés. Ils ne sont pas comparables à ceux obtenus en laboratoire ou en milieux dont les paramètres sont contrôlés par rapport à une situation réelle de travail. Ils sont également fonction de la variabilité entre ces milieux, les mines et les garages d'entreposage de véhicules de transport urbain. En effet, ces milieux d'intervention divergent sur plusieurs points. Donc, les caractéristiques propres aux milieux (le type de véhicules, leur puissance, le régime du moteur sollicité et leur âge) seraient des facteurs pouvant affecter les résultats de l'étude. Enfin, il y a également plusieurs éléments divergents entre chaque site de prélèvement dans les mines, tels la profondeur, les dimensions des galeries, le nombre de véhicules et l'organisation du travail d'une mine à l'autre, et dans les garages, tels la configuration des lieux, le nombre et l'âge de véhicules d'un garage à l'autre.

La présente étude avait pour but l'acquisition de données exprimées en PCR et en CE et la comparaison de celles-ci lorsque prélevées dans différents milieux de travail québécois. Les aspects reliés à l'épidémiologie, à la toxicité des MDP ou aux méthodes analytiques documentées dans la littérature ne font pas partie des objectifs de cette étude.

6. CONCLUSION

Les résultats de cette étude ont permis d'estimer que la variation de la méthode des PCR, donc sa précision, est de 2 à 3 fois plus élevée que celle de NIOSH 5040.

Il s'avère que dans les mines, les concentrations du CE et du CO sont semblables, tandis que dans les garages, les concentrations du CO peuvent être jusqu'à 4 fois plus élevées. Cette différence pourrait être imputée aux caractéristiques des moteurs au diesel (âge du véhicule et régime du moteur) et de l'environnement urbain. Pour ce qui est de l'environnement minier, les lubrifiants mécaniques et hydrauliques ainsi que les travaux de forage pourraient affecter la concentration du CO.

Il a également été démontré que la concentration du PCR ressemble à celle du CT. La concentration du CT mesurée dans les garages et dans les mines est en moyenne 18 % moins élevée que celle du PCR correspondant.

Dans les mines, le ratio PCR/CE moyen est de 2,2. Ce facteur, dans les mines en question, pourrait servir à estimer les indices d'exposition au CE à partir de données historiques d'exposition au PCR. Pour ce qui est des garages, le ratio PCR/CE est beaucoup plus élevé et variable.

Pour les mineurs faisant l'objet de cette étude, quatre ont été exposés à des concentrations du CE supérieures à la VLE provisoire américaine de $308 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dans tous les cas, il s'agit de préposés à la production, soit des opérateurs d'équipement lourd (camions ou chargeuses).

En utilisant un critère statistique moins sévère ($p > 0,02$), la relation entre les variables étudiées au cours de cette étude serait linéaire dans les plages de concentrations de la présente étude.

Le but de l'étude était de démontrer que l'exposition à la MPD, bien qu'étant un mélange complexe de composés distincts, peut être estimée à partir d'un indice d'exposition, tel le CE. Idéalement, il faudrait pouvoir mesurer la MPD dans sa totalité. Mais pour l'instant, la mesure du CE semble être un indicateur acceptable de l'exposition au MPD.

En conclusion, il semble que la précision de la méthode du CE, la corrélation entre l'indice CE et celui du PCR dans les mines québécoises favoriseraient l'utilisation de l'indice CE.

