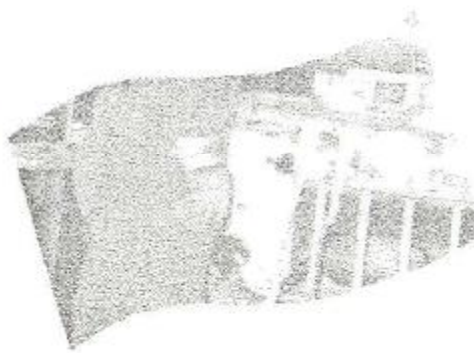


**Stratégie d'évaluation
du monoxyde de carbone
émis par les chariots élévateurs**



**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

Brigitte Roberge

Juin 1995

R-102

RAPPORT



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

La recherche, pour mieux comprendre

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

Pour tout connaître de l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par la CSST et l'Institut, en téléphonant au 1-877-221-7046.

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

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
1995

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
juin 1995.

Stratégie d'évaluation du monoxyde de carbone émis par les chariots élévateurs

Brigitte Roberge et Claude Létourneau
Programme soutien analytique, IRSST

avec la collaboration de:

Dominic Cammarata
Université du Québec à Trois-Rivières

ÉTUDES ET
RECHERCHES

RAPPORT

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier madame Monique Bernier et monsieur Yves Maurier du C.L.S.C. Victoriaville; monsieur Sylvain Rousseau du C.L.S.C. du Rivage; monsieur Jean-Pierre St-Georges de la Régie régionale de Lanaudière; monsieur Pierre Bouliane et madame Maryse Lafrenière de l'ASP Entreposage; monsieur Denis Lincourt de Préventex; monsieur Maurice Richard d'UAP Inc. ainsi que madame France C. Lafontaine pour l'excellent travail de secrétariat accompli.

Table des matières

	Page
1. ORIGINE ET CONTEXTE DE L'ÉTUDE	1
2. OBJECTIFS	3
3. DÉMARCHE ET MÉTHODE	3
4. INFORMATIONS OBTENUES PAR QUESTIONNAIRE ET OBSERVATIONS	5
4.1. CHARIOTS	5
4.2. VENTILATION	7
4.3. PROGRAMME D'ENTRETIEN	9
5. RÉSULTATS	10
5.1. ÉLABORATION DE LA STRATÉGIE DE MESURE	11
5.1.1. Mesure de l'émission du CO dans les systèmes d'échappement	11
A) Facteurs influençant la mesure du CO	11
B) Résultats des mesures de CO dans les systèmes d'échappement	18
5.1.2. Mesure à 40cm	22
A) Facteurs influençant la mesure du CO	22
B) Résultats des mesures à 40 cm	25
5.1.3. Mesure de l'exposition des caristes au CO	27
A) Facteurs influençant la mesure du CO	27
B) Résultats des mesures d'exposition des caristes	28
5.1.4. Chariots munis de catalyseur	31
5.1.5. Stratégie de mesure retenue	32
5.2. PROGRAMME D'ENTRETIEN	33
6. CONCLUSION	37
RÉFÉRENCES	38
Annexe 1: Probabilité - distribution normale	40
Annexe 2: Doses d'exposition au CO des caristes par entreprise	45
Annexe 3: Guide d'utilisation du refroidisseur à gaz Dräger modifié	51
Annexe 4: Concentration de l'émission et heures d'utilisation	53

Liste des tableaux

	Page
Tableau 1: Nombre de chariots et fréquence d'entretien	7
Tableau 2: Ventilation	8
Tableau 3: Évaluation du CO et méthode utilisée par les entreprises	10
Tableau 4: Modifications de la sonde du refroidisseur	15
Tableau 5: Nombre de chariots selon leur émission de CO	18
Tableau 6: Comparaison des résultats d'oxygène	20
Tableau 7: Moyenne des écarts des résultats de l'analyseur IR et des tubes indicateurs . . .	21
Tableau 8: Nombre de chariots classés selon le système d'échappement	24
Tableau 9: Relation entre l'émission et la mesure à 40 cm	26
Tableau 10: Doses minimales et maximales d'exposition au CO	29
Tableau 11: Résultats obtenus pour les chariots munis de catalyseur	31
Tableau 12: Évaluation des gaz d'échappement (à bas régime)	34
Tableau 13: Émission de CO avant et après une réparation	35

1. ORIGINE ET CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Les chariots élévateurs peuvent être mus par des moteurs électriques ou alimentés au propane. Dans les entreprises québécoises, leur utilisation est très répandue. L'utilisation des chariots élévateurs au propane dans les aires de travail constitue l'une des sources importantes d'exposition au monoxyde de carbone (CO), tant chez les caristes que chez les autres travailleurs de l'entreprise^(1, 2, 3, 4, 5, 6). Des concentrations supérieures à 1 000 ppm étaient retrouvées à 40 cm du tuyau d'échappement^(3, 4, 7) et des concentrations de CO allant jusqu'à 8,87 % étaient mesurées dans les systèmes d'échappement de chariots au propane⁽¹⁾. En 1993, le décès d'un cariste a été enregistré dans la région de l'Estrie. L'enquête d'accident a conclu à une exposition au CO émis par le chariot au propane. D'autres intoxications ou indispositions dues au CO sont également enregistrées auprès de travailleurs d'entreprises provenant de différents secteurs d'activité^(1, 2).

Le gaz d'échappement des moteurs alimentés au propane est composé de^(2, 8):

- Bioxyde de carbone (CO₂)
- Monoxyde de carbone (CO)
- Vapeurs d'eau (H₂O)
- Azote (N₂)
- Oxygène (moins de 1 % O₂.)

Une combustion parfaite est obtenue à partir d'un mélange proportionné de carburant (contenant du carbone) et d'oxygène⁽⁸⁾ et les gaz d'échappement contiennent alors peu d'oxygène et de CO mais une importante concentration de bioxyde de carbone (CO₂). Un excès d'oxygène donne un mélange "pauvre". Il y a formation de CO₂, d'une faible quantité de CO et un résiduel d'oxygène non-consommé. Dans la situation inverse, où la quantité d'oxygène est insuffisante, le mélange est "riche". Il s'agit alors d'un phénomène appelé combustion incomplète qui est générateur de CO, devant ce manque d'oxygène. Ce phénomène résulte, en autres, d'un dérèglement du carburateur, de l'usure des composantes du moteur, d'une mauvaise vaporisation du carburant liquéfié (propane) ou encore d'un manque d'entretien des systèmes de carburation et d'allumage.

L'annexe b du Règlement sur la Qualité du Milieu de Travail (RQMT)⁽¹⁰⁾ spécifie des conditions de ventilation pour les entreprises où circulent des véhicules à combustion interne, soit, entre autres, des chariots élévateurs au propane. On y retrouve une équation pour calculer des débits de ventilation et des facteurs qui viennent modifier ces débits. Ces conditions sont en fonction du temps d'utilisation du chariot ou de la puissance du moteur, du volume d'espace

disponible versus le débit d'air par véhicule. Bien que cette technique de dilution du contaminant par la ventilation générale puisse conduire à des concentrations acceptables, il est préférable de corriger à la source, par un entretien préventif des chariots basé sur la concentration d'émission du CO dans les gaz d'échappement. La réglementation québécoise n'exige pas de programme d'entretien préventif spécifique aux chariots au propane et ne fixe pas de limite inférieure quant au volume disponible au-dessous duquel le chariot au propane ne devrait pas être utilisé^(3, 4, 10). Elle est inspirée de "Industrial Ventilation" publié par l'American Conference Government Industrial Hygiene⁽¹¹⁾ (A.C.G.I.H.), qui stipule des taux de ventilation de base de 5 000 pi³/min par chariot, sous certaines conditions. La première de ces conditions est d'appliquer un programme d'entretien préventif des moteurs incluant la mise au point basée sur la concentration de l'émission de CO dans les systèmes d'échappement. Cette concentration doit être inférieure à 1 % pour les moteurs au propane^(11, 12).

Règle générale, l'évaluation de l'émission de CO dans les systèmes d'échappement n'est pas faite automatiquement lors de l'entretien des chariots élévateurs. Elle exige une instrumentation dispendieuse, basée sur le principe de détection par photométric dans la région de l'infrarouge (IR). Les entreprises font l'entretien de leurs chariots ou le font faire par des firmes spécialisées dans ce domaine. Certaines entreprises et firmes possèdent ce type d'instrumentation. D'autres, en plus grand nombre, utilisent des tubes indicateurs pour le CO avec un prélèvement à une distance de 2 à 3 pieds du chariot.

Jusqu'à maintenant, les intervenants en santé et sécurité du travail du Québec utilisent trois approches pour la mesure du CO émis par les chariots:

- Mesure avec des tubes indicateurs et refroidisseur dans le système d'échappement,
- Mesure à 40 cm avec des tubes indicateurs ou instruments à lecture directe (Ecolyzer, MSA, InterScan, etc.)^(2, 3, 4, 7),
- Mesure en zone respiratoire du cariste avec un détecteur personnel (Dräger 190).

Il n'y a pas de méthode reconnue pour l'évaluation du CO émis par un véhicule à combustion interne ayant à circuler dans les aires de travail. Plusieurs firmes d'entretien utilisent la méthode de mesure à 40 cm et se réfèrent pour les ajustements du chariot à la concentration moyenne admissible en CO, soit 50 ppm pour une exposition de huit heures⁽¹⁰⁾.

Les intervenants en hygiène du travail utilisent également cette méthode par le biais d'une valeur "pré-fixée"^(2, 3, 5). Cette dernière est établie par chariot après une mise au point complète de celui-ci (système de carburation et d'allumage). Le double de cette première mesure devient

le signal pour la prochaine mise au point. La valeur "pré-fixée" n'est pas universelle, chaque chariot étant unique^(2, 3, 5). Toutefois, aucune relation n'est établie entre ces différentes approches de mesure et l'état du chariot en termes d'émission de CO⁽³⁾ dans le système d'échappement.

2. OBJECTIFS

Les objectifs de l'étude étaient, d'une part, d'établir une stratégie d'évaluation du monoxyde de carbone émis par les chariots élévateurs au propane et, d'autre part, de démontrer l'importance d'un entretien régulier des moteurs de chariots incluant la mise au point basée sur l'émission de CO. L'élaboration d'une stratégie implique de rechercher une relation entre les différentes méthodes de mesures utilisées par les intervenants en hygiène du travail au Québec et la concentration d'émission de CO dans le système d'échappement des chariots élévateurs au propane.

3. DÉMARCHE ET MÉTHODE

L'étude a été réalisée au cours de l'automne 93 et de l'hiver 94. La sélection des dix entreprises a tenu compte du nombre de chariots (de 4 à 8), de leur âge moyen (≤ 10 ans), de leur pourcentage d'utilisation dans le quart de jour décrit par l'entreprise. Leur procédé de fabrication ne devait pas générer de monoxyde de carbone. Les informations relatives à ces critères ont été collectées à l'aide d'un questionnaire auprès des entreprises. La période d'entretien pour ces entreprises couvrait en moyenne de deux à quatre cents heures d'utilisation des chariots et la mise au point n'était pas nécessairement basée sur l'évaluation de l'émission de CO dans les systèmes d'échappement.

Des mesures de CO, CO₂, hydrocarbures et oxygène ont été prises dans les systèmes d'échappement à l'aide d'un analyseur quatre gaz à photométrique dans la région de l'infrarouge (IR), conçu pour l'évaluation des émissions de gaz dans les systèmes d'échappement de véhicules à combustion interne lors de la mise au point complète faite par des mécaniciens. L'analyseur quatre gaz, sélectionné pour l'étude, était de marque Sun modèle **MGA 1400**. Il rencontrait les spécifications de mesure de gaz d'échappement **BAR 90** du "California Bureau of Automobile Repair", quant à l'exactitude et au temps de réponse. Sa plage de lecture pour le CO est de 0 - 9,99%. Les valeurs obtenues pour les quatre gaz ont été notées bien que celles du CO soient privilégiées. En effet, la valeur du CO lue sur cet analyseur a servi de référence pour la méthode

de mesure du CO dans les gaz d'échappement avec le refroidisseur à gaz et tubes indicateurs ainsi que dans la recherche de relation avec la méthode à 40 cm, en utilisant un tube indicateur ou un instrument à lecture directe (ILD) et avec celle en zone respiratoire. Ces mesures étaient toutes prises en parallèle. Quelques mesures d'oxygène étaient prises dans les gaz d'échappement à l'aide du refroidisseur et des tubes indicateurs. Des mesures de CO étaient également faites en poste fixe dans les corridors de circulation des chariots à proximité des aires de travail.

