



Sécurité des outils, des machines et des procédés industriels

# Études et recherches

RAPPORT R-765



## Ceinture de sécurité pour chariots élévateurs à contrepoids

Étude préliminaire de critères  
normatifs et d'utilisabilité

*Denis Rancourt  
Sylvie Beaugrand  
Christian Larue  
Geneviève Masson*



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 : [www.csst.qc.ca/AbonnementPAT](http://www.csst.qc.ca/AbonnementPAT)

### Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales du Québec  
2013  
ISBN : 978-2-89631-652-6 (PDF)  
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications  
et de la valorisation de la recherche  
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,  
février 2013



Sécurité des outils, des machines et des procédés industriels

# Études et recherches

RAPPORT R-765

## Ceinture de sécurité pour chariots élévateurs à contrepoids

### Étude préliminaire de critères normatifs et d'utilisabilité

#### 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.

*Denis Rancourt<sup>1</sup>, Sylvie Beaugrand<sup>2</sup>,  
Christian Larue<sup>2</sup>, Geneviève Masson<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>Université de Sherbrooke*

*<sup>2</sup>Prévention des problématiques de SST et réadaptation, IRSST*

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.

**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.

## SOMMAIRE

Depuis l'entrée en vigueur d'un nouvel article du Règlement québécois sur la santé et la sécurité du travail (RSST), les chariots élévateurs en porte-à-faux à grande levée, à poste de conduite au centre non élevable et à conducteur assis doivent être munis d'un dispositif de retenue empêchant le cariste d'être écrasé par la structure du chariot lors d'un renversement. La ceinture de sécurité pelvienne est un des moyens les plus couramment utilisés actuellement pour satisfaire cette exigence. À partir de la consultation des écrits, de l'examen sommaire de quelques ceintures vendues sur le marché québécois, d'entretiens et d'observations réalisés auprès de douze caristes et sept superviseurs dans sept entreprises, cette étude exploratoire trace le bilan de l'utilisation des ceintures, tant du point de vue des normes de performance des ceintures de sécurité que de celui de leur utilisabilité dans le milieu du travail.

Dans les entreprises visitées, l'obligation du port de la ceinture de sécurité a été accueillie plutôt difficilement chez les caristes. Au fil du temps, la plupart des caristes mentionnent cependant que le port de la ceinture est devenu une habitude. Néanmoins, plusieurs caristes trouvent la ceinture inutile ou agaçante, notamment en raison de la vitesse limitée du chariot, de la mobilité corporelle qui se trouve restreinte pour les manœuvres de reculons et surtout, en raison de tâches qui exigent de monter et de descendre fréquemment du chariot. L'observation du travail montre en effet que certains caristes descendent de leur chariot en moyenne toutes les 2,6 minutes. Bien que la durée médiane de bouclage de la ceinture soit de seulement cinq secondes, la durée requise pour le bouclage peut augmenter significativement lorsqu'il y a des problèmes d'enroulement de la sangle avec le rétracteur. D'autres facteurs, tels que des rétracteurs mal fixés, une sangle trop courte, un dispositif de retenue aux hanches qui nuit au bouclage de la ceinture, un emplacement ou un type de fixation de la boucle non optimal, une interférence entre la sangle et le porte-outils porté à la taille, sont susceptibles de compromettre l'acceptabilité de la ceinture, l'aisance dans son utilisation, ou la sécurité des caristes.

Sur la base des analyses réalisées dans cette étude, il n'est pas possible actuellement de recommander un rétracteur conciliant à la fois, et dans toute situation, sécurité, confort et compatibilité avec les besoins associés aux tâches à effectuer. Sur le terrain, la ceinture avec rétracteur à blocage automatique (*ALR* : « automatic locking retractor ») est un modèle fréquemment installé. Ce rétracteur enroule automatiquement le jeu dans la sangle et empêche en tout temps la sortie de la sangle. La possibilité de bouger sur le siège, par exemple pour les manœuvres de reculons, est ainsi restreinte. En présence de vibrations, lorsqu'il y a des mouvements relatifs entre le cariste et les points d'ancrage de la ceinture, le resserrement de la sangle peut devenir particulièrement inconfortable. L'utilisation d'un rétracteur d'urgence (*ELR* : « emergency locking retractor ») est une alternative offerte sur le marché. Ce rétracteur assure une bonne mobilité du cariste puisque, en condition normale d'opération, le jeu dans la sangle est automatiquement repris par une faible force de rappel du rétracteur, sans pour autant que le mécanisme de blocage de la sangle ne s'enclenche. Cependant, du point de vue de la sécurité des caristes, si la ceinture avec rétracteur *ELR* se limite à respecter la norme référence SAE J386 s'appliquant aux véhicules de travail hors route, le rétracteur pourrait ne pas se bloquer dans plusieurs situations de renversements de chariots élévateurs, car les niveaux d'accélération du chariot et du cariste peuvent être faibles lors de renversements, comparativement aux seuils de blocage indiqués dans les normes. La norme SAE J386 est

similaire en plusieurs points à la norme 209 décrivant les exigences par rapport aux ceintures de sécurité utilisées dans les véhicules automobiles au Canada et aux États-Unis. Or, la cinématique des chariots élévateurs au regard des vitesses et des accélérations diffère de celle des automobiles lors de renversements ou de collisions. Des valeurs inférieures pour les seuils de blocage des ceintures pourraient améliorer la performance des rétracteurs *ELR*, selon la situation de renversement. Pour être respectés, de tels critères exigeraient potentiellement l'utilisation de nouveaux mécanismes de blocage. Une ceinture qui dissocie le seuil de blocage sensible à l'inclinaison du véhicule, du seuil de blocage sensible à l'accélération du véhicule, aiderait grandement à augmenter la performance des rétracteurs *ELR*, pourvu que le seuil d'inclinaison soit limité entre 12 et 15 degrés.

Les ceintures avec *rétracteur manuel*, nécessitant que le cariste ajuste lui-même la longueur de la sangle, présentent l'avantage de ne pas se resserrer sur l'utilisateur. Un tel rétracteur apparaît aussi comme une bonne solution pour protéger le cariste dans toute situation. Il faut cependant veiller à ce que le jeu laissé dans la ceinture soit relativement faible (moins de cinq cm), ce qui peut restreindre la mobilité du cariste en quête de visibilité vers l'arrière. Ce type de ceinture exige également un réajustement de sangle pour chaque nouveau cariste qui conduit le chariot.

Lors du choix d'équipements, bon nombre de responsables en entreprise s'intéressent aux dispositifs permettant de faciliter la gestion du port de la ceinture (p. ex. couleur de la sangle, signal sonore lors du non-bouclage). Cependant, avant l'achat, une analyse des besoins tenant compte des caractéristiques du siège, de la ceinture, des utilisateurs et des tâches à effectuer pourrait réduire quelques inconvénients liés à l'utilisation de la ceinture. Cette analyse devrait mettre des caristes à contribution. Des repères sont donnés dans ce rapport pour alimenter cette réflexion. En outre, l'entretien de la ceinture pourrait s'avérer important pour minimiser les dysfonctionnements.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les membres du comité de suivi de cette étude et leurs conseillers pour leur soutien à ce projet. Leur précieuse collaboration a permis le recrutement d'entreprises volontaires pour nous aider à tracer ce premier portrait de l'utilisation des ceintures de sécurité chez les caristes. Merci à l'Association paritaire pour la santé et sécurité du travail du secteur minier (APSM), l'Association sectorielle fabrication d'équipements de transport et de machines (ASFETM), l'Association paritaire de santé et de sécurité du travail, secteur imprimerie et activités connexes (ASP imprimerie), l'Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail – Secteur fabrication de produits en métal et produits électriques (ASPME), l'Association de la santé et de la sécurité des pâtes et papier et des industries de la forêt du Québec (ASSPPQ), Via Prévention, Liftow et Préventex.

Pour des raisons de confidentialité, nous ne pouvons nommer les entreprises ayant participé à notre étude. Nous tenons cependant à les remercier sincèrement pour leur accueil chaleureux et leur disponibilité. Merci à la direction de ces entreprises, aux représentants des employés, aux responsables en santé et sécurité et tout spécialement aux caristes et aux superviseurs qui ont accepté de répondre à nos nombreuses questions et qui ont généreusement partagé avec nous leur expérience.

Finalement, merci à Maud Gonella et Christian Sirard de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) pour leur aide et leur empressement lors des collectes de données en entreprise, ainsi qu'à Pascale Nootens pour avoir rehausser la qualité du texte.



## TABLE DES MATIÈRES

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Problématique et objectifs de l'étude .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Contenu de ce rapport .....</b>	<b>4</b>
<b>2. LA CEINTURE PELVIENNE ET LA SÉCURITÉ .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 La ceinture pelvienne et ses composants .....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Sangle .....	6
2.1.2 Ancrages .....	6
2.1.3 Boucle de ceinture .....	6
2.1.4 Système d'ajustement de la longueur de sangle .....	6
<b>2.2 Ceinture à ajustement manuel .....</b>	<b>6</b>
<b>2.3 Ceinture à ajustement automatique .....</b>	<b>7</b>
2.3.1 Rétracteur à blocage automatique ALR.....	7
2.3.2 Rétracteur à blocage d'urgence ELR.....	9
2.3.2.1 Mécanisme de blocage basé sur l'accélération ou l'angulation du rétracteur.....	11
2.3.2.2 Mécanisme de blocage basé sur la vitesse ou l'accélération du défilement de la sangle.....	13
<b>2.4 Autres dispositifs pouvant être jumelés aux ceintures.....</b>	<b>15</b>
2.4.1 Système à lame-ressort .....	15
2.4.2 Antiblocage (« anti-cinching »).....	16
2.4.3 Grattoir .....	16
2.4.4 Antidémarrreur et signal sonore.....	16
2.4.5 Autres dispositifs .....	16
<b>2.5 Autres types de ceintures .....</b>	<b>17</b>
<b>2.6 Normes associées aux ceintures de sécurité .....</b>	<b>17</b>
2.6.1 Norme SAE J386:2006.....	19
2.6.2 Norme ISO 24135-1:2006 .....	20
2.6.3 Norme FMVSS 209:2008.....	20
2.6.4 Norme E/ECE/324:2009 Additif 15 : Règlement 16, rev. 6.....	20
2.6.5 Norme SAE AS8043 .....	20
<b>2.7 Éléments de discussion sur la performance des ceintures de sécurité pelviennes 21</b>	<b>21</b>
2.7.1 Étude préliminaire des modes de défaillance des ceintures pelviennes .....	21
2.7.1.1 Défaillances mécaniques d'un rétracteur ALR.....	21
2.7.1.2 Défaillances mécaniques d'un rétracteur ELR.....	22

2.7.2	Adéquation des normes de rétracteurs ELR vs utilisation pour chariots élévateurs.....	23
2.7.2.1	Seuils de blocage basés sur l'accélération du défilement de la sangle.....	24
2.7.2.2	Seuils de blocage basés sur l'accélération du rétracteur ELR.....	27
2.7.2.3	Seuils de blocage basés sur l'inclinaison du rétracteur ELR.....	27
2.7.2.4	Sommaire sur l'efficacité des seuils de blocage du rétracteur ELR... ..	27
2.7.3	Ajustement nominal de la ceinture pelvienne .....	29
2.7.4	Faux-bouclage de la boucle .....	30
2.7.5	Revue des écrits sur la performance des ceintures de sécurité avec rétracteur d'urgence (ELR).....	30
<b>3.</b>	<b>LA CEINTURE PELVIENNE ET SON UTILISATION.....</b>	<b>33</b>
3.1	<b>Méthodologie.....</b>	<b>33</b>
3.2	<b>Les entreprises participantes et les situations étudiées.....</b>	<b>34</b>
3.3	<b>Observations sur la ceinture de sécurité, les utilisateurs et le travail .....</b>	<b>35</b>
3.3.1	Transition vers le port de la ceinture, perception des risques et du sentiment d'être protégé par la ceinture .....	35
3.3.2	Choix des ceintures installées sur les chariots élévateurs et des dispositifs de contrôle des risques.....	37
3.3.3	Bouclage/débouclage de la ceinture de sécurité.....	38
3.3.3.1	Comment les caristes s'y prennent-ils? .....	38
3.3.3.2	Fonctionnement du rétracteur.....	41
3.3.3.3	Longueur de la sangle et emplacement de la boucle et du rétracteur.....	43
3.3.3.4	Appuie-bras et retenue à la hanche.....	45
3.3.3.5	Bouton de la boucle, port de gants .....	47
3.3.3.6	Équipements portés à la taille.....	48
3.3.4	L'utilisation de la ceinture dans l'accomplissement du travail .....	48
<b>4.</b>	<b>REPÈRES POUR GUIDER LE CHOIX D'UNE CEINTURE PELVIENNE .....</b>	<b>53</b>
4.1	<b>Conformité aux normes .....</b>	<b>53</b>
4.2	<b>Longueur de ceinture .....</b>	<b>53</b>
4.3	<b>Positionnement des ancrages et caractéristiques du siège .....</b>	<b>53</b>
4.4	<b>Installation, entretien et utilisation de la ceinture.....</b>	<b>54</b>
4.5	<b>Choix du type de rétracteur .....</b>	<b>54</b>
<b>5.</b>	<b>DISCUSSION.....</b>	<b>57</b>

<b>6. CONCLUSION.....</b>	<b>61</b>
<b>7. BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>63</b>
<b>7.1 Publications scientifiques.....</b>	<b>63</b>
<b>7.2 Normes et règlements.....</b>	<b>64</b>
<b>ANNEXE A. BOUCLE ET PLAQUE DE VERROUILLAGE.....</b>	<b>66</b>
<b>ANNEXE B. AUTRES DISPOSITIFS D'URGENCE .....</b>	<b>67</b>
<b>Prétendeurs.....</b>	<b>67</b>
<b>Limiteur d'effort .....</b>	<b>67</b>
Limiteur simple .....	67
Limiteur mécanique.....	67
Limiteur en torsion .....	68
Sangle avec des fibres à impédance variable .....	68
<b>Pré-prétendeur .....</b>	<b>68</b>
<b>Bloqueur de sangle.....</b>	<b>68</b>
<b>Coussin gonflable intégré à la ceinture .....</b>	<b>69</b>
<b>« Plateau confort » .....</b>	<b>69</b>
<b>ANNEXE C. AUTRES TYPES DE CEINTURES DE SÉCURITÉ.....</b>	<b>70</b>
<b>Ceinture à trois points d'attache .....</b>	<b>70</b>
<b>Harnais.....</b>	<b>70</b>
<b>ANNEXE D. CONDITIONS OBSERVÉES .....</b>	<b>71</b>



## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Comparaison de certains seuils de performance concernant le blocage de la sangle des rétracteurs ELR selon différentes normes .....	18
Tableau 2. Sommaire de l'efficacité (i.e. capacité de bloquer) des seuils de blocage de la norme SAEJ386, selon différents scénarios d'accident.....	28
Tableau 3. Réponses des douze caristes à la question : « La ceinture me procure le sentiment d'être protégé en cas d'accident ».....	37
Tableau 4. Temps requis pour boucler/déboucler la ceinture, tous types de ceintures confondus (n= 145).....	41
Tableau 5. Longueur des sangles et des fixations de boucle et distance latérale entre le rétracteur et la boucle.....	43