7. RÉFÉRENCES

1. National Institute for Occupational Safety and Health. *Carcinogenic Effets of Exposure to Diesel Exhaust*. *Current Intelligence Bull* 50 1988;Publication:-30.
2. Centre International de Recherche sur le Cancer. *Monographs on the evaluation of Carcinogenic Risks to Human Diesel and Gasoline Engine Exhausts and Some Nitroarenes*. Lyon, France: 1989.
3. U.S.Environmental Protection Agency. *Health Assessment Document for Diesel Exhaust*. Report 2000.
4. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents : Notice of intended changes*. Cincinnati, Ohio: 2003.
5. Gangal MK and/et Dainty ED. *Ambiant Measurement of Diesel Particulate Matter and Respirable Combustible Dust in Canadian Mines*. R.Bhaskar, éditeur *Proceeding of the 6th U. S. Mine Ventilation Symposium*. Society for Mining, Metallurgy and Exploration. 83-89. 1993. Littleton, Colorado.
6. Ramachandran G, Watts WF Jr. *Statistical Comparaison of Diesel Particulate matter Measurement Methods*. *American Industrial Hygiene Association Journal* 2005;64:329-337.
7. Gouvernement du Québec. *Règlement modifiant le Règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines*. c. S-2.1, r.19,.1. 2004. Éditeur officiel du Québec.
8. Grenier M, Gangal M, Goyer N, McGinn S, Penney J, Vergunst J. *Mesure de la matière particulaire diesel dans les mines*. *Études et recherches IRSST / fiche technique* 2001;RF-287:-28p.
9. Mine Safety and/et Health Administration. *Diesel Particulate Matter Exposure of Underground Metal and non-metal Miners*. *Final Rule Federal Register* 2001;66:5706-5910.
10. Greim H. *Commission for the Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area*. In: John Wiley and sons Inc., ed. *Occupational Toxicants*. Bonn, Germany: 2002.
11. NIOSH. *Manual of Analytical Methods (NMAM) 5040. Second Supplement to NMAM, 4th ed DHHS Publication*. 94-113 (PB-95-154-191). 1998. Cincinnati, Ohio, Cassinelli ME; O'Connor PF; eds.
12. Birch ME, Cary RA. *Elemental Carbon-based Method for Monitoring Occupational Exposures to Particulate Diesel Exhaust Methodology and exposure Issues*. *Aerosol Science Technology* 1996;25:221-241.
13. Birch ME. *Analytical Instrument Performance Criteria : Occupational Monitoring of Particulate Diesel Exhaust by NIOSH Method 5040*. *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 2002;17:400-405.
14. Birch ME. *Analysis of Carbonaceous Aerosol - Interlaboratory Comparison*. *Analyst* 1998;123:851-857.

15. Sirianni G, Chemerynski S, Cohen HJ, Borak J. Sources of Interference in Field Studies of Diesel Exhaust Emissions. *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 2003;18:591-596.
16. Birch ME, Dahmann D, Fricke HH. Comparison of two Carbon Analysis Methods for Monitoring Diesel Particulate Levels in Mines. *Journal Environmental Monitoring* 1999;1:541-544.
17. Gangal M and/et Grenier M. An Overview of Regulations to Control diesel Emissions in Canadian Mines. 9ième North American/U.S. Mine Ventilation Symposium, Queen's University, Kingston Canada: 2002.
18. Verma DK, Shaw L, Julian J, Smolynec K, Wood C, Shaw DA. Comparison of Sampling and Analytical for Assessing Occupational Exposure to Diesel Exhaust in a Railroad Environment. *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 1999;14:701-714.
19. Seshagiri B. Exposure to Diesel Emissions on Board Locomotives. *American Industrial Hygiene Association Journal* 2003;64:678-683.
20. Liukonen LR, Grogan JL, Myers W. Diesel Particulate Matter Exposure to Railroad Train Crews. *American Industrial Hygiene Association Journal* 2002;63:610-616.
21. Seshagiri B and/et Burton S. Occupational Exposure to Diesel Exhaust in the Canadian Federal Jurisdiction. *American Industrial Hygiene Association Journal* 2003;64:338-345.
22. Zaebst DD, Clapp DE, Blade LM et al. Quantitative Determination of Trucking Industry Worker's Exposures to Diesel Exhaust Particles. *American Industrial Hygiene Association Journal* 1991;52:529-541.
23. Blute NA, Woskie SR, Greenspan CA. Exposure Characterization for Highway Construction Part I : Cut and Cover and Tunnel Finish Stages. *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 1999;14:632-641.
24. Grenier M et Butler K. Méthode d'échantillonnage et d'analyse de poussières combustibles respirables (PCR). Ottawa, Canada: Laboratoire des mines et des sciences minérale de CANMET, Ressources naturelles Canada; 1996.
25. Hintze, J. Number Cruncher Statistical Systems. [NCSS 2004 and PASS 2002]. 2005. Kaysville, Utah, www.NCSS.com.
26. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST). Guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail. Montréal, Québec: Études et recherches Guide technique; 2005.
27. Grenier, M., Gangal, M., Lastra, R., Mikhail, S., Turcotte, A.-M., Butler, K., Edwardson, E., Laflamme, G. Evaluation of Existing Diesel Particulate Matter Sampling and Analysis Methods at a High Sulphide Ore Mine. Rapport technique CANMET-LMSM 98-085 (CR), Laboratoire des mines et des sciences minérales, Ressources naturelles Canada; décembre 1998.