Pour chaque entreprise, trois interventions distinctes couvraient la période d'entretien en vigueur, si tel était le cas, ou une période moyenne optimale basée sur le pourcentage d'utilisation de leurs chariots. Elles correspondaient respectivement au moment où l'entretien était effectué, au premier et au dernier tiers de la période entre les entretiens. Elles avaient lieu en saison froide alors que les portes et les fenêtres étaient fermées et que le phénomène de dilution était attribué majoritairement à la ventilation générale.

Les pompes manuelles à soufflet utilisées pour les tubes indicateurs étaient de marque Dräger modèle Accuro. Elles possédaient un indicateur d'équilibre de pressions indiquant la fin du prélèvement. Les mesures prises à 40 cm nécessitaient dix coups de pompe pour une plage de lecture plus étroite, soit 10 à 300 ppm. La pompe manuelle était alors actionnée à l'aide d'un automate de marque Dräger modèle Accuro 2 000. L'exactitude des tubes indicateurs était de ± 35 % de la lecture. Les tubes pour le CO se coloraient en brun vert en présence de ce contaminant. La longueur de cette coloration correspondait à la concentration du CO en fonction du nombre de coups de pompe. L'essence, le benzène, les hydrocarbures halogènes et l'hydrogène sulfuré étaient retenus dans la couche préliminaire du tube indicateur. Le propane non-consommé lors de la combustion n'interférait pas sur la réponse du tube de CO. Le tube pour l'oxygène passait de la couleur bleu noir à gris blanc. L'oxygène présent dans le prélèvement réagissait avec le trichlorure de titane. Le bioxyde de carbone et le monoxyde de carbone n'interféraient pas sur la réponse du tube d'oxygène. Les graduations et les plages de lecture étaient en fonction des tubes utilisés. Ceux utilisés, pour la présente étude, étaient de marque Dräger:

CO :	CH29901	Plage de lecture	0,3 à 7 % (un coup de pompe),
CO :	CH20601	Plages de lecture	10 à 300 ppm (10 coups de pompe), 100 à 3 000 ppm (un coup de pompe),
O ₂ :	6728081	Plage de lecture	5 à 23 % (un coup de pompe), Estimation si ≤ 5 % (deux coups de pompe).

L'instrument à lecture directe utilisé à 40 cm, était de marque Ecolyzer série 2 000. Il avait deux plages de lecture, soit 0-100 ppm, soit 0-600 ppm. Une pile électrochimique constituait le système de détection. Son exactitude était de ± 5 % de la pleine plage de lecture.

Après une période minimale de réchauffement du chariot de 15 minutes en exécutant des tâches régulières, les mesures de CO étaient faites lorsque le chariot immobilisé tournait à bas régime et à haut régime, soit environ 1 000 et 2 500 tours par minute respectivement.

Un montage a permis d'uniformiser la prise de mesure à 40 cm quant à la distance par rapport au chariot. Le tube indicateur et la sonde du ILD étaient donc, d'une fois à l'autre, à la même distance du chariot et orientés de la même manière par rapport à la sortie des gaz d'échappement.

L'évaluation en CO en poste fixe a été faite à l'aide de trois types d'instruments de mesure, soit le détecteur personnel de marque Dräger modèle Datalogger 190, soit l'instrument de marque Ecolyzer série 2 000 jumelé à un accumulateur de données de marque Telog modèle 2100 et l'analyseur multigaz de marque Bruël et Kjaer modèle 1302. Ce dernier avait un système de détection par photoacoustique. Son exactitude était inférieure à 3 % de la mesure.

L'exposition des caristes en zone respiratoire était évaluée à l'aide du détecteur personnel de marque Dräger modèle Datalogger 190, ayant une pile électrochimique comme système de détection. Son exactitude était de ± 5 % de la mesure.

Les instruments de mesure étaient étalonnés avant chaque intervention selon les méthodes de l'IRSST. Des filtres interférentiels, composés d'Amer-SORB, étaient utilisés avec les instruments ayant une pile électrochimique comme système de détection. Ce filtre sert à éliminer les interférences potentielles dues à la présence d'hydrocarbures dans l'air.

4. INFORMATIONS OBTENUES PAR QUESTIONNAIRE ET OBSERVATIONS

Les informations recueillies par le questionnaire, rempli par les entreprises, et par les observations faites sur le terrain se rapportent aux chariots, à la ventilation existante dans ces entreprises et au programme d'entretien en vigueur dans celles-ci.

4.1. CHARIOTS

Les informations relatives aux chariots, colligées à partir du questionnaire, sont résumées dans le tableau 1. Soixante-trois chariots étaient utilisés sur une base régulière dans le quart de jour et leur âge moyen variait de 5 à 11 ans. Toutefois, chaque entreprise possède d'autres chariots qui sont utilisés occasionnellement lors de bris d'un chariot ou lors de surproduction, pour un total de 72. Parmi les chariots utilisés régulièrement, il y en avait trois munis de catalyseur. Le pourcentage d'utilisation était basé sur une période d'un an. La fréquence d'entretien et d'évaluation du CO, selon la description faite par les entreprises, y est également décrite.

Tableau 1: Nombre de chariots et fréquence d'entretien

Entreprise	Chariots en usage régulier			Fréquence d'entretien	
	Nombre	Âge moyen (ans)	Utilisation (%)	Régulier	Émission de CO
A	6	5,5	85	5 semaines	Aucun *
B	5	10	85	Selon les bris	Aucun
C	6	6,1	85	400 heures	400 heures
D	6	6,8	85	400 heures	400 heures
E	5	11	75	400 heures	Aucun
F	4 **	8,6	90	Selon les bris	À la demande
G	8	5	75	3 par an	1 par an
H	4 ***	7	85	1 par mois	2 par an
I	6	10	80	Selon les bris	1 par an
J	13 ****	4,6	75	1 par mois	2 par an

* L'évaluation du CO se greffe au programme d'entretien avec le début de l'étude.

** Il y a deux chariots munis de catalyseur.

*** D y a un chariot muni de catalyseur.

**** Il y a utilisation de plusieurs chariots de façon sporadique sur une très grande superficie.

Dans deux entreprises, la saison hivernale correspondait à une production moindre, d'où une utilisation réduite de leurs chariots durant la période couvrant l'étude.

4.2. VENTILATION

Dans plusieurs entreprises, la ventilation se faisait par extraction, soit par des ventilateurs au niveau des parois extérieures (murs ou plafond), soit au niveau des équipements de production pour l'élimination de contaminants ou pour un contrôle de la température engendrée par les procédés de production. Ce type de ventilation génère une pression négative dans le bâtiment.

Cette pression négative entraîne un apport d'air frais par les ouvertures (portes, fissures et fenêtres). Dans certaines entreprises, il existait également des équipements mécaniques d'adduction d'air, dont le débit d'air théorique était connu. Le tableau 2 résume l'ensemble des informations relatives à la ventilation existante dans les entreprises.

Tableau 2: Ventilation

Entreprise	Ventilation locale		Ventilation générale	
	Extraction	Adduction	Extraction	Adduction
A	✓		✓	✓
B	✓		✓	
C			✓	✓
D			✓	✓
E	✓			
F	✓		✓	✓ *
G			✓	
H	✓		✓	
I			✓	
J	✓	✓	✓	✓

* Les persiennes s'ouvraient mécaniquement lors de la mise en opération de la ventilation par extraction. L'apport d'air n'était possible que si le bâtiment était en pression négative.

Compte tenu de la grande variabilité de la ventilation dans ces entreprises, aucune mesure n'a été faite. Cette variabilité est regroupée sous deux facteurs, soit ceux relatifs aux interventions et ceux relatifs aux entreprises elles-mêmes. Premièrement, les conditions climatiques et de production qui prévalaient dans une même entreprise étaient différentes d'une intervention à l'autre, entraînant des taux d'apport d'air inégaux d'une fois à l'autre. Deuxièmement, les équipements de ventilation (type, âge, entretien, etc.), l'aire de circulation des chariots et la

configuration des lieux variaient d'une entreprise à l'autre. Dans certaines entreprises, la configuration des lieux par rapport aux équipements de production réduisait sensiblement l'accessibilité des chariots à des zones et augmentait la densité de leur circulation dans d'autres. En résumé, la ventilation est considérée, dans le présent rapport, qu'à titre qualitatif. Même si elle peut influencer l'exposition des travailleurs, elle ne peut être considérée seule sans une réduction à la source.

4.3. PROGRAMME D'ENTRETIEN

Dans la majorité des entreprises, l'entretien des chariots était fait selon un horaire non rigide et en fonction des bris et des besoins de la production. L'horaire établi n'était pas nécessairement respecté dans les délais prescrits dans le programme de l'entreprise et le type d'entretien ne répondait pas en totalité aux exigences qui y étaient établies, soit les ajustements de la carburation et de l'allumage. L'entretien régulier effectué dans la plupart de ces entreprises faisait référence aux vidanges des liquides et à une vérification visuelle. Le programme d'entretien théorique en vigueur dans l'entreprise était fréquemment remis en doute par les caristes et les mécaniciens, qui déploraient le peu ou pas de respect du programme par manque de temps ou de moyens.

Sept entreprises parmi les dix avaient un programme d'entretien basé sur l'évaluation de l'émission de CO dans les gaz d'échappement, deux utilisaient la méthode à 40 cm dont une procédait à l'évaluation à la demande du Comité de Santé et Sécurité (CSS). Cependant dans plusieurs entreprises, les caristes procédaient régulièrement à des ajustements variés ou à des changements de pièces et ce, sans en aviser le mécanicien responsable et sans vérifier les conséquences de ces modifications en termes d'émission de CO.

Certaines entreprises avaient procédé à l'entretien normal avant le début de nos interventions avec ou sans une évaluation de la concentration d'émission de CO dans les systèmes d'échappement. D'autres avaient mandaté une firme spécialisée de mécaniciens pour faire cet entretien en fonction de l'émission du CO. Le tableau 3 résume l'information relative à l'évaluation de la concentration d'émission faite ou mandatée par les entreprises avant la première intervention. La méthode d'évaluation du CO utilisée est également rapportée: mesure au moyen d'un analyseur infrarouge dans les systèmes d'échappement, mesure par tube indicateur à 40 cm, mesure par galvanomètre dont la lecture devait être interprétée en CO et en hydrocarbures à l'aide d'une charte de correspondance. Cette troisième méthode était faite à l'aide d'un appareil de

vérification et de mise au point des moteurs, de marque KAL EQUIP modèle R-89.

Tableau 3: Évaluation du CO et méthode utilisée par les entreprises

Entreprise	Évaluation du CO	Entretien par l'entreprise	Entretien par une firme	Méthode utilisée
A	oui		✓	IR (2 gaz)
B	oui	✓		IR (4 gaz) *
C	non	✓		**
D	non	✓		**
E	oui		✓	Tube à 40 cm
F	oui		✓	Tube à 40 cm
G	oui		✓	R-89
H	oui	✓		R-89
I	oui		✓	IR (2 gaz)
J	oui		✓	R-89

* L'instrument utilisé pour l'étude avait servi à l'évaluation.

** L'entreprise possédait un analyseur deux gaz IR mais ne l'utilisait pas.

Avant notre collecte de données, le programme d'entretien de sept entreprises comprenait l'évaluation du CO émis par les chariots. Toutefois, cette évaluation n'était pas nécessairement faite de façon régulière à l'intérieur de leur programme d'entretien en vigueur. Rappelons que les entreprises C et D avaient un programme d'entretien basé sur la mesure du CO dans les systèmes d'échappement et avaient un analyseur IR, qui n'était pas utilisé.

5. RÉSULTATS

Les résultats des mesures ont été traités en fonction des objectifs de l'étude c'est-à-dire l'élaboration d'une stratégie de mesure du CO pour les chariots élévateurs au propane et la démonstration de l'importance de leur entretien régulier basé sur la mesure du CO.

5.1. ÉLABORATION DE LA STRATÉGIE DE MESURE

Pour répondre adéquatement à l'objectif de l'étude quant à l'élaboration de la stratégie de mesure, la méthode d'analyse de référence utilisée devait rencontrer les spécifications suivantes: l'exactitude et la précision de la réponse en CO et en O₂ devaient être inférieures à 5 %. L'analyseur à IR quatre gaz de marque Sun a été vérifié en laboratoire à l'aide de gaz étalons certifiés et répondait à ces spécifications. Les mesures prises avec cet instrument à IR dans les systèmes d'échappement ont servi de valeur de référence pour l'étude des trois approches utilisées par les intervenants en hygiène du travail au Québec. Les résultats sont présentés pour chacune de ces approches.

5.1.1. Mesure de l'émission du CO dans les systèmes d'échappement

Une des méthodes utilisées par les intervenants en hygiène du travail au Québec est celle de la concentration d'émission de CO dans les systèmes d'échappement. Plusieurs difficultés sont rencontrées avant de procéder aux mesures et doivent être retenues lors de l'élaboration de la stratégie.

