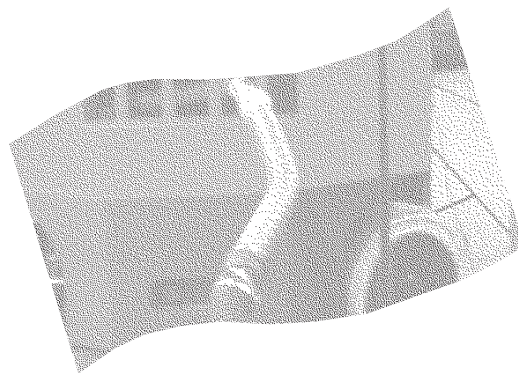


**Évaluation d'un système  
d'évacuation des gaz  
d'échappement lors  
de l'entretien des chariots  
élévateurs au propane**



**ÉTUDES ET  
RECHERCHES**

Brigitte Roberge  
Luc Ménard  
Alain Turcotte  
Yves Beaudet  
Louis Lazure

R-458

**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](http://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 : 978-2-89631-037-1 (version imprimée)  
ISBN 10 : 2-89631-037-1 (version imprimée)  
ISBN 13 : 978-2-89631-059-3 (PDF)  
ISBN 10 : 2-89631-059-2 (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](mailto:publications@irsst.qc.ca)  
**[www.irsst.qc.ca](http://www.irsst.qc.ca)**  
Institut de recherche Robert-Sauvé  
en santé et en sécurité du travail,  
août 2006

# Évaluation d'un système d'évacuation des gaz d'échappement lors de l'entretien des chariots élévateurs au propane

Brigitte Roberge, Service soutien à la recherche et à l'expertise, IRSST

Luc Ménard, Direction de la prévention-inspection, CSST

Alain Turcotte, Beaulier inc.

Yves Beaudet, Services et expertises de laboratoire, IRSST

Louis Lazure, Service valorisation et relations avec les partenaires, IRSST

# 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](http://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 :

Jean-Louis Marcoux, Liftow limitée

William McGratten, Liftow Limitée

Marc Baril, IRSST

Rodrigue Gravel, IRSST

France C. Lafontaine, IRSST

## SOMMAIRE

La problématique de l'exposition au monoxyde de carbone (CO) est une préoccupation constante pour les intervenants en santé et en sécurité du travail au Québec. Ce gaz incolore et inodore est une des causes d'exposition pouvant mener à une intoxication reliée au travail notamment des mécaniciens lors des travaux d'entretien de moteurs à combustion interne alimentée au propane de chariots élévateurs. Parmi les travaux d'entretien, l'ajustement des systèmes de carburation et d'allumage de ces véhicules peut entraîner une exposition sévère au CO des mécaniciens. De façon générale, ces travaux d'entretien sont souvent exécutés chez le client, sans accès à des installations appropriées à leur exécution.

L'objectif de l'étude est de proposer un système d'évacuation des gaz d'échappement lors de l'entretien des chariots élévateurs pour une utilisation hors atelier. Un tel système, adapté aux spécificités des conduits d'échappement des chariots (configuration, emplacement) permettrait de réduire l'exposition au CO des mécaniciens, mais également des travailleurs dont les postes de travail sont situés à proximité des lieux où ces travaux d'entretien sont exécutés. Le système doit être étudié en fonction de la faisabilité de son utilisation et de sa capacité à évacuer les gaz d'échappement.

L'équipe de travail a privilégié un système qui consiste en un tuyau flexible d'une longueur de 9 m ou moins et d'un diamètre minimal de 75 mm, jumelé ou non à un ventilateur d'appoint. Les travaux de l'étude ont permis d'estimer la capacité de ce système à évacuer les gaz et de comparer le débit d'écoulement théorique des gaz d'échappement à celui calculé à l'aide des mesures de vitesse d'écoulement à l'extrémité du tuyau du système.

Des essais pour estimer la capacité d'évacuer les gaz ont été réalisés en utilisant les concentrations moyennes de monoxyde de carbone (CO) en postes fixes à proximité du chariot. La concentration au cours d'un essai ne devait pas dépasser la moitié de la valeur d'exposition moyenne pondérée (VEMP), 17 ppm de CO, niveau d'action fréquemment utilisé en hygiène du travail.

Au regard des résultats, la capacité du système (tuyau flexible de 9 m de long et ~ 75 mm de diamètre) est estimée efficace pour évacuer les gaz d'échappement émis au cours des travaux d'entretien. Pour un chariot ayant une mauvaise qualité de combustion, dont la concentration de CO des gaz de combustion serait supérieure à 0,8 %, l'utilisation d'un ventilateur d'appoint étanche est recommandée.

## TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE.....	ii
TABLE DES MATIÈRES .....	iii
Liste des figures .....	iv
Liste des tableaux.....	iv
1. Introduction.....	1
2. Objectifs de l'étude .....	3
3. État de la situation.....	5
3.1 Ventilation générale (dilution).....	5
3.2 Évacuation locale avec ou sans ventilateur.....	6
3.2.1 Évacuation locale multi postes avec ventilateur .....	6
3.2.2 Évacuation locale mono poste avec ou sans ventilateur .....	7
3.3 Chariot à l'extérieur ou dans une ouverture.....	8
3.4 Parc de chariots .....	9
3.5 Débit d'écoulement des gaz d'échappement.....	10
4. Méthodologie .....	13
4.1 Système d'évacuation .....	13
4.2 Essais de la capacité d'évacuation du système .....	13
5. Résultats.....	17
5.1 Essais relatifs à la capacité d'évacuation du système .....	17
5.1.1 Débit d'écoulement des gaz d'échappement.....	19
6. Discussion .....	21
6.1 Contrainte d'utilisation du système d'évacuation.....	21
6.2 Capacité d'évacuation du système .....	22
6.3 Débit des gaz d'échappement .....	23
7. Conclusion .....	25
8. Références.....	27
ANNEXES.....	29
1. Plan d'un système d'évacuation locale multi postes avec ventilateur .....	29
2. Parc de chariots .....	30
3. Description des travaux d'entretien .....	33

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1 : Efficacité de la dilution .....	6
Figure 2 : Évacuation locale multi postes avec ventilateur d'appoint .....	7
Figure 3 : Évacuation locale mono poste sans ventilateur d'appoint.....	7
Figure 4 : Évacuation locale mono poste avec ventilateur d'appoint .....	8
Figure 5 : Chariot dans une ouverture en pression négative du vent .....	8
Figure 6 : Chariot dans une ouverture en pression positive du vent.....	9
Figure 7 : Schéma des postes de mesures (CO, vitesse d'écoulement) autour du chariot.....	14
Figure 8 : Conduits particuliers de sortie des gaz d'échappement de chariot élévateur .....	22

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1 : Position du conduit de sortie des gaz d'échappement .....	9
Tableau 2 : Cycle de fonctionnement d'un moteur quatre temps .....	10
Tableau 3 : Description des chariots à l'étude .....	17
Tableau 4 : Résultats des essais pour estimer la capacité d'évacuation des gaz d'échappement ..	18
Tableau 5 : Débit d'échappement théorique et mesuré à l'aide du tube de Pitot.....	19
Tableau 6 : Vitesse mesurée à l'aide du thermo anémomètre et débits réel et théorique .....	20

## 1. INTRODUCTION

La problématique de l'exposition au monoxyde de carbone (CO) est une préoccupation constante pour les intervenants en santé et en sécurité du travail au Québec. Ce gaz incolore et inodore est une des causes d'exposition pouvant mener à une intoxication reliée au travail notamment des mécaniciens lors des travaux d'entretien de moteurs à combustion interne alimentée au propane de chariots élévateurs.

La problématique du CO émis par les chariots constitue une priorité d'intervention et de recherche à laquelle l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) contribue depuis plusieurs années (1). La présente étude origine d'une demande de la Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST) relative au développement d'un système d'évacuation des gaz d'échappement émis lors d'entretien hors atelier de ces véhicules.

Parmi les travaux d'entretien, l'ajustement des systèmes de carburation et d'allumage des véhicules à moteur à combustion interne alimentée au propane peut entraîner une exposition sévère au CO des mécaniciens. Selon le demandeur, les concentrations de CO dépassent fréquemment les valeurs limites d'exposition (VLE), notamment la valeur d'exposition de courte durée (VECD) de 200 ppm, prescrite dans le *Règlement sur la santé et la sécurité du travail* (RSST) (2).

De façon générale, en atelier de mécanique automobile notamment, l'évacuation des gaz d'échappement émis par les véhicules s'effectue au moyen d'une canalisation rigide fixée à la structure du bâtiment et raccordée par un tuyau flexible à la sortie du conduit d'échappement. Dans le cas des chariots élévateurs, cette approche d'évacuation des gaz présente des limites en raison de la localisation et de la configuration de leur système d'échappement, sans compter que ces travaux d'entretien sont souvent effectués chez le client, sans un accès à une installation permanente de ventilation mécanique.



## 2. OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

L'objectif de l'étude est de proposer un système d'évacuation des gaz d'échappement lors de l'entretien des chariots élévateurs à moteur à combustion interne alimentée au propane, effectué hors atelier. Un tel système devrait permettre de réduire l'exposition au CO des mécaniciens, mais également des travailleurs dont les postes de travail sont situés à proximité des lieux où ces travaux d'entretien sont exécutés. Le système devra être évalué en fonction des limites relatives à la localisation et à la configuration du système d'échappement et de la faisabilité d'utilisation chez les clients.