ANNEXE 1 : TABLEAUX DES CONCENTRATIONS OBTENUES ET CALCUL DES RATIOS

Tableau 1.1 : Résultats des prélèvements en poste fixe dans les mines

Mine	Poste/ jour	Durée des prélèvements (min)	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				Ratio		
			PCR	CE *	CO *	CT *	CT/CE	PCR/CE	CT/PCR
A	1/1	390	224	100,1	103,5	203,6	2,0	2,2	0,9
			210	96,3	99,8	196,1	2,0	2,2	0,9
			224	98,9	105,1	204,0	2,1	2,3	0,9
			240	99,9	103,4	203,3	2,0	2,4	0,9
			239	99,0	104,3	203,3	2,1	2,4	0,9
			225	99,7	108,6	208,3	2,1	2,6	0,9
	2/1	353	398	180,8	194,7	375,4	2,1	2,2	0,9
			416	175,4	196,6	371,9	2,1	2,4	0,9
			427	175,8	186,6	362,4	2,1	2,4	0,9
			430	179,2	201,9	381,1	2,1	2,4	0,9
			447	189,6	201,5	391,1	2,1	2,4	0,9
			464	185,7	191,2	376,9	2,0	2,5	0,8
	3/1	261	404	237,3	129,2	366,5	1,5	1,7	0,9
			381	237,2	129,3	366,5	1,5	1,6	1,0
			382	235,3	140,0	375,3	1,6	1,6	1,0
			426	236,3	135,7	372,0	1,6	1,8	0,9
			337	228,6	133,3	361,9	1,6	1,5	1,1
			315	228,2	139,4	367,6	1,6	1,4	1,1
	1/2	387	321	171,3	99,0	270,3	1,6	1,9	0,8
			336	169,1	100,9	270,0	1,6	2,0	0,8
			379	172,9	100,2	273,1	1,6	2,2	0,7
			351	168,9	98,9	267,8	1,6	2,1	0,8
			383	168,1	99,6	267,8	1,6	2,3	0,7
			368	166,6	105,0	271,6	1,6	2,0	0,7
	2/2	396	733	280,5	344,4	624,9	2,2	2,6	0,9
			763	277,9	328,6	606,5	2,2	2,7	0,8
			720	277,7	343,4	621,1	2,2	2,6	0,9
758			285,6	362,2	647,8	2,3	2,7	0,9	
780			284,7	331,4	616,1	2,2	2,7	0,8	
775			282,9	359,3	642,2	2,3	2,7	0,8	
3/2	367	481	245,3	201,8	447,1	1,8	2,0	0,9	
		495	245,0	182,2	427,2	1,7	2,0	0,9	
		483	250,8	186,5	437,3	1,7	1,9	0,9	
		497	246,7	186,7	433,4	1,8	2,0	0,9	
		497	248,9	188,0	436,9	1,8	2,0	0,9	
		496	260,2	208,6	468,8	1,8	1,9	1,0	
B	1/1	367	324	118,4	133,6	252,0	2,1	2,7	0,8
			324	117,6	130,2	247,7	2,1	2,8	0,8
			309	118,8	126,1	244,9	2,1	2,6	0,8
			292	127,1	137,2	264,3	2,1	2,3	0,9
			325	124,0	128,8	252,8	2,0	2,6	0,8
			341	121,0	130,4	251,4	2,1	2,8	0,7

Mine	Poste/ jour	Durée des prélèvements (min)	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				Ratio		
			PCR	CE *	CO *	CT *	CT/CE	PCR/CE	CT/PCR
	2/1	403	131	117,8	56,0	173,8	1,5	1,1	1,3
			204	121,9	57,5	179,4	1,5	1,7	0,9
			177	118,4	59,2	177,6	1,5	1,5	1,0
			233	121,0	56,4	177,5	1,5	1,9	0,8
			263	121,5	57,8	179,3	1,5	2,2	0,7
			247	121,0	55,7	176,7	1,5	2,0	0,7
	3/1	315	354	175,0	110,6	285,5	1,6	2,0	0,8
			374	173,6	117,9	291,5	1,7	2,2	0,8
			317	173,0	120,7	293,7	1,7	1,8	0,9
			355	175,8	125,2	301,0	1,7	2,0	0,9
			374	179,6	119,8	299,4	1,7	2,1	0,8
			355	178,1	118,2	296,2	1,7	2,0	0,8
	1/2	365	354	163,3	104,2	267,6	1,6	2,2	0,8
			355	146,5	103,7	250,2	1,7	2,4	0,7
			354	164,7	102,9	267,6	1,6	2,1	0,8
			372	166,4	103,9	270,3	1,6	2,2	0,7
			369	165,2	100,1	265,3	1,6	2,2	0,7
			276	141,7	107,	259,1	1,7	1,9	0,9
	2/2	407	218	111,8	51,6	163,4	1,5	1,9	0,8
			201	111,7	48,4	160,1	1,4	1,8	0,8
			202	115,9	48,4	164,3	1,4	1,7	0,8
			187	111,8	47,7	159,5	1,4	1,7	0,9
			217	116,0	47,0	163,0	1,4	1,9	0,8
			214	112,1	47,0	159,1	1,4	1,9	0,7
	3/2	327	305	144,5	87,4	231,9	1,6	2,1	0,8
			287	141,4	90,0	231,4	1,6	2,0	0,8
			289	145,9	85,3	231,2	1,6	2,0	0,8
			323	149,5	86,4	235,9	1,6	2,2	0,7
			271	144,8	85,4	230,2	1,6	1,9	0,9
			271	142,9	83,9	226,8	1,6	1,9	0,8