A) Facteurs influençant la mesure du CO

Deux types de facteurs, fixes et variables, influençant la mesure du CO sont reliés au chariot lui-même. Les facteurs fixes font référence principalement à la configuration du système d'échappement, qui varie selon la marque et l'âge du chariot. Le tuyau de sortie de ce dernier peut:

- avoir une série de petits orifices d'environ 1 cm de diamètre, suivi d'un coude de 90 ° (figure 1),

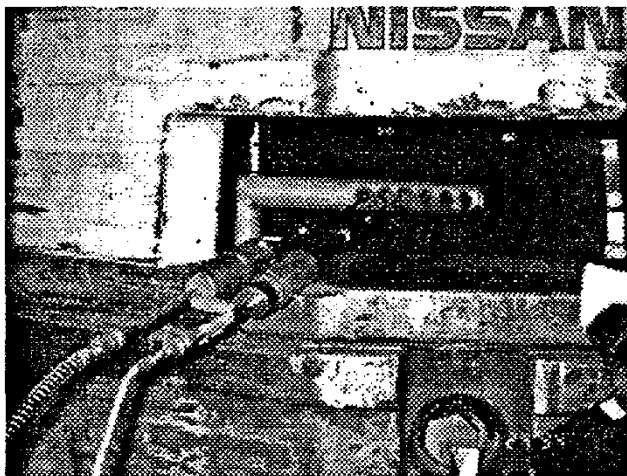


Figure 1

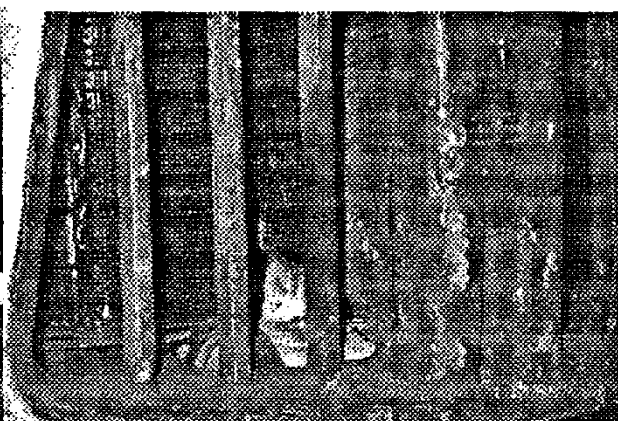


Figure 2

- être plus ou moins long, pouvant ressortir de l'ouverture du contrepois, au fond duquel on retrouve une plaque avec des orifices de $\leq 0,6$ cm de diamètre, avant d'entrer dans le silencieux lui-même (figures 2, 3, 4),

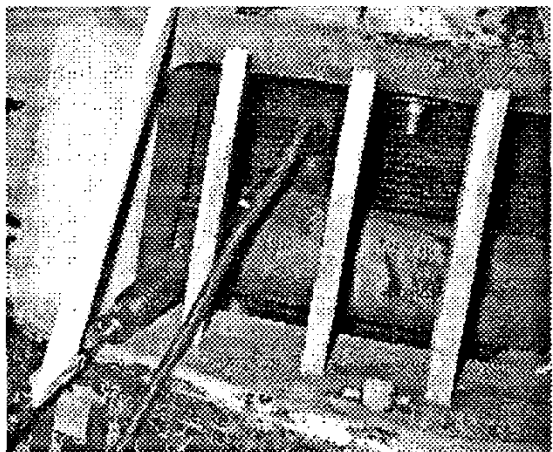


Figure 3

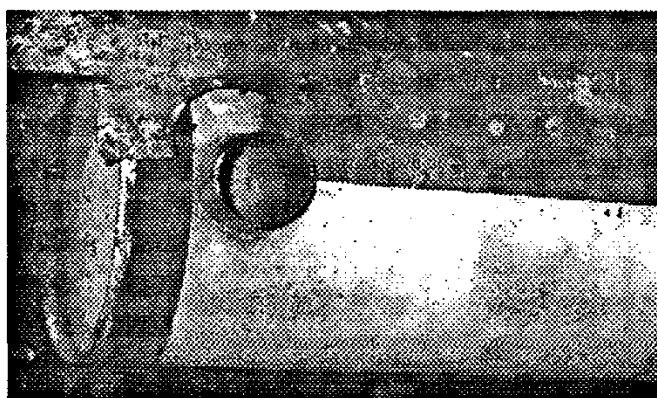


Figure 4

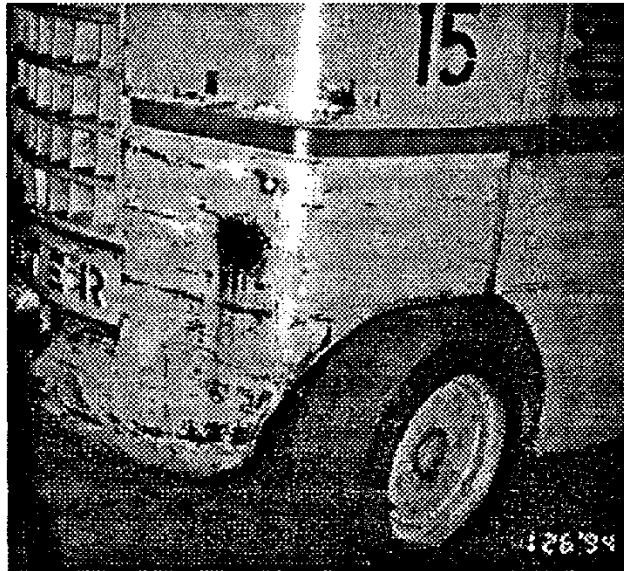


Figure 5

- être situé au fond du contrepoids, donc à plus de 46 cm de l'arrière du chariot (figure 5),
- être remonté le long de la cabine du chariot (figure 6),

- avoir un diffuseur, à paroi simple ou double, constitué de petits orifices (figures 7, 8).



Figure 7

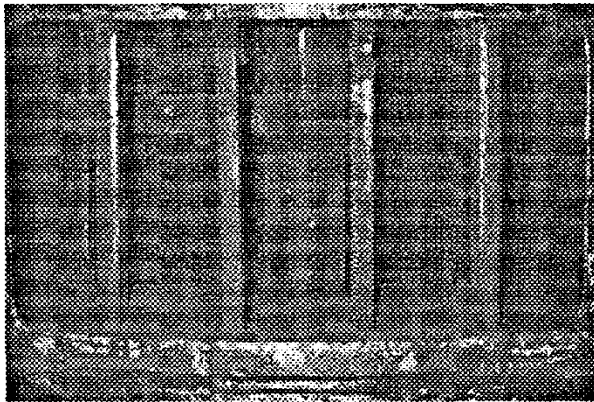


Figure 8

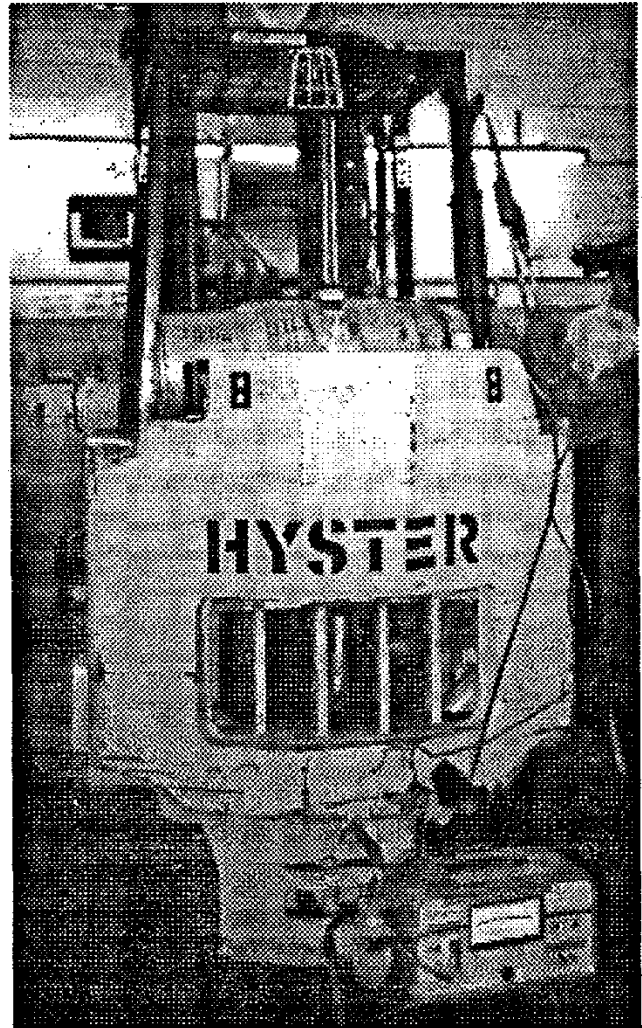


Figure 6

Le tuyau d'échappement des chariots était souvent incompatible avec le diamètre et la longueur de la sonde de prélèvement du refroidisseur à gaz généralement utilisé. La sonde originale du refroidisseur utilisé dans l'étude avait un diamètre de 1,2 cm et une longueur de 30 cm. Celle de l'analyseur IR avait un diamètre de 0,3 cm et une longueur de 50 cm et répondait mieux à la configuration de la majorité des systèmes d'échappement des chariots; elle était conçue pour les chariots élévateurs et vendue séparément par les distributeurs. En effet, l'instrument est normalement livré avec une sonde ayant un plus grand diamètre et conçue pour l'évaluation des émissions du système d'échappement d'automobiles.

Afin d'établir une correspondance entre la mesure de référence et celle prise avec le refroidisseur à gaz et les tubes indicateurs, certaines modifications au niveau de la sonde de prélèvement du refroidisseur ont dû être apportées de façon à permettre les prélèvements au même niveau dans le système d'échappement. Dans un premier temps, la sonde a été allongée de 30 à 50 cm et son diamètre réduit de 1,2 à 0,3 cm, soit les mêmes dimensions que la sonde de l'analyseur IR quatre gaz. Ainsi modifiée, la sonde du refroidisseur pouvait être insérée plus aisément et plus profondément dans le système d'échappement.

Mais la restriction très importante créée par le petit diamètre de la sonde modifiée, contribuait à entraîner l'air provenant de l'autre orifice du refroidisseur situé à l'air libre, d'où une dilution des gaz d'échappement avec l'air ambiant. Pour éliminer ce problème, une pompe a été ajoutée et son débit a été ajusté de façon à assurer un écoulement continu des gaz d'échappement dans la sonde et dans le refroidisseur, sans que son débit affecte celui du train de prélèvement, ni le temps de réaction du tube indicateur.

Pour les chariots ayant leur système d'échappement au fond du contrepoids, les sondes du refroidisseur et de l'analyseur IR ont été allongées et leur diamètre légèrement augmenté. Dans cette deuxième version, le débit de la pompe ajoutée au refroidisseur était de moindre importance compte tenu du diamètre de la sonde, qui créait moins de restriction. Des essais dynamiques en laboratoire avaient préalablement validé les modifications. Le tableau 4 résume les modifications apportées et le résultat en termes de pression négative mesurée au niveau de l'orifice situé à l'air libre, lorsque la pompe manuelle est actionnée. Cette pression dépend de la restriction spécifique engendrée par les dimensions des sondes et explique la dilution des gaz provenant du système d'échappement avec l'air ambiant.

Tableau 4: Modifications de la sonde du refroidisseur

	Original	1° Version	2° Version
Longueur	30cm	50cm	92 cm
Diamètre	1,2cm	0,3cm	0,9 cm
Pression	- 0,15 mm H ₂ O	- 22,4 mm H ₂ O	- 1,05 mm H ₂ O

Afin de confirmer l'hypothèse de la dilution, des vérifications de concordance de lectures (IR et tubes indicateurs) ont été effectuées. L'écart entre la lecture de l'analyseur IR et celle du tube indicateur jumelé au refroidisseur muni de la sonde de la première version, sans ajout de la pompe, était supérieur à l'exactitude des tubes, soit plus de 40 %. Cet écart était réduit de façon significative avec l'ajout de la pompe qui assure l'écoulement continu des gaz d'échappement à travers le refroidisseur. Il était de ± 20 %, soit moins que l'exactitude des tubes de ± 35 %. Après toutes les modifications, l'ensemble des concentrations d'émission de CO dans les systèmes d'échappement confirmait la concordance entre la lecture faite avec l'analyseur IR et celle du tube indicateur avec refroidisseur modifié plus pompe.