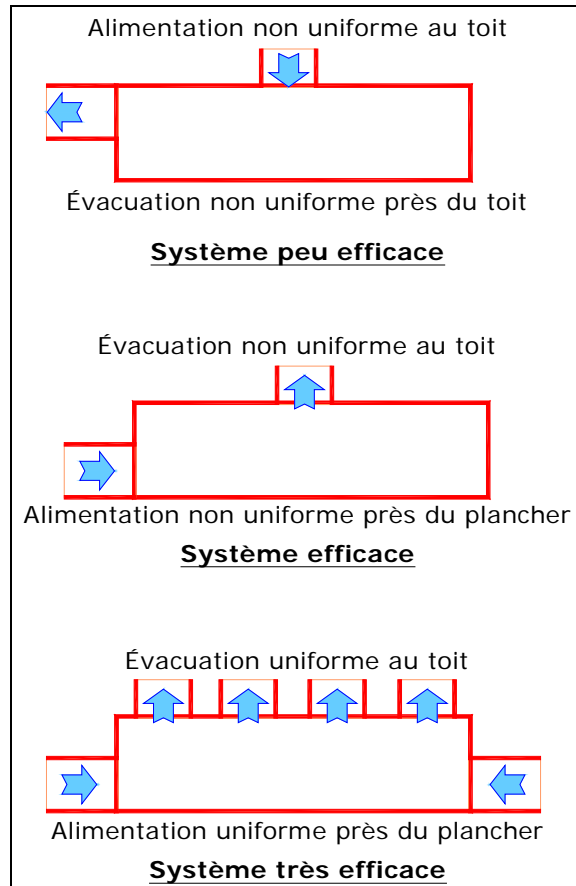
### **3. ÉTAT DE LA SITUATION**

Afin que les concentrations demeurent sous les valeurs limites d'exposition (VLE) prescrites par le RSST, notamment la valeur d'exposition moyenne pondérée (VEMP) de 35 ppm et de la valeur d'exposition de courte durée (VECD) de 200 ppm pour le CO (2), certaines approches sont généralement préconisées :

- 1) Ventilation générale (dilution) -- travail à l'intérieur du bâtiment,
- 2) Ventilation locale avec ou sans ventilateur – travail à l'intérieur du bâtiment,
- 3) Ventilation naturelle – travail à l'extérieur ou dans une ouverture du bâtiment.

#### **3.1 Ventilation générale (dilution)**

Le principe d'une ventilation générale par dilution des contaminants consiste à introduire un débit d'air suffisant pour diluer le contaminant présent. Cette méthode peut nécessiter un grand débit d'air selon l'efficacité de dilution du système retenu. En fait, plus le mélange de l'air neuf avec l'air ambiant est homogène, meilleure sera la dilution. L'appréciation du potentiel de dilution d'un système requiert une certaine expertise et une bonne connaissance des patrons d'écoulement d'air. Les conditions aérauliques (vitesse, direction, etc.) sont susceptibles de varier en fonction des conditions ambiantes d'opération (ouverture de portes, température). Des exemples de l'efficacité de la dilution sont illustrés à la figure 1.



**Figure 1 : Efficacité de la dilution**

Dans la présente situation, la ventilation générale par dilution offrirait peu d'intérêt puisque pour être efficace des débits d'air élevés devront être introduits en raison de la proximité du mécanicien de la source d'émission, des concentrations élevées de CO émis et de la VLE du CO.

### 3.2 Évacuation locale avec ou sans ventilateur

La ventilation locale implique une installation de ventilation mécanique plus élaborée qu'une ventilation générale mais comporte les avantages suivants :

- 1) Captage à la source des contaminants;
- 2) Débit d'évacuation faible en comparaison à la ventilation générale;
- 3) Débit de compensation additionnel non requis lorsque le débit d'évacuation est égal ou moindre que le débit d'air neuf prescrit par règlement.

#### 3.2.1 Évacuation locale multi postes avec ventilateur

La ventilation locale avec évacuation multi postes est utile dans les ateliers d'entretien, notamment pour ceux de chariots élévateurs où ces derniers sont installés à un poste fixe de travail. La figure 2 illustre un arrangement général d'une ventilation locale. Les plans détaillés de celle-ci sont présentés à l'annexe 1.

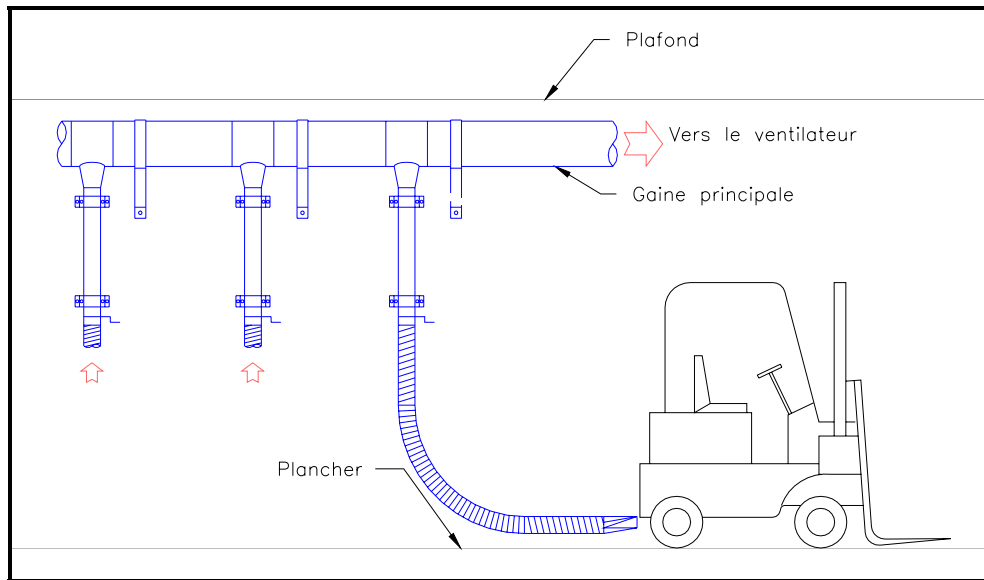


Figure 2 : Évacuation locale multi postes avec ventilateur d'appoint

### 3.2.2 Évacuation locale mono poste avec ou sans ventilateur

Il est possible d'avoir une évacuation locale sans ventilateur (passive) ou avec ventilateur d'appoint. Dans le cas des chariots élévateurs et d'une ventilation locale passive, les pistons du moteur évacuent les gaz d'échappement de la chambre de combustion vers la sortie du conduit d'échappement. Un ventilateur d'appoint peut également être inséré dans ce circuit d'évacuation. Les figures 3 et 4 illustrent ce type de ventilation locale sans et avec un ventilateur d'appoint.

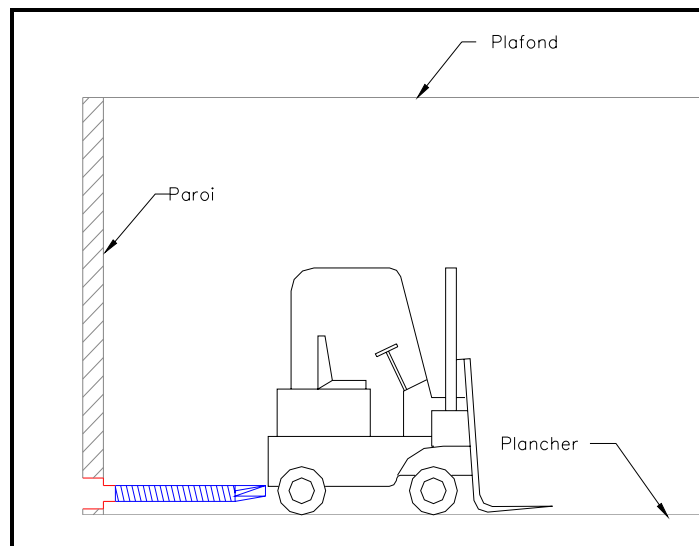


Figure 3 : Évacuation locale mono poste sans ventilateur d'appoint

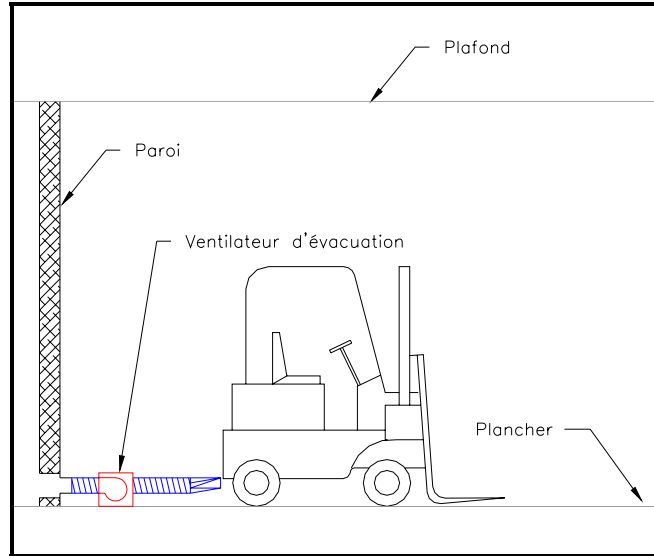


Figure 4 : Évacuation locale mono poste avec ventilateur d'appoint

### 3.3 Chariot à l'extérieur ou dans une ouverture

Un chariot installé à l'extérieur du bâtiment ne causera aucun problème de contamination de l'air ambiant dans les aires de travail. Au Québec, à l'exception de la saison froide, cette technique est souvent utilisée par les mécaniciens.