Les résultats ombragés ont été éliminés suite à des défauts techniques.

* : Concentration après correction du poids moyen des filtres témoins.

Tableau 1.2 : Résultats des prélèvements en personnel (zone respiratoire des travailleurs) dans les mines

Tâche	Équipement	Durée des prélèvements (min)	Concentration (µg/m³)			Ratio	Commentaire
			CE *	CO *	CT *	CT/CE	
Mine A ** Jour 1 :							
Opérateur de camion	Tamrock 50t/DDEC S60-575 HP CN#446	599	113,2	90,7	203,9	1,8	Cabine climatisée
Opérateur de camion	Tamrock 26t/DDEC S60-325 HP CN#157	601	315,1	185,2	500,3	1,6	Cabine climatisée
Opérateur de camion	Tamrock 26t/DDEC S60-325 HP CN#355	46	548,2	655,2	1203,4	2,2	Fumée visible
Opérateur de camion	Tamrock DDEC S60-325 HP CN#155	604	101,9	151,4	253,3	2,5	Cabine climatisée
Opérateur de camion	Tamrock 50t/DDEC S60-575 HP CN#444	610	129,2	69,1	198,3	1,5	Cabine climatisée
Opérateur de chargeuse	EJC-210/DDEC S50-250 HP CN#343	597	433,7	268,0	701,7	1,6	
Opérateur de chargeuse	EJC-210/DDEC S50-250 HP CN#344	607	189,9	141,6	331,4	1,7	
Opérateur de chargeuse	Tamrock Toro/DDEC S60-325 HP CN#158	599	302,8	168,8	136,3	1,8	
Opérateur de chargeuse	Tamrock Toro/DDEC S60-325 HP CN#426	614	94,0	65,9	159,9	1,7	Cabine climatisée
Opérateur de chargeuse	EJC-210/DDEC S50-250 HP CN#407	606	388,2	220,8	609,1	1,6	
Opérateur de chargeuse	Tamrock Toro/DDEC S60-325 HP CN#435	604	257,2	113,4	370,7	1,4	
Opérateur de chargeuse	EJC-210/DDEC S50-250 HP CN#345	298	351,0	305,6	656,6	1,9	Problème pompe
Électricien	Tracteur Kubota 8200/73 HP TR#424	589	73,3	101,9	175,3	2,4	
Mine A** Jour 2 :							
Opérateur de chargeuse	Tamrock Toro/DDEC S60-325 HP CN#151	583	201,9	147,4	349,3	1,7	
Opérateur de chargeuse	Tamrock Toro/DDEC S60-325 HP CN#358	605	207,3	129,3	336,6	1,6	
Opérateur de chargeuse	Tamrock Toro/DDEC S60-325 HP CN#435	595	139,1	92,0	231,1	1,7	
Opérateur de chargeuse	EJC-210/DDEC S50-250 HP CN#150	610	275,5	109,1	384,5	1,4	
Opérateur de chargeuse	EJC-210/Deutz F10L413-235 HP CN#149	587	270,2	200,5	470,6	1,7	
Opérateur de chargeuse	EJC-210/DDEC S50-250 HP CN#345	605	159,6	170,2	329,7	2,1	
Opérateur de chargeuse	Tamrock Toro/DDEC S60-325 HP CN#158	570	37,9	111,9	149,7	4,0	
Mécanicien Feed	Tracteur Kubota 73 HP TR#374	594	106,7	100,2	206,9	1,9	Bas de la mine
Mécanicien Feed	Tracteur Kubota 73 HP TR#401	602	73,5	71,4	145,0	2,0	Haut de la mine
Mécanicien Feed	Tracteur Kubota 73 HP TR#418	598	86,1	71,7	157,8	1,8	Bas de la mine
Camion de service	Tracteur Miller/ Perkins 78 HP TR#184	591	205,3	119,1	324,4	1,6	Bas de la mine
Camion de service	Camion McLean/Deutz BF4M1013EC 80HP #193	592	93,0	96,7	189,7	2,0	Haut de la mine
Entretien des chemins	Jarvis JS220/Deutz F6L912 80 HP VS#429	418	120,4	126,3	246,7	2,0	Haut de la mine
Mine B Jour 1 :							
Préposé au service	Tracteur AGCO Allis/Deutz 1000-4A1 80Hp #597	489	dt	dt	dt	dt	
Mineur développement	Ciseau/Deutz 80HP #615, Foreuse 80HP #405, chargeuse 231HP #490	612	119,6	227,8	347,3	2,9	Fumeur