## LISTE DES FIGURES

Figure 1. Ceinture pelvienne.....	5
Figure 2. Vue intérieure d'un rétracteur à déblocage manuel.....	7
Figure 3. Vue intérieure d'un rétracteur ALR. ....	8
Figure 4. Vue intérieure latérale d'un rétracteur ELR. ....	10
Figure 5. Vue intérieure latérale d'un rétracteur ELR à bille. ....	11
Figure 6. Mécanisme de blocage de la bobine du rétracteur ELR à bille, sensible aux accélérations du véhicule .....	12
Figure 7. Mécanisme de blocage de la bobine du rétracteur ELR à balancier.....	12
Figure 8. Mécanisme de blocage de déroulement de la sangle du rétracteur ELR avec pignon d'entraînement pour deux systèmes différents.....	14
Figure 9. Essais d'une ceinture avec lame-ressort par trois sujets.....	15
Figure 10. Boucle antiblocage. ....	16
Figure 11. Vue de dessus d'un cariste assis sur le siège d'un chariot élévateur. ....	25
Figure 12. Schématisation d'un déplacement vertical de l'occupant lors d'un renversement du chariot. ....	29
Figure 13. Sangle, à l'origine de couleur orange, exposée à un environnement salissant.....	37
Figure 14. Phases typiques du bouclage à deux mains avec les rétracteurs ALR ou ELR.....	38
Figure 15. Bouclage lorsque la boucle n'est pas fixée rigidement (rétracteur ALR). ....	39
Figure 16. Phases typiques du bouclage avec le rétracteur manuel – avec ajustement. ....	39
Figure 17. Phases typiques du bouclage avec le rétracteur manuel – sans ajustement.....	39
Figure 18. Phases typiques du débouclage de la ceinture ALR et ELR. ....	40
Figure 19. Débouclage de la ceinture à rétracteur manuel.....	40
Figure 20. Ceinture dont le rétracteur ALR et la sangle sont souvent sujets au blocage.....	42
Figure 21. Fixation du rétracteur dans la retenue à la hanche. ....	42
Figure 22. Rétracteur mal fixé au siège, libre de pivoter.....	42
Figure 23. Orientation du rétracteur non optimale pour mettre et enrouler la sangle.....	43
Figure 24. Exemples du port de la ceinture. ....	44
Figure 25. Types de fixation de la boucle.....	44
Figure 26. Siège étroit - accès difficile à la sangle. ....	45
Figure 27. Accès difficile pour boucler et déboucler en raison de l'appuie-bras. ....	45
Figure 28. Exemples de difficulté d'accès à la sangle en raison de la retenue à la hanche. ....	46

---

Figure 29. Exemples de positionnement du rétracteur et de la boucle. ....	47
Figure 30. Type de bouton de boucle.....	48
Figure 31. Exemples d'inconvénients reliés au port d'équipements à la taille.....	48
Figure 32. Postures pour voir lors de manœuvre à reculons.....	49
Figure 33. Rétracteur manuel – se tourner pour voir lors de manœuvre de reculons.....	49
Figure 34. Se pencher pour voir ou pour scanner.....	50
Figure 35. Système « sans blocage ». ....	51
Figure 36. Ajout d'un coussin au dossier.....	52

## 1. INTRODUCTION

La conduite d'un chariot élévateur se fait le plus souvent dans des conditions contrôlées qui ne comportent pas de danger apparent pour le cariste étant donné l'aspect massif et robuste du véhicule. Cette apparence est toutefois trompeuse, car le chariot peut être impliqué dans diverses situations qui mènent parfois à des blessures graves du cariste, voire même à son décès. Par exemple, il est reconnu que lors de renversements latéraux, un décès peut survenir lorsque le cariste est écrasé entre le sol et la *structure de protection contre la chute d'objets* (Falling Object Protective Structures, FOPS). Le chariot peut aussi heurter des objets sur sa trajectoire ou être déstabilisé par des dénivellations d'origines inattendues sur le terrain. Finalement, lors d'impacts frontaux, le cariste peut être propulsé sur les structures du mât. Toutes ces situations peuvent mener à une éjection volontaire, involontaire ou par réflexe du cariste de l'habitacle qui peut lui être fatale.

Environ 30 % des accidents mortels impliquant les chariots élévateurs à contrepoids surviennent à la suite d'un renversement latéral [Male, 2003; Tellier, 1995a]. Sur les 22 cas de renversements répertoriés au Québec entre 1974 et 1994 [Tellier, 1995b], 17 ont été mortels. En 2009 et 2010, les enquêteurs de la Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST) ont montré, pour chacun des cinq décès survenus à la suite du renversement d'un chariot élévateur à contrepoids sur le cariste, que celui-ci ne portait pas la ceinture ou que le chariot n'était pas équipé de ceinture ou d'autres dispositifs de retenue (réf. rapports d'enquêtes d'accident, Centre de documentation de la CSST).

L'élimination des dangers liés à la conduite des chariots élévateurs commence par une bonne organisation de l'environnement et du travail ainsi qu'une formation adéquate des caristes. Selon les conditions de travail, un risque résiduel peut subsister et l'employeur, conformément à la réglementation en santé et sécurité du travail, doit prendre les moyens de mitigation nécessaires pour réduire ces risques à un niveau acceptable.

Parmi les moyens de mitigation à considérer pour protéger l'employé, l'utilisation d'un dispositif de retenue doit être prise en compte, car l'article 256.1 du RSST (2008) stipule que :

*« Un chariot élévateur en porte-à-faux à grande levée et à poste de conduite au centre, non élevable avec le cariste assis, visé au deuxième alinéa de l'article 256, doit être muni d'un dispositif de retenue, tels une ceinture de sécurité, des portes grillagées, une cabine fermée, un siège enrobant ou à oreilles, afin d'éviter que le cariste ne soit écrasé par la structure du chariot élévateur en cas de renversement.*

*Ces dispositifs doivent être, le cas échéant, maintenus en bon état et utilisés. »*

La réglementation indique que le dispositif de retenue doit respecter trois exigences : éviter que le cariste ne soit écrasé par la structure du chariot élévateur en cas de renversement, être maintenu en bon état, et être utilisé. La ceinture de sécurité est un des moyens souvent utilisés en entreprise pour se conformer à cette réglementation, car les chariots en sont généralement équipés. De fait, bien que la réglementation québécoise n'exige pas explicitement le port de la

ceinture, il semblerait implicitement reconnu qu'elle doive l'être, car les fabricants des chariots le demandent dans leur documentation.

L'étude de Bourret et al. (2008) a d'ailleurs démontré que la ceinture de sécurité, si elle est utilisée correctement, permet d'éviter l'expulsion du cariste et l'écrasement de celui-ci par la structure de protection du chariot élévateur<sup>1</sup>. La présence d'une ceinture en bon état de fonctionnement sur un chariot n'est cependant pas une condition suffisante pour assurer la protection du cariste. L'utilisation de la ceinture de sécurité exige une action volontaire de la part du cariste et un contexte organisationnel qui favorise et oblige le port de la ceinture.

De tels objectifs ne sont pas toujours faciles à atteindre dans le milieu industriel. En effet, l'étude ergonomique de Vezeau et al. (2009) intitulée « Amélioration des situations de travail impliquant les opérateurs de chariots élévateurs : étude ergonomique et analyse des stratégies de conduite des caristes » a fait la démonstration que le travail de cariste est varié et qu'il comporte un ensemble de contraintes et d'exigences. Par exemple, les caristes assument des tâches qui les amènent à descendre fréquemment du chariot. Ainsi, les auteurs ont noté que la fréquence des actions de monter et de descendre dépendait entre autres de la tâche à effectuer, et que cette fréquence était en moyenne d'une fois aux 2,4 minutes lors de la préparation des commandes. Les caractéristiques de la ceinture qui influent sur la facilité et la rapidité de l'attacher (et la détacher) sont donc importantes à considérer pour favoriser son utilisation.

De plus, le cariste doit composer à tout moment avec le manque de visibilité lié particulièrement à la structure du chariot (p. ex. le mât, dossier, FOPS) et à la charge transportée. Le cariste est ainsi contraint de se pencher à l'extérieur de l'habitacle pour accéder aux informations visuelles qui lui sont nécessaires lors des opérations de gerbage et de dégerbage. Les flexions latérales du tronc sont fréquentes, particulièrement du côté gauche (siège décentré vers la gauche et leviers à droite). L'étude de Vezeau et al. (2009) montre également que les caristes conduisent le chariot en marche arrière entre 30 et 48 % du temps. Pour assurer un bon champ de vision dans la direction du déplacement, les caristes effectuent donc une rotation du tronc vers l'arrière, le plus souvent vers la droite (la main gauche étant en contact avec le volant).

D'autres activités associées au travail sont aussi fréquentes à l'intérieur de l'habitacle, telles que l'utilisation de scanner, radio, bloc-notes et crayon, bon de commande, etc. Ces exemples de quête pour la visibilité et pour l'atteinte d'objets montrent que les caristes doivent disposer d'une bonne mobilité corporelle pour accomplir leur travail et assurer leur sécurité sans négliger celle des gens qui les entourent. La ceinture de sécurité devrait donc le moins possible, gêner ou limiter les mouvements des caristes dans toutes les situations. Dans le cas où les caristes peinent à atteindre des objectifs de production, qu'ils éprouvent des inconforts à cause du port de la ceinture, ou qu'ils sentent que leur sécurité ou celle de leur environnement est diminuée (p. ex. par une diminution de la visibilité), il est probable que certains décident de ne pas la porter.

---

<sup>1</sup> À la suite de ce projet, la vidéo « Chariot élévateur : Le port de la ceinture de sécurité peut vous sauver la vie » a été réalisée par le groupe PERSEUS du Département de génie mécanique de l'Université de Sherbrooke; <http://www.irsst.qc.ca/-webtv-Chariot-eleveur-le-port-de-la-ceinture.html>

D'autres facteurs peuvent favoriser ou défavoriser le port de la ceinture, par exemple :

- le type de siège et de chariot avec lequel la ceinture est utilisée;
- la présence d'un système avec circuit de sécurité (« interlock ») pour éviter l'utilisation du chariot lorsque la ceinture n'est pas bouclée;
- les caractéristiques anthropométriques du cariste;
- le port de vêtements encombrants (vêtements d'hiver);
- le port d'équipements à la taille (p. ex. radio portative).

## 1.1 Problématique et objectifs de l'étude

Les études réalisées dans le cadre de la programmation de l'IRSST (Bourret et al. 2008 ; Vezeau et al. 2009) ont permis de mieux comprendre le travail du cariste, les déterminants pouvant mener au renversement du chariot ainsi que les moyens les plus efficaces de retenue. Cependant, ces études n'ont pas permis de statuer clairement sur deux points importants. Premièrement, l'étude de Bourret et al. (2008) n'a pas fourni de détails sur l'efficacité des différents types de ceintures offertes sur le marché. Deuxièmement, l'étude de Vezeau et al. (2009) a été effectuée avant la mise en vigueur de la réglementation, de sorte que les caristes observés ne portaient pas la ceinture de sécurité. Aucune donnée n'a donc été collectée quant aux effets possibles du port de la ceinture sur le travail et le confort des caristes. Il n'existe donc à notre connaissance aucun état de la question sur les performances techniques et l'utilisabilité<sup>2</sup> des ceintures de sécurité appliquées au domaine des chariots élévateurs.

Plus spécifiquement, avec l'entrée en vigueur du nouveau règlement sur le port de la ceinture de sécurité, il est pertinent de se poser certaines questions :

- Quels types de ceinture sont offerts sur le marché ?
- Quels types de ceinture équipent les chariots élévateurs ?
- Existe-t-il des normes de performance sur les ceintures de sécurité dans un contexte d'utilisation pour assurer la sécurité lors de la conduite de chariots élévateurs?
- Quels sont les impacts du port de la ceinture sur le confort et le travail des caristes?
- Quelles sont les caractéristiques à éviter ou à rechercher pour favoriser l'utilisation de la ceinture et la protection des caristes ?

Sur la base des informations disponibles dans les écrits et sur Internet, et au moyen de collectes de données sur l'utilisation des ceintures dans quelques entreprises du Québec, cette étude

---

<sup>2</sup> *L'utilisabilité ou usabilité est définie par la norme ISO 9241-11 comme « le degré selon lequel un produit peut être utilisé, par des utilisateurs identifiés, pour atteindre des buts définis avec efficacité, efficacité et satisfaction, dans un contexte d'utilisation spécifié » (Wikipédia). Ce terme est généralement utilisé dans l'analyse d'interfaces informatiques. Dans cette étude, ce terme est utilisé pour décrire, dans différents contextes, dans quelle mesure un type de ceinture est facile à utiliser, permet au cariste d'accomplir le travail, et ne génère pas d'inconfort ou d'insatisfaction particuliers.*

exploratoire vise à répondre aux questions soulevées précédemment. Par choix, et pour respecter l'ampleur limitée de ce projet, cette étude se penche principalement sur les caractéristiques techniques des ceintures et se veut un point de départ pour répertorier les technologies disponibles sur le marché et mieux comprendre les mécanismes qui les composent pour ainsi soulever des enjeux possibles pour la sécurité et l'utilisabilité.

Le devis initial de l'étude visait de plus à répertorier les casques offerts sur le marché qui seraient les plus appropriés pour protéger le cariste lors de renversements du chariot afin de protéger la tête contre les impacts au sol ou sur les structures de protection du chariot. Une analyse préliminaire de la situation a permis de statuer rapidement sur le sujet : puisque les caristes sont souvent appelés à se déplacer sur le milieu du travail, les casques qui doivent être utilisés sont ceux certifiés pour usage industriel/construction, idéalement de Type II, conçus pour soutenir des impacts latéraux, comme prescrit par la norme ANSI Z89.1-2009 American National Standard for Industrial Head Protection. Cette limitation réduit donc sensiblement le nombre de casques pouvant être considéré et, par conséquent, cette question n'a pas été étudiée plus en détail dans cette étude.

## **1.2 Contenu de ce rapport**

Le premier volet du projet, réalisé en consultant les écrits et l'Internet, a permis de répertorier et caractériser un certain nombre de ceintures de sécurité offertes sur le marché, d'identifier les normes et recommandations canadiennes s'y rapportant et de discuter de la protection qu'offrent ces ceintures. Cette étape inclut aussi des visites chez des distributeurs d'équipements de chariots élévateurs. Les résultats de cette étape sont présentés au chapitre 2 de ce rapport. En parallèle, un deuxième volet a permis de faire le portrait des principaux facteurs qui contribuent ou qui nuisent à l'utilisation de la ceinture de sécurité (facteurs d'inconforts ou liés à la réalisation du travail). Ce recueil d'information a été réalisé en entreprise au moyen d'entrevues avec des caristes et des gestionnaires, d'observations du travail réel et de simulations de l'activité. La méthodologie et les résultats découlant de ce volet en entreprise sont présentés au chapitre 3. Des repères pour guider les entreprises dans le choix d'une ceinture sont proposés au chapitre 4. Finalement, les limites de cette étude, de même que les questions qui demeurent feront l'objet de la discussion au chapitre 5.