Le chariot peut également être installé dans une ouverture vers l'extérieur, notamment une porte de garage. Cette installation permet d'évacuer directement les gaz d'échappement à l'extérieur. Toutefois, pour être efficace et ne pas contaminer le milieu de travail, la direction des vents ne doit pas provoquer un retour des gaz d'échappement à l'intérieur du bâtiment. Les figures 5 et 6 illustrent cette installation fréquemment utilisée par les mécaniciens de chariots lors de travaux effectués chez les clients en fonction de la direction des vents.

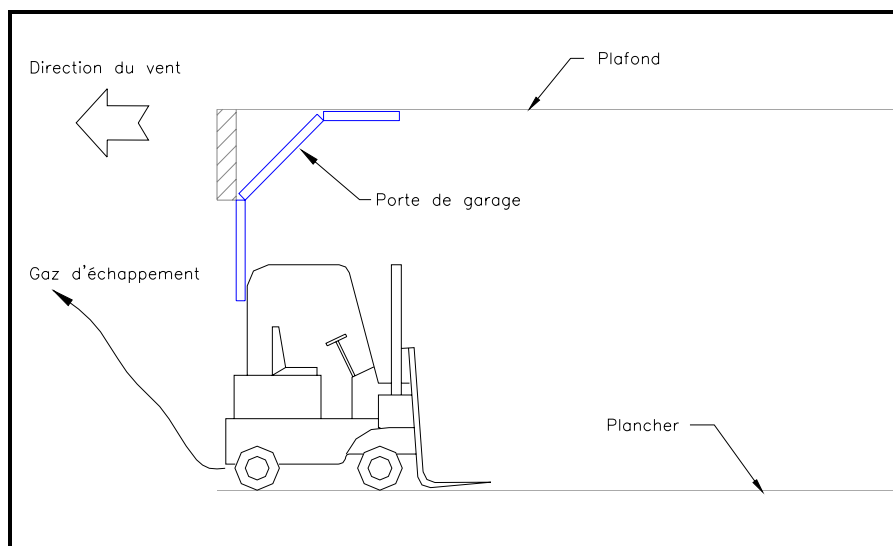


Figure 5 : Chariot dans une ouverture en pression négative du vent

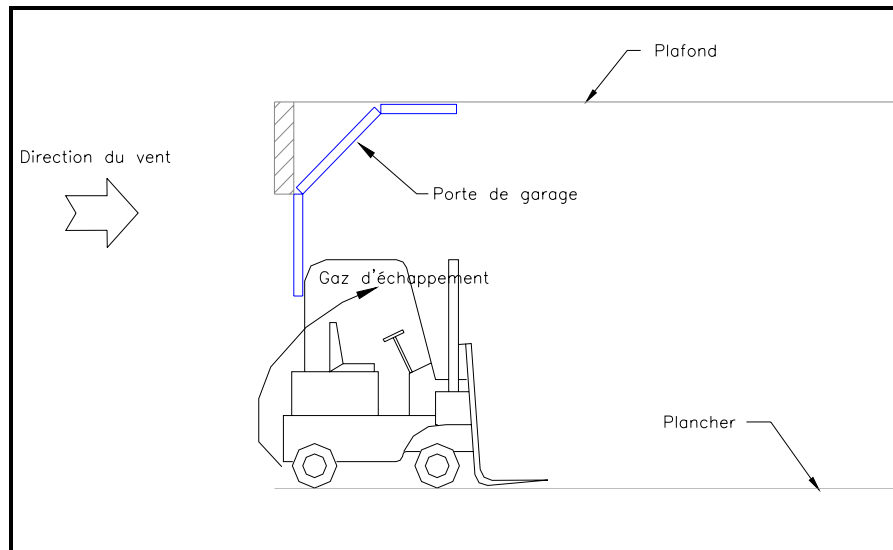



Figure 6 : Chariot dans une ouverture en pression positive du vent

### 3.4 Parc de chariots

Les gaz produits par la combustion interne sont évacués via le système d'échappement qui se termine par un conduit de sortie. La position de ce conduit varie selon les marques et les modèles de chariots et constitue une contrainte, plus ou moins importante selon l'année de fabrication du chariot. De façon générale, il y a trois positions qui sont illustrées et décrites au tableau 1.

Tableau 1 : Position du conduit de sortie des gaz d'échappement

Description	Position du conduit d'échappement
<p><b>A :</b> L'échappement sort au niveau de l'ouverture dans la partie centrale du contrepoids permettant l'évacuation de l'air passant au travers du radiateur. Le conduit d'échappement se situe entre le contrepoids et le radiateur à la hauteur de cette ouverture. Il peut être ouvert à son bout (<b>A-1</b>) ou perforé sur le côté (<b>A-2</b>).</p>	
<p><b>B :</b> Le contrepoids a un orifice dans sa partie inférieure. L'échappement est ouvert à son bout et les gaz sont dirigés vers l'arrière du chariot en passant par cet orifice. Il est également possible que le conduit d'échappement passe sous le contrepoids (<b>B-1</b>) ou sorte à proximité de la roue arrière (<b>B-2</b>).</p>	

Description	Position du conduit d'échappement
<p><b>C :</b> Les gaz d'échappement sont évacués vers le haut. Cette direction est fréquemment utilisée pour les chariots équipés d'un moteur au diesel.</p>	

Note : La lettre et le chiffre entre parenthèse font référence à la position du conduit de sortie des chariots constituant le parc et ceux faisant partie de l'étude (voir tableau 3).

L'International Industrial Truck Association (IITA) a établi un classement des chariots élévateurs divisé en sept classes. Les chariots au propane sont principalement de la classe IV et la classe V. Ces classes de chariots, sont également citées dans la Norme B335-04 de l'Association canadienne de normalisation (CSA) (3).

Le parc de chariots est brièvement décrit à l'annexe 2 et les principaux travaux d'entretien mécanique à l'annexe 3.

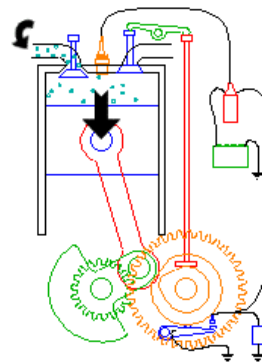
### 3.5 Débit d'écoulement des gaz d'échappement

Le moteur à quatre temps, connu sous le nom de cycle d'Otto, a été démontré par Nikolaus Otto en 1876 (4). Une des terminologies utilisées est **cycle à quatre temps**. Le moteur à quatre temps est probablement le type de moteur le plus usuel de nos jours. Il actionne la majorité des véhicules motorisés. La pleine course du piston comprend quatre phases : l'admission, la compression, la combustion et l'échappement. Un cycle complet sollicite deux révolutions du vilebrequin.

**Tableau 2 : Cycle de fonctionnement d'un moteur quatre temps <sup>1</sup>**

**ADMISSION :** Pendant la course d'admission, le piston, en descendant, aspire un mélange carburant/air dans le cylindre.

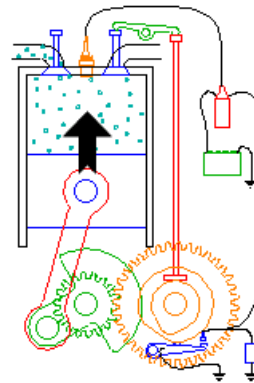
La direction du piston est alors descendante. La position de départ du piston est le point mort haut, celle de la soupape d'admission ouverte et celle d'échappement fermée.



<sup>1</sup> L'origine des dessins est : <http://www.keveney.com/otto.html>

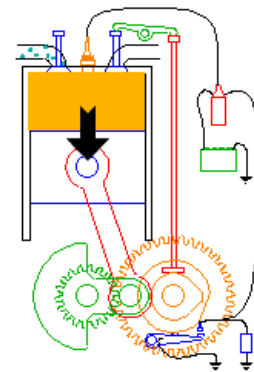
**COMPRESSION** : Le piston en montant comprime le mélange carburant/air dans la chambre de combustion. Il y a alors augmentation de la température.

La direction du piston est montante. La position de départ du piston est le point mort bas, celle de la soupape d'admission fermée et celle d'échappement fermée.



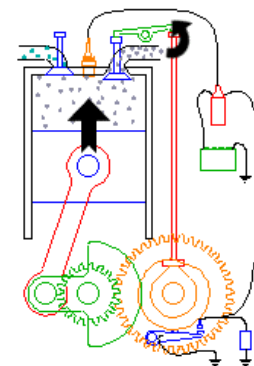
**COMBUSTION** : La bougie produit une étincelle et allume le mélange carburant/air comprimé. Les gaz qui brûlent prennent alors de l'expansion et exercent sur le piston une forte pression forçant le piston à descendre.

La direction du piston est descendante. La position de départ du piston est le point mort haut, celle de la soupape d'admission fermée et celle d'échappement fermée.



**ÉCHAPPEMENT** : Le piston en remontant force les gaz brûlés à sortir par la soupape d'échappement qui est en position ouverte. La direction du piston est montante.

La position de départ du piston est le point mort bas, celle de la soupape d'admission fermée et celle d'échappement ouverte.