Tâche	Équipement	Durée des prélèvements (min)	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Ratio	Commentaire
			CE *	CO *	CT *	CT/CE	
Mineur développement	Ciseau 61HP #607, Foreuse 80HP #409, chargeuse JC/Deutz 231HP #492	602	67,4	77,1	144,5	2,1	
Mineur développement	Ciseau/Deutz 61HP #603, Foreuse Montabert /Deutz 80HP #411, chargeuse 231HP #481	147	123,3	51,4	174,7	1,4	Écaillage manuel
Mineur production	Chargeuse Jarvis Clark 6verges/Deutz F10L413FW 185 HP #496	609	170,2	93,0	263,2	1,5	
Mineur production	Ciseau 61HP #613, Foreuse 80HP #408, chargeuse 250HP #463	605	195,8	133,7	329,6	1,7	
Opérateur chargeuse	Wagner ST1000/DDEC S50 250HP #507	602	398,4	324,9	723,4	1,8	51 godets, ventilation naturelle pas de ventilateur
Contremaître production	Camion Toyota/IHZ 170HP #775	515	97,4	146,4	243,7	2,5	
Entretien des chemins	Niveleuse CAT/CAT 3304 #650	520	211,6	119,7	331,2	1,6	
Réhabilitation	Cable bolter MacLean/Deutz BF4M1013C 140HP #449	600	92,6	134,0	226,7	2,4	
Réhabilitation	Cable bolter MacLean/Deutz BF4M1013C 150HP #449	614	24,8	44,0	68,8	2,8	
Livraison de dynamite	Camion Teledyne/Deutz F6L912W 61 HP #653	515	83,4	100,4	183,8	2,2	
Électricien Feed	John Deere/Jonh Deere 55HP #592	606	56,2	30,3	86,4	1,5	
Mine B Jour 2 :							
Préposé au service	Chargeuse JC/Deutz 85 HP #479, Camion Getman/Deutz 61 HP #654	467	109,7	136,3	246,0	2,2	Fumeur
Préposé au service	Camion Teledyne/Deutz F6L912W 61 HP #654	481	179,1	89,6	268,7	1,5	
Préposé au service	Camion Kubota M5400DT #762	604	113,5	139,9	253,4	2,2	Fumeur
Mineur développement	Ciseau/Deutz 80HP #615, chargeuses JC/Deutz 231HP #492	610	143,8	189,7	333,5	2,3	
Mineur développement	Ciseau/Deutz 61HP #603, Foreuse Montabert/Deutz 80HP #411	600	129,3	215,8	345,2	2,7	
Mineur production	Chargeuse Toro 1000/DDEC 250HP #468	603	137,9	117,2	255,1	1,8	Fumeur, présence de 2 chargeuses
Mineur production	Chargeuse Toro 450/DDEC S60 285HP #460	599	137,4	159,2	296,6	2,2	Fumeur, présence de 2 chargeuses
Contremaître développement et forage	Camion Toyota/IHZ 170HP #774	466	96,0	115,7	211,6	2,2	Fumeur

Tâche	Équipement	Durée des prélèvements (min)	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			Ratio	Commentaire
			CE *	CO *	CT *	CT/CE	
Contremaître développement	Camion Toyota/IHZ 170HP #777	400	51,2	79,6	130,7	2,6	
Réhabilitation	Ciseau/Deutz F6L912W 61HP #608	595	131,1	95,9	226,9	1,7	
Soudeur entretien	John Deere/Jonh Deere 60HP #592	465	72,7	87,7	160,4	2,2	
Mécanicien Feed	Tracteur AGCO Allis/Deutz 1000-4A1 80Hp #563	411	154,0	104,6	256,6	1,7	
Technicien en hygiène du travail	Camion Toyota/PZJ75LP-KR 113HP #758	452	151,9	149,7	301,6	2,0	Fumeur

Les résultats ombragés ont été éliminés suite à des défauts techniques.