## 2. LA CEINTURE PELVIENNE ET LA SÉCURITÉ

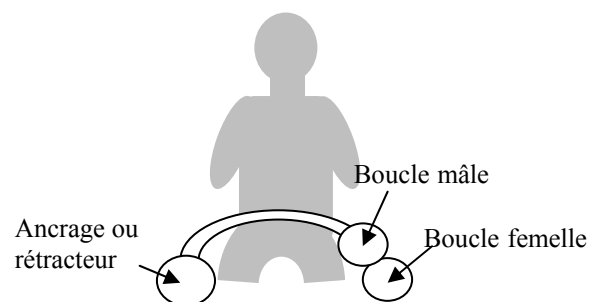
Cette section décrit les différents types de ceinture pelvienne offerts sur le marché, présente les normes qui s'y rapportent et traite des facteurs qui peuvent influencer sur la protection lors d'accidents. Ce portrait repose sur une recherche bibliographique. Des banques de données en SST, en ingénierie (Canadiana, CSST, Compendex, Ergonomics Abstracts, ERIC, Google Scholar, INRS, NTIS, OSHLINE, OSH Update, Pascal, PsycINFO, PubMed, Social sciences full text) et l'Internet ont été consultés. Cette recherche n'a permis de repérer qu'un nombre très limité d'études portant sur la ceinture de sécurité utilisée dans les véhicules hors route. Aucune étude traitant du port de la ceinture dans les chariots élévateur et de la relation avec le travail à accomplir n'a été recensée.

Les études portant sur les véhicules de chantier, forestiers et agricoles, ainsi que sur les véhicules routiers ont donc aussi été considérées bien que le type de travail accompli au moyen de ces véhicules et le contexte de leur utilisation s'éloignent de ceux des chariots élévateurs. L'étude de Smith et al. (2005), du Health and Safety Executive (HSE) au Royaume-Uni, traitant de la performance des ceintures de sécurité pour des véhicules utilisés dans des carrières est une des plus complètes et pertinentes à ce sujet. Myers (2006), dans une étude portant sur l'utilisation de la ceinture lors de renversements de tracteurs agricoles, indique qu'il n'y a pas de critère de performance pour les ceintures dans le cas des renversements ; il cite Rains (2000), qui souligne le peu de recherches portant sur l'efficacité de ceintures pour tracteurs.

Néanmoins, on peut retrouver en ligne de l'information sur les normes relatives à la performance des ceintures ainsi qu'à leur fabrication. Par exemple, dans les normes ISO et SAE, on peut retrouver des documents relatifs aux seuils d'accélération avant blocage de la sangle, à la fabrication et à la conception de bancs d'essai pour les ceintures de sécurité. En outre, l'achat d'un rétracteur à blocage automatique (ALR) et de deux types de rétracteur d'urgence (ELR) a permis d'explicitier le fonctionnement des mécanismes ainsi que certains modes de défaillance possibles. Ces rétracteurs n'ont pas fait l'objet de tests de performance dans la présente étude, tels que ceux qui sont décrits dans les normes.

Avant d'analyser ces normes et articles scientifiques, il est opportun de bien comprendre les différents types de ceinture qui existent ainsi que leurs fonctions.

### 2.1 La ceinture pelvienne et ses composants



**Figure 1. Ceinture pelvienne.**

Les ceintures de sécurité vendues pour les chariots élévateurs et installées dans les entreprises sont de type « pelvien », aussi appelées ceintures « sous-abdominales » ou « ventrales » (Figure 1). Elles sont composées d'une sangle qui passe sur les hanches, d'un système d'attache et de deux points d'ancrage qui se situent de part et d'autre de l'utilisateur, tel qu'illustré à Figure 1. Elles possèdent le plus

souvent un rétracteur qui permet l'enroulement automatique de la sangle à l'intérieur d'un boîtier. La fonction de la ceinture est de maintenir en tout temps le conducteur à l'intérieur d'une zone considérée sécuritaire, que ce soit lors d'opérations normales, d'accidents ou de renversements.

### **2.1.1 Sangle**

La sangle est un élément souple généralement composé de fils de polyester tissés. Elle est destinée à maintenir le corps à l'intérieur du véhicule et à transmettre les efforts aux pièces d'ancrage par l'intermédiaire des boucles. La sangle mesure généralement 5 ou 7,6 cm (2 ou 3 po.) de large, 110 à 150 cm de long et peut s'allonger jusqu'à 20 % lorsqu'une force de 11,1 kN lui est appliquée (cf. norme SAE J386). Elle est offerte en plusieurs couleurs. Les sangles de couleur voyante sont utilisées dans le but de repérer à distance si un cariste porte sa ceinture. Il existe de plus des rallonges mesurant typiquement 20 cm (8 po.) pouvant être utilisées par les personnes de fort gabarit.

### **2.1.2 Ancrages**

Les ancrages sont des points d'attache sur lesquels viennent se fixer les différentes parties de la ceinture de sécurité. Ils peuvent être situés sur le plancher du chariot ou, idéalement, sur la structure du siège. Ils sont généralement fabriqués en acier et peuvent résister à de très grands efforts.

### **2.1.3 Boucle de ceinture**

Le système permettant le bouclage de la ceinture se compose de deux parties : la partie femelle, la boucle, et la partie mâle, la plaque de verrouillage. Ce système permet de retenir de très grandes charges pendant un accident tout en demeurant facile à ouvrir, même quand la ceinture est ou a été significativement chargée. L'Annexe A apporte quelques détails supplémentaires sur ces composants.

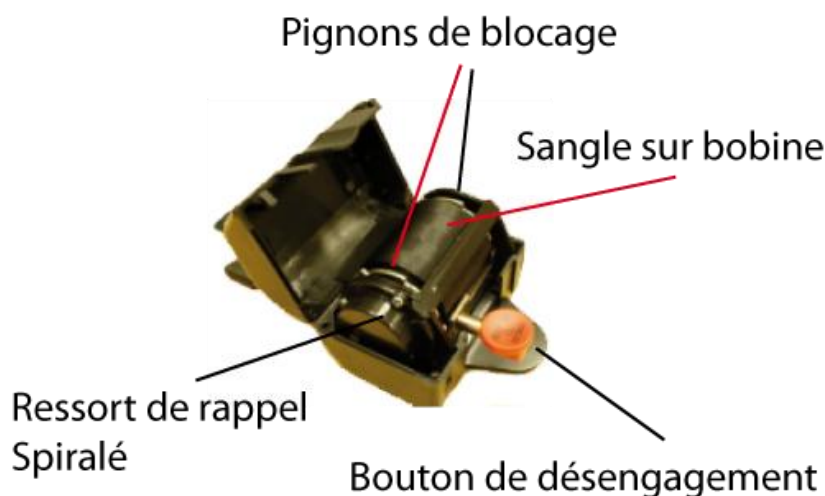
### **2.1.4 Système d'ajustement de la longueur de sangle**

La longueur de la sangle peut être ajustée manuellement ou automatiquement à l'aide d'un rétracteur, selon le type de ceinture choisie. La section qui suit explique le fonctionnement des différents mécanismes permettant d'ajuster la longueur de la sangle.

## **2.2 Ceinture à ajustement manuel**

Il existe plusieurs types d'ajustement manuel. À l'instar des ceintures utilisées par les passagers en avion, certaines ceintures s'ajustent en tirant le surplus de sangle qui passe au travers de la plaque de blocage, ce qui assure un serrage autobloquant.

D'autres ceintures sont équipées d'une bobine pouvant pivoter autour d'un axe central et permettant d'enrouler la sangle (Figure 2). Cette bobine est munie d'un ou de deux pignons de blocage (roue plate dentée) qui sont solidaires de la bobine. Ces pignons constituent généralement les murs latéraux de la bobine qui dirigent l'enroulement de la sangle. Un mécanisme de blocage permet d'empêcher le déroulement de la bobine en maintenant une plaque de blocage qui vient s'engrener avec les dents du ou des pignons. Le mécanisme peut être débloqué par un actionnement manuel afin de permettre un ajustement de la longueur de sangle. À la Figure 2, cet actionnement se fait par l'intermédiaire du bouton de désengagement rouge. Un système de ressort de rappel spiralé, rattaché à la bobine, permet le rembobinage automatique de la sangle lorsque celle-ci doit être raccourcie, en s'assurant d'avoir au préalable libéré le mécanisme de blocage.



**Figure 2. Vue intérieure d'un rétracteur à déblocage manuel.**

## 2.3 Ceinture à ajustement automatique

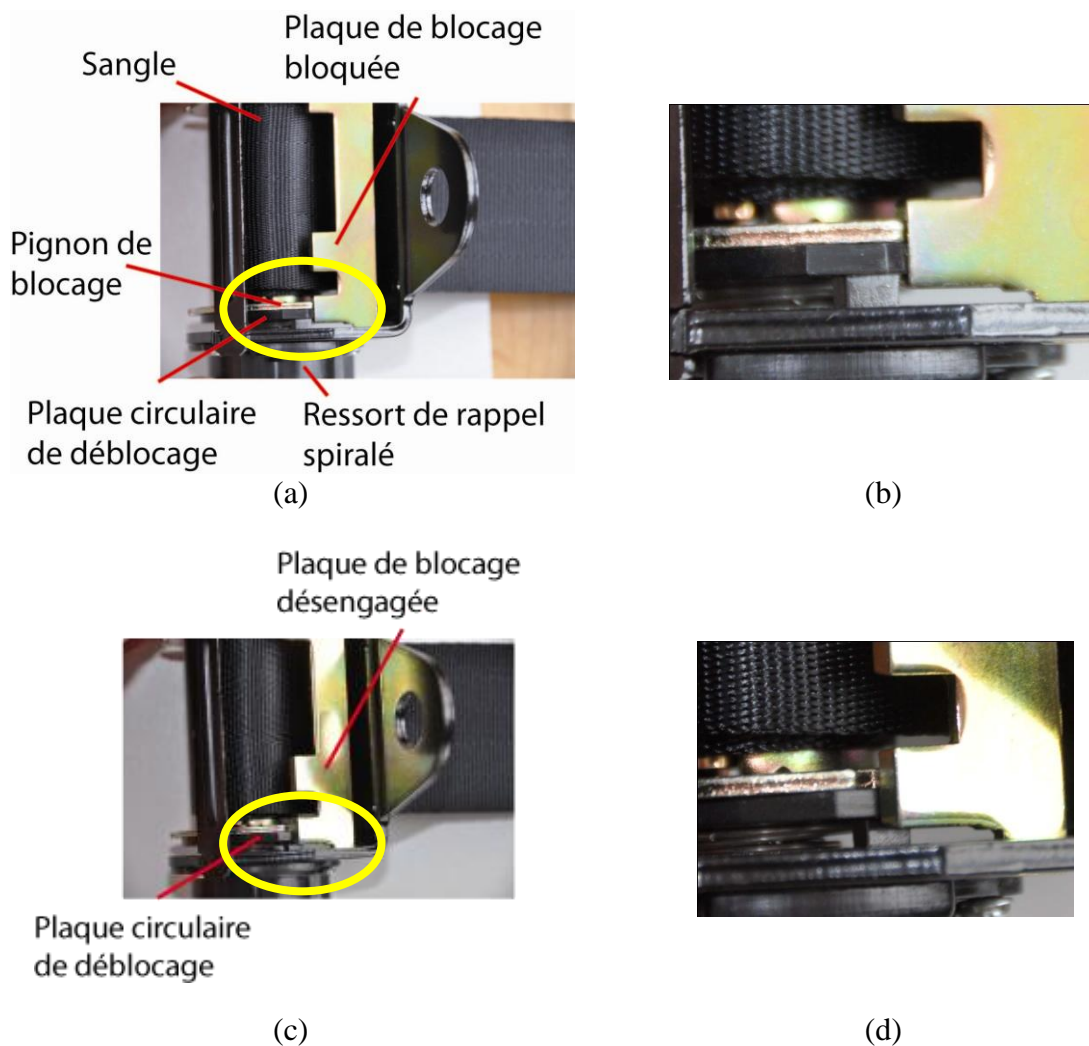
L'ajustement de la longueur de la sangle peut se faire automatiquement à l'aide d'un rétracteur à blocage automatique (ALR : « Automatic locking retractor ») ou à blocage d'urgence (ELR : « Emergency locking retractor »). Cette section explique sommairement le fonctionnement de ces rétracteurs.

### 2.3.1 Rétracteur à blocage automatique ALR

La fonction du rétracteur à blocage automatique est d'enrouler tout surplus de sangle, sans intervention du cariste, et d'empêcher ensuite en tout temps le défilement de la sangle grâce à un système de blocage à pignons, solidaire de la bobine. La longueur maximum de défilement avant blocage est déterminée en partie par le nombre de dents d'engrènement du ou des pignons de blocage (Figure 3). Ce type de rétracteur possède l'avantage de toujours assurer une retenue adéquate du cariste, mais le désavantage de constamment se resserrer sur l'utilisateur dès qu'il y a un jeu suffisant dans la sangle dû au ressort de rappel spiralé. Le terme anglais couramment utilisé pour décrire ce phénomène de rétraction progressive est le « cinching ».

Ce resserrement progressif peut se produire, par exemple, lors de déplacements sur un terrain cahoteux, alors que le siège possède une suspension et que la ceinture est ancrée au plancher ou à la structure du véhicule plutôt qu'au siège. Le problème est moins présent lorsque les ancrages font partie intégrante du siège, mais la présence de mousse sur l'assise du siège peut aussi mener à cette problématique dans le cas où le nombre de dents du ou des pignons latéraux de blocage serait élevé.

Pour desserrer ou réajuster la ceinture, l'utilisateur doit la détacher et la rembobiner automatiquement jusqu'au rétracteur, à l'aide d'un système de ressort de rappel spiralé relié à la bobine, ce qui peut rendre son utilisation fastidieuse. Les recherches dans l'Internet, la visite d'un fournisseur de pièces pour chariots élévateurs et les observations effectuées en entreprises ont montré qu'actuellement, les chariots élévateurs sont souvent équipés de ceintures avec rétracteur ALR.