Les modifications ne devaient pas cependant diminuer la capacité du refroidisseur à abaisser et à maintenir la température du prélèvement sous la valeur recommandée par le fabricant de tubes, soit moins de 35 °C. L'écoulement continu des gaz est principalement relié à cette problématique. La température interne du refroidisseur, au niveau de l'écoulement des gaz, a été prise avant et après une série de prélèvements, au moyen d'un thermocouple et ce, pour différents chariots (marque et âge différents). La température maximale obtenue dans le refroidisseur pour une série de prélèvements d'une durée de 15 minutes a été de 33 °C. La température dans le jet des gaz d'échappement à la sortie du tuyau était supérieure à 60 °C et celle dans le système d'échappement était supérieure à 170 °C. Le refroidisseur à gaz modifié parvenait donc à abaisser la température. Mais, il est très important, lors de la mesure, de le maintenir en dehors du jet des gaz d'échappement. La figure 9 représente le refroidisseur à gaz "modifié" utilisé dans l'étude.

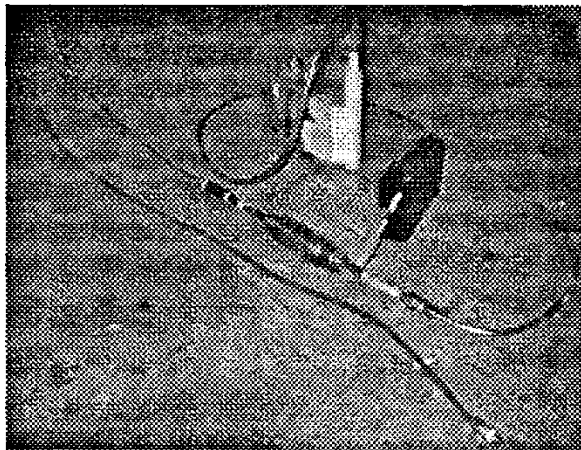


Figure 9

La deuxième série de facteurs, soit les facteurs variables, font référence à l'état général du chariot, à la qualité de la combustion et aux régimes auxquels tourne le moteur du chariot.

L'état du chariot se réfère principalement aux systèmes d'échappement. Ces systèmes avaient fréquemment des fuites que l'on pouvait observer par la présence de noir de carbone au niveau des joints d'étanchéité ou des fissures (figure 10). Parfois, ils étaient complètement désengagés, rendant l'évaluation impossible. Pour rectifier cette situation, il était nécessaire d'enlever le système de contrepoids, ce qui était long et fastidieux.

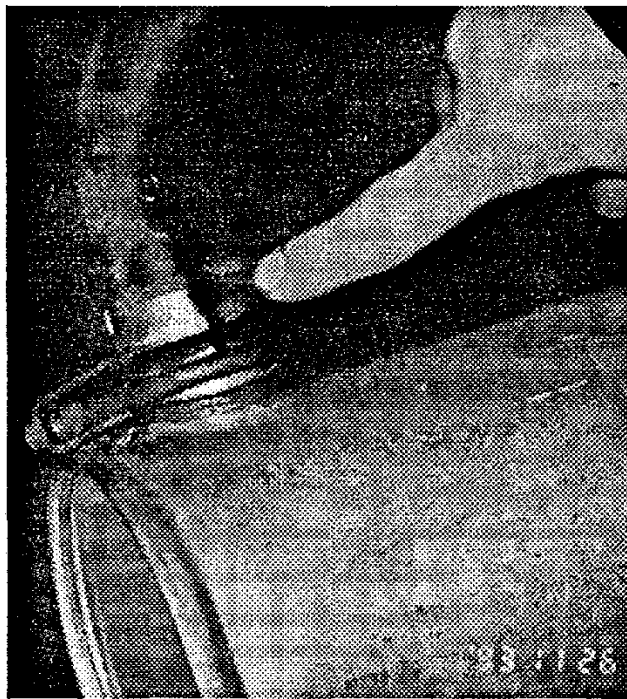


Figure 10

Dans la majorité des chariots évalués, le radiateur était situé, par rapport à la vue arrière du chariot, derrière le tuyau d'échappement et poussait les gaz d'échappement. Pour les autres chariots, le système d'échappement était situé au fond du contrepoids (figure 5), donc leur sortie était parallèle au radiateur. De plus, l'état d'encrassement de ces radiateurs, le type d'hélices et le nombre de pales variaient d'un chariot à l'autre.

La qualité de la combustion est directement reliée aux ajustements de la carburation et à la vaporisation du propane. Elle est caractérisée par la proportion des différents gaz émis. Outre le CO, l'oxygène et les hydrocarbures peuvent être utilisés comme indice de cette qualité. Un

résiduel d'oxygène non-consommé et une trop grande quantité d'hydrocarbures retrouvés dans les gaz prélevés dans le système d'échappement signalent un dérèglement.

Le régime du moteur est également un paramètre qui influence les concentrations des gaz émis. En théorie, le dégagement de CO serait plus élevé à bas régime qu'à haut régime. Toutefois ce dernier est le plus sollicité lors de l'exécution des tâches régulières du cariste.

Donc, les facteurs fixes et variables, identifiés au niveau des chariots, jouent un rôle prédominant dans l'élaboration de la stratégie de mesure du monoxyde de carbone quelle que soit la méthode préconisée.

B) Résultats des mesures de CO dans les systèmes d'échappement

Soixante neuf chariots ont été évalués à trois reprises, pour un total de 176 données à bas régime et 162 à haut régime. Le tableau 5 résume l'ensemble des résultats obtenus pour la mesure du CO dans les systèmes d'échappement des chariots au propane avec l'analyseur IR à quatre gaz.

Tableau 5: Nombre de chariots selon leur émission de CO

Émission	Bas régime	Haut régime
0 - 0,99 % CO	89	117
1 - 1,99 % CO	26	12
2 - 2,99 % CO	19	12
3 - 3,99 % CO	13	5
4 - 4,99 % CO	8	11
5 - 5,99 % CO	14	1
6 - 6,99 % CO	4	2
≥ 7 % CO	3	2
TOTAL	176	162

Contrairement au principe théorique énoncé précédemment, 50 résultats d'évaluation démontraient une concentration à haut régime supérieure à celle à bas régime. Parmi ceux-ci, 44 avaient une évaluation à bas régime inférieure à 0,99 % CO. Le fait qu'un chariot tourne à haut régime la très grande majorité du temps lors de l'exécution des tâches, démontre l'importance de l'ajustement du moteur d'un chariot non seulement **à bas mais aussi à haut régime**.

Le pourcentage d'oxygène retrouvé dans les gaz prélevés dans le système d'échappement d'un moteur à combustion alimenté au propane devrait être idéalement de 0,8 %, lorsque les ajustements de la carburation du moteur sont optimaux et lorsque le système d'échappement et le vaporisateur sont en bon état. Un pourcentage supérieur peut indiquer qu'il y a soit une combustion incomplète, soit une dilution des gaz due aux ajustements ou au mauvais état du système d'échappement, soit les deux simultanément. La quantité d'oxygène résiduelle dans les gaz d'échappement peut être d'un grand intérêt et ce, spécialement lorsque les concentrations de CO retrouvées dans les systèmes d'échappement sont inférieures à 2 000 ppm (ou 0,2%). Les résultats des mesures d'oxygène faites avec l'analyseur IR à quatre gaz et avec les tubes indicateurs sont rapportés au tableau 6.

Tableau 6: Comparaison des résultats d'oxygène

Entreprise	Oxygène (% O₂)		Écart (%)
	IR	Tube	
C	4,8	4,5*	6,3
	4,3	4,0*	7,0
	3,2	2,5*	21,9
D	4,5	5,0	-11,1
	3,1	3,0*	3,2
	2,1	n.d.	
	9,9	10,0	-1,0
	6,2	6,0	3,2
	9,3	8,0	14,0
E	13,7	15,0	-13,1
F	7,5	7,0	6,7
	9,4	9,5	-1,1
	4,9	4,5*	8,2
H	2,4	2,5*	-4,2
	6,8	6,5	4,4
	7,4	7,0	5,4

* Résultat obtenu après deux coups de pompe et lecture divisée par deux
n.d. non décelé

Ces résultats démontrent que la mesure de l'oxygène peut être déterminée de façon

satisfaisante avec un tube indicateur lors d'une étude d'hygiène du travail et ce, afin de documenter semi-quantitativement la qualité de la combustion.

Les résultats de CO obtenus avec l'analyseur IR à quatre gaz ont été comparés à ceux obtenus avec la méthode couramment utilisée soit celle de la mesure de l'émission de CO avec tubes indicateurs et refroidisseur dans le système d'échappement. Rappelons que les sondes originales des refroidisseurs à gaz disponibles sur le marché, de marque Dräger ou Gastec, ne sont pas adaptées aux différentes configurations des systèmes d'échappement des chariots. Les sondes n'ont pas les bonnes dimensions, entraînant ainsi une sous-estimation de l'émission du CO. Les résultats traités en fonction de cette première approche de mesure ont été ceux prélevés avec le refroidisseur muni des sondes modifiées et de la pompe pour assurer l'écoulement continu des gaz. Dans le but de valider cette méthode, le tableau 7 résume les moyennes des écarts entre les résultats de l'analyseur IR et les tubes indicateurs ainsi que les écarts-types.

Tableau 7: Moyenne des écarts des résultats de l'analyseur IR et des tubes indicateurs

Émission de CO	BAS RÉGIME			HAUT RÉGIME		
	n	Moyenne (%)	Écart-type	n	Moyenne (%)	Écart-type
< 1 %	81	7,1	19,6	102	-0,01	20,4
1 - 2 %	23	8,1	16,9	10	-13,4	16,1
2 - 3 %	19	-2,2	15,6	9	5,7	9,1
3 - 4 %	13	-0,3	17,5	4	13,0	7,7
4 - 5 %	7	10,9	22,7	7	8,5	8,3
5 - 6 %	10	-6,3	15,8	1	3,8	
6 - 7 %	3	4,5	25,6	2	5,2	3,0
		3,8	19,0		3,0	19,4

La moyenne des écarts entre les résultats obtenus avec l'analyseur IR et les tubes indicateurs pour l'ensemble des données, recueillies après l'ajout de la pompe, était de 3,8 % \pm 19,0, à bas régime et de 3,0 % \pm 19,4, à haut régime.

Les modifications apportées au refroidisseur au niveau de la sonde et l'ajout d'une pompe aspirante rendent cette première méthode fiable, tout en tenant compte de l'exactitude des tubes indicateurs, de l'état des systèmes d'échappement (fuite), de la qualité de la combustion (pourcentage d'oxygène) et de l'enfoncement de la sonde de prélèvement dans le tuyau d'échappement. Cette première méthode s'adresse particulièrement aux intervenants en hygiène du travail bien qu'elle puisse être utilisée par les mécaniciens lors des ajustements et vérifications des chariots.

5.1.2. Mesure à 40 cm

La deuxième méthode utilisée par les intervenants en hygiène du travail consiste à évaluer le CO à 40 cm du chariot. Selon cette méthode couramment utilisée par ces intervenants et par certains mécaniciens, une valeur est fixée pour chaque chariot après un entretien, sans nécessairement connaître la concentration d'émission de CO dans les systèmes d'échappement. Elle ne peut être mise en relation avec la valeur émise par l'A.C.G.I.H., qui est de 1 %, à cause de la dilution importante et non prévisible des gaz à 40 cm. Toutefois, cette valeur pré-fixée devait être utilisée comme indicateur de dérèglement du moteur et non comme critère d'ajustements.

Pour répondre à l'objectif de l'étude d'établir une stratégie normalisée de mesure, une relation entre les différentes méthodes de mesures, particulièrement, entre la méthode de mesure de l'émission de CO dans les systèmes d'échappement et la méthode à 40 cm, a été recherchée. Or, jusqu'à maintenant, aucune étude n'a démontré l'existence d'une telle relation entre ces deux méthodes.

A) Facteurs influençant la mesure du CO

Les facteurs pouvant influencer la mesure du CO à 40 cm sont l'environnement du poste de mesure de CO émis par les chariots et certaines caractéristiques du chariot.

Plusieurs paramètres environnementaux ont été regardés dans chaque entreprise afin d'éliminer certains biais. Entre autres, la localisation du poste d'évaluation des chariots ne devait pas contribuer à une augmentation sensible des concentrations de CO dans celui-ci, au cours de la journée d'intervention, par son exigüité et par la circulation régulière des autres chariots à proximité. Pour les trois interventions dans chaque entreprise, ce poste était le même, sauf dans l'entreprise B, où le poste lors de la première intervention était différent des deux autres pour tenir compte de la production de l'entreprise.

De plus, la concentration résiduelle en CO en début de journée d'intervention dans le poste d'évaluation des chariots devait être basse, tout en tenant compte que la production dans plusieurs entreprises et la circulation des chariots s'étaient étalées sur 24 heures. Rappelons que le procédé de fabrication ne générait pas de CO. Donc, l'émission des chariots jumelée à la ventilation était la seule responsable de cette contamination. Quand la concentration dépassait 30 ppm, les moyens disponibles (mise en opération du système d'extraction, ouverture des portes et fenêtres, etc.) étaient mis en oeuvre pour l'abaisser. La concentration initiale en CO à ce poste était relevée avant chaque évaluation d'un chariot afin de rechercher l'influence potentielle sur les mesures.