* : Concentration après correction du poids moyen des filtres témoins.

** : Le personnel n'a pas le droit de fumer à la mine A. Le fumage est permis sur les lieux de travail dans la mine B.

Tableau 1.3 : Résultats des prélèvements en poste fixe dans les garages

Note : Pour les garages A, B et C, la stratégie consistait à recueillir trois séries de prélèvements couvrant la période des sorties de véhicules et les trois autres avaient une période allongée après ces sorties afin d'avoir un plus grand volume de prélèvement par emplacement. La différence de poids sur les filtres entre ces deux séries étant non significative, la période de prélèvement a été modifiée pour les autres garages couvrant ainsi la période complète de sortie des véhicules.

Garage	Poste	Nombre de véhicules	Années des véhicules	Étalement des sorties	Durée des prélèvements (min)	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				Ratio		
						PCR	CE *	CO *	CT *	CT/CE	PCR/CE	CT/PCR
A	1	48	ni	4h55-7h40	197	120	23	86	109,1	4,8	5,2	0,9
						120	28	118	146,7	5,2	4,3	1,2
						90	22	87	109,8	5,0	4,1	1,2
	1"				275	130	25	88	113,1	4,5	5,2	0,9
						90	23	81	104,5	4,5	3,9	1,2
						130	22	73	95,3	4,3	5,9	0,7
	2	80	ni	4h50-7h58	284	230	34	125	159,2	4,7	6,8	0,7
						150	37	122	159,2	4,3	4,1	1,1
						210	35	117	152,0	4,3	6,0	0,7
	2"				174	260	35	141	175,9	5,0	7,4	0,7
						290	37	156	193,2	5,2	7,8	0,7
						290	35	138	173,4	4,9	8,3	0,6
3	2	ni	5h45-6h30	200	140	25	86	111,1	4,4	5,6	0,8	
					90	27	95	121,7	4,5	3,3	1,4	
					110	27	83	110,1	4,1	4,1	1,0	
3"				142	90	29	106	135,2	4,7	3,1	1,5	
					170	28	102	130,0	4,6	6,1	0,8	
					170	30	103	132,9	4,4	5,7	0,8	
B	1	23	1989-1994	4h50-7h02	204	580	97	390	487,2	5,0	6,0	0,8
						630	95	403	498,0	5,2	6,6	0,8
						660	93	413	506,0	5,4	7,0	0,8
	1"				338	430	74	293	366,7	5,0	5,8	0,9
						430	72	270	342,5	4,8	6,0	0,8
						450	71	272	343,0	4,8	6,3	0,8
	2	23	1991-2004	4h37-6h56	206	550	85	321	405,9	4,8	6,5	0,7
						490	85	309	394,2	4,6	5,8	0,8
						580	88	324	411,8	4,7	6,6	0,6
	2"				340	380	66	211	276,8	4,2	5,8	0,7
						350	68	221	288,7	4,2	5,2	0,8
						420	68	203	270,8	4,0	6,2	0,7

Garage	Poste	Nombre de véhicules	Années des véhicules	Étalement des sorties	Durée des prélèvements (min)	Concentration (µg/m³)				Ratio								
						PCR	CE *	CO *	CT *	CT/CE	PCR/CE	CT/PCR						
C	3	24	1995-2004	6h46-7h18	204	580	94	346	440,2	4,7	6,2	0,8						
						610	92	355	447,1	4,9	6,6	0,7						
						530	92	351	442,9	4,8	5,8	0,8						
	3"					338	370	73	242	315,2	4,3	5,1	0,9					
							400	72	227	299,3	4,2	5,6	0,8					
							400	70	249	309,5	4,4	5,7	0,8					
	4	24	1995-2003	3h35-7h12		335	230	57	98	155,2	2,7	4,0	0,7					
							1	29	1991-1997	4h27-7h28	189	410	36	199	235,2	6,5	11,4	0,6
												350	37	210	246,9	6,7	9,5	0,7
	320	37	210	247,3	6,7	8,7						0,8						
	1"					274	220	30	175	205,2	6,8	7,3	0,9					
							260	32	173	205,3	6,5	8,1	0,8					
280							30	161	191,2	6,4	9,3	0,7						
2	30	1989-1997	4h12-7h31		196	550	60	341	400,6	6,7	9,2	0,7						
						490	57	330	386,8	6,8	8,6	0,8						
						490	60	349	409,0	6,8	8,2	0,8						
2"					260	380	47	254	300,7	6,4	8,1	0,8						
						410	46	251	296,6	6,5	8,9	0,7						
						390	43	235	278,0	6,5	9,1	0,7						
3	32	1992-1998	4h13-7h13		189	350	42	187	228,7	5,5	8,3	0,7						
						280	40	192	231,5	5,8	7,0	0,8						
						250	42	193	235,2	5,6	6,0	0,9						
3"					260	210	33	154	187,2	5,7	6,4	0,9						
						230	34	140	173,8	5,1	6,8	0,8						
						270	33	148	181,4	5,5	8,2	0,7						
4	31	1990-1998	4h19-6h15		163	380	38	215	253,1	6,7	10,0	0,7						
						D	1	27	1991-1998	4h30-7h21	226	210	32	122	154,4	4,8	6,6	0,7
												180	35	132	167,1	4,8	5,1	0,9
230	35	128	163,0	4,7	6,6							0,7						
						130	35	138	173,4	5,0	3,7	1,3						
						280	33	142	175,3	5,3	8,5	0,6						
						210	36	139	174,8	4,9	5,8	0,8						