**Figure 3. Vue intérieure d'un rétracteur ALR.**

*a) Plaque de blocage engagée, b) vue macro de la plaque de blocage engagée, c) plaque de blocage désengagée et d) vue macro de la plaque de blocage désengagée.*

### 2.3.2 Rétracteur à blocage d'urgence ELR

Le rétracteur de type ELR permet à la ceinture de sécurité de s'ajuster automatiquement au volume du corps du cariste compris entre la ceinture et le siège, tout en assurant un minimum de tension dans la sangle. L'enroulement se fait par l'intermédiaire d'un ressort de rappel spiralé tandis que son déroulement, en conditions normales d'opération, se fait en pratique librement sous une tension minimale de la sangle. Le déroulement peut toutefois être bloqué automatiquement sous certaines conditions d'opération par l'intermédiaire d'un ou des leviers dentés, fixés à la bobine (cf. Figure 4a), ou alternativement, au boîtier du rétracteur (cf. Figure 4b, 4c). Ces leviers s'engrènent avec le ou les pignons de blocage respectivement du boîtier, du rétracteur ou de la bobine. Le rétracteur se bloque seulement lorsque :

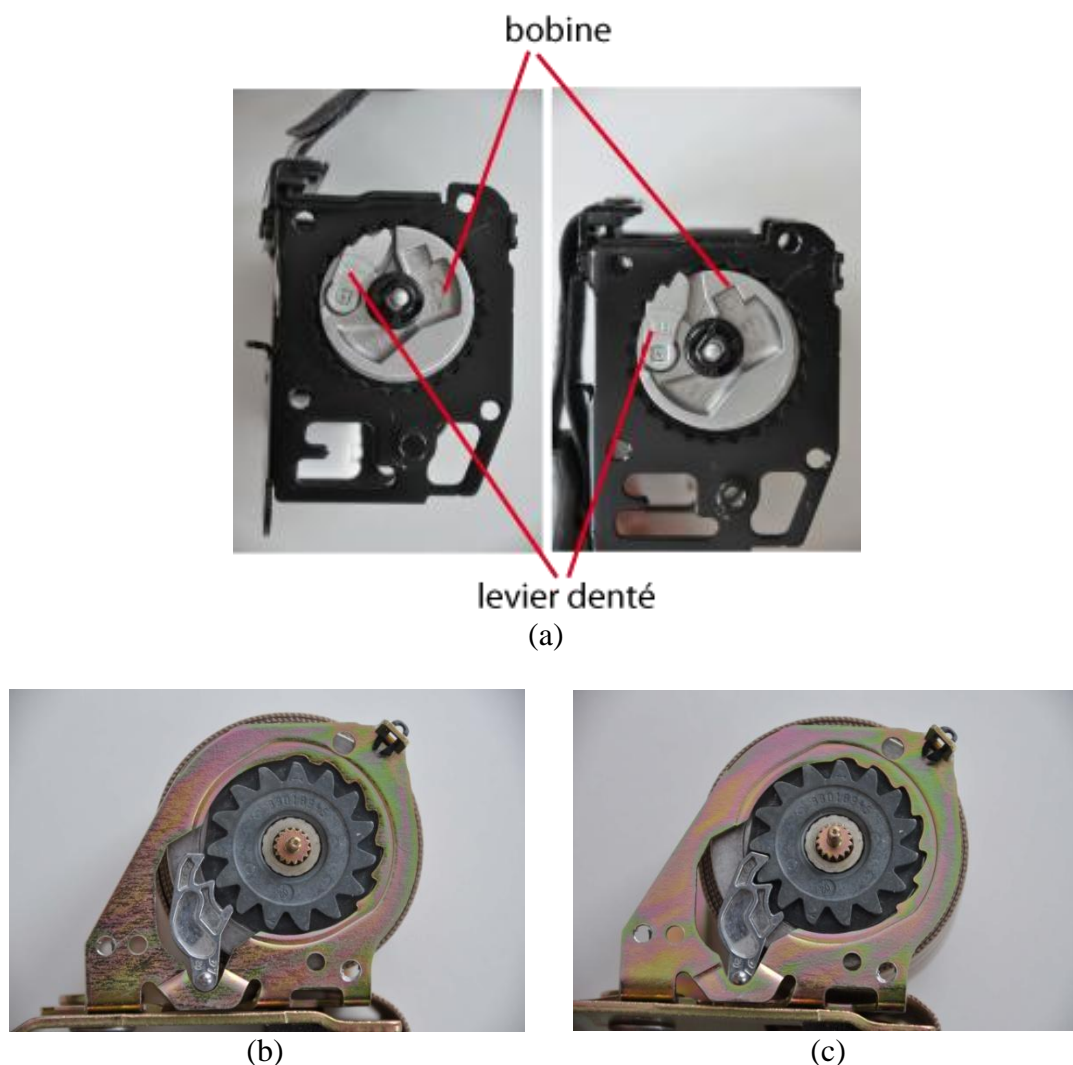
1. le chariot subit des accélérations ou des décélérations qui dépassent un certain seuil quelle que soit la direction;
2. le chariot est soumis à une angulation excessive par rapport à l'horizontale; et, dans certains cas,
3. le taux de variation de vitesse de défilement de la sangle (i.e. son accélération) ou sa vitesse de défilement dépasse un certain seuil (cf. système tel que discuté par Cannon et al. 2002).

Tel que mentionné, ces leviers peuvent être actionnés par un mécanisme sensible à l'accélération angulaire de la bobine ou, selon certaines informations relevées dans les écrits (Cannon et al. 2002), selon la vitesse angulaire de la bobine. On qualifie cette ceinture d'antiblocage (« anti-cinch ») puisqu'elle ne se resserre pas progressivement sur l'utilisateur lors d'un mouvement relatif du cariste par rapport au siège comme cela peut se produire en présence de vibrations. Ce type de rétracteur est utilisé depuis de nombreuses années dans les véhicules routiers.

Selon les normes existantes relatives aux ceintures de sécurité, le rétracteur doit posséder au minimum six fonctions fondamentales (p. ex. voir norme SAE J386:2006) :

1. Il doit bloquer le défilement de la sangle lorsque le rétracteur est soumis à des accélérations dépassant  $0,7g^3$ ;
2. Il ne doit pas bloquer lorsque l'accélération du défilement de la sangle (taux de variation de la vitesse de défilement de la sangle, i.e. le "webbing") est en deçà de  $1g$ ;
3. Il ne doit pas bloquer lorsque l'orientation du rétracteur dévie de +/- 12 degrés de la position référence. L'orientation du rétracteur doit donc être ajustée correctement lorsqu'on installe celui-ci sur un chariot (*Note des auteurs : cette fonction vise à éviter que la ceinture bloque lorsque le véhicule se retrouve dans une faible pente*);
4. En contrepartie, il doit bloquer lorsque son inclinaison se situe au-delà de 40 degrés de sa position référence;
5. Le système de blocage de la portion pelvienne de la ceinture ne doit pas être uniquement sensible au déroulement de la sangle;
6. Un défilement maximum de 50 mm est permis avant le blocage de la sangle lorsque le système s'enclenche.

<sup>3</sup> « g » désigne ici l'accélération gravitationnelle terrestre, soit  $9,81 \text{ m/s}^2$



**Figure 4. Vue intérieure latérale d'un rétracteur ELR.**

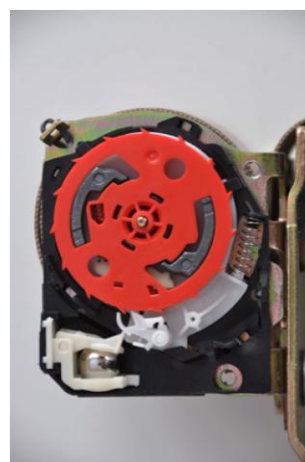
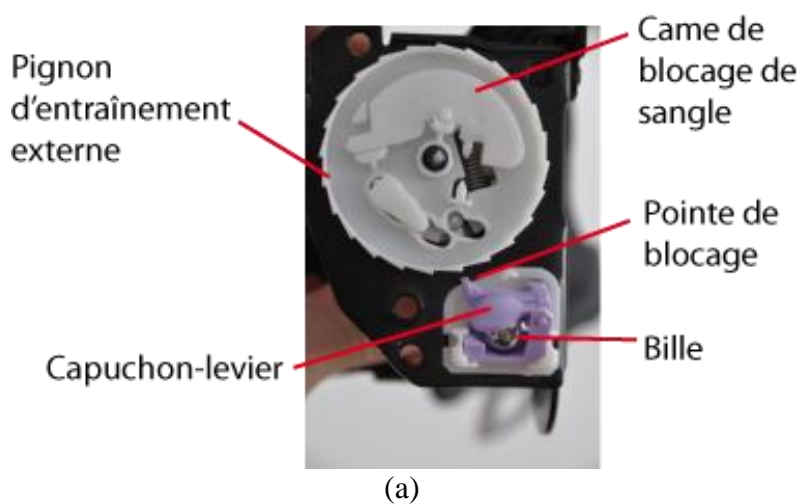
*a) Leviers fixés sur la bobine, b) leviers fixés sur le boîtier en position libérée et c) en position bloquée. Le système illustré en (b) s'active en fonction de l'accélération angulaire de la bobine (NOTE: système d'actionnement non montré).*

Des critères similaires se retrouvent dans les autres normes (p. ex. ISO 24135-1, FMVSS 209 ou ECE/324 règlement 16 des Nations Unies), les valeurs quantitatives pouvant toutefois varier d'une norme à l'autre.

L'actionnement du système de blocage du rétracteur ELR est assuré par différents mécanismes selon les fonctions listées ci-haut. Dans tous les cas, les mécanismes ont pour but d'actionner le ou les leviers de blocage en métal, tel que l'illustre la Figure 4. Lorsque l'un et/ou l'autre des mécanismes d'actionnement sont activés, les leviers de blocage pivotent radialement de sorte qu'ils s'engrènent avec le ou les pignons de la bobine ou du boîtier.

### 2.3.2.1 Mécanisme de blocage basé sur l'accélération ou l'angulation du rétracteur

Un système bien connu qui permet d'activer le levier de blocage consiste en une bille isolée dans une cavité (Figure 5) par l'intermédiaire d'un capuchon-levier, ayant une pointe de blocage en son extrémité, et qui peut s'engrener avec le pignon d'entraînement externe (roue dentée blanche ou rouge à la Figure 5). L'engrènement a lieu lorsque la bille soulève le capuchon, à la suite d'une accélération du rétracteur de 0,7g ou plus selon la norme SAE J386, ou à la suite d'un changement d'angulation du rétracteur au delà de 40 degrés selon cette même norme. À la suite de l'engrènement de la pointe de blocage avec le pignon d'entraînement externe, celui-ci, par sa rotation, fait pivoter le levier métallique qui permet de bloquer la bobine par l'intermédiaire du pignon de blocage situé sur la bobine ou sur le boîtier. Ce système est illustré à la Figure 6.

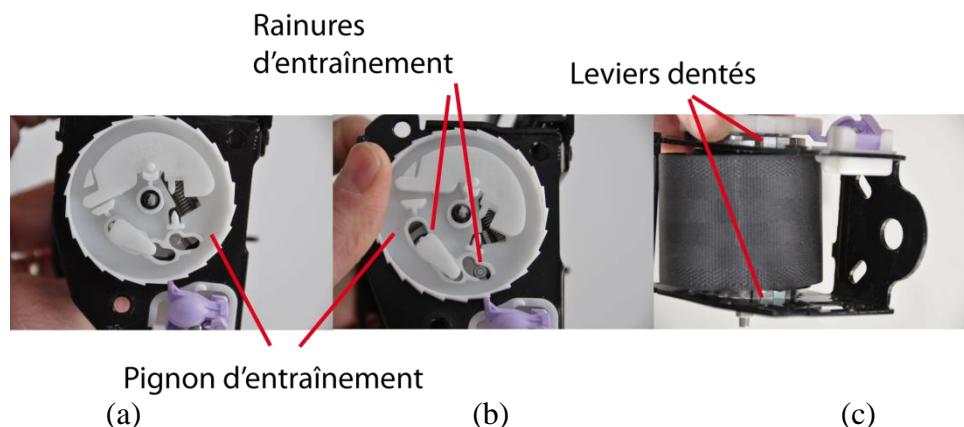


**Figure 5. Vue intérieure latérale d'un rétracteur ELR à bille.**

*Pignon d'entraînement externe blanc (a) ou rouge (b), selon le modèle de rétracteur. Mécanisme de blocage sensible à l'accélération du véhicule.*

Notons que le seuil d'accélération de 0,7g équivaut à une angulation statique de 45° du rétracteur, ce qui rend le seuil statique (40°) compatible avec le seuil dynamique de 0,7g. En effet, une

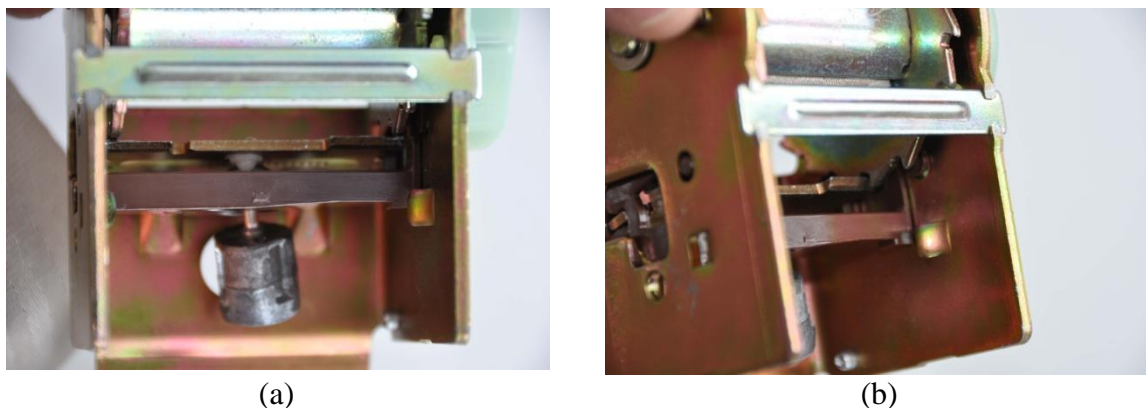
angulation statique de  $40^\circ$  introduit une force sur la bille qui équivaut à une accélération de  $0,64g$  (i.e.  $g \cdot \sin(40^\circ)$ ). Cette compatibilité est assurée pourvu que ce soit le seuil statique qui prévaut dans la conception du mécanisme de blocage, sinon le seuil statique ne pourra être respecté. De toute évidence, par le concept même du système à bille, le rétracteur ne peut être installé dans n'importe quelle orientation, sous peine de limiter sa fonctionnalité.



**Figure 6. Mécanisme de blocage de la bobine du rétracteur ELR à bille, sensible aux accélérations du véhicule**

*a) Vue latérale début d'engagement, b) système complètement engagé et c) vue des leviers dentés engagés.*

Il existe aussi des balanciers qui jouent le rôle du système à bille, tels qu'illustrés à la Figure 7. Un changement d'angulation ou une accélération du rétracteur font pivoter le balancier par rapport à son pivot, actionnant du même coup la plaque de blocage qui vient s'engrener avec le pignon d'entraînement. D'autres mécanismes d'actionnement pourraient être utilisés mais ils doivent répondre aux six fonctions énumérées à la section 2.3.2.