D'une intervention à l'autre, les mesures étaient faites au même endroit, avec la même orientation par rapport au chariot et au jet des gaz d'échappement. Le montage utilisé permettait la prise de prélèvement du tube indicateur et celle du ILD à proximité l'un de l'autre.

Les facteurs fixes et variables reliés aux chariots mentionnés à la section 5.1.1. influencent les mesures prises selon la méthode 40 cm. En effet, l'emplacement du tuyau d'échappement (15 à 48 cm de profondeur dans le système de contrepoids), était différent d'une marque de chariot à l'autre et en fonction de l'âge de celui-ci et de la capacité du moteur. Cette situation vient modifier sensiblement la distance réelle du point de mesure par rapport à l'origine du jet des gaz d'échappement. Le tableau 8 dénombre les chariots en fonction de la configuration de leur système d'échappement dans le contrepoids. Les chariots ayant des dimensions similaires y sont regroupés en famille.

Tableau 8: Nombre de chariots classés selon le système d'échappement

Famille de chariots		n
N	Nissan (figure 1)	14
TC	TCM, Toyota, Clark, Hyster - Tube court (figure 2)	13
TL	Yale, Clark, Hyster - Tube long (figure 3)	18
C	Hyster, Allis - Contrepoids (figure 5)	19
H	Hyster - Long de la cabine (figure 6)	2
D	Caterpillar, Yale - Diffuseur (figures 7, 8)	4
M	Mitsubishi - Catalyseur	2

Comme mentionné, le radiateur était situé, par rapport à la vue arrière du chariot, derrière le tuyau d'échappement. Les gaz d'échappement émis étaient poussés sous l'action de l'hélice du radiateur. Cette poussée des gaz pouvait être influencée par l'état d'encrassement du radiateur, entraînant une dilution à 40 cm différente en fonction de l'entretien de celui-ci et du chariot en général. Pour les chariots ayant leur système d'échappement au fond du contrepoids (figure 5), le système de régulation de la température du moteur (radiateur et hélice versus poussée des gaz) était conçu différemment et la sortie du jet des gaz d'échappement était parallèle au radiateur. Cette conception caractérise la poussée des gaz de cette famille par rapport aux autres. De plus, le type d'hélice et le nombre de pales étaient en fonction de la marque du chariot et parfois, différents d'un chariot à l'autre à cause d'un bris ou de l'âge du chariot. La configuration du contrepoids entre les différentes familles perturbait différemment le passage des gaz. Enfin, les systèmes d'échappement des chariots avaient fréquemment des fuites. Cette situation venait également influencer la dilution des gaz à 40 cm.

La température ambiante à 40 cm du chariot dans le jet des gaz d'échappement a aussi été relevée. Elle variait d'un chariot à l'autre, bien que leur moteur était chaud. Elle oscillait entre 45 ° et 56 °C, soit une température supérieure à celle recommandée pour les instruments à lecture directe (5 ° et 40 °C) et pour les tubes indicateurs (\leq 35 °C).

Compte tenu de sa simplicité, la méthode de mesure à 40 cm était souvent utilisée par les mécaniciens lors d'ajustements des chariots en utilisant une pompe à soufflet ou à piston et des tubes indicateurs. La concentration moyenne admissible de 50 ppm était alors souvent utilisée comme critère d'ajustement adéquat. Des erreurs liées à ce type de prélèvement s'ajoutent à l'imprécision due à la dilution. Elles peuvent se situer au niveau de l'étanchéité de la pompe à soufflet ou à piston, du temps alloué pour le prélèvement (une minute), des températures ambiantes et des dates d'expiration des tubes. Ces critères de qualité ne sont pas toujours respectés par les mécaniciens. Donc, la non-uniformité dans l'application ou la non-application des critères sous-jacents à la méthode, le manque de contrôle de qualité au niveau des outils de prélèvement pouvaient générer une fausse sécurité.

B) Résultats des mesures à 40 cm

Pour l'évaluation de la méthode de mesure à 40 cm, un total de 145 données à bas régime et 142 à haut régime était traité. Les données relatives aux chariots ayant le système d'échappement situé le long de la cabine du chariot et ceux munis d'un catalyseur ainsi que les données supérieures aux plages de mesure des instruments de mesure n'ont pas été considérées.

Dans la présente étude, les mesures à 40 cm représentaient une concentration moyenne de CO couvrant une période approximative de cinq minutes. Lors de l'ignition du moteur après l'insertion des sondes de l'analyseur IR et du refroidisseur à gaz dans le système d'échappement, une forte concentration de CO était émise pendant quelques secondes. Les prélèvements débutaient après cette crête d'ignition. Le chariot à évaluer avait fait l'objet d'une période de réchauffement de 15 minutes en exécutant des tâches régulières. Avant l'ignition, la concentration de CO au poste d'évaluation était relevée.

Une relation entre les concentrations de CO mesurées dans les gaz d'échappement et celles mesurées à 40 cm a été recherchée. Elle a été faite en divisant la concentration de CO mesurée par l'analyseur IR à quatre gaz par celle à 40 cm lue sur un ILD (# 1). Elle a été également calculée après avoir retranché la mesure du CO faite avec le ILD avant l'évaluation de celle à 40 cm (# 2) à bas et à haut régime. Elle n'a pas été calculée avec les mesures prises avec les tubes indicateurs. Le tableau 9 résume ces calculs faits par famille de chariots.

Tableau 9: Relation entre l'émission et la mesure à 40 cm

Famille	Bas régime			Haut régime		
	n	#1	#2	n	#1	#2
N	32	4-132	22 - 300	32	1 - 119	2 - 95
TC	40	7-1511	8 - 3094	37	3 - 260	3 - 580
TL	27	18 - 1382	51 - 1048	27	7 - 925	8 - 1276
C	38	13 - 277	46 - 1233	38	6 - 242	8 - 500
D	8	23 - 363	383 - 618	8	6 - 156	7 - 192
Total	145	4 - 1511	8 - 3094	142	1-925	2-1276

Aucune relation mathématique entre la concentration d'émission et la mesure de CO à 40 cm n'est ressortie pour l'ensemble des données, ni par famille, ni en enlevant la mesure du CO en air ambiant avant l'évaluation du chariot (#2). Cette dernière façon de calculer élargit l'étendue de la relation. Ces résultats peuvent être expliqués par les facteurs traités précédemment. Lors de la mesure à 40 cm, la vitesse et la température des gaz influencent la réponse de l'instrument de mesure comparativement à la mesure en air ambiant (avant de procéder à l'évaluation du chariot), faite en absence de jet d'échappement (moteur éteint) et à température ambiante d'environ 22 ° et 26 °C. Cette vitesse est influencée par différents paramètres, entre autres, par l'ouverture du contrepoids et par la profondeur de la sortie du jet d'échappement dans le contrepoids par rapport au point de mesure situé à 40 cm du chariot. Comme il a été mentionné, l'entretien du chariot, le nettoyage du radiateur, l'état et le nombre de pales de l'hélice, les fuites du système d'échappement, etc. sont des facteurs importants pouvant influencer la mesure à 40 cm et ce, pour deux chariots distincts ou pour un même chariot d'une intervention à l'autre.

L'analyse statique de ces données est rapportée dans l'annexe 1. Compte tenu de la différence dans la conception du système de régulation de la température du moteur, les données relatives aux chariots ayant leur système d'échappement au fond du contrepoids, soit la famille C,

ne sont pas compilées dans la catégorie "ensemble des données". Les distributions des données pour les concentrations d'émission de CO dans les systèmes d'échappement et pour la méthode à 40 cm selon les techniques #1 (ILD) et #2 (ILD moins concentration avant évaluation) ne répondent pas de façon significative ($p \leq 0,05$) aux conditions de la loi Normal et ce, pour les données classées par famille ou pour l'ensemble des données. Le logarithme des données répond de façon significative aux conditions de la loi Normal. Donc, la régression linéaire et la corrélation sont calculées avec le logarithme des données.

Le faible nombre de données dans la famille D explique les résultats obtenus pour la régression linéaire et la corrélation.

En règle générale, moins de 75% (R^2) des données sont expliquées par le modèle de l'estimé. La corrélation est inférieure à 0,8, ce qui signifie un résultat de bon à moyen. Les variations de la variable indépendante (méthode à 40 cm) sont faiblement reliées aux variations de la variable dépendante (concentration d'émission de CO du chariot). La régression linéaire sur le logarithme des données ne permet pas une estimation de la concentration d'émission avec une faible erreur de l'estimé ($E_e = 0,8$ à $1,4$).

La mesure du CO à 40 cm ne peut être utilisée comme méthode d'évaluation de la concentration d'émission de CO à cause de ces différentes considérations mentionnées plus haut (environnement, chariot, relation et corrélation statistique). Toutefois, elle peut donner une indication d'un problème au niveau des ajustements du chariot.

5.1.3. Mesure de l'exposition des caristes au CO

Une troisième approche utilisée par les intervenants en hygiène du travail est la mesure du CO en zone respiratoire du cariste à l'aide d'un détecteur personnel. Une relation a également été recherchée entre cette mesure et celle dans les systèmes d'échappement.

A) Facteurs influençant la mesure du CO

Les facteurs qui peuvent influencer la mesure du CO en zone respiratoire du travailleur sont directement reliés au chariot lui-même et à l'environnement de travail.

Au niveau des facteurs reliés au chariot, son état général influence sa concentration émise en CO par le biais de son entretien et des ajustements de la carburation et de l'allumage.

L'environnement de travail inclut plusieurs paramètres dont la contamination en CO des aires de travail, les lieux physiques, le taux de la production reliée à une plus grande utilisation des chariots, l'organisation du travail, le temps d'utilisation du chariot versus la durée des prélèvements faits, les tâches à exécuter, la technique de conduite du chariot et les techniques de travail.

Par ailleurs, les concentrations en CO étaient suivies au cours de la journée dans certaines aires de travail correspondant aux corridors de circulation régulière des chariots. Compte tenu de la rigueur de la saison à l'hiver 94, les infiltrations d'air extérieur étaient souvent réduites au maximum, engendrant une diminution de la dilution de l'air ambiant intérieur et se traduisant par une augmentation des concentrations en CO dans les aires de travail.

B) Résultats des mesures d'exposition des caristes

Deux types de mesures ont été faites pour l'élaboration de la stratégie de mesure du CO, soit en zone respiratoire du cariste et en ambiance générale dans des aires de travail correspondant à des corridors de circulation des chariots.

Compte tenu des lieux physiques propres à chaque entreprise (les dimensions, la configuration spatio-temporelle de l'entreprise et des départements, la ventilation, etc.), les données d'exposition au CO des caristes sont traitées par entreprise. Elles n'ont pas été considérées comme un ensemble de données. Le tableau 10 résume les valeurs minimales et maximales des doses d'exposition et leur durée de prélèvement. On y retrouve également la concentration moyenne au niveau des différents aires de travail évaluées correspondant aux corridors de circulation des chariots. Les valeurs détaillées sont résumées dans l'annexe 2. Elles y sont regroupées par intervention dans chaque entreprise et jumelées avec les concentrations d'émission de CO dans le système d'échappement du chariot conduit par le cariste dont la dose est évaluée.

Tableau 10 : Doses minimales et maximales d'exposition au CO

Entreprise	Dose d'exposition au CO et durée de prélèvement				CM Ambiant (ppm)
	ppm	minutes	ppm	Minutes	
A	22	457	51	462	19,5
	41	452	133	420	29,5
	70	426	190	329	93,3
B	13	345	58	342	31,3
	26	400	56	411	21,9
	10	338	38	330	28,0
C	16	375	27	406	12,5
	24	409	40	402	17,5
	15	389	22	406	10,8
D	18	408	30	412	13,3
	45	424	48	422	36,9
	23	380	59	410	19,3
E	8	262	33	247	n.é.
F	29	481	71	480	35,7
	23	412	35	412	24,2
	16	348	27	363	23,1
G	2	435	16	233	n.é.F.P.
H	9	408	12	412	6,7
	6	366	13	361	5,6
	10	375	12	364	3,9
I	9	334	65	377	19,2
	14	217	21	86	22,5
	26	204	142	209	22,9
J	9	377	24	391	7,0
	8	310	11	296	5,6
	13	387	20	406	12,8

n.é. Non évaluée compte tenu de la disposition des lieux

n.é. F.P. Non évaluée car faible production

Les procédés de fabrication ne générant pas de CO, les concentrations de CO étaient reliées directement à la circulation des chariots élévateurs au propane.