Le débit d'écoulement théorique sert à définir l'efficacité volumétrique d'un moteur à un régime déterminé. L'équation 1 permet le calcul du débit d'écoulement des gaz nécessaire à un moteur

fonctionnant à 100 % d'efficacité. Ce calcul<sup>2</sup> est effectué en estimant que la température d'admission est 21 °C. Ce débit (TAF) est fonction de la cylindrée<sup>3</sup>, exprimée en litres, et du régime sollicité du moteur, exprimé en tour par minute (tr/min), selon le type de moteur.

$$TAF = \frac{(ED)(rpm)(VE)}{(ES)(C)} \quad (1)$$

Où :	TAF	=	Débit théorique des gaz d'échappement (l/s) « <i>Theoretical air flow</i> ».
	ED	=	Cylindrée (litres) « <i>Engine displacement</i> ».
	rpm	=	Régime du moteur (tr/min).
	VE :	=	Efficacité volumétrique théorique (100 % ) « <i>Volumetric efficiency</i> ».
	ES	=	Type de moteur (4 temps = facteur 2).
			<b>Note</b> : Chaque piston est en mode échappement à chaque deux tours.
	C	=	Facteur de conversion pour les unités.

L'action du moteur expulse les gaz d'échappement. Elle devait générer un débit d'écoulement des gaz, à la sortie du conduit d'échappement, suffisant pour permettre l'évacuation des gaz via une canalisation.

<sup>2</sup> [help@installuniversity.com](mailto:help@installuniversity.com) Révisé juin 2003. Volumetric efficiency : Calculating yours cars volumetric efficiency.

<sup>3</sup> La cylindrée est une information fournie par le fabricant du moteur.

## 4. MÉTHODOLOGIE

Un concept d'enceinte de confinement avec rideau et installation d'un évacuateur mural serait souhaitable, mais il est difficilement applicable aux réalités des travaux sur les chariots hors atelier. Celui retenu consistait en un système d'évacuation (canalisation) des gaz d'échappement transportable et relativement compact.

### 4.1 Système d'évacuation

Le système d'évacuation doit avoir une capacité satisfaisante pour évacuer les gaz d'échappement, donc le monoxyde de carbone CO. Cette capacité doit permettre le maintien des concentrations de CO en deçà des VLE prescrits dans le RSST (2). De plus, le système doit être simple et convivial lors de son installation hors atelier.

L'équipe de travail a retenu un système d'évacuation composé d'un tuyau flexible de 9 m (30 pieds) de longueur et de ~75 mm (3 pouces) de diamètre avec un adaptateur flexible de 50 mm (2 pouces) pour le raccordement au conduit d'échappement du chariot. Ce type de tuyau flexible est couramment utilisé dans des systèmes fixes pour atelier de mécanique. Un ventilateur d'appoint peut y être inséré ou non. De plus, l'adaptateur doit s'adapter de façon universelle sur les conduits d'échappement des chariots constituant le parc actuel. Son étanchéité ne fait pas partie des paramètres étudiés, car une étanchéité «parfaite» pourrait causer un désajustement du moteur. De plus, l'état d'étanchéité des systèmes d'échappement en place n'est pas investigué, ni documenté. Or, l'étanchéité de ces systèmes est fréquemment déficiente.

Le tuyau et l'adaptateur doivent résister à une température d'opération d'au moins 260 °C avec des pointes intermittentes à 315 °C. Le modèle SF-2 de la compagnie Hi Tech Hose Inc. rencontre ces spécifications<sup>4</sup>. Le ventilateur d'appoint utilisé pour les essais était *Portable Removal System* modèle VES3-PORT fabriqué par la compagnie Airflow© Systems Inc. Selon les spécifications du fabricant, ce ventilateur est conçu pour expulser les gaz d'échappement de véhicules motorisés. Son moteur a une capacité de 1,5 chevaux vapeur (HP) et un débit d'évacuation nominal de 106 l/s (225 pi<sup>3</sup>/min).

### 4.2 Essais de la capacité d'évacuation du système

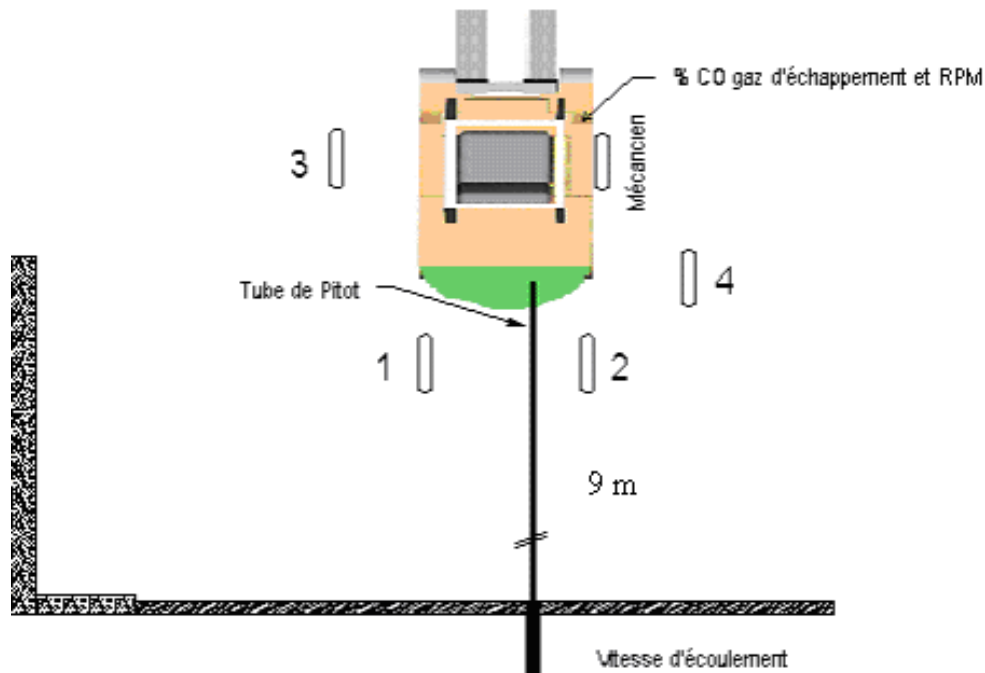
Des essais relatifs à la capacité d'évacuer les gaz d'échappement émis au cours des travaux d'entretien simulés ont été effectués. Cette capacité est estimée par le maintien des concentrations de CO autour du véhicule sous un seuil établi à titre de critère, soit la moitié de la valeur d'exposition moyenne pondérée (VEMP), 17 ppm de CO (niveau d'action couramment utilisé en hygiène du travail). Cette concentration tient compte, en partie, du manque d'étanchéité de l'adaptateur au conduit d'échappement et de celui du système d'échappement. Les concentrations de CO en postes fixes autour du chariot sont relevées avant les essais et pendant ceux-ci. Si au cours d'un essai, le système ne parvenait pas à évacuer les gaz d'échappement, la longueur du tuyau pouvait être réduite par tranche de 3 m ou un ventilateur pouvait être inséré.

---

<sup>4</sup> [www.hitechhose.com](http://www.hitechhose.com)

Les postes de prélèvement de CO, schématisés à la figure 7, sont :

- Mécanicien : Correspond à la zone respiratoire du mécanicien
- Postes 1 et 2 : 275 cm (108 pouces) à l'arrière gauche et droit du chariot;
- Poste 3 : 115 cm (45 pouces) sur le côté gauche opposé au mécanicien
- Poste 4 : 155 cm (62 pouces) à la droite à l'extrémité du chariot.



**Figure 7 : Schéma des postes de mesures (CO, vitesse d'écoulement) autour du chariot**

Ces prélèvements ont été effectués à l'aide de détecteurs de marque Dräger modèle PAC III. Ces détecteurs utilisés ont été étalonnés selon la méthode d'étalonnage 3-B (1995) de l'IRSST avant chaque session d'essais. Leur principe de détection est par électrochimie avec une exactitude de  $\pm 5\%$  de la lecture.

L'action du moteur expulse les gaz d'échappement en générant un débit d'écoulement des gaz, à la sortie du conduit d'échappement, suffisant pour permettre leur évacuation. Le calcul du débit théorique d'écoulement (équation 1) sert de comparatif à une vitesse d'écoulement mesurée afin de valider la capacité du système. Si ce débit n'est pas suffisant pour les évacuer jusqu'à l'extrémité du tuyau du système, il faudra ajouter un ventilateur d'appoint.

Le calcul du débit théorique de l'écoulement des gaz d'échappement peut être effectué à l'aide de l'équation 1 décrit à la section 3. La vitesse d'écoulement (figure 7) a été mesurée à l'extrémité du tuyau flexible dans un adaptateur ayant un diamètre de  $\sim 101,6$  mm, à l'aide d'un thermo anémomètre de marque TSI® modèle 8384A. Cet adaptateur a un diamètre plus grand afin de prendre un plus grand nombre de points de mesure. Le thermo anémomètre a une exactitude de  $\pm 3\%$  de la lecture. Il a été étalonné selon la méthode d'étalonnage 38-A (1994) de l'IRSST. Un tube de Pitot et un micro manomètre de marque Dwyer modèle Microtector

$\pm 0,005$  mm H<sub>2</sub>O ont également été utilisés pour mesurer la pression dynamique de cet écoulement à moins d'un mètre derrière le chariot dans le tuyau flexible du système ayant un diamètre de  $\sim 75$  mm et un autre de 50 mm.

L'équation 2 permet de calculer la vitesse à partir des pressions dynamiques et l'équation 3 le débit réel des gaz d'échappement.