**Figure 7. Mécanisme de blocage de la bobine du rétracteur ELR à balancier.**

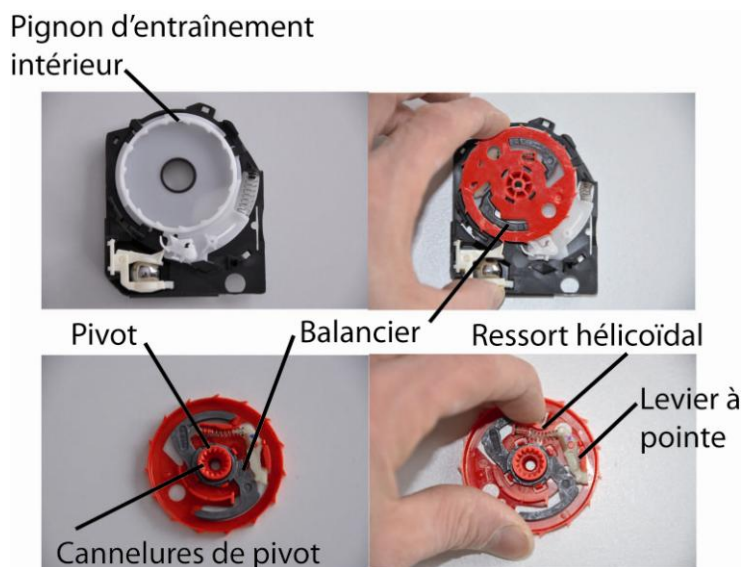
*a) Début d'activation par le balancier et b) Plaque de blocage engagée dans le pignon de blocage.*

### 2.3.2.2 Mécanisme de blocage basé sur la vitesse ou l'accélération du défilement de la sangle

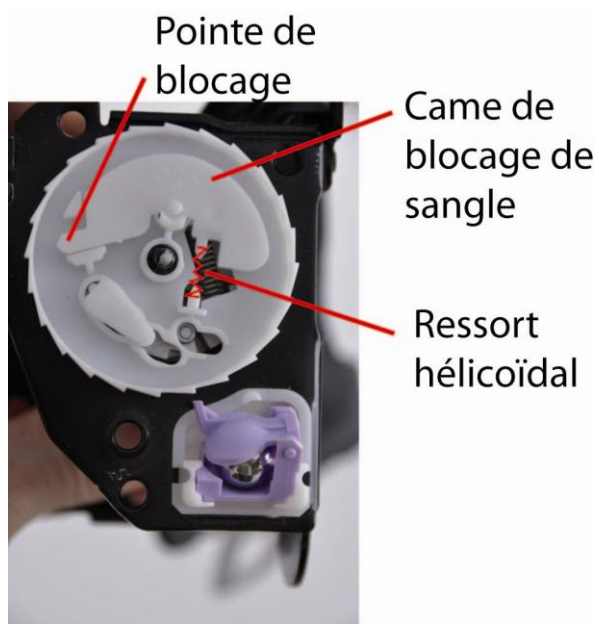
Il semble y avoir confusion sur ce mécanisme dans les écrits. Par exemple, Cannon et al. (2002) suggèrent à la Figure 4 de leur article que le mécanisme est fonction de l'accélération centrifuge, laquelle est fonction de la vitesse angulaire de la bobine. Le mécanisme illustré pourrait être aussi bien fonction de l'accélération angulaire de la bobine, car certains composants du mécanisme ne sont probablement pas illustrés. De plus, les normes étant fonction de l'accélération du défilement de la sangle, et donc de l'accélération angulaire de la bobine, il est fort probable que le système illustré par Cannon et al. (2002) en soit un qui soit sensible à l'accélération angulaire de la bobine. La norme ISO 24135-1:2006 (voir section 2.6) suggère aussi que la sangle pourrait être sensible à la vitesse de défilement. Bien que cette fonction puisse être intéressante pour utilisation avec un chariot élévateur, les normes américaines actuelles ne prescrivent rien à cet égard.

Une autre confusion réside dans le critère de blocage lui-même, tel qu'il est exprimé par la norme SAE J386. En effet, le critère stipule que la ceinture ne doit pas bloquer lors d'accélération de défilement de la sangle en deçà de 1g, mais la norme ne dit rien pour les accélérations supérieures. Malgré la confusion qui réside en ce qui a trait au critère de blocage sensible au défilement de la sangle, les manufacturiers de ceinture ELR ont introduit un mécanisme de blocage de la sangle qui permet de bloquer le déroulement de celle-ci lorsque l'accélération angulaire de la bobine est trop élevée. Le seuil visé pour cette fonction n'est cependant pas spécifié dans la norme SAE J386; la norme E/ECE/324 le situe toutefois à 2g tandis que l'Aerospace Standard 8043 le fixe à 1,5g (SAE 8043, 2008). Pour la norme SAE J386, on pourrait implicitement comprendre qu'il est situé à 1g.

Un mécanisme qui permet de respecter le critère de 1g sur le défilement de la sangle est illustré à la Figure 8, pour deux modèles différents de rétracteur. Cette figure est une vue intérieure du pignon d'entraînement qui est illustré à la Figure 5. Dans le cas du mécanisme à pignon rouge, il s'agit d'un balancier en forme de S (couleur grise sur la figure) qui est libre de pivoter (sur une plage de quelques degrés seulement) autour d'un pivot faisant partie intégrante de l'intérieur du pignon d'entraînement. Les cannelures intérieures du pivot du pignon s'engrènent avec la bobine. Par conséquent, lorsque la bobine est accélérée angulairement, le pignon d'entraînement est automatiquement accéléré aussi, mais le balancier ne l'est que par l'intermédiaire d'un ressort hélicoïdal. Étant donné l'inertie du balancier par rapport au pivot, il doit y avoir une accélération angulaire suffisante de la bobine pour faire pivoter le balancier à un point tel qu'il fera pivoter radialement un levier à pointe, en plastique de couleur blanche sur la photo de la Figure 8a, en bas à droite. Si le levier à pointe a suffisamment pivoté (ceci est directement relié à l'amplitude de l'accélération angulaire et à sa durée), il viendra s'engrener avec les dents intérieures du pignon d'entraînement, le fera pivoter à son tour et, par conséquent, permettra de faire finalement pivoter radialement le levier denté métallique qui bloquera la rotation de la bobine. Le ressort hélicoïdal permet de ramener le balancier à sa position et ainsi de libérer le blocage lorsque la sangle n'est plus accélérée au-delà de 1g. Un système similaire de balancier qui prend la forme d'une came est illustré à la Figure 8b avec le mécanisme à pignon d'actionnement blanc illustré à la Figure 5.



(a)



(b)

**Figure 8. Mécanisme de blocage de déroulement de la sangle du rétracteur ELR avec pignon d'entraînement pour deux systèmes différents.**

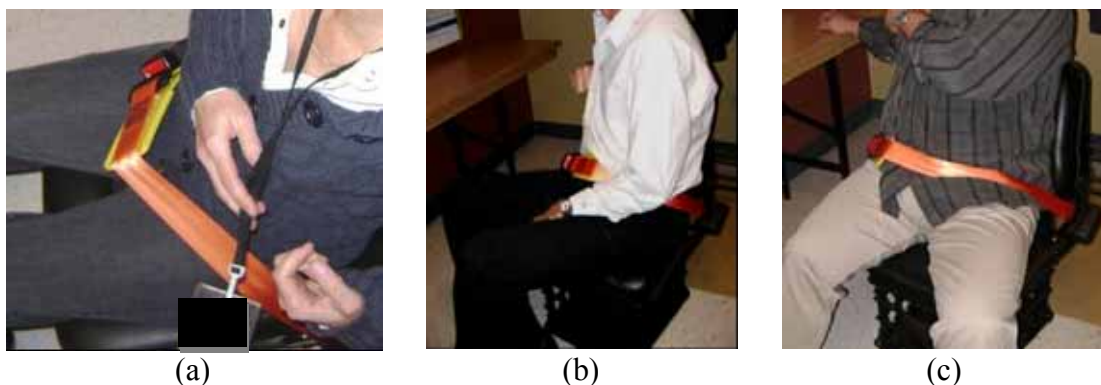
*Les deux systèmes de blocage possèdent un mécanisme à bille mais n'ont pas le même système de blocage du défilement de sangle. Dans le dernier cas (b), le pignon d'entraînement interne a été enlevé pour des raisons d'accès visuel.*

## 2.4 Autres dispositifs pouvant être jumelés aux ceintures

### 2.4.1 Système à lame-ressort

Depuis quelques années, un nouveau type de ceinture destiné aux chariots élévateurs est offert sur le marché. Il s'agit d'une ceinture pelvienne standard à laquelle un ressort métallique, de type lame, recouvert d'une gaine de plastique a été ajouté du côté de la boucle (partie femelle). Une plaque de plastique se prolonge d'environ 18 cm (7 po.) au-delà de l'attache. Cette partie semi-rigide inciterait les caristes à boucler la ceinture puisqu'elle se trouve vis-à-vis des commandes du chariot, nuit aux opérations et empêche le cariste de s'asseoir correctement s'il ne porte pas la ceinture. Cette ceinture n'est pas un système d'ajustement de la tension de la sangle, mais bien un système qui encourage son utilisation. D'ailleurs, la ceinture est équipée d'un rétracteur à blocage automatique (ALR) qui répond aux différentes normes, dont la norme SAE J386.

Actuellement, ce type de ceinture équipe rarement les chariots élévateurs du Québec et n'a pas pu être évalué en situation de travail. Grâce à un fournisseur d'équipements de chariots, il a été possible d'examiner sommairement cette ceinture. La tension créée par le ressort métallique fait en sorte que le rétracteur n'est pas à même de reprendre complètement le jeu dans la sangle. Un essai a été réalisé par trois sujets, sans forcer le rétracteur à rembobiner le surplus de sangle et ainsi à compenser la tension dans le ressort. Le jeu peut être important pour une personne ayant un faible tour de taille (Figure 9a). Pour un homme sans surpoids (Figure 9b), ce jeu était d'environ 8 cm (3 po.). Pour une personne dont le tour de taille est plus fort (Figure 9c), ce jeu est moins important, quoique présent. Le jeu que laisse ce type de ceinture peut être avantageux pour permettre une liberté de mouvement lors de l'accomplissement du travail (p. ex. rotation du tronc ou flexion latérale du cariste), mais pourrait compromettre la sécurité du cariste s'il devenait trop important (la section 2.7.3 fournit plus d'information sur l'ajustement adéquat de la ceinture de sécurité).



**Figure 9. Essais d'une ceinture avec lame-ressort par trois sujets.**

*(a) Femme de petit gabarit, (b) homme sans surpoids et (c) homme en surpoids.*

### 2.4.2 Antiblocage (« anti-cinching »)

Pour améliorer le confort des caristes, des manufacturiers proposent un système antiblocage qui s'ajoute aux ceintures avec rétracteurs de type ALR. Le système peut être installé entre la boucle femelle et le point d'ancrage au sol ou sur le siège ou encore être intégré à même le rétracteur (cf. Figure 10). Ce système, composé d'un ressort ou d'un autre dispositif, permet un léger étirement de la ceinture au moment où cette dernière est sollicitée par le cariste.



**Figure 10. Boucle antiblocage.**

*a) Au repos et b) lorsque sollicitée.*

### 2.4.3 Grattoir

Les rétracteurs peuvent aussi avoir à leur entrée un grattoir de sangle qui permet de diminuer la contamination à l'intérieur du rétracteur, en plus de réduire la possibilité qu'une sangle torsadée ne vienne le bloquer.

### 2.4.4 Antidémarrreur et signal sonore

Un système, connu sous le nom anglais « ignition Interlock » et pouvant se traduire par antidémarrreur, peut être installé pour empêcher le démarrage du véhicule lorsque la ceinture n'est pas bouclée. Il peut être jumelé à un système de détection de présence sur le siège. Par ailleurs, il existe des systèmes qui émettent un son strident lorsque le véhicule est mis en marche et que la ceinture n'est pas bouclée.

### 2.4.5 Autres dispositifs

Plusieurs autres dispositifs de sécurité sont offerts sur le marché mais les écrits ne font référence à aucun pouvant être utilisé dans les chariots élévateurs. Ces dispositifs sont installés dans tous les cas sur des ceintures comportant un baudrier : plateau confort, prétendeur, pré-prétendeur, bloqueur de sangle, limiteur d'effort, limiteur de charge dégressif, fibres élastiques, coussin gonflable intégré à la ceinture. Bien qu'ils soient présentement utilisés pour les véhicules routiers, certains de ces dispositifs pourraient faire l'objet de recherches afin d'évaluer leur

efficacité dans le cas des chariots élévateurs. L'Annexe B donne plus de détails sur ces dispositifs.

## 2.5 Autres types de ceintures

Il existe d'autres types de ceintures, telles que les ceintures à trois points d'ancrage comportant une sangle pelvienne et un baudrier, comme dans les automobiles. Il y a également les harnais, pouvant compter 3 points d'ancrage ou plus, utilisés dans certains engins de chantier et dans les voitures de course. La documentation consultée ne révèle aucune utilisation de ce type de ceinture dans le cas des chariots élévateurs. Dans le cadre d'une étude portant sur les véhicules utilisés dans les carrières, Smith et al. (2005) ont comparé la ceinture pelvienne, la ceinture à baudrier et le harnais. Ils ont conclu qu'en général, une meilleure retenue du torse diminuait le risque de contact avec les éléments de l'habitacle. Par exemple, lors d'un impact frontal, la ceinture pelvienne n'empêche pas le déplacement du tronc vers l'avant. L'abdomen pourrait donc entrer en contact avec le volant et la tête pourrait heurter le volant ou toute autre structure avoisinante. Cette ceinture n'empêche pas non plus, lors de renversements latéraux statiques et dynamiques, le mouvement du tronc vers l'avant ou le côté, ce qui pourrait occasionner des blessures à la tête ainsi qu'au cou. Le lecteur intéressé aux ceintures à baudrier ou aux harnais peut consulter l'Annexe C pour une description plus détaillée de ces dispositifs.

## 2.6 Normes associées aux ceintures de sécurité

Plusieurs organismes de santé et sécurité provinciaux au Canada indiquent que tous les véhicules mobiles équipés d'un FOPS ainsi que les tracteurs à grue doivent posséder une ceinture de sécurité qui respecte les exigences de la norme « *Society of Automotive Engineers (SAE) Standard J386 Feb 2006, Operator Restraint System for Off-Road Work Machines* ». La norme SAE J386 donne généralement les spécifications et les tests requis pour assurer une performance suffisante aux différents composants de la ceinture: ancrage, sangle, boucle, etc.

Quelques normes régissent les ceintures de sécurité, qu'elles soient utilisées dans les véhicules routiers ou dans les véhicules de travail. Deux de ces normes s'appliquent directement à l'utilisation des ceintures de sécurité dans les chariots élévateurs, soit la norme SAE J386 ainsi que la norme ISO 24135-1 2006. La norme ECE/324 règlement 16 des Nations Unies ainsi que la réglementation FMVSS 209 parag. 571.209 du Department of Transportation (USA), qui s'appliquent aux véhicules routiers, ont des exigences similaires, ceci démontrant qu'il existe un certain consensus international à cet égard. Ce consensus n'est toutefois pas nécessairement signe de performance suffisante selon les conditions cinématiques de renversement d'un véhicule. Les sections suivantes présentent les spécifications principales d'intérêt de ces normes relatives aux performances des ceintures. Les différents seuils de performance de ces normes relativement aux rétracteurs ELR sont compilés pour chacune des normes au Tableau 1.