La dose d'exposition des caristes est influencée par la concentration d'émission de CO à haut régime de leur chariot respectif et aussi par la concentration de CO présent dans leurs aires principales de travail. Cette contamination de l'aire de travail peut parfois être très importante. Ainsi, dans la section des entrepôts de l'entreprise A, à la dernière intervention soit T₁, les persiennes d'entrée d'air neuf étaient obstruées et les concentrations moyennes de l'air ambiant dans deux des quatre postes fixes évalués étaient respectivement de 102 et de 225 ppm CO pour environ sept heures de prélèvement. Les doses d'exposition des caristes travaillant principalement dans le secteur de ces deux postes étaient élevées (131 et 190 ppm CO). Les chariots contribuaient à contaminer leurs aires de travail où il y avait peu ou pas de dilution de CO due à l'obstruction des persiennes d'entrée d'air neuf. Il est important de rappeler que le moteur d'un chariot tourne majoritairement à haut régime lors de l'exécution des tâches. Or plusieurs chariots de cette entreprise avaient de hautes concentrations d'émission à haut régime.

Ce phénomène d'accumulation de la contamination en CO dans les aires de travail a également été remarqué dans l'entreprise F, mais pour d'autres raisons. À la première intervention, la concentration de CO dans le poste fixe, situé au centre de l'entreprise, était de 70 ppm avant l'arrêt de la production et de la circulation des chariots pour le repas du midi. Une légère baisse était remarquée au cours de cet arrêt. Après cette première intervention, l'installation du système d'ouverture mécanique des persiennes en relation avec la mise en opération des ventilateurs d'extraction (15 minutes par heure) a été faite. Le temps d'opération des ventilateurs d'extraction a été également allongé lors de la dernière intervention. Ces deux actions expliquaient en partie les baisses des concentrations moyennes en air ambiant dans l'entreprise, soit de 35 à 23 ppm.

L'utilisation des chariots de l'entreprise J était faite sur de courtes périodes au cours de la journée. Le prélèvement lors de la mesure des doses d'exposition a couvert une plus longue période que la durée d'utilisation des chariots par leur cariste. Ce paramètre relatif à l'utilisation des chariots a influencé les doses d'exposition, qui pourraient être supérieures compte tenu des concentrations d'émission de CO de plusieurs chariots.

Pour répondre aux objectifs de l'étude, une relation entre la concentration d'émission de CO du chariot et la dose d'exposition des caristes était également recherchée. Aucune relation entre la concentration d'émission du CO et la dose d'exposition du cariste n'est ressortie et ce, même si les données ont été traitées entreprise par entreprise.

5.1.4. Chariots munis de catalyseur

Trois chariots de deux entreprises avaient un système d'échappement muni de catalyseur. Ce dernier transforme le CO en CO₂. Les résultats de ces chariots n'ont pas été compilés avec l'ensemble des données. Toutefois, le tableau 11 résume les résultats obtenus pour ces chariots, selon les trois approches, et la concentration moyenne aux postes fixes au cours des interventions.

Tableau 11: Résultats obtenus pour les chariots munis de catalyseur

Intervention	Émission de CO (%)		Mesure à 40 cm CO (ppm)	Dose d'exposition CO (ppm)	CM CO (ppm)
	Bas régime	Haut régime			
T ₀ *	0,50	0,00	17	11	6,7
T ₁ *	0,55	0,00	15	6	5,6
T ₂ *	0,00	0,00	18	10	5,3
T ₀	1,93	0,53	420	71	35,7
T ₁	0,10	2,50	75	35	24,2
T ₂	0,09	1,12	29	27	23,1
T ₀	0,96	0,01	82	29	35,7
T ₁	**	**	**	**	24,2
T ₂	0,05	0,20	33	23	23,1

* Chariot neuf.

** Chariot en réparation.

Aucune mesure de CO n'a été faite dans les gaz d'échappement avant le catalyseur. Celles regroupées dans le tableau 11, à bas et à haut régime, ont été faites après le catalyseur. Afin de répondre aux buts de l'étude, aucune conclusion n'a été tirée compte tenu du faible nombre de résultats.

5.1.5. Stratégie de mesure retenue

Le but de l'étude était d'établir une stratégie d'évaluation du CO émis par les chariots élévateurs au propane. Cette stratégie vise spécifiquement les intervenants en hygiène du travail, mais elle peut être utilisée par des mécaniciens lors de l'entretien des chariots au propane.

La stratégie retenue est l'évaluation de la concentration d'émission de CO dans les systèmes d'échappement. Cette évaluation doit être faite dans le système d'échappement à l'aide d'un refroidisseur à gaz ayant, premièrement, une sonde de prélèvement avec des dimensions (diamètre et longueur) appropriées aux différentes configurations des sorties d'échappement des chariots élévateurs et, deuxièmement, muni d'un dispositif auxiliaire d'aspiration continue des gaz d'échappement. Le débit de ce dispositif (pompe personnelle) doit être ajusté de façon à ne pas affecter le temps de réaction du tube, ni le débit du train de prélèvement (pompe à piston ou à soufflet, jumelée au tube indicateur). La sonde de prélèvement du refroidisseur doit être enfoncée le plus loin possible dans le système d'échappement pour éviter les possibilités de dilution. Le guide d'utilisation du refroidisseur à gaz "modifié" a été rédigé et est disponible à l'annexe 3.

La concentration d'émission de CO est mesurée lorsque le moteur tourne à bas et à haut régime et ce, tout spécialement lors des ajustements des composantes de la carburation et de l'allumage et du nettoyage ou changement du vaporisateur de propane. Selon l'A.C.G.I.H., elle doit être inférieure à 1 % dans les gaz d'échappement. Si l'échelle de mesure du tube est trop large (0,3 à 7% de CO) par rapport à la lecture obtenue et à la limite de détection du tube ($\leq 0,3\%$), la mesure doit être reprise en utilisant un tube ayant une plage plus étroite, soit 0,01-0,3%. De plus, dans une telle situation ($\leq 2\ 000$ ppm ou 0,2% CO dans les systèmes d'échappement), il serait opportun de mesurer le pourcentage d'oxygène afin d'avoir un indice de la qualité de la combustion.

La stratégie englobe les règles d'entretien et d'utilisation du fabricant relatives au train de prélèvement (l'étanchéité de la pompe, la stabilité de son débit et son volume, la date d'expiration des tubes, le temps et la température de prélèvement, etc.). Il est important d'utiliser la pompe correspondant aux tubes. Le bon entretien et l'utilisation adéquate sont des critères essentiels pour la qualité de l'évaluation et la validité de la stratégie suggérée.

La mesure du CO à 40 cm ne permet pas d'estimer la concentration d'émission de CO dans le système d'échappement. Plusieurs facteurs expliquent le biais important engendré. Toutefois, cette mesure donne une indication significative en cas de problème au niveau de dérèglements qui devra être confirmé en utilisant la stratégie suggérée.

La mesure du CO en zone respiratoire du cariste demeure un élément essentiel pour déterminer son exposition en CO. La présence de valeurs crêtes importantes (≥ 200 ppm) dans l'histogramme peut signaler un problème de dérèglement.

5.2. PROGRAMME D'ENTRETIEN

Les résultats de l'étude démontrent le lien entre l'état mécanique du chariot et la présence du CO dans l'environnement. L'entretien régulier de ces chariots est un élément important de contrôle de cette exposition pour les travailleurs.

Les observations sur le terrain ont montré que les programmes d'entretien dans la majorité des entreprises sont plus ou moins respectés. Or, un des objectifs de l'étude était de démontrer l'importance d'un entretien régulier des chariots.

L'évaluation des différentes méthodes de mesure nous amène à conclure que l'entretien des chariots doit se baser sur l'évaluation du CO dans les systèmes d'échappement. Les mesures de l'oxygène et des hydrocarbures permettent de juger de la qualité de la combustion.

Idéalement, pour un ajustement optimal, les résultats en CO, en oxygène et en hydrocarbures devraient être respectivement inférieurs à 1 %, à 0,2 % et à 200 ppm. L'utilité de mesurer ces trois gaz en parallèle a été démontrée, entre autres, pour un des chariots évalués. Lors de la première intervention, T₀, ce chariot démontrait une combustion incomplète puisque

les concentrations en hydrocarbures et en oxygène étaient très élevées bien que celle du CO était basse. Avant la deuxième intervention, T₁, période couvrant dix jours ouvrables, le moteur avait subi des réparations. À T₁, les résultats montraient encore une forte concentration en hydrocarbures et une forte concentration en CO. Des ajustements au niveau du carburateur uniquement étaient alors faits par le mécanicien, présent sur place. Après ceux-ci, une baisse sensible du CO était observée mais la mesure des hydrocarbures était encore élevée, car aucun nettoyage ou changement du vaporisateur du propane n'était effectué. Le tableau 12 résume les résultats obtenus sur ce chariot pour les deux interventions.

Tableau 12: Évaluation des gaz d'échappement (à bas régime)

Intervention	%O ₂	% CO ₂	ppm HC	% CO
T ₀	11,4	5,27	1993	0,00
T ₁	0,7	8,24	1093	6,02
Ajustement	1,5	11,63	731	0,01

Cet exemple démontre l'importance d'établir un programme d'entretien préventif des chariots au propane basé sur l'évaluation du CO dans les gaz d'échappement et ce, à l'aide d'un **analyseur IR quatre gaz**. Cet entretien devrait comprendre l'ajustement du carburateur et le changement ou nettoyage du vaporisateur de propane, et ce **simultanément**. L'analyseur quatre gaz est plus approprié pour l'évaluation de l'émission de CO dans les systèmes d'échappement car l'analyse est faite en fonction des produits résiduels de la combustion qui décrivent l'état de la combustion, spécialement l'oxygène. De plus, l'analyseur doit être **vérifié et étalonné** régulièrement, soit au moins une fois par trimestre ou plus fréquemment, selon l'utilisation. Cet étalonnage doit être inséré dans le programme d'entretien ainsi que les moyens de contrôle de qualité relatifs à l'étalonnage.

Une autre observation importante découlant de cet exemple était le fait que la concentration d'émission du CO n'était pas réévaluée après une réparation majeure effectuée à l'intérieur de la période couverte par le programme d'entretien. Cette situation a été observée au niveau de sept chariots d'entreprises distinctes. Ces chariots, ainsi réparés entre deux interventions, généraient de hautes concentrations de CO dans les systèmes d'échappement. Le tableau 13 démontre

l'importance de ce phénomène.

Tableau 13: Émission de CO avant et après une réparation

Entreprise	Émission % CO	
	Avant	Après
A	0,00	6,02
B	*	6,65
C	0,09	2,70
D	*	7,56
F	0,96	0,05 **
I	7,91	5,41
J	2,23	1,14

* Chariot en réparation lors de l'intervention précédente.

** Évaluation faite après le catalyseur.

Il est donc essentiel d'insérer dans ce programme, l'évaluation du CO après une réparation faite à l'intérieur de la période du programme. Lors de la mise au point du chariot, l'évaluation de la concentration d'émission de CO devrait être faite avant le catalyseur. Afin d'assurer un contrôle de qualité, le programme d'entretien doit cibler un responsable de l'entretien des chariots ayant une formation appropriée et comprendre un registre des performances de chaque chariot. Les caristes, **pour tout ajustement**, doivent se référer à cette personne responsable.

Un troisième élément important est la fréquence d'entretien. La lecture des horomètres des chariots était faite à chaque intervention pour tenter d'établir une fréquence optimale.

L'annexe 4 met en parallèle les heures d'utilisation de 41 chariots et leur concentration d'émission à bas et à haut régime, relevées sur au moins deux interventions, soit spécialement à la première, T_0 , et la dernière, T_2 . Ces deux interventions devaient permettre de percevoir

l'évolution de cet entretien dans le temps. Toutefois, ces données ne permettent pas de conclure objectivement en termes de fréquence d'entretien. Plusieurs faits expliquent cette situation.

Premièrement, les horomètres étaient fréquemment hors d'usage. Entre autres, ils étaient inopérants sur tous les chariots dans l'entreprise B. Seulement 52 des 72 chariots faisant partie de l'étude avaient leur horomètre en état d'opération.

De plus, certains chariots avaient fait l'objet de réparation ou de réajustements entre les interventions. Dans l'entreprise F, des réajustements ont été faits régulièrement suite à la visite des lieux des membres du CSS. La faible production en saison hivernale dans l'entreprise I a entraîné une réduction de la circulation des chariots et une interprétation difficile en termes de fréquence d'entretien.

Le nettoyage du vaporisateur de propane n'était pas effectué ou n'était pas fait de façon régulière par les mécaniciens. Or, le vaporisateur peut être un générateur important de CO. Il ne faisait pas l'objet explicite du programme d'entretien de certaines entreprises. Rappelons que trois entreprises n'avaient pas de programme d'entretien spécifique.