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot H \cdot \rho_l \cdot g}{\rho}} \quad (2)$$

- Où :  $V$  = Vitesse moyenne (m/s).  
 $H$  = Différentiel de hauteur de colonne de liquide (m).  
 $\rho$  = Densité des gaz d'échappement à 70 °C et 100 % HR, (0,909 kg/m<sup>3</sup>).  
 $g$  = Accélération gravitationnelle (9,81 m/sec<sup>2</sup>).  
 $\rho_l$  = Densité du liquide du manomètre en kg/m<sup>3</sup> à 25 °C (997 kg/m<sup>3</sup>).

$$Q = V \times A \quad (3)$$

- Où :  $Q$  = Débit réel des gaz d'échappement (m<sup>3</sup>/s).  
 $V$  = Vitesse de l'air (m/s).  
 $A$  = Aire de la canalisation (m<sup>2</sup>).

Afin d'obtenir un débit exprimé en l/s, il faut appliquer un facteur 1000 au résultat de l'équation 3. Les résultats de chacune des équations pourront ainsi être comparés.

Le résultat de l'équation 1 sera comparé au débit réel ( $Q$  de l'équation 3) calculé à l'aide des vitesses mesurées d'écoulement à l'extrémité du tuyau flexible. La vitesse mesurée devrait être suffisante pour permettre l'évacuation des gaz sans refoulement de ceux-ci dû à une perte de charge importante causée par la longueur, le diamètre, la structure ondulée du tuyau flexible du système retenu. Un refoulement des gaz entraînerait une contamination de l'air ambiant, plus ou moins significative, notamment au poste de travail du mécanicien.

Enfin, la concentration du CO dans les gaz d'échappement a été mesurée au moyen d'un analyseur de gaz chauds d'échappement conçu à cet effet de marque Sun modèle DGA 1000. Ce dernier appartient à la firme d'entretien où les essais se déroulaient. Il est entretenu par celle-ci. Pour les présents essais, cette mesure sert à caractériser la qualité de la combustion à titre indicatif. Le nombre de tours par minute (tr/min) a été également relevé à l'aide d'un tachymètre.

Les essais ont été faits sur différents véhicules ayant des configurations distinctes de conduit d'échappement. Les régimes du moteur privilégiés pour les essais sont le ralenti bas et l'accélééré. Toutefois, le ralenti haut a été utilisé lors d'un essai; ce régime, selon le mécanicien participant aux essais, serait moins sollicité lors des différents travaux à effectuer sur un chariot. Le moteur tournait à un régime déterminé pendant une période de 20 minutes en continu. Cette période correspond aux pires conditions de contamination générée au cours d'un entretien.

<sup>5</sup> La cylindrée est une information fournie par le fabricant du moteur.

La séquence d'un essai se déroulait ainsi :

1. Le moteur tourne au ralenti bas sans ventilateur avec la longueur maximale (9 m) du tuyau flexible pendant 20 minutes, si possible :
  - Advenant un échec du test (concentration de CO aux postes de prélèvement autour du chariot : > 17 ppm), il y a ouverture des portes et/ou la mise en opération d'un ventilateur pour abaisser la concentration de CO dans l'atelier.
  - Reprise du test, en utilisant 3 m de moins, donc 6 m de tuyau flexible.
  - Advenant un échec (concentration de CO aux postes de prélèvement autour du chariot : > 17 ppm), reprise en utilisant le ventilateur avec la longueur maximale de tuyau.
2. Le moteur tourne à l'accélééré sans ventilateur avec la longueur maximale (9 m) du tuyau flexible pendant 20 minutes, si possible :
  - Advenant un échec du test (concentration de CO aux postes de prélèvement autour du chariot : > 17 ppm), il y a ouverture des portes et/ou la mise en opération d'un ventilateur pour abaisser la concentration de CO dans l'atelier.
  - Reprise du test, en utilisant 3 m de moins, donc 6 m de tuyau flexible.
  - Advenant un échec (concentration de CO aux postes de prélèvement autour du chariot : > 17 ppm), reprise en utilisant le ventilateur avec la longueur maximale de tuyau.

Au cours des essais, les mesures suivantes étaient relevées :

- Concentration du CO dans les gaz d'échappement,
- Nombre de tours/minute du moteur,
- Concentration du CO aux postes autour du chariot,
- Vitesse d'écoulement à l'extrémité du tuyau flexible dans un tuyau de 101 mm de diamètre (calcul du débit d'écoulement),
- Pression dynamique à 1 m du chariot dans le tuyau flexible (75 mm et 50 mm de diamètre) (calcul du débit d'écoulement).

## 5. RÉSULTATS

Le système retenu est un tuyau d'une longueur de 9 m ou moins et d'un diamètre minimum de ~75 mm avec ou sans ventilateur. Les résultats des essais relatifs à la capacité d'évacuation de ce système et le calcul du débit d'écoulement sont présentés dans cette section.

### 5.1 Essais relatifs à la capacité d'évacuation du système

Dans le cadre de l'étude, des essais pour estimer la capacité du système à évacuer les gaz d'échappement ont été faits en mesurant les concentrations de CO en air ambiant et dans les gaz d'échappement ainsi que la vitesse d'écoulement des gaz.

Le tableau 3 énumère des caractéristiques des chariots utilisés lors des essais. Ces chariots sont représentatifs du parc existant.

**Tableau 3** : Description des chariots à l'étude

Chariot	Cylindr�	Mélangeur	Positionnement du conduit d'échappement *
#1	4,3 litres, 6 cylindres	Aisin	Sous le contrepoids dans sa partie centrale (B-1)
#2	2,507 litres, 4 cylindres	Algas	Dans l'ouverture du contrepoids (A-1)
#3	2,07 litres, 4 cylindres	Impco	Dans l'ouverture du contrepoids (A-1)
#4	2,07 litres, 4 cylindres	Impco	Dans l'ouverture du contrepoids (A-1)
#5	2,184 litres, 4 cylindres	Impco	Dans l'ouverture du contrepoids (A-1)
#6	2,2 litres, 4 cylindres	Aisin	Sous le contrepoids dans sa partie centrale (B-1)
#7	4,3 litres, 6 cylindres	Aisin	Sous le contrepoids dans sa partie centrale (B-1)

\* : La lettre suivie d'un chiffre fait référence à la description du tableau 1.

Les résultats des essais de capacité d'évacuation du système, avec ou sans ventilateur, sont colligés au tableau 4. Le régime du moteur, la vitesse moyenne d'écoulement de l'air, les concentrations de CO à la sortie du moteur, en milieu ambiant avant le début des essais (bruit de fond), aux postes fixes y sont rapportés.

Tableau 4 : Résultats des essais pour estimer la capacité d'évacuation des gaz d'échappement

Chariot	Régime du moteur (nombre de tour/minute)	Système d'évacuation *	Vitesse (m/s) ( $\mu \pm s$ **)	Concentration moyenne de CO						
				Sortie du moteur (%)	Bruit de fond (ppm)	Mécanicien (ppm)	Poste 1 (ppm)	Poste 2 (ppm)	Poste 3 (ppm)	Poste 4 (ppm)
#1	Ralenti bas (800 tr/min)	9m x 75 mm/SV	0,83 ± 0,15	0,15	4	7	9	7	4	8
	Ralenti haut (1050 tr/min)	9m x 75 mm/SV	0,80 ± 0,05	0,08	4	7	7	6	5	6
	Ralenti haut (1050 tr/min)	9m x 75 mm /	2,54 ± 0,25	0,08	4	4	3	4	3	4
	Accélééré (2350 tr/min)	9m x 75 mm/V	2,54 ± 0,25	0,08	4	4	4	4	4	4
	Accélééré (2350 tr/min)	9m x 75 mm/SV	2,28 ± 0,09	0,08	4	6	5	5	4	5
#2	Ralenti bas (870 tr/min)	9m x 75 mm/SV	2,19 ± 0,17	11,2	5	32 ***	30 ***	25 ***	24 ***	28 ***
	Ralenti bas (870 tr/min)	6m x 75 mm/SV	1,51 ± 1,01	11,2	5	13 ***	16 ***	16 ***	13 ***	14 ***
	Accélééré (2200 tr/min)	6m x 75 mm/SV	1,85 ± 0,14	4,82	5	19 ***	29 ***	25 ***	19 ***	25 ***
	Ralenti bas (870 tr/min)	9m x 75 mm/V	2,54 ± 0,25	11,2	7	9 ***	10 ***	16 *** Note	9 ***	d.t.
#3	Ralenti bas (900 tr/min)	9m x 75 mm/SV	1,76 ± 0,26	0,10	4	5	5	5	5	5
	Accélééré (2200 tr/min)	9m x 75 mm/SV	2,46 ± 0,21	0,13	4	6	5	5	5	6
#4	Ralenti bas (660 tr/min)	9m x 75 mm/SV	1,05 ± 0,05	0,08	4	4	4	4	4	5
	Accélééré (2500 tr/min)	9m x 75 mm/SV	2,48 ± 0,43	0,55	4	6	6	6	6	6
#5	Accélééré (2400 tr/min)	9m x 75 mm/SV	1,54 ± 0,11	1,85	5	17	20	29	17	17
	Ralenti bas (900 tr/min)	9m x 75 mm/V	2,54 ± 0,25	6,00	1	8	3	2	2	3
#6	Ralenti bas (895 tr/min)	9m x 75 mm/SV	0,97 ± 0,11	0,29	4	4	5	5	4	5
	Accélééré (2500 tr/min)	9m x 75 mm/SV	1,44 ± 0,12	0,40	5	5	5	5	5	5
#7	Ralenti bas (754 tr/min)	9m x 50 mm/SV	3,50 ****	0,14	3	19 ***	22 ***	18 ***	20 ***	20 ***
	Accélééré (2102 tr/min)	9m x 50 mm/SV	9,75 ****	0,12	4	11 ***	18 ***	14 ***	18 ***	16 ***
	Ralenti bas (770 tr/min)	9m x 75 mm/SV	5,79 ****	0,18	3	6	9	8	7	8
	Accélééré (2100 tr/min)	9m x 75 mm/SV	8,83 ****	0,14	5	5	7	5	6	6

\* : Système d'évacuation des gaz d'échappement : longueur et diamètre du tuyau flexible utilisé avec (V) ou sans ventilateur (SV).