Garage	Poste	Nombre de véhicules	Années des véhicules	Étalement des sorties	Durée des prélèvements (min)	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				Ratio		
						PCR	CE *	CO *	CT *	CT/CE	PCR/CE	CT/PCR
	2	28	1991-1998	4h40-7h15	216	290	40	176	216,2	5,4	7,3	0,8
						300	41	173	213,5	5,2	7,3	0,7
						250	40	167	206,9	5,2	6,3	0,8
						290	40	173	212,8	5,3	7,3	0,7
						300	41	176	216,9	5,3	7,3	0,7
						250	40	179	218,8	5,5	6,3	0,9
	3	30	1992-1998	4h15-7h29	206	230	33	114	147,3	4,5	7,0	0,6
						200	32	117	149,0	4,7	6,3	0,8
						200	33	63	96,3	2,9	6,1	0,5
						140	32	113	145,2	4,5	4,4	1,0
						140	33	120	152,7	4,6	4,2	1,1
						170	33	120	153,1	4,6	5,2	0,9
E	1	20	1990-2000	4h30-6h15	252	280	76	168	244,1	3,2	3,7	0,9
						300	87	194	281,0	3,2	3,5	0,9
						350	82	178	260,6	3,2	4,3	0,7
						340	85	180	265,1	3,1	4,0	0,8
						330	84	185	268,6	3,2	3,9	0,8
						320	83	184	266,7	3,2	3,9	0,8
	2	35	19989-2000	4h27-7h00	240	240	70	140	209,9	3,0	3,4	0,9
						271	66	136	201,7	3,1	4,1	0,8
						240	70	135	205,3	2,9	3,4	0,9
						270	67	133	202,8	3,0	4,0	0,8
						240	70	143	209,8	3,0	3,4	0,9
						340	68	138	205,5	3,0	5,0	0,6
	3	40	1990-2000	4h22-7h26	223	260	87	175	262,3	3,0	3,0	1,0
						340	83	172	255,3	3,1	4,1	0,8
						340	85	178	262,7	3,1	4,0	0,8
260						84	169	252,8	3,0	3,1	1,0	
340						84	175	259,3	3,1	4,1	0,8	
290						86	171	256,7	3,0	3,4	0,9	
4	39	1990-2000	4h25-7h26	214	240	73	142	215,3	3,0	3,3	0,9	
F	1	27	1991-2001	4h05-7h47	235	300	40	173	212,7	5,3	7,5	0,7
						200	40	173	213,4	5,3	5,0	1,1
						300	38	177	214,7	5,7	7,9	0,7
						300	40	176	215,5	5,4	7,5	0,7
						280	38	167	204,6	5,4	7,4	0,7
						320	40	172	212,0	5,3	8,0	0,7