**Tableau 1. Comparaison de certains seuils de performance concernant le blocage de la sangle des rétracteurs ELR selon différentes normes**

Condition de blocage de la sangle		SAE J386 :2006 Véhicules de travail hors route	ISO 24135- 1 :2006 Chariots de manutention	FMVSS 209 :2008 Véhicules routiers	E/ECE/ 324 :2009 Véhicules routiers et tracteurs en foresterie et agriculture	Aerospace Standard 8043 Aéronautique
Blocage	Orientation du rétracteur (p/r à sa position de référence d'installation)	$\geq \pm 40^\circ$	$\geq \pm 30^\circ$	$\geq \pm 45^\circ$	$\geq \pm 27^\circ/45^\circ$ selon le type de rétracteur	N/A
	Décélération du rétracteur	$> 0,7g$	idem à SAE J386 ou E/ECE/324	$> 0,7g$	$> 0,45/0,85g$ selon type de rétracteur	$> 1g$
	Accélération du déroulement de la sangle	Non défini*, - Ne doit pas être le seul critère de blocage	idem à SAE J386 ou E/ECE/324	$> 0,7g$	$> 2g$	$> 1,5g$
	Déroulement maximal de la sangle lorsque le système de blocage s'enclenche	50 mm	idem à SAE J386 ou E/ECE/324	25/51 mm	30 mm	25,4 mm
Non blocage	Orientation du rétracteur (p/r à sa position de référence)	$\leq \pm 12^\circ$	idem à SAE J386 ou E/ECE/324	$\leq \pm 15^\circ$	$\leq \pm 12^\circ$	N/A
	Accélération du déroulement de la sangle	$< 1g$	idem à SAE J386 ou E/ECE/324	$< 0,3g$	$< 0,45/0,85g$ selon type de rétracteur	$< 1,5g$

\*Il est fort probable que les fabricants incluent un mécanisme pour un blocage au-dessus de 1g.

Il est important de noter que la norme SAE J286 sur les ceintures fait partie de la réglementation sur les chariots élévateurs dans certaines provinces canadiennes. Par exemple, la Nouvelle-Écosse demande une ceinture qui réponde aux caractéristiques de la norme SAE J386 (OHSA, 1996) ou qui l'excède. Le Québec dispose de sa propre réglementation et n'est donc pas soumis à cette norme.

D'une part, le Règlement sur la santé et la sécurité du travail du Québec (RSST) mentionne que les chariots élévateurs doivent respecter les normes CSA B335.1-1997 ou ANSI B56.1-1975 s'ils ont été fabriqués avant le 2 août 2001, tandis qu'ils doivent respecter la norme ASME B56.1-1993 s'ils ont été fabriqués après cette date. Dans la norme ASME, il n'y a aucun article qui prescrive une ceinture quelconque, ni recommandation relativement au choix ou aux performances détaillées de ceinture pour maintenir le cariste dans son habitacle lors des renversements. D'autre part, l'article 256.1 du RSST du Québec n'indique aucun type de ceinture ni de norme applicable à ce sujet.

### **2.6.1 Norme SAE J386:2006**

Selon cette norme qui s'applique aux véhicules de travail hors route, la ceinture et ses composants doivent être vérifiés régulièrement par l'entreprise qui doit suivre les recommandations des manufacturiers. Les pièces doivent être remplacées si elles sont endommagées ou usées et si la sangle est ébréchée ou déchirée. Les écrits proposent aussi de remplacer le système de ceinture à la suite d'un accident, mais parmi la documentation consultée aucun texte ne spécifiait la durée de vie d'une ceinture de sécurité.

La norme définit les exigences minimales concernant la conception des systèmes de rétention pelvienne (ceintures, ancrages, éléments d'assemblages, etc.) qui sont nécessaires pour retenir un opérateur à l'intérieur du véhicule lors d'un capotage ou d'un renversement. On y retrouve, de plus, les tests de performances à effectuer pour certifier le système de retenue. Cette norme est semblable aux autres normes, quant aux exigences appliquées aux ceintures de sécurité dans les véhicules hors-route ou même routiers. La section 5.4 de la norme SAE J386 est particulièrement intéressante en ce qui concerne les rétracteurs automatiques et d'urgence.

Dans le cas des systèmes ELR, sept requis sont listés, six d'entre eux se retrouvant décrits à la section 2.3.2 du présent rapport. Tel que nous l'avons expliqué à la section 2.3.2.2, le critère portant sur l'accélération du défilement de la sangle porte à confusion. Il serait judicieux, lors de la sélection d'une ceinture, de s'assurer que le critère d'accélération de la sangle inclut aussi une limite supérieure quant à l'accélération de son défilement au-delà de laquelle la sangle va s'enrayer, bien que la norme SAE J386 ne l'exige pas explicitement. Les tests de performance suggérés par la norme ne demandent pas de tester les ceintures au-delà d'un seuil de 1g, mais on pourrait penser que la norme considère un seuil implicite de blocage à 1g et plus.

La norme SAE inclut une exigence additionnelle lorsqu'un système automatique contrôlé par un signal externe ou une source externe assure le blocage de la sangle. D'autre part, la norme stipule que les rétracteurs sensibles à l'inclinaison du véhicule fonctionnent aux angles d'inclinaison extrême lorsque le véhicule est en mode ralenti (« idle »). Le terme "fonctionner" n'y est toutefois pas bien explicité.

### 2.6.2 Norme ISO 24135-1:2006

Cette norme, qui s'applique aux chariots de manutention, stipule que les composants de l'assemblage des ceintures de sécurité doivent être conformes à la norme SAE J386 ou au ECE/324 règlement 16. Ce règlement est sensiblement identique à la norme SAE J386, mais il inclut quelques critères plus spécifiques pour les chariots élévateurs, principalement quant aux performances et aux tests à effectuer.

Tout comme pour la norme SAE J386, la norme ISO 24135 comprend une section concernant les rétracteurs (section 4.4). Cependant, contrairement à la norme SAE, la norme ISO exige que la fonction de blocage du rétracteur ELR ne dépende pas uniquement de la vitesse ou de l'accélération de défilement de la sangle depuis le rétracteur, mais aussi de l'angle d'inclinaison latérale du chariot élévateur. Cet angle ne doit pas être supérieur à 30°.

### 2.6.3 Norme FMVSS 209:2008

Cette norme, qui s'applique aux véhicules routiers, fournit des détails qui permettent de mieux comprendre la norme SAE J386. Elle requiert des critères similaires à la SAE J386 sauf que le critère de 1g sur le déroulement de la sangle, dans le cas des rétracteurs ELR, est fixé à 0,3g. En outre, le descriptif du critère de performance sur cet aspect étant identique, la confusion demeure quant au blocage ou non de la ceinture lorsque l'accélération dépasse 0,3g. Toutefois, bien que cela n'apparaisse pas explicitement dans la liste des critères, en analysant bien le protocole de test, on note que le rétracteur doit bloquer la sangle pour un **défilement** de 0,7g. Finalement, la norme indique que le rétracteur doit bloquer la sangle pour des **accélérations du rétracteur** au-delà de 0,7g.

### 2.6.4 Norme E/ECE/324:2009 Additif 15 : Règlement 16, rev. 6

Cette norme des Nations Unies, qui vise principalement les véhicules routiers, établit les spécifications concernant les systèmes de retenue. Elle touche aussi les tracteurs standards pour les domaines de la foresterie et de l'agriculture. La norme traite sensiblement des mêmes dispositions que celles décrites dans les normes précédentes, mais elle fournit des explications supplémentaires qui aident à mieux comprendre les autres normes. Cette norme est plus explicite concernant le critère d'accélération du défilement de la sangle pour les rétracteurs ELR. Elle stipule que le rétracteur doit bloquer lorsque l'accélération du défilement de la sangle dépasse 2g.

### 2.6.5 Norme SAE AS8043

Cette norme SAE vise les systèmes de retenue pour sièges d'aéronefs. De toute évidence, l'angulation n'est pas un critère de performance, mais la décélération de l'aéronef l'est, avec 1g pour seuil de blocage des rétracteurs ELR. Des valeurs sensiblement différentes sont indiquées par rapport aux autres normes et un blocage sur l'accélération du défilement de la sangle est requis à 1,5g.

## **2.7 Éléments de discussion sur la performance des ceintures de sécurité pelviennes**

Les normes existantes sur les ceintures de sécurité prescrivent une résistance mécanique minimale des composants et des fonctionnalités qui, de toute évidence, sont issues d'une longue expérience dans le domaine des véhicules routiers. Or, la performance d'une ceinture dans un type d'accident n'est pas nécessairement la même que dans un autre, en particulier lors de l'utilisation de chariots élévateurs, car les accélérations/décélérations/vitesses en jeu sont plus faibles et, le plus souvent, il n'y a pas d'habitacle fermé pour contenir le conducteur. Ainsi, un certain nombre de points de discussion doivent être abordés quant à la performance des ceintures pelviennes, notamment :

1. leurs modes de défaillance;
2. l'adéquation des normes de rétracteurs ELR vs leur utilisation pour chariots élévateurs;
3. l'ajustement nominal de la ceinture pelvienne;
4. le faux-bouclage;
5. les tests répertoriés dans les écrits.

### **2.7.1 Étude préliminaire des modes de défaillance des ceintures pelviennes**

Outre le bris des composants individuels de la ceinture de sécurité, les ceintures peuvent ne pas fournir la performance escomptée dans certaines situations qu'il est important de déterminer. Ainsi, la ceinture à ajustement manuel (i.e. sans rétracteur) apparaît fiable au regard du nombre limité de pièces en jeu, mais c'est celle qui apparaît la moins conviviale. La ceinture à rétracteur manuel est aussi d'apparence fiable, mais un système de déblocage manuel est ajouté, lequel pourrait avoir certaines défaillances mécaniques. Les rétracteurs ALR et ELR sont de plus grande complexité, même au niveau fonctionnel: ils présentent donc plus de possibilités de défaillances.

Il n'est pas possible de couvrir les modes de défaillances de toutes les ceintures sur le marché. Par contre, il est intéressant d'analyser ceux des rétracteurs typiques ALR et ELR achetés chez différents fournisseurs, afin de donner une idée de certaines problématiques qui sont probablement communes à plusieurs concepts de rétracteurs. Cette analyse fournit des pistes de réflexion pour toute ceinture qui pourrait être considérée.

#### **2.7.1.1 Défaillances mécaniques d'un rétracteur ALR**

Les rétracteurs ALR sont constitués d'un nombre limité de pièces dont certaines sont cependant mobiles. Le rétracteur qui a été analysé dans la présente étude, illustré à la Figure 3, comporte trois modes de défaillances apparents.

Premièrement, la plaque de blocage est un composant qui pivote par le biais de pivots rudimentaires et qui est soumis à un ressort de rappel, qui est lui aussi très élémentaire. Le bris de ce ressort ou son désengagement ferait en sorte de ne pas assurer un blocage des leviers

métalliques dans le pignon de la bobine dans une grande gamme de conditions de mouvement du rétracteur. Le ressort peut aussi se fatiguer et faire en sorte de ne pas assurer un bon rappel de la plaque pour initier le blocage. Aucune des normes ne statue sur la qualité de ce ressort autrement que par des tests fonctionnels globaux sur le rétracteur.

Deuxièmement, la présence de poussière ou de graisse pourrait aussi nuire au mouvement de bascule de la plaque, empêchant par conséquent le blocage du rétracteur lorsque la sangle est soumise à une force qui cherche à induire un déroulement.

Troisièmement, on observe que, lorsque la sangle est soudainement relâchée, puis retirée rapidement, la plaque circulaire de déblocage s'enclenche à l'occasion (cf. Figure 3), permettant alors à la sangle de se dérouler si elle est soumise à une tension. Cette plaque est normalement mise hors d'opération une fois la sangle déroulée sur une longueur de 10 cm environ. Puisque cette plaque est entraînée par la bobine, par l'intermédiaire d'un frottement entre deux surfaces en contact direct, la présence de poussière et de graisse peut entraîner une telle défaillance. Ce troisième mode est facile à réaliser lorsque la sangle est peu déroulée mais, heureusement, il devient beaucoup plus difficile à réaliser lorsque la sangle est déroulée sur une longueur correspondant à celle observée lors d'un fonctionnement normal. À notre connaissance, ce mode de défaillance n'a pas été répertorié dans les écrits.

En résumé, il apparaît essentiel d'effectuer une maintenance régulière des rétracteurs ALR et d'en nettoyer les composants au besoin afin d'éviter l'occurrence des défaillances explicitées ci-dessus.

### **2.7.1.2 Défaillances mécaniques d'un rétracteur ELR**

Les rétracteurs ELR sont constitués d'un nombre élevé de pièces dont plusieurs sont mobiles et fabriquées en plastique. Un rétracteur analysé dans la présente étude, illustré à la Figure 4, comporte trois modes de défaillances.

Premièrement, les pièces de plastique, même si elles sont soumises à de plus faibles efforts, peuvent vieillir et potentiellement se briser. Aucune information n'a toutefois été rapportée dans les écrits concernant ce type de bris et aucune des normes ne statue sur la qualité de ces pièces.

Deuxièmement, la présence de poussière ou de graisse pourrait de toute évidence nuire au mouvement des petites pièces de plastique glissantes ou pivotantes et faire en sorte de limiter leur fonctionnalité et éviter un blocage de la ceinture aux seuils requis par les normes en vigueur.

Troisièmement, sans être une défaillance à proprement parler, les mécanismes de blocage sont presque d'ordre micromécanique et les tolérances associées aux pièces jouent probablement un rôle important. Des tolérances trop importantes pourraient faire varier les seuils de blocage des rétracteurs. Une maintenance régulière des rétracteurs ELR est donc nécessaire pour assurer leur bon fonctionnement.

## **2.7.2 Adéquation des normes de rétracteurs ELR vs utilisation pour chariots élévateurs**

Les normes existantes sur les ceintures de sécurité s'appliquent davantage au domaine de la conduite automobile. Les accidents d'autos se déroulent souvent à haute vitesse et/ou avec une grande décélération, des conditions cinématiques qui sont loin d'être similaires à celles qu'on observe lors du renversement de chariots élévateurs. Plusieurs types de renversement de chariots existent, allant du simple renversement latéral, frontal ou arrière avec faible vitesse d'avance, à un renversement lors de trajectoires en J à vitesse élevée, ou à un impact frontal ou arrière. Lors de ces renversements, les vitesses et les accélérations du chariot et du cariste sont très variables et, à notre connaissance, aucune étude n'a produit de données statistiques quantitatives à ce sujet.

Les travaux de Bourret et al. (2008) fournissent toutefois des informations utiles pour estimer ces variables cinématiques. Dans le cas du renversement latéral, le Tableau 1 de l'étude de Bourret et al. (2008) rapporte des temps de renversement de l'ordre de 1 à 1,5 seconde. Le renversement frontal, arrière ou latéral à faible vitesse d'avance est de durée assez équivalente. Les renversements lors d'une trajectoire en J résultent quant à eux de la vitesse d'avance et du rayon de courbure, en plus des propriétés du chariot. La durée d'un tel renversement, selon les simulations faites par Bourret et al. (2008) est aussi de l'ordre de 1 à 1,5 seconde. Finalement, les temps de renversement pour les impacts frontal et arrière découlent de multiples facteurs et sont beaucoup plus rapides, d'un ordre de grandeur inférieur, à moins que le chariot ne suive une trajectoire complexe tridimensionnelle à la suite de l'impact.