Bruit de fond : Concentration initiale en ambiant avant le début de l'essai.

Vitesse : mesure prise dans l'adaptateur ayant un diamètre de 101,6 mm. Cet adaptateur est situé à l'extrémité du tuyau flexible de ~ 75 mm.

\*\* : Les moyennes des vitesses et leurs écarts-type sont calculés à partir des lectures prises dans le conduit à l'extrémité (située à l'extérieur) du tuyau flexible à l'aide du thermo anémomètre.

\*\*\* : Résultats après 5 minutes d'essai.

d.t. : Défectuosité technique.

\*\*\*\* : Les vitesses sont calculées à partir de la moyenne des pressions dynamiques lues dans le tuyau flexible à environ 1 m du chariot à l'aide du tube de Pitot.

Note : Le ventilateur, non étanche, était situé à proximité de ce poste et contaminait l'environnement du poste.

### 5.1.1 Débit d'écoulement des gaz d'échappement

Les résultats du calcul des débits réels (équation 3) et débit théorique (équation 1) des gaz et les lectures de pression dynamique moyenne prises dans les tuyaux de ~ 75 mm et de ~ 50 mm à l'aide du tube de Pitot sont présentés au tableau 5. Ces essais ont été effectués avec le chariot #7.

**Tableau 5 : Débit d'échappement théorique et mesuré à l'aide du tube de Pitot**

Régime (tr/min)	Diamètre du tuyau flexible	Pression dynamique	Surface (cm <sup>2</sup> )	Vitesse (m/s)	Débit (l/s)	
					Réel (Q)	Théorique (TAF)
770	76,2 mm	1,56 mm d'eau	45,6	5,79	26,4	27,6
2100		3,62 mm d'eau	45,6	8,83	40,3	75,3
754	50,8 mm	0,57 mm d'eau	20,3	3,50	7,1	27,0
2102		4,42 mm d'eau	20,3	9,75	19,8	75,3

À titre d'exemple de calcul à l'aide de l'équation 1, le débit d'écoulement théorique d'un moteur ayant une cylindrée de 2,507 l à un régime de 2 200 tr/min serait :

$$TAF = \frac{(2,507 \text{ litres})(2200 \text{ tours} / \text{min})(1)}{(2)(60 \text{ sec} / \text{min})} = 45,9 \text{ litres} / \text{sec}$$

L'exemple suivant illustre le calcul du débit réel calcul à partir de pression dynamique mesurée dans le tuyau de ~ 75 mm à l'aide du tube de Pitot :

$$\frac{5,80 \text{ m/s} \times (3,1416 \times 3,81^2 \text{ cm}^2) \times 1000 \text{ l/m}^3}{10000 \text{ cm}^2 / \text{m}^2} = 26,46 \text{ l/s}$$

Les mesures effectuées à l'aide du thermo anémomètre dans un tuyau de 10,16 cm (surface de 81,1 cm<sup>2</sup>) et les débits réel et théorique des gaz d'échappement émis sont colligés au tableau 5.

L'exemple suivant illustre le calcul du débit réel calcul à partir de pression dynamique mesurée dans le tuyau de ~ 101,6 mm :

$$\frac{0,80 \text{ m/s} \times (3,1416 \times 5,08^2 \text{ cm}^2) \times 1000 \text{ l/m}^3}{10000 \text{ cm}^2 / \text{m}^2} = 6,5 \text{ l/s}$$

**Tableau 6 : Vitesse mesurée à l'aide du thermo anémomètre et débits réel et théorique**

Chariot	Cylindrée	Régime (tr/min)	Vitesse mesurée dans adaptateur de 101,6 mm (m/s)	Débit (l/s)	
				Réel (Q)	Théorique (TAF)
1 7	4,3 litres 6 cylindres	800	0,83	6,7	28,7
		1050	0,80	6,5	37,6
		2350	2,28	18,5	84,2
2	2,507 litres	870	2,19	17,8	18,2
		870	1,51	12,2	18,2
		2200	1,85	15,0	45,9
3 4	2,07 litres	900	1,76	14,3	15,5
		2200	2,46	19,9	37,9
		660	1,05	8,2	11,4
		2500	2,48	20,1	43,1
5	2,184 litres	2400	1,54	12,5	43,7
6	2,2 litres	895	0,97	7,9	16,4
		2500	1,44	11,7	45,8

Note : Les chariots, à l'exception des chariots 1 et 7, ont 4 cylindres.

## 6. DISCUSSION

L'objectif du système d'évacuation est principalement de réduire l'exposition des mécaniciens au CO, mais également, celle des travailleurs dont les postes de travail sont situés à proximité des lieux d'exécution des travaux d'entretien des chariots élévateurs.

### 6.1 Contrainte d'utilisation du système d'évacuation

Outre la capacité du système à évacuer les gaz d'échappement, il faut considérer la faisabilité d'utiliser un tel système qui devrait être transporté dans un véhicule de service d'un client à un autre.

Le système devrait être compact, car le véhicule de service contient plusieurs équipements nécessaires, voire essentiels à l'exécution de ces travaux. Il doit également être facile à mettre en place. Enfin, le coût d'achat doit être faible pour être amorti en peu de temps et ne pas contribuer à l'augmentation du coût des services offerts.

L'ajout d'un ventilateur ne permet pas de rencontrer certains critères. En effet, son coût d'achat représentait un amortissement pour la firme d'entretien sans pour autant avoir l'assurance de son utilisation chez le client (faisabilité de son utilisation). Selon certains mécaniciens, son utilisation n'est pas réaliste, car il constitue un embarras dans le véhicule de service.

De plus, un raccordement idéal de l'adaptateur au conduit d'échappement ne devrait pas entraîner de contamination aux postes de prélèvement, ni dérégler les ajustements du moteur. Les difficultés rencontrées lors du raccordement au conduit de l'échappement sont reliées à la configuration et la température. Il s'avère parfois complexe et consiste en une des limites identifiées dans la problématique. Le degré d'étanchéité ne faisait pas l'objet d'une évaluation spécifique de la présente étude. Toutefois, les concentrations aux postes de prélèvement ont peu ou pas augmentées par rapport à la concentration initiale.

Le parc actuel comprend certains véhicules ayant une configuration particulière du conduit de sortie des gaz d'échappement, tel qu'illustré à la figure 8. En effet, ce manque d'étanchéité contribuerait à l'évacuation incomplète des gaz d'échappement, donc une contamination au poste de travail du mécanicien. Ces chariots sont âgés et peu courants.



**Figure 8 : Conduits particuliers de sortie des gaz d'échappement de chariot élévateur**

Pour évacuer les gaz d'échappement à l'extérieur du bâtiment, une des extrémités du tuyau flexible doit être insérée dans une ouverture de la structure du bâtiment correspondant à la dimension de ce tuyau. Cette situation implique deux solutions potentielles : 1) faire une ouverture dans la porte de garage ou autre porte et s'assurer de son obstruction lorsque non utilisée ou 2) avoir un système flexible et adaptable à toutes les largeurs d'ouverture des bâtiments. Ces deux solutions présentent des inconvénients plus ou moins majeurs selon le client et contraindraient l'utilisation du système.

## 6.2 Capacité d'évacuation du système

La concentration moyenne de CO mesurée dans l'aire de travail au cours d'essai à un régime particulier sert de critère pour estimer la capacité du système à évacuer des gaz d'échappement. Relevée sur une période de 20 minutes par régime sollicité du moteur, elle ne doit pas dépasser 17 ppm.

Les concentrations moyennes obtenues au cours des essais effectués avec les chariots 1, 3, 4 et 6 sont inférieures à 17 ppm. Elles confirment la capacité d'évacuation du système pour un chariot dont l'ajustement de la carburation correspond approximativement aux recommandations d'ajustement (0,1 et 0,8 % CO dans les gaz d'échappement). Les moyennes des concentrations pour le mécanicien se sont maintenues en deçà de la concentration fixée (< 17 ppm).

Une mauvaise qualité de combustion pour un chariot est estimée en fonction de la concentration de CO dans les gaz d'échappement à la sortie de moteur (> 0,8 %). Dans de tels cas, notamment les chariots 2 et 5, les concentrations moyennes de CO aux cinq postes de prélèvement sont supérieures à 17 ppm. Les essais pour le chariot 2 ont été de courte durée (32 ppm au poste du

mécanicien en 5 min). Le tuyau flexible a été raccourci de 3 m et les concentrations moyennes à ces postes avec un tuyau de 6 m ont atteint rapidement (5 min) le seuil d'intervention. Un autre essai a été effectué en ajoutant le ventilateur. Les chariots générant une grande quantité de CO sont souvent âgés et leur système d'échappement n'est pas étanche.