Garage	Poste	Nombre de véhicules	Années des véhicules	Étalement des sorties	Durée des prélèvements (min)	Concentration (µg/m³)				Ratio		
						PCR	CE *	CO *	CT *	CT/CE	PCR/CE	CT/PCR
	2	26	1993-2004	4h09-7h20	214	140	34	73	106,7	3,1	4,1	0,8
						170	33	75	108,2	3,3	5,2	0,6
						140	34	72	105,8	3,1	4,1	0,8
						170	31	74	105,0	3,4	5,5	0,6
						140	35	74	108,6	3,1	4,0	0,8
						60	33	78	111,4	3,4	1,8	1,9
	3	35	1993-2004	4h12-7h12	201	110	47	82	129,1	2,7	2,3	1,2
						190	45	80	125,1	2,8	4,2	0,7
						110	40	87	126,6	3,2	2,8	1,2
						140	46	73	118,5	2,6	3,0	0,9
						140	43	88	131,1	3,0	3,3	0,9
						170	43	78	121,2	2,8	4,0	0,7
	4	16	1992-2004	4h22-5h45	205	260	43	190	232,8	5,4	6,1	0,9
G	1	29	1992-2004	4h50-7h36	210	320	43	185	227,6	5,3	7,4	0,7
						310	43	180	222,8	5,2	7,2	0,7
						280	43	180	222,5	5,2	6,5	0,8
						330	44	185	228,7	5,1	7,5	0,7
						220	49	201	250,5	5,2	4,5	1,1
						310	46	188	233,5	5,1	6,7	0,8
	2	27	1991-2004	4h08-6h31	213	280	44	224	268,1	6,1	6,4	1,0
						360	44	210	254,1	5,8	8,2	0,7
						290	43	212	254,8	5,9	6,7	0,9
						360	44	218	262,1	6,0	8,2	0,7
						360	42	206	247,8	5,8	8,6	0,7
						330	44	220	264,4	6,0	7,5	0,8
	3	40	1991-2004	4h32-7h36	217	160	48	76	124,1	2,6	3,3	0,8
						80	47	79	126,1	2,7	1,7	1,6
						160	45	83	127,8	2,8	3,6	0,8
190						48	90	138,1	2,9	4,0	0,7	
140						45	76	121,1	2,7	3,1	0,9	
190						50	86	135,8	2,7	3,8	0,7	
4	17	1994-2002	4h36-5h53	210	170	38	141	179,3	4,7	4,5	1,1	

Garage	Poste	Nombre de véhicules	Années des véhicules	Étalement des sorties	Durée des prélèvements (min)	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				Ratio			
						PCR	CE *	CO *	CT *	CT/CE	PCR/CE	CT/PCR	
H		41	1998-1997	ni	270	170	15	129	144,2	9,6	11,3	0,8	
						170	14	128	141,8	10,1	12,1	0,8	
						280	16	136	151,9	9,5	17,5	0,5	
						220	15	136	150,9	10,1	14,7	0,7	
						150	14	137	151,2	10,8	10,7	1,0	
						190	15	136	150,7	10,0	12,7	0,8	
	2	25	1998-2003	ni	294	140	10	78	87,8	8,8	14,0	0,6	
						80	10	86	96,1	9,6	8,0	1,2	
						140	11	81	91,8	8,3	12,7	0,7	
						100	8	72	80,2	10,0	12,5	0,8	
						120	10	81	90,9	9,1	12,0	0,8	
						140	10	74	84,1	8,4	14,0	0,6	
		3	41	1988-1995	ni	284	680	52	450	501,9	9,7	13,1	0,7
	I	1	35	1988-1997	5h10-6h32	225	210	34	146	180,4	5,3	6,2	0,9
260							35	156	190,5	5,4	7,4	0,7	
230							35	154	188,5	5,4	6,6	0,8	
220							33	156	188,6	5,7	6,7	0,9	
210							32	149	180,7	5,7	6,6	0,9	
260							35	153	187,6	5,4	7,4	0,7	
2		41	1988-2004	4h49-6h35	218	260	31	127	158,0	5,1	8,4	0,6	
						240	32	131	162,8	5,1	7,5	0,7	
						160	29	128	156,8	5,4	5,5	1,0	
						160	32	122	154,3	4,8	5,0	1,0	
						190	32	125	157,4	4,9	5,9	0,8	
						290	33	124	157,3	4,8	8,8	0,5	
3		56	1988-2004	4h40-6h43	202	200	57	116	172,8	3,0	3,5	0,9	
						260	56	109	165,3	3,0	4,6	0,6	
	320					58	116	173,5	3,0	5,5	0,5		
	290					60	116	176,3	2,9	4,8	0,6		
	200					60	34	93,7	1,6	3,3	0,5		
	180					60	110	169,9	2,8	3,0	0,9		
4	36	1988-1995	5h44-6h21	210	490	62	250	312,2	5,0	7,9	0,6		

* : Concentration après correction du poids moyen des filtres témoins.

ni : non identifié

Les résultats ombragés ont été éliminés suite à des défauts techniques.