Enfin, une différence significative entre nos résultats des concentrations d'émission dans les systèmes d'échappement et ceux fournis par les entreprises était régulièrement enregistrée. Elle peut s'expliquer par une non-uniformisation dans les méthodes d'analyses et leurs outils respectifs ainsi que par les différences dans la méthodologie utilisée et les contrôles de qualité.

Bien que les données de l'étude ne permettent pas d'établir une fréquence d'entretien optimale des chariots élévateurs alimentés au propane, le premier contrôle demeure un programme d'entretien régulier basé sur la concentration d'émission de CO dans les systèmes d'échappement et son application rigoureuse. D'après des mécaniciens rencontrés, la fréquence de l'entretien devrait se situer entre deux et quatre cents heures d'utilisation selon la marque et l'âge du chariot.

L'importance de l'entretien des chariots est soulignée par l'exposition au CO des caristes et de la contamination dans les aires de travail dans les différents départements où circulent les chariots.

6. CONCLUSION

Pour les intervenants en hygiène du travail au Québec, la stratégie retenue pour évaluer le monoxyde de carbone émis par les chariots élévateurs au propane, est l'évaluation de la concentration d'émission du CO dans les systèmes d'échappement. Cette évaluation est faite à l'aide d'un refroidisseur à gaz "modifié" au niveau de la sonde de prélèvement et muni d'un dispositif d'écoulement continu des gaz d'échappement. La détection se fait à l'aide d'un tube indicateur pour le CO ayant une plage de lecture de 0,3 à 7% et la pompe manuelle correspondante. Lors de faibles lectures, la mesure est reprise avec un tube indicateur ayant une plage plus étroite. La mesure de l'oxygène documente la qualité de la combustion lors de faibles lectures de CO ($\leq 2\ 000$ ppm). La mesure du CO à 40 cm et les valeurs crêtes de l'histogramme signalent un dérèglement. La mesure du CO en zone respiratoire du cariste demeure un élément essentiel pour déterminer son exposition.

Le programme d'entretien et de mise au point des chariots doit comprendre, entre autres, les ajustements de la carburation et de l'allumage simultanément avec le nettoyage ou remplacement du vaporisateur de propane. Il doit être basé sur l'évaluation de la concentration d'émission du CO dans les systèmes d'échappement à l'aide d'un analyseur IR à quatre gaz (CO, CO₂, oxygène et hydrocarbures). Cet instrument doit faire l'objet de vérification et d'étalonnage régulièrement et avoir une sonde de prélèvement aux dimensions appropriées au système d'échappement des chariots. Après toute réparation entre la période couvrant le programme d'entretien, une évaluation de la concentration d'émission doit être faite. Un registre doit être tenu par le mécanicien responsable du programme. La concentration d'émission de CO, selon l'A.C.G.I.H., doit être inférieure à 1% pour les véhicules à combustion interne alimentés au propane.

Jusqu'à tout récemment, la valeur d'exposition moyenne pondérée du CO pour huit heures était de 50 ppm. Elle est abaissée à 35 ppm. La principale source d'exposition au CO des caristes est souvent le chariot. Un programme d'entretien appliqué rigoureusement entraîne une réduction sensible de cette exposition et ce, spécialement en termes de respect de la nouvelle réglementation québécoise.

Idéalement, la réglementation québécoise devrait cibler une concentration d'émission dans le système d'échappement de CO ($\leq 1\%$) pour les véhicules au propane et préconiser un

programme d'entretien basé sur l'évaluation de la concentration d'émission dans les systèmes d'échappement, tout en tenant compte du nombre d'heures d'utilisation.

Les émissions d'oxydes d'azote seraient suspectées lors d'abaissement sensible des concentrations de CO dans les systèmes d'échappement. Une deuxième phase devrait prolonger la présente activité afin d'établir un seuil minimal de CO sans apparition des oxydes d'azote, forts irritants des voies respiratoires.

RÉFÉRENCES

1. Fawcett, T. A., Moon, R. E., Fracica, P. J., Mebane, G. Y., Theil, D. R., Piantadosi, C. A., **Warehouse Worker's Headache Carbon Monoxide Poisoning from Propane-Fueled Forklifts**, JOM, Jan 1992.
2. Lachance, F., **Problématique des chariots élévateurs mus au propane** CLSC Norman-Béthume, Santé au travail, déc. 1984.
3. Coulombe, G., Carignan, N., Bernier M. **Une lutte à gagner: Monoxyde de carbone (CO) et chariot élévateur au propane. Situations et solutions en quatre (4) modules, modules I, III et IV**, DSC Ste-Croix, oct. 1991.
4. Côté, P., Coulombe, G. **Entretien préventif des chariots élévateurs au propane**, DSC Hôpital Ste-Croix. Santé au travail, Drummondville, 1990.
5. Coulombe, G., Côté, P., **L'entretien préventif des chariots élévateurs au propane: une approche exploratoire; un projet pilote**, 14e Congrès de l'Association pour l'Hygiène Industrielle au Québec, Trois-Rivières, mai 1992.
6. **Histoire d'une intoxication au monoxyde de carbone causée par un chariot élévateur**, Préventex, Vol. 10 2.

7. Lévesque, B., Dewailly, E., Lavoie, R., Prud'Homme, D., Allaire S., **Carbon Monoxide in Indoor Ice Skating Rinks: Evaluation of Absorption by Adult Hockey Players**, Am J Public Health, 1990;80 594-598.
8. North American Combustion Handbook, **A Basic Reference on the Art Science of Industrial Heating with Gaseous and Liquid Fuels, Volume 1: Combustion, Fuels, Stoichiometry, Heat Transfer, Fluid Flow**, Third edition, Cleveland, 1986.
9. **Les dangers des gaz d'échappement des chariots à moteur (36-04)**, Note 390-36-64, Institut National de Sécurité, 1964.
10. Gouvernement du Québec, Règlement sur la Qualité du Milieu de Travail, S-2. 1 r. 15, janvier 1994.
11. **Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practice**, 21e édition, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, Ohio, 1992.
12. Mahoney, D.P., **Carbon Monoxide Exposure from Truck Exhaust**, American Society of Safety Engineers, sept 1990.
13. Scherrer, Bruno, **Biostatistique**, Gaëtan Morin Éditeur, 2e trimestre 1984.
14. Manuel de référence Statgraphics[®] Statistical Graphics Corporation, version 6, 1992.
15. Roberge, B., Létourneau, C., Cammarata, D. **Stratégie d'évaluation du monoxyde carbone émis par les chariots élévateurs mus au propane**, 16e Congrès de l'Association pour l'Hygiène Industrielle au Québec, Québec, mai 1994.

Annexe 1

Probabilité - distribution normale

Famille	Bas régime				Haut régime			
	Normal		Lognormal		Normal		Lognormal	
	p	Résultat	p	Résultat	p	Résultat	p	Résultat
N Taux	0,024	non	0,285	oui	0,027	non	0,922	oui
N#1	0,018	non	0,607	oui	0,130	oui	0,827	oui
N#2	0,042	non	0,580	oui	0,082	oui	0,857	oui
TC taux	0,021	non	0,369	oui	0,001	non	0,085	oui
TC#1	0,008	non	0,530	oui	0,006	non	0,689	oui
TC#2	0,012	non	0,600	oui	0,051	oui	0,995	oui
TL taux	0,759	oui	0,148	oui	0,001	non	0,065	oui
TL#1	0,127	oui	0,996	oui	0,056	oui	0,494	oui
TL#2	0,154	oui	0,551	oui	0,414	oui	0,799	oui
C taux	0,015	non	0,019	non	$5,0 \cdot 10^{-5}$	non	0,004	non
C#1	0,002	non	0,132	oui	0,048	non	0,626	oui
C#2	0,0016	non	0,280	oui	0,008	non	0,518	oui
D taux	0,987	oui	0,862	oui	0,237	oui	0,321	oui
D#1	0,162	oui	0,911	oui	0,384	oui	0,873	oui
D#2					0,365	oui	0,908	oui
* taux	0,002	non	0,011	non	$3,8 \cdot 10^{-8}$	non	0,006	non
*#1	$2,5 \cdot 10^{-6}$	non	0,399	oui	$7,0 \cdot 10^{-6}$	non	0,718	oui
*#2	$2,4 \cdot 10^{-3}$	non	0,319	oui	$5,6 \cdot 10^{-4}$	non	0,828	oui

* Ensemble des données sauf celles de la famille C.

Taux Signifie "concentration de l'émission de CO dans les gaz d'échappement"

Annexe 1 suite

Probabilité - distribution normale - Bas et haut régime

	Famille C				Toutes les familles sauf famille C			
	Normal		Lognormal		Normal		Lognormal	
	p	Résultat	p	Résultat	p	Résultat	p	Résultat
Taux	$4,9 \cdot 10^{-7}$	non	$2,8 \cdot 10^{-5}$	non	0,00000	non	0,00035	non
#1	$7,3 \cdot 10^{-5}$	non	0,051	oui	0,00000	non	0,201	oui
#2	$2,7 \cdot 10^{-6}$	non	0,056	oui	$1,4 \cdot 10^{-6}$	non	0,671	oui

Taux Signifie "concentration de l'émission de CO dans les gaz d'échappement"

Annexe 1 suite

Régression linéaire et corrélation - données à bas régime

Famille	$bx + a$	p	t	f	r	R^2 (%)	E_e
N#1	$0,846x - 4,63$	0,00001	5,29	27,95	0,6945	48,23	1,2432
N#2	$0,932x - 4,80$	0,00000	7,22	52,16	0,7968	63,49	1,0441
TC#1	$1,006x - 5,15$	0,00000	5,42	29,39	0,6604	43,61	1,3626
TC#2	$0,693x - 3,36$	0,00000	5,40	29,19	0,6591	43,45	1,3646
TL#1	$0,982x - 4,04$	0,00002	5,27	27,81	0,7257	52,66	1,0048
TL#2	$0,821x - 2,99$	0,00000	7,39	54,64	0,8283	68,61	0,8182
C #1	$1,593x - 7,36$	0,00000	10,53	110,88	0,8748	76,53	0,8697
C #2	$1,085x - 4,55$	0,00000	10,81	116,91	0,8802	77,47	0,8522
D #1	$0,858x - 3,91$	0,05400	2,39	5,72	0,6985	48,79	0,9654
* #1	$1,015x - 4,99$	0,00000	8,94	80,00	0,6594	43,48	1,2683
* #2	$0,747x - 3,29$	0,00000	8,80	77,45	0,7297	53,25	1,1950

* Ensemble des données à bas régime sauf celles de la famille C.

Annexe 1 suite

Régression linéaire et corrélation - données à haut régime

Famille	$bx + a$	p	t	f	r	R^2 (%)	E_e
N#1	1,506x - 8,44	0,00006	8,29	67,88	0,8371	70,07	0,833
N#2	1,636x - 9,02	0,00000	6,66	44,38	0,8239	67,88	0,8297
TC#1	0,780x - 4,49	0,00004	4,70	22,07	0,6218	38,67	1,2231
TC#2	0,577x - 3,30	0,00118	3,63	13,15	0,5723	32,75	1,3520
TL#1	1,015x - 5,35	0,00598	3,00	9,02	0,5150	26,52	1,2973
XL#2	0,571x - 3,30	0,02511	2,41	5,82	0,4657	21,69	1,3298
C#1	1,113x - 5,89	0,00000	4,92	24,20	0,6394	40,88	0,8803
C#2	0,759x - 3,93	0,00005	4,67	21,81	0,6252	39,08	0,9018
D#1	0,006x - 0,26	0,01061	1,86	6,42	0,5485	30,09	1,0091
* #1	0,892x - 5,12	0,00000	8,30	68,87	0,6330	40,07	1,1609
* #2	0,629x - 3,69	0,00000	6,30	39,63	0,5719	32,85	1,2622

* Ensemble des données à haut régime sauf celles de famille C.

Annexe 1 suite

Régression linéaire et corrélation - données à bas et à haut régime

Famille	$bx + a$	p	t	f	r	R^2 (%)	E_c
C #1	$0,018x - 0,38$	0,00000	14,48	209,72	0,8643	74,71	0,8509
C #2	$1,015x - 4,50$	0,00000	11,56	133,68	0,8101	65,63	0,9041
* #1	$0,948x - 5,05$	0,00000	11,98	143,46	0,6380	40,70	1,2526
* #2	$0,680x - 3,47$	0,00000	9,92	98,46	0,6320	39,95	1,2948

* Ensemble des données à bas et à haut régime sauf celles de la famille C.