Après avoir résolu le problème d'étanchéité du ventilateur utilisé, les essais avec le chariot 5 ont validé la correction apportée à celui-ci. La concentration au poste du mécanicien a atteint 8 ppm pour la durée totale de cet essai. Donc, le système avec le ventilateur sélectionné a la capacité d'évacuer complètement les gaz produits par la combustion et ce pour un chariot ayant une mauvaise qualité de combustion. En effet, les concentrations moyennes lors des essais avec l'utilisation du ventilateur sont demeurées semblables à la concentration initiale prévalant avant l'essai (bruit de fond).

Les débits calculés à l'aide des vitesses mesurées avec le thermo anémomètre (tableau 6) ont soulevé des questionnements relatifs à son principe de fonctionnement discuté plus loin. Des essais avec le chariot 7 (tableau 5) visait à comparer le débit théorique obtenu selon l'équation 1 et le débit calculé à l'aide des vitesses d'écoulement mesurées en utilisant un tube de Pitot dans un tuyau flexible de 50 mm à environ 1 m derrière le chariot. Une discussion sur ce calcul des débits suit à la section 6.3. L'utilisation d'un tuyau de plus faible diamètre donnait des vitesses plus grandes et, par le fait même, une pression dynamique plus grande. L'utilisation de ce tuyau entraînait une résistance dans l'écoulement des gaz d'échappement et un refoulement générant une contamination aux postes de prélèvement, tel qu'illustré par les résultats du chariot 7 (voir tableau 4). Afin de valider ou d'invalider cette hypothèse de refoulement, les essais ont été répétés avec le tuyau flexible utilisé pour les essais précédents (diamètre de 75 mm). Les résultats valident l'hypothèse, car les concentrations de CO sont demeurées inférieures à 17 ppm. Pour une évacuation des gaz, le tuyau flexible doit donc avoir un diamètre minimal de 75 mm.

En résumé, un système d'évacuation, tel que décrit dans le rapport, devrait être utilisé lors des travaux d'entretien de chariots. Pour les chariots ayant une mauvaise qualité de la combustion, l'ajout d'un ventilateur est recommandé. Or, la probabilité qu'un vieux chariot ou un chariot ne faisant pas l'objet d'un entretien préventif régulier ait une mauvaise qualité de combustion est plus élevée. Il y aurait donc nécessité d'utiliser un ventilateur afin de réduire l'exposition au CO du mécanicien.

### 6.3 Débit des gaz d'échappement

Le résultat du calcul du débit d'écoulement effectué à l'aide des vitesses lues sur le thermo anémomètre (tableau 5) est différent comparativement à celui du débit théorique (TAF) obtenu avec l'équation 1.

De par son principe de fonctionnement, l'anémomètre à fil chaud ne serait pas adéquat pour la mesure des vitesses, à cause du haut pourcentage de vapeur d'eau dans les gaz d'échappement. Son fonctionnement est basé sur la chaleur dissipée par la collision des molécules de gaz sur le fil chaud. Le refroidissement causé par les molécules d'eau sous forme gazeuse (10 à 15 %) ne serait pas le même que celui généré par les molécules d'air (vapeur d'eau). Par conséquent, la vitesse ainsi mesurée serait supérieure à la vitesse réelle. D'autre part, une condensation importante de l'eau dans le tuyau flexible du système d'évacuation était observée. Cette

condensation aurait pour effet de diminuer le débit des gaz émis par contraction du volume, donc le débit mesuré à la sortie du tuyau serait moindre. Il y aurait également une perte potentielle de débit attribuable au manque d'étanchéité du joint du tuyau flexible avec le conduit de sortie de l'échappement du chariot où un effet venturi se produit.

Les calculs des débits n'étaient pas concluants lorsque les vitesses étaient prises à l'aide du thermo anémomètre. Compte tenu de la présence importante d'humidité dans le tuyau flexible, ces lectures de vitesse devraient être plus exactes en utilisant un tube de Pitot. L'exactitude de ce dernier est toutefois limitée à celle du manomètre utilisé pour les lectures de pressions dynamiques (5). De plus, la fluctuation des lectures sur le micro manomètre limite l'exactitude de ces mesures, car l'irrégularité de l'écoulement du fluide dans le manomètre influence la répétitivité des lectures.

En plus de la difficulté d'obtenir des mesures exactes des basses vitesses d'écoulement, il y aurait plusieurs facteurs qui influenceraient le débit réel des moteurs. Dans le calcul théorique de ce débit, l'efficacité volumétrique des moteurs serait un facteur à considérer. Dans la plupart des moteurs, l'efficacité volumétrique varierait de 75 à 90 % (6;7). Ce facteur serait dû à la pression légèrement négative de l'air qui entre dans les cylindres. Cette pression négative serait causée par les restrictions du filtre à air, de l'entrée du carburateur et des soupapes d'admission. De plus, l'air qui entre dans le moteur est réchauffé par les composants environnants du moteur, ce qui a aussi pour effet de diminuer l'efficacité du volume induit. Ces paramètres influenceraient directement sur le volume du gaz émis et seraient difficilement quantifiables. À cause de ces facteurs, les résultats comparatifs pour les débits d'écoulement (théorique et réel) rapportés dans ce rapport d'étude ne sont pas concluants.

## 7. CONCLUSION

En conclusion, au regard des concentrations moyennes de CO aux postes de prélèvements pour un chariot répondant aux recommandations d'ajustement de la carburation, la capacité du système composé d'un tuyau flexible de 9 m avec un diamètre minimal de 75 mm est estimée efficace pour évacuer les gaz d'échappement émis au cours des travaux d'entretien selon le régime du moteur. Pour un chariot ayant une mauvaise qualité de combustion, dont la concentration de CO serait supérieure à 0,8 %, l'ajout d'un ventilateur étanche est recommandé.

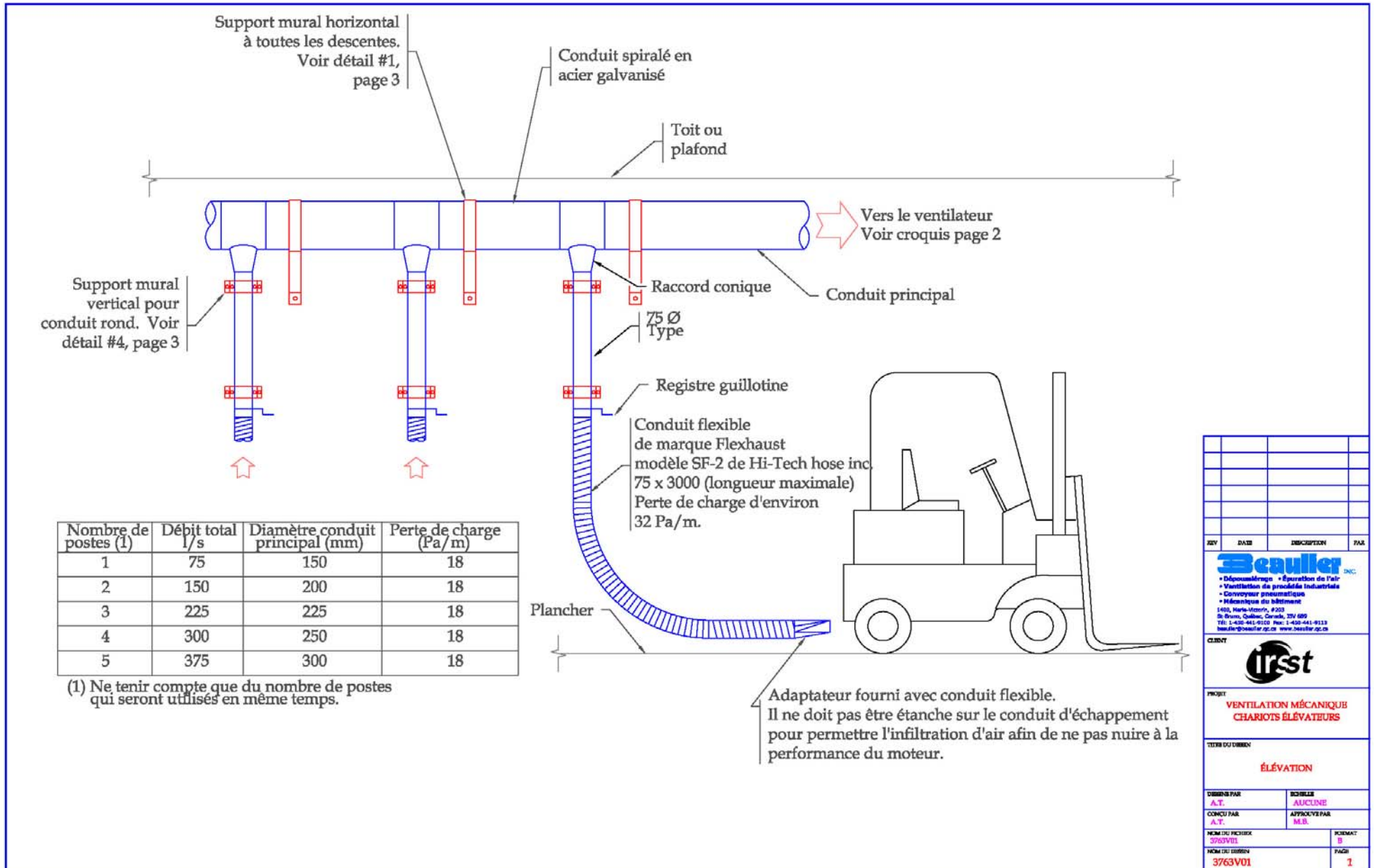


## 8. RÉFÉRENCES

- 1 Roberge B. Stratégie d'évaluation du monoxyde de carbone émis par les chariots élévateurs. Études et recherches, IRSST Rapport R-102 Montréal, Québec: Études et recherches, IRSST Rapport R-102 54 p., 1995.
- 2 Règlement sur la santé et la sécurité du travail. Décret 885-2001. 2005. Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, Québec, Gazette officielle du Québec.
- 3 Association canadienne de normalisation (CSA). Norme de sécurité pour les chariots élévateurs. B335-04 58p. 2004. Mississauga, Ontario, CSA.
- 4 Dupuis S, Garneau G. Entretien des systèmes d'alimentation et de carburation des machines à combustion interne au propane. Sherbrooke, Québec: Centre d'élaboration des moyens d'enseignement du Québec (CEMEQ), 2002.
- 5 American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Industrial Ventilation : a Manual of Recommended Practice. 24ième éd. Cincinnati, Ohio: ACGIH, 2004.
- 6 Heywood JB. Internal Combustion Engine Fundamentals. 930 p. New York, USA: McGraw-Hill Inc., 1988.
- 7 Pulkrabek W. Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine. 411 p. Upper Saddle River, New Jersey, USA: Prentice Hall, 1995.