Pour ce qui est des accélérations en jeu, celle subie par le rétracteur lors d'un renversement latéral est de l'ordre de  $g \sin \theta$ , tout comme celle de la bille du mécanisme de blocage. Il en est de même pour le cariste qui demeure, à toutes fins pratiques, solidaire du siège pendant un renversement latéral. Il en est de même pour les renversements frontal ou arrière. Pour les renversements lors de trajectoires en J, les études de Bourret et al. (2008) indiquent que le chariot subit une accélération d'amplitude qui varie en fonction de plusieurs paramètres, dont les propriétés des pneus et les caractéristiques du chariot. Par exemple, les simulations qu'ils ont effectuées sur le logiciel Visual Nastran indiquent des accélérations centripètes du chariot entre  $0,7g$  et  $2g$  lors de renversements en J. Dans une telle situation, l'accélération du cariste par rapport au siège peut être variable, selon que le cariste arrive à se maintenir dans l'habitacle ou qu'il poursuit plutôt sa trajectoire initiale pendant que le chariot prend le virage. Dans ce dernier cas, le cariste aurait une accélération relative de l'ordre de  $0,7g$  à  $2g$  par rapport au chariot élévateur pendant les premiers temps du renversement. Toutefois, comme le cariste n'est pas entièrement libre et qu'il peut, volontairement ou par réflexe, tenter de rester à l'intérieur de l'habitacle, le niveau d'accélération relative par rapport au siège peut être en deçà de  $0,7g$ , en particulier si le chariot suit une trajectoire complexe pendant le renversement.

En fonction de ces observations, il y a donc lieu de déterminer si les normes en vigueur sur les ceintures de sécurité proposent des seuils de blocage compatibles avec la cinématique des renversements de chariots élévateurs en ce qui a trait aux rétracteurs ELR, car ceux-ci présentent de bons avantages en termes d'utilisabilité.

Cette cinématique varie toutefois en fonction du type de renversement. On peut classer les renversements selon trois types :

1. Des renversements à faibles vitesses d'avance ou de recul, que ce soit des renversements frontal, arrière ou latéral;
2. Des renversements à la suite de l'avance du chariot selon une trajectoire en J sur une surface qui peut être horizontale ou inclinée;
3. Des renversements suivant un impact qui peut être frontal ou arrière, dans le cas, par exemple, où le chariot heurte une bordure avec une seule des roues avant. À la suite de l'impact, il peut y avoir ou non renversement du chariot.

Afin de clarifier la compatibilité des seuils de blocage des normes, chacun d'eux sera premièrement expliqué en détail et sa contribution à la protection du cariste sera analysée. Par la suite, un sommaire permettra d'évaluer globalement la compatibilité des seuils de blocage pris ensemble pour chacun des types de renversement.

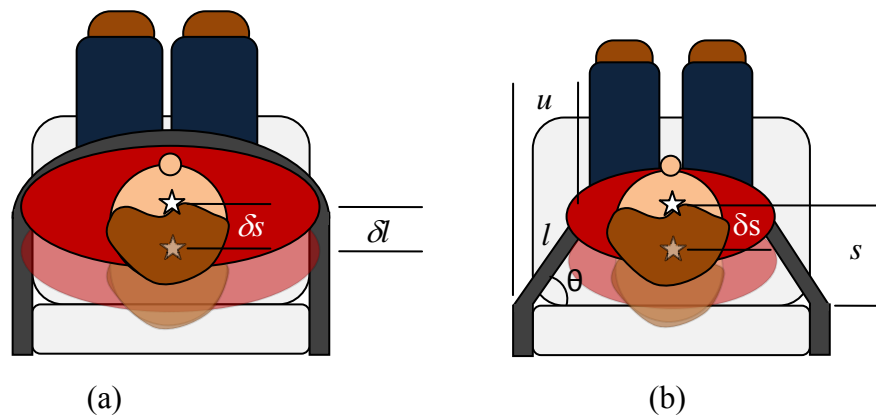
### 2.7.2.1 Seuils de blocage basés sur l'accélération du défilement de la sangle

La norme SAE J386 exige qu'il n'y ait pas de blocage de la sangle lorsque l'accélération de son défilement est de moins de 1g, mais elle n'impose pas de seuil de blocage au-delà de 1g. On suppose que les différents manufacturiers ont implicitement considéré qu'un blocage doit avoir lieu au-dessus de 1g, car ils ont ajouté un mécanisme de blocage relié au défilement de la sangle. La norme E/ECE/324, quant à elle, stipule un seuil de 2g du défilement de la sangle, mesuré dans la direction de défilement de la sangle, au-delà duquel la ceinture doit être bloquée, mais cette norme n'indique rien pour la plage comprise entre 1g et 2g. La norme SAE AS8043, utilisée dans le domaine de l'aéronautique, ne fournit qu'un seul seuil, 1,5g, pour lequel la sangle ne doit pas être bloquée pour les valeurs inférieures d'accélération du défilement, et être bloquée pour les valeurs supérieures. Finalement, la norme FMVSS 209 requiert un seuil de non blocage de 0,3g et un seuil de blocage au-dessus de 0,7g.

Ces seuils d'accélération correspondent en fait au défilement de la sangle par rapport au rétracteur et non à l'accélération absolue du conducteur ou du chariot. Il est possible d'estimer les niveaux d'accélération que le conducteur doit atteindre, relativement au siège, qui permettraient à la sangle de subir une accélération de défilement égale aux seuils de blocage au défilement, stipulés par les normes. En effet, il est important de noter que, si le conducteur ne bouge pas par rapport au siège, le mécanisme de blocage sensible au défilement de la sangle ne pourra pas s'enclencher.

Afin de calculer la relation entre l'accélération du cariste par rapport au siège et l'accélération du défilement de la sangle, un schéma aérien d'un cariste est illustré à la Figure 11, où celui-ci est situé à une distance  $s$  par rapport au siège pendant que la sangle s'allonge d'une longueur  $\delta L$  à la suite du déplacement  $\delta s$  du cariste vers l'avant. On observe que, pour un conducteur corpulent (cf. Figure 11a), la sangle se déroule sensiblement dans le plan sagittal à partir des ancrages. Par conséquent, pour une accélération  $d^2L/dt^2 = 1g$  (selon la norme SAE J386) de défilement de la sangle ( $L$  étant la longueur de sangle sortie du rétracteur), un conducteur de ce gabarit aurait une accélération deux fois moins grande vers l'avant, i.e. 0,5g, car  $\delta s = \delta L = \delta L/2$ . En d'autres mots, le conducteur devra avoir une accélération de 0,5g par rapport au siège si on veut enclencher le

mécanisme de blocage de défilement de sangle, considérant que le seuil de blocage indiqué par la norme est de 1g pour ce critère. Cette situation est similaire pour un mouvement strictement vertical, si on ne tient pas compte de l'angulation de la sangle dans le plan sagittal. Cette angulation a pour effet de permettre une accélération du conducteur vers le haut sans avoir de défilement de sangle important (voir explications à la section 2.7.3).



**Figure 11. Vue de dessus d'un cariste assis sur le siège d'un chariot élévateur.**

*Schéma représentant le mouvement d'un conducteur et du déroulement de la sangle pour a) un conducteur corpulent et b) de petit gabarit.*

Pour un conducteur de petit gabarit, la relation est différente et plus complexe. Supposons que les extrémités de la sangle font un angle  $\theta$  minimal de 30 degrés par rapport au plan frontal. On peut alors calculer l'accélération de la sangle  $d^2L/dt^2$  pour une accélération  $a = d^2s/dt^2$  vers l'avant du conducteur. En se basant sur le schéma de la Figure 11b, on note que :

$$l^2 = u^2 + s^2 \quad (1)$$

En dérivant l'équation (1) en chaîne par rapport au temps, on obtient alors:

$$2l\dot{l} = 2s\dot{s}$$

$$\Rightarrow \dot{l} = \frac{s}{l}\dot{s} \quad (2)$$

En dérivant une seconde fois en chaîne par rapport au temps, on obtient finalement la relation pour l'accélération de la sangle pour une accélération donnée du cariste:

$$\ddot{L} = 2\ddot{l} = \frac{2}{l} \left[ s\ddot{s} + \dot{s}^2 \left( 1 - \frac{s^2}{l^2} \right) \right] \quad (3)$$

Tout juste au début de l'accélération du cariste, l'accélération sera donnée par :

$$\Rightarrow \ddot{L} = 2\ddot{l} = 2\frac{s}{l}\ddot{s} = 2 \sin \theta \ddot{s} \quad (4)$$

et elle augmentera à mesure que le cariste prend de la vitesse par rapport au siège. Pour un angle  $\theta$  de 30 degrés et à une vitesse initiale nulle du cariste par rapport au siège, on obtient que l'accélération de la sangle est égale à celle du cariste. En d'autres mots, le cariste devra avoir une accélération de 1g s'il veut enclencher le mécanisme de blocage de défilement de la sangle considérant un seuil de blocage à 1g. En réalité, puisqu'on ne connaît pas la corpulence du cariste, on doit donc considérer que l'accélération du cariste par rapport au siège peut varier entre 0,5 et 1 fois le seuil d'accélération de défilement de la sangle avant que le mécanisme de blocage au défilement ne s'enclenche, i.e. entre 0,5g et 1g si on considère le seuil stipulé par la norme SAE J386.

Un tel niveau d'accélération fait en sorte qu'un blocage qui ne serait dépendant que du défilement de la sangle ne peut assurer la sécurité du cariste dans tout type de renversement. En effet, lors de renversements à basse vitesse, que le renversement soit frontal, arrière ou latéral, le cariste demeure sensiblement solidaire du siège et il ne possède donc pas une accélération relative suffisante par rapport au siège pour enclencher un blocage par défilement de sangle. Il en est de même pour les renversements à la suite d'impacts du chariot. Lors de l'impact, l'accélération du cariste relativement au siège est importante et permet de bloquer la sangle par défilement. Cependant, la cinématique du chariot à la suite d'impact peut être complexe et un relâchement de la sangle pourrait survenir. Selon le niveau et de la durée du relâchement, le mécanisme de blocage par défilement pourrait alors se désenclencher et ne pas rebloquer pendant le renversement.

Pour les renversements de type trajectoire en J, les accélérations du cariste par rapport au siège sont de l'ordre de 0,7g à 2g lorsque le chariot se déplace sur une surface horizontale. Tel que l'indiquent les calculs ci-haut, un tel niveau d'accélération est suffisant pour entraîner un blocage de la ceinture par défilement, à moins que le cariste tente de se retenir et fasse en sorte de limiter son mouvement relatif par rapport au siège. Si le renversement en J a lieu sur une surface en pente, les niveaux d'accélération atteints par le cariste seront aussi moindres et, par conséquent, ils pourraient ne pas initier le blocage de la sangle par défilement.

En résumé, le blocage de la sangle par défilement assure la sécurité du cariste dans une grande proportion de renversements lors d'une trajectoire en J, mais on ne peut assurer que ce genre de blocage soit compatible avec tout type de renversement avec trajectoire en J. Dans ces cas, on peut estimer que la sangle pourra théoriquement se dérouler d'une longueur d'environ 50 cm (supposant une accélération relative du cariste de 0,1g par rapport au siège et une durée de renversement de 1 seconde). En d'autres mots, la sangle pourrait se dérouler sur toute sa longueur disponible et faire en sorte que le cariste soit écrasé par la structure de protection à la suite du renversement.

### 2.7.2.2 Seuils de blocage basés sur l'accélération du rétracteur ELR

Les normes suggèrent des seuils d'accélération du chariot de l'ordre de 0,7 g à partir desquels la ceinture serait bloquée par l'intermédiaire d'un autre mécanisme que celui du défilement de la sangle. Ce seuil n'est de toute évidence pas approprié pour les renversements statiques de type latéral, frontal et arrière, car les accélérations subies par le rétracteur sont en dessous de 0,7g pour une bonne proportion de la durée du renversement.

A priori, un seuil de blocage de 0,7g sensible à l'accélération du rétracteur apparaît approprié pour plusieurs conditions de renversements suivant une trajectoire en J. Dans ces cas, on observe en effet des accélérations centripètes de l'ordre de 0,7g à 2g (cf. travaux de Bourret et al. (2008)). Ces niveaux d'accélération sont par contre plus faibles lorsque le renversement en J a lieu sur un plan incliné de sorte que le seuil de blocage pourrait ne plus être pertinent. De plus, on ne doit pas oublier que lors d'un renversement en J, le rétracteur est soumis à une accélération verticale importante en raison du pivotement du chariot. Cette accélération verticale a pour effet d'augmenter l'accélération gravitationnelle apparente sur les mécanismes à bille communément utilisés, de sorte que l'accélération du rétracteur nécessaire pour enclencher le mécanisme de blocage discuté ici devra être supérieure à ce qui est prescrit par les normes. Des calculs plus avancés par modélisation seraient nécessaires afin de prédire la proportion de renversements en J qui seraient compatibles avec le mécanisme à bille actuel.

Le seuil de 0,7g sur l'accélération du chariot est toutefois adéquat pour les impacts frontal et arrière des chariots. Cependant, il peut y avoir déblocage de la sangle si un relâchement de celle-ci survient pendant le renversement qui suit l'impact. En résumé, le blocage par seuil d'accélération du rétracteur n'apparaît pas comme un mécanisme qui permet d'assurer à lui seul la sécurité du cariste dans plusieurs types de renversements.

### 2.7.2.3 Seuils de blocage basés sur l'inclinaison du rétracteur ELR

Tel que nous l'avons expliqué précédemment, un des problèmes des normes actuelles est que le seuil de blocage par l'inclinaison d'un rétracteur n'est pas prescrit précisément entre 12 degrés et 30-40 degrés. Quel serait le seuil requis pour un chariot élévateur? Nous n'avons pas de donnée permettant de suggérer une valeur précise, mais un seuil d'inclinaison de 40 degrés pour enclencher le blocage de la sangle nous apparaît excessif. Dans tous les cas de renversements, avant que le chariot n'atteigne l'inclinaison de 40 degrés, la sangle peut se dérouler sur une longueur plus ou moins appréciable en fonction du type de renversement.

On pourrait pallier cette lacune en réduisant le seuil d'inclinaison mais, malheureusement, avec les mécanismes actuels (p. ex. système à bille ou par balancier), le seuil de blocage sensible à l'accélération du véhicule est intrinsèquement relié à celui de l'inclinaison, de sorte qu'on ne peut changer l'un sans affecter l'autre.

### 2.7.2.4 Sommaire sur l'efficacité des seuils de blocage du rétracteur ELR

En fonction des observations formulées dans les sections précédentes, il apparaît clair qu'un seul mécanisme de blocage ne peut protéger correctement le cariste contre tout type de renversement.

Il est maintenant approprié de se demander si les trois mécanismes de blocage, mis ensemble, permettent de protéger efficacement le cariste. Notre analyse de la question est résumée au Tableau 2. Nous avons utilisé les seuils de blocage de la norme SAEJ386 comme référence.