Annexe 2

Doses d'exposition au CO des caristes par entreprise

Entreprise	Émission de CO (%)		CM (ppm)	Durée (minutes)	CM ambiant (ppm)
	Bas régime	Haut régime			
A	7,22	3,30	43	78	T ₀ 19,5
	1,10	0,08	25	44	
	0,20	1,56	51	462	
	0,00	0,00	22	457	
	0,12	2,18	40	445	
	0,06	0,50	7 *	420	
	5,84	0,08	70	106	T ₁ 29,5
	0,09	0,34	41	452	
	6,02 **	4,62	73	442	
	0,03	2,80	133	420	
	0,14	1,81	51 *	450	
	0,05	4,48	70	426	T ₂ 93,3
	0,11	2,88	131	408	
	0,06	4,10	190	329	
	0,24	0,74	38 *	405	

CM: Concentration moyenne.

* Détecteur personnel porté à la ceinture.

** Ajustement du carburateur au cours de la journée de l'intervention.

Annexe 2 suite
Doses d'exposition au CO des caristes par entreprise

Entreprise	Émission de CO (%)		CM (ppm)	Durée (minutes)	CM ambiant (ppm)	
	Bas régime	Haut régime				
B	0,7	2,90	13	345	T ₀ 31,3	
	5,67	0,15	58	342		
	5,40	4,76	39	345		
	5,16	479	41	354		
	0,04	2,60	31	376	T ₁ 21,9	
	0,07	0,09	26	400		
	6,65	1,75	56	411		
	3,57	3,84	48	253		
	0,05	0,13	10*	338	T ₂ 28,0	
	0,07	0,11	25*	410		
	5,79	1,75	31*	191		
	5,55	4,50	38*	330		
	C	1,26	0,28	18	405	T ₀ 12,5
		0,93	0,07	27	406	
2,70		0,05	20	405		
0,10		0,10	16	375	T ₁ 17,5	
2,85		1,70	40	402		
0,08		0,08	24	409		
0,05		0,07	33	410		
1,11		0,10	15	389	T ₂ 10,8	
0,09		0,10	16	397		
0,06		0,07	22	406		

CM: Concentration moyenne

*: Interruption de la production et de la circulation des chariots pour une heure.

Annexe 2 suite

Doses d'exposition au CO des caristes par entreprise

Entreprise	Émission de CO (%)		CM (ppm)	Durée (minutes)	CM ambiant (ppm)
	Bas régime	Haut régime			
D	0,12	0,12	18	408	T ₀
	3,10	0,08	30	412	13,3
	0,12	0,17	45	434	T ₁ 36,9
	1,40	1,17	48	422	
	0,19	0,11	45	424	
	7,56	0,37	59	410	T ₂
	0,37	0,12	23	380	19,3
E	4,65	2,41	20	248	n.é.
	5,85	0,35	33	247	
	1,70	0,15	10	247	
	10,0	4,10	24	225	
	4,02	1,25	25	279	
	0,70	0,07	8	262	
F	0,63*	0,53*	71	480	T ₀ 35,7
	0,00	0,00	52	380	
	0,96*	0,08*	29	481	
	1,69	0,60	46	476	
	0,10*	2,50*	35	412	T ₁ 24,2
	0,10	0,16	35	413	
	0,00	0,00	23	412	
	2,72	0,11	28	423	

CM: Concentration moyenne

n.é.: non évaluée compte tenu de la disposition des lieux

*: Chariot muni de catalyseur

Annexe 2 suite

Doses d'exposition au CO des caristes par entreprise

Entreprise	Émission de CO (%)		CM (ppm)	Durée (minutes)	CM ambiant (ppm)
	Bas régime	Haut régime			
F suite	0,09*	1,12*	27	363	T ₂ 23,1
	0,74	0,50	21	349	
	0,05*	0,20*	23	354	
	0,23	0,08	16	348	
G	0,07	0,12	10	457	n.é. faible production
	0,21	0,29	9	314	
	0,07	0,14	11	246	
	0,16	0,64	6	290	
	0,08	0,45	16	233	
	0,08	1,15	12	302	
	1,91	1,44	15	209	
	0,27	0,78	15	215	
	3,65	0,53	5	420	
	0,11	0,09	5	290	
	0,09	0,10	8	429	
	0,11	0,23	2	435	
	2,35	0,09	3	446	
H	0,08	0,09	9	408	T ₀ 6,7
	2,08	1,71	12	412	
	0,50	0,00	11	365	

CM: Concentration moyenne

n.é: non évaluée car pas de corridors principaux de circulation de chariots

*: Chariot muni de catalyseur

Annexe 2 suite

Doses d'exposition au CO des caristes par entreprise

Entreprise	Émission de CO (%)		CM (ppm)	Durée (minutes)	CM ambiant (ppm)
	Bas régime	Haut régime			
H suite	0,06	0,07	6	366	T ₁ 5,6
	4,59	0,21	13	361	
	0,55	0,00	6	348	
	0,07	0,07	10	362	T ₂ 5,3
	3,90	0,10	12	364	
	0,00	0,00	10	375	
I	0,08	0,83	19	336	T ₀ 19,2
	4,73	3,49	15	354	
	7,91	7,45	65	377	
	3,69	3,09	48	389	
	0,50	0,06	9	334	
	2,45	0,11	21	86	T ₁
	1,61	0,09	14	217	22,5
	2,56	0,23	26	204	T ₂
	5,41	7,40	142	209	22,9
J	2,23	2,32	20	397	T ₀ 7,0
	2,50	0,08	9	377	
	0,55	0,21	24	391	
	5,26	0,10	18	385	
	2,88	0,14	13	381	

CM: Concentration moyenne

Annexe 2 suite

Doses d'exposition au CO des caristes par entreprise

Entreprise	Émission de CO (%)		CM (ppm)	Durée (minutes)	CM ambiant (ppm)
	Bas régime	Haut régime			
J suite	3,25	0,09	8	310	T ₁ 5,6
	0,35	1,53	11	296	
	1,59	0,16	9	331	
	2,00	0,08	10	316	
	0,02	0,33	13	380	T ₂ 12,8
	1,44	0,06	20	406	
	4,23	5,30	20	398	
	3,20	0,08	13	387	
	1,99	0,09	15	419	
	6,02	6,58	19	410	
	3,43	0,18	17	320	

CM: Concentration moyenne

Annexe 3

Guide d'utilisation du refroidisseur à gaz Dräger modifié

Liste du matériel

- Refroidisseur à gaz
- Pompe d'aspiration et chargeur
- Trappe à eau (Barboteur Nalgene)
- Jeu de sondes
 - 1 sonde 5/16" de diamètre par 36" de long acier inoxydable tressé avec Téflon interne
 - 3 sondes de 1/8 de diamètre et de 12" à 16" de long en cuivre
 - 1 sonde de 3/8 de diamètre par 12" de long acier inoxydable tressé (sonde originale)
- Seringue 60 cc
- Adaptateur NPT 1/8 à 8 μm femelle/femelle
- Adaptateur NPT 1/8 à Swagelok 1/4
NPT 1/8 à Swagelok 1/8
- Ruban Téflon
- Conduit Tygon 3/8" de diamètre
- Valise de transport
- 2 bandes élastiques à crochet

Procédure d'utilisation

- Installer le conduit Tygon entre la sortie du refroidisseur et l'entrée de la trappe à eau de la pompe d'aspiration
- Déterminer la sonde à utiliser correspondant au système d'échappement du chariot à évaluer.
Note: Il faut essayer de faire pénétrer la sonde le plus profondément possible dans le système d'échappement pour minimiser la dilution du gaz d'échappement par l'air ambiant.
- Installer la sonde à l'entrée du refroidisseur.
La sonde originale se visse directement au refroidisseur. Pour les autres sondes, il faut utiliser l'adaptateur en prenant bien soin d'orienter les flèches dans le sens de l'écoulement du gaz d'échappement avant de le visser au refroidisseur. L'utilisation de ruban de Téflon est recommandé pour ce raccord.
- Insérer la sonde dans le pot d'échappement.
- Utiliser les bandes élastiques pour soutenir le refroidisseur et pour le maintenir ainsi que le tube indicateur hors du jet d'écoulement du gaz d'échappement. La chaleur dégagée par celui-ci pourrait interférer lors de la prise de mesure.

- Actionner la pompe d'aspiration .
Note: Si on utilise les sondes 1/8" de diamètre, la bille du rotamètre devra être maintenue entre les lignes bleues du rotamètre afin d'éviter que le tube indicateur ne soit soumis à une trop forte pression négative. Pour les autres sondes, le débit n'est pas critique et la pompe peut fonctionner à un plus grand débit.
- Laisser fonctionner la pompe d'aspiration environ une minute pour purger le refroidisseur (le temps de préparer le tube indicateur et la pompe manuelle).
- Retirer le bouchon rouge du refroidisseur en pinçant le tube afin d'éviter une infiltration de l'air ambiant, insérer la seringue et aspirer une fois. À ce moment l'ensemble du refroidisseur et de la sonde ne devrait contenir que du gaz d'échappement. Remplacer la seringue par le tube indicateur et procéder à la prise de mesure selon les procédures d'utilisation de la pompe manuelle et des tubes indicateurs (0-7 % ou 0-3000 ppm).
- Une clé à molette et une paire de gants, pour se protéger de la chaleur lors de l'insertion de la sonde dans le pot d'échappement, sont recommandées.
- S'assurer de vider la trappe à eau, au besoin, pour éviter qu'un débordement vers la pompe la rende inutilisable.

Annexe 4 Concentration de l'émission et heures d'utilisation

Entreprise	Émission de CO (%)			Utilisation Heures	Émission de CO (%)		
	BR T ₀	BR T ₁	BR T ₂		HR T ₀	HR T ₁	HR T ₂
A	1,10	0,54	0,09	44,8	0,08	0,08	0,08
	0,20	0,09	0,05	217,3	1,56	0,34	4,48
	0,00	6,02*	0,11	243,9	0,00	4,62*	2,88
	0,12	0,03	0,06	226,0	2,18	2,80	4,10
	0,06	0,14	0,24	367,2	0,50	1,81	0,74
C	1,25	2,85	1,11	284,9	0,28	1,70	0,10
	0,93	2,00	0,98	235,0	0,07	0,10	0,36
	2,70	R	0,09	203,1	0,05	R	0,09
	0,10	0,08	0,09	195,0	0,10	0,08	0,10
	0,06	0,05	0,05	256,2	0,07	0,07	0,07
D	0,12	0,12	0,07	168,0	0,18	0,17	0,09
	0,71	1,40	6,10	179,8	0,25	1,17	2,20
	0,12	0,19	0,37	262,6	0,12	0,11	0,12
	3,10	1,10	0,05	328,0	0,08	0,09	0,08
E	3,46	4,65	10,0	543,2	3,70	2,41	4,10
	5,90	5,85	4,02	265,8	0,09	0,35	1,25
	0,70	1,70	0,70	391,5	0,10	0,15	0,07
F	0,63**	0,10**	0,09**	1714,8	0,53**	2,50**	1,12**
	0,00	0,00	0,74	629,2	0,00	0,00	0,50
	0,96**	R**	0,05**	837,5	0,08**	R**	0,20**
	1,69	2,72	0,23	752,3	0,60	0,11	0,08

*: Réajusté

**: Muni de catalyseur

R: En réparation

Annexe 4 suite

Concentration de l'émission et heures d'utilisation

Entreprise	Émission de CO (%)			Utilisation Heures	Émission de CO (%)		
	BR T ₀	BR T ₀	BR T ₂		HR T ₀	HR T ₁	HR T ₂
G	0,21	0,07	0,11	170, 2	0,29	0,19	0,09
	0,07	0,08	0,09	516, 1	0,14	1,15	0,10
	0,16	1,91	0,11	245, 9	0,64	1,44	0,23
	0,08	0,27	2,35	458, 6	0,45	0,78	0,09
H	0,09	0,07	0,08	157, 6	0,09	0,10	0,10
	0,08	0,06	0,07	319, 6	0,09	0,07	0,07
	2,08	4,59	3,90	134, 7	1,71	0,21	0,10
	0,50	0,55	0,00	163, 9	0,00	0,00	0,00
I	7,91	R	5,41	245, 4	7,45	R	7,40
	3,69	*	2,80	194, 5	3,09	*	4,86
J	2,23	R	1,14	378, 8	2,32	R	2,27
	3,42	2,85	0,23**	212, 4	2,74	1,35	0,26**
	0,55	0,35	0,02	406, 1	0,21	1,53	0,33
	2,10	3,45	1,44	645, 1	0,06	0,08	0,06
	5,26	1,59	4,23	630, 1	0,10	0,16	5,30
	1,85	2,00	3,20	501, 6	0,08	0,08	0,08
	1,74	1,73	0,97	258, 1	0,48	0,78	0,30
	0,10	0,10	0,11	105, 5	0,17	0,12	0,11
	5,65	5,70	6,02	427, 5	4,42	3,29	6,58
	2,88	4,30	3,43	246, 6	0,14	0,88	0,18

*: Chariot non en opération

**: Tuyau d'échappement perforé

R: En réparation