## ANNEXE 1 : PLAN D'UN SYSTÈME D'ÉVACUATION LOCALE MULTI POSTES AVEC VENTILATEUR








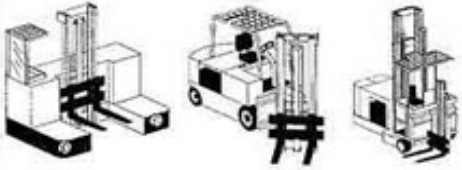
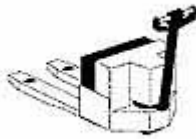




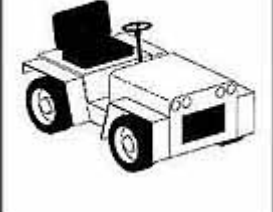

## ANNEXE 2 : PARC DE CHARIOTS

Les données relatives au parc de chariots sont basées sur des tendances du marché observées par des représentants de Liftow Limitée au cours des dernières années et non sur des données statistiques mesurées par l'industrie manufacturière de chariots élévateurs.

L'*International Industrial Truck Association* (IITA) a établi un classement des chariots élévateurs divisé en sept classes qui sont décrites au tableau suivant. Ceux au propane sont principalement de la classe IV et la classe V. Ces classes de chariots, sont également citées dans la Norme B335-04 de l'Association canadienne de normalisation (CSA).

### Classes des chariots élévateurs (3)

Classe	Description	Exemples		
I	Chariots élévateurs à cariste porté, à moteur électrique (roues à bandes pleines et pneumatiques)  <i>Electric Motor Rider Trucks</i>			
II	Chariots élévateurs pour allées étroites, à moteur électrique (roues à bandes pleines)  <i>Electric Motor Narrow Aisle Trucks</i>			
III	Chariots porteurs ou élévateurs, à moteur électrique (roues à bandes pleines)  <i>Electric Motor Hand Trucks or Hand/rider Truck</i>			
IV	Chariots élévateurs à moteur à combustion interne, à pneus à basse pression (roues à bandes pleines)  <i>Internal Combustion Engine Trucks (Solid/Cushion Tires)</i>			

Classe	Description	Exemples	
V	Chariots élévateurs à moteur à combustion interne, à pneus gonflables (roues pneumatiques) <i>Internal Combustion Engine Trucks (Pneumatic Tires)</i>		
VI	Tracteurs avec moteur électrique et à combustion interne (roues à bandes pleines et pneumatiques) <i>Electric and Internal Combustion Engine Tractors</i>		
VII	Chariots élévateurs tout terrain (roues pneumatiques) <i>Rough Terrain Forklift Trucks</i>		

Selon des représentants de Liftow Limitée concessionnaire de chariots de marque Toyota, le parc actuel compterait environ 10 000 à 15 000 chariots au propane. Il se vendrait environ 1 100 chariots neufs par année dans la région de Montréal et environ 250 dans la région de Québec. Ces deux régions représenteraient environ 90 % du total des ventes au Québec. La majorité des ventes, environ 70 %, seraient environ 30 % de classe IV et 40 % de classe V.

Les chariots plus âgés seraient généralement revendus à de plus petits établissements requérant l'utilisation d'un chariot élévateur pour des périodes inférieures à 500 heures par an. Ils seraient fréquemment remplacés par des véhicules loués ou des chariots à moteur électrique. Selon ce concessionnaire, le renouvellement des chariots en location serait aux 4 à 5 ans ou 2 000 heures par an d'utilisation (équivalent à 8 000 h pour 4 ans, à 10 000 h pour 5 ans). L'âge moyen des chariots serait d'environ 8 ans.

L'étude<sup>6</sup> faite par Track Test en 1995, à la demande de l'IRSST, mentionne que l'année moyenne de fabrication du parc de chariots était de 1982. Le nombre de véhicules était estimé à 7 000 dont 5 200 dans les industries œuvrant dans le domaine de fabrication de produits et 1 500 dans les industries de la distribution de produits. Selon les résultats de cette enquête, 46 % des véhicules avaient un moteur à combustion interne et 54 % un moteur électrique. Cet inventaire du parc avait été fait au moyen d'une collecte de données auprès de 33 entreprises parmi plus de 100 ayant été sollicitées.

<sup>6</sup> Le rapport de cette étude n'a pas été publié.

Le tableau suivant liste, de façon non exhaustive, la distribution des chariots élévateurs de classes IV et V répertoriés au Québec en 1995 et la part du marché de véhicules neufs en 2004 par fabricants.

**Distribution du parc en 1995 et du marché de véhicules neufs en 2004**

<b>Fabricant</b>	<b>1995 <sup>1</sup></b>	<b>Véhicules neufs <sup>2</sup> en 2004</b>
Allis Chalmer	4,8 %	n.d.
Caterpillar	28 %	20 %
Clark	10,4 %	n.d.
Daewoo		n.d.
Hyster	23,6 %	20 %
Komatsu	0,7 %	5 %
Mitsubishi	0,7 %	n.d.
Nissan	3,7 %	13 %
TCM	4,9 %	n.d.
Toyota	9,4 %	30 %
Yale	10,6 %	n.d.
Lansing Bagnall	3,4 %	n.d.

1 : Selon l'étude faite par Tract Test.

2 : Selon le ministère de l'Industrie du Canada.

n.d. : information non disponible



## ANNEXE 3 : DESCRIPTION DES TRAVAUX D'ENTRETIEN

Plusieurs systèmes présents dans ces véhicules affectent la combustion. Leur entretien nécessite des étapes que le mécanicien doit effectuer avant et après les ajustements de la carburation. Le but de ces ajustements est d'optimiser la performance du véhicule. Après avoir sécurisé son environnement de travail (dégagement du sol et des voies de circulation, présence de cônes de sécurité, etc.), le mécanicien immobilise le chariot en s'assurant, notamment que le frein à main est actionné et opérationnel et en installant adéquatement les cales de sécurité.

Les données du tableau suivant proviennent principalement des notes de formation offerte aux mécaniciens par le ministère de l'Éducation du Québec (4). Elles décrivent brièvement les travaux accomplis par le mécanicien lors des vérifications et de l'entretien des composants des systèmes impliqués dans la combustion.

### Description de travaux d'entretien et durée approximative d'exécution

Étape	Durée
Vérifier les niveaux des liquides : <ul style="list-style-type: none"> <li>Huile à moteur, à transmission, liquide de refroidissement.</li> </ul>	5 minutes
Inspecter la batterie d'accumulateurs et le système de charge : <ul style="list-style-type: none"> <li>État des bornes, de la courroie d'alternateur, de la charge,</li> <li>Niveau de l'électrolyte et sa densité.</li> </ul>	5 minutes
Inspecter les systèmes de refroidissement et d'admission d'air : <ul style="list-style-type: none"> <li>Densité du liquide de refroidissement, état du filtre à air.</li> </ul>	5 minutes
Inspecter le système d'alimentation : <ul style="list-style-type: none"> <li>État des composants et présence de fuite de propane : <ul style="list-style-type: none"> <li>Bouteille, canalisation et soupape de surpression,</li> <li>Convertisseur, mélangeur.</li> </ul> </li> </ul>	5 minutes
Inspecter le système hydraulique : <ul style="list-style-type: none"> <li>État des canalisations, courroies, fils, etc.</li> </ul>	5 minutes
Inspecter le système d'allumage : <ul style="list-style-type: none"> <li>Chapeau de l'allumeur, rotor, fils, couleur des bougies, écart des électrodes.</li> </ul>	5 minutes
Démarrer et réchauffer le moteur	5 à 10 minutes, selon le régime du moteur
Inspecter le système de démarrage : <ul style="list-style-type: none"> <li>État général du circuit électrique et des composants, bruits anormaux,</li> <li>Fonctionnement de la soupape d'arrêt du carburant.</li> </ul>	5 minutes
Analyser les gaz de combustion pour poser le diagnostic.	5 minutes
Ajuster les composants de la carburation et autres systèmes ayant un impact sur la qualité de la combustion et analyser les gaz.	30 à 60 minutes.