**Tableau 2. Sommaire de l'efficacité (i.e. capacité de bloquer) des seuils de blocage de la norme SAEJ386, selon différents scénarios d'accident**

<b>Blocage</b>	<b>Impact frontal ou arrière (sans renversement ultérieur)</b>	<b>Impact frontal ou arrière (avec renversement ultérieur)</b>	<b>Renversement frontal, arrière ou latéral avec avance lente du chariot</b>	<b>Renversement latéral lent</b>	<b>Renversement dynamique – trajectoire en J</b>
Accélération défilement de sangle (critère 1g)	Oui	Oui mais pourrait se désenclencher pendant le renversement	Peu probable	Peu probable	Probable
Accélération du rétracteur (critère 0,7g)	Oui	Oui mais pourrait se désenclencher pendant le renversement	Non	Non	Probable
Angle du rétracteur (40 degrés)	N/A	Oui mais possiblement trop tard	Oui mais possiblement trop tard	Oui mais possiblement trop tard	Oui mais possiblement trop tard

Dans le cas d'impacts frontal ou arrière sans renversement ultérieur, le blocage par défilement de sangle assure bien un blocage de la sangle, tout comme celui du blocage par accélération du chariot. Le blocage par inclinaison n'est de toute évidence pas impliqué dans ce type de renversement. À la suite de certains impacts, il peut toutefois y avoir renversement du chariot et, pendant cette période, les mécanismes de blocage pourraient se désengager et faire en sorte de ne plus protéger le cariste.

Dans le cas de renversements frontal, arrière ou latéral avec vitesse d'avance du chariot réduite, le cariste suit sensiblement la trajectoire du siège, de sorte que le blocage par défilement de la sangle ne pourra être efficace. L'accélération du chariot est aussi négligeable et ne peut donc assurer la sécurité du cariste. Le blocage par inclinaison du chariot sera efficace à partir d'un certain angle, mais avant que le blocage ne se produise, le cariste pourrait vouloir s'éloigner volontairement du siège et se retrouverait alors coincé sous la structure de protection, à la fin du renversement.

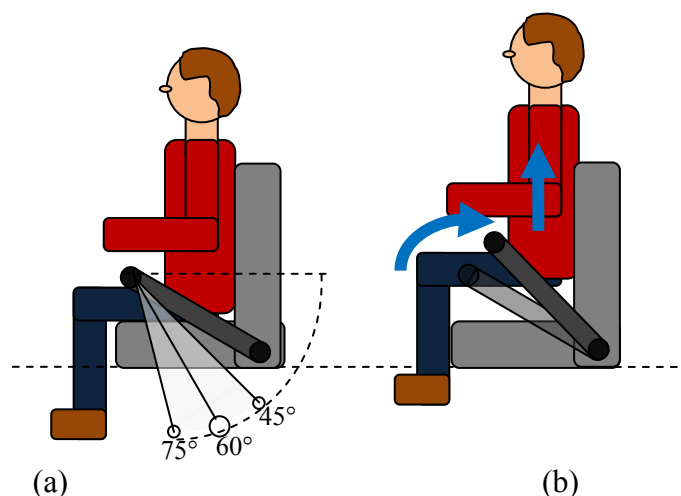
Dans le cas de renversements à la suite d'une trajectoire en J, les trois mécanismes de blocage contribueront à protéger le cariste, mais même combinés, ces mécanismes ne pourront le protéger dans toute situation de renversement en J, en particulier si le renversement survient sur une surface inclinée et/ou si le cariste décide de se retenir plus ou moins partiellement au chariot.

En résumé, le rétracteur ELR qui est conforme aux normes actuelles demeure sécuritaire pour un bon nombre de conditions de renversement, mais il n'est pas universel, car il ne peut assurer un blocage de la sangle dans plusieurs conditions de renversement prévisibles.

### 2.7.3 Ajustement nominal de la ceinture pelvienne

Il est reconnu que plusieurs ceintures couramment utilisées dans les véhicules ne retiennent pas adéquatement l'occupant dans la structure du siège, permettant ainsi un mouvement latéral et vertical de la tête et du corps de l'occupant lors de renversements latéraux quasi-statiques (Siegmund et al. 2005; Smith et al. 2005). Ce mouvement peut alors permettre le contact des différentes parties du corps avec le toit et les piliers de support et peut même aller jusqu'à projeter partiellement la tête ou le corps de l'occupant sur la fenêtre ou la porte du véhicule. Il est suggéré que ce déplacement peut être dû à la position des ancrages ou au jeu dans la sangle laissé par l'utilisateur. En effet, selon Moffatt et al. (1997, cité dans Smith et al. 2005), plus l'angle de la sangle est faible par rapport à l'horizontale, et plus la sangle est longue (cf. Figure 12), plus le risque de déplacement de l'utilisateur vers le haut ou les côtés du véhicule est grand. Ceci est dû au mouvement de pivot de la ceinture, tel que l'illustre la Figure 12b.

La norme SAE J386 stipule que l'angle de la ceinture entre le point d'ancrage et le point de contact sur le bassin du cariste doit se situer entre  $60^\circ \pm 15^\circ$  et que la sangle doit être appuyée sur les os du bassin. Dans le cas où les ancrages de la ceinture seraient placés directement sur la structure du chariot élévateur et que les caristes pourraient avancer ou reculer leur siège relativement à ce point d'ancrage, l'angulation pourrait ne plus correspondre aux exigences de la norme. Pour contrer ce problème, Moffatt et al. (1997) ont étudié l'effet d'un prétendeur sur les ceintures pelviennes et ont démontré que le déplacement vertical et horizontal de la tête peut être réduit de 100 mm lorsque la ceinture est correctement ajustée.



**Figure 12. Schématisation d'un déplacement vertical de l'occupant lors d'un renversement du chariot.**

*a) Jeu dans la ceinture trop grand et angle de la ceinture trop faible ( $<45^\circ$ ) et b) pivotement de la ceinture et déplacement de l'occupant vers le haut pendant le renversement.*

Dans le même ordre d'idées, le jeu laissé dans la ceinture pourrait engendrer un trop grand déplacement du tronc vers l'avant, résultant en un impact avec l'intérieur du véhicule. Dans leur étude sur les véhicules routiers, Siegmund et al. (2005) ont aussi démontré qu'un jeu de 10 cm (réparti également entre la ceinture abdominale et le baudrier) lors d'une collision frontale à basse vitesse (17,5 km/h) augmentait de 31 % les déplacements horizontaux, l'accélération et la vitesse de la tête, comparativement à une ceinture bien ajustée.

À notre connaissance, il n'existe pas de lois, règlements ou normes expliquant les limites à préconiser pour ajuster une ceinture de sécurité. Toutefois, si on se fie aux exigences de la norme SAE J386, par exemple, les tests demandent à ce qu'il n'y ait pas plus de 50 mm (2 po.) de déroulement avant blocage lorsque les conditions de blocage prévues surviennent. Par conséquent, l'insertion d'un poing entre la ceinture et le corps apparaît comme une mesure approximative permise pour ajuster la sangle, dans le cas des ceintures à ajustement manuel.

#### **2.7.4 Faux-bouclage de la boucle**

Les écrits (Roberts et al. 2007) rapportent plusieurs cas de faux-bouclage (traduction de « false unlatching ») dans les véhicules routiers. Ce phénomène pourrait aussi se produire dans les chariots élévateurs puisqu'ils utilisent le même système de blocage. Le faux-bouclage survient lorsque la partie mâle de la boucle (plaque de verrouillage) donne l'impression d'être complètement enclenchée dans la partie femelle (boucle), alors qu'elle ne l'est pas en réalité.

#### **2.7.5 Revue des écrits sur la performance des ceintures de sécurité avec rétracteur d'urgence (ELR)**

Sachant qu'il existe des plages d'accélération du chariot où la ceinture de sécurité peut ne pas bloquer et que l'enclenchement des mécanismes de blocage est un phénomène dynamique qui prend un certain temps à agir, il est donc possible que les ceintures de sécurité avec rétracteur d'urgence ne soient pas efficaces en tout temps. Le fait que les rétracteurs ELR puissent ne pas toujours bloquer la sangle à temps a aussi été analysé par Robinson et al. (1996, citée dans Smith et al. 2005) sur les véhicules agricoles. Le même phénomène a aussi été remarqué lors de tests expérimentaux effectués par Bourret et al. (2008) à l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS France) dans une étude sur les renversements latéraux sans vitesse d'avance.

Les études ayant cherché à savoir si les ceintures de sécurité performant correctement lors de tests de fonctionnalité sur véhicules restent ambivalentes si l'on compare, par exemple, celles de Toomey et al. 2009; Meyer, 2008; Klima et al. 2005; Thomas, 2002 et Meyer, 2001. Les résultats contradictoires peuvent s'expliquer si on prend en compte que le blocage résulte de multiples facteurs, notamment :

1. la maintenance des ceintures (présence de poussières, de graisses);
2. les seuils précis de conditions de blocage qui pourraient varier sensiblement d'une ceinture à l'autre bien qu'ils répondent à une norme ou à l'autre;
3. la présence ou non de blocage relié à l'accélération du défilement de la sangle;
4. la présence ou non de mécanisme de blocage relié à la dynamique du véhicule;

5. les conditions précises d'accélération des expérimentations effectuées;
6. les vitesses en jeu, dont la vitesse de déroulement de la sangle;
7. les efforts appliqués sur la sangle lors des tests;
8. la fiabilité des paramètres de design spécifiques des ceintures utilisées pendant les tests ainsi que l'orientation de la ceinture, la raideur des ressorts utilisés, les dimensions des composants, le type de matériau utilisé, etc. (Cannon et al. 2002);
9. la corpulence des mannequins ou des sujets expérimentaux utilisés pour les tests.

La plupart de ces informations ne sont malheureusement pas indiquées dans les articles scientifiques répertoriés, ce qui ne permet pas d'effectuer une critique comparative valide. Les travaux de Smith et al. (2005) fournissent des informations détaillées sur la performance des différents systèmes de retenue pour les engins de terrassement. Leurs conclusions indiquent que, du point de vue de la sécurité du conducteur, il est préférable d'utiliser des ceintures à plus de deux ancrages afin de limiter les mouvements du torse et de la tête. Toutefois, ce moyen semble peu compatible avec les besoins de mobilité permettant de bien voir autour du véhicule. Ils mentionnent aussi l'incompatibilité des mécanismes de blocage inertiels, tels que ceux qui sont décrits dans le présent rapport, pour initier un blocage de la sangle dans le cas de renversement à basse vitesse, une situation que l'on retrouve lors de l'utilisation des chariots élévateurs.



### 3. LA CEINTURE PELVIENNE ET SON UTILISATION

#### 3.1 Méthodologie

L'objectif poursuivi dans ce volet était de constater concrètement, dans quelques entreprises, quelles ceintures de sécurité étaient utilisées et comment l'exigence de leur port était vécue par les caristes. Il s'agit d'un complément à l'analyse technique précédente visant à tracer un portrait rapide des choix de ceinture faits par les entreprises et des effets possibles sur le travail et le confort des caristes. Ainsi, vu la nature exploratoire et l'envergure restreinte de ce projet, des analyses plus importantes ont été exclues, telles que l'étude des moyens de prévention en amont, l'analyse du contexte organisationnel, l'analyse des risques présents en entreprise, l'analyse détaillée du travail réel et des implications du port de la ceinture au quotidien, et l'étude des stratégies pour inciter les caristes à porter la ceinture.

Pour réaliser ce portrait, la participation d'un superviseur et de un à trois caristes par entreprise a été sollicitée. Le plus souvent, deux chariots élévateurs étaient ciblés par entreprise. Selon les disponibilités et les habitudes d'utilisation des chariots, certains caristes ont été questionnés sur l'utilisation de la ceinture pour deux chariots différents. À l'inverse, certains chariots ont fait l'objet d'une évaluation par plus d'un cariste. Le présent projet a été approuvé par le comité d'éthique de la recherche en éducation et en sciences sociales de l'Université de Sherbrooke, le 13 août 2009.

La collecte d'information dans les entreprises était répartie sur deux journées. La première visite visait à :

1. rencontrer les représentants de la direction et des employés pour récapituler les objectifs de la recherche et son déroulement;
2. réaliser un entretien individuel avec un superviseur connaissant bien la problématique du port de la ceinture de sécurité chez les caristes;
3. faire une visite des lieux avec ce superviseur;
4. prendre en note les caractéristiques des ceintures et des chariots à l'étude;
5. rencontrer très brièvement les caristes volontaires pour leur expliquer l'étude et ce qui était attendu d'eux en termes de participation lors de la deuxième visite.

La deuxième visite visait à recueillir les informations auprès des caristes. Tout comme cela avait été fait avec le superviseur, chaque cariste a d'abord été rencontré individuellement pour un entretien couvrant les aspects suivants :

1. l'utilisation des chariots élévateurs (type de chariot et tâches accomplies);
2. la transition vers l'obligation du port de la ceinture; le port de la ceinture au quotidien; les problèmes avec les ceintures actuelles;
3. la perception des risques de renversement du chariot, de chute des quais de transbordement ou de collision;
4. les accidents qui se sont déjà produits.

Afin de documenter l'utilisation de la ceinture, les caristes étaient ensuite filmés pendant qu'ils montaient/descendaient et bouclaient/ajustaient/débouclaient la ceinture à 10 reprises dans un chariot stationné. Des questions leur étaient ensuite posées sur la facilité d'utilisation de la

ceinture. Les caristes effectuaient ensuite, durant 20 à 50 minutes, leur travail habituel sur leur chariot équipé de caméras permettant d'enregistrer à la fois des images montrant le corps de l'opérateur et d'autres permettant de faire le lien avec le travail accompli. Des questions leur étaient ensuite posées sur l'adéquation de la ceinture avec les tâches accomplies, les inconforts ressentis, la perception d'être protégé en cas d'accident, les améliorations souhaitées. Les vidéos ont été visionnées systématiquement par un ergonome pour que celui-ci fasse état des points forts et des points faibles de la ceinture dans son contexte d'utilisation.

## 3.2 Les entreprises participantes et les situations étudiées

Le recrutement d'entreprises a été réalisé grâce à la participation d'un distributeur de chariots élévateurs et d'associations sectorielles en santé et en sécurité du travail siégeant à un comité de suivi de la recherche. En tout, sept entreprises ont participé à l'étude. Celles-ci étaient généralement bien organisées et proactives en SST, fort probablement plus que la moyenne des entreprises québécoises. Néanmoins, cette étude exploratoire a couvert une grande diversité des situations de travail. Les résultats et les réflexions qui en découlent peuvent donc être applicables à d'autres entreprises.

Dans une des entreprises visitées, les informations n'ont pu être recueillies que partiellement en raison d'un manque de disponibilité du personnel. Par ailleurs, en tout début de projet, une visite préliminaire a également été effectuée chez un distributeur de chariots élévateurs. Elle a permis de recueillir des informations pouvant s'ajouter au portrait global. Pour assurer la confidentialité des observations effectuées en raison du nombre restreint d'entreprises participantes et des participants, les données ont été regroupées de façon à ce qu'il ne soit pas possible d'en identifier l'origine. Les différents secteurs d'activité des entreprises participantes sont :

- Distribution d'équipements lourds
- Distribution de produits chimiques
- Fabrication d'appareils mécaniques
- Fabrication de papier
- Imprimerie
- Transformation de produits de métal
- Tri et transfert de produits chimiques

En tout, douze caristes et sept superviseurs ont participé à l'étude. Certaines caractéristiques de ces participants sont décrites à l'Annexe D. Tous les superviseurs et caristes rencontrés sont des hommes. L'ancienneté médiane à leur poste actuel est de 12 ans pour les caristes et de 4 ans pour les superviseurs. Les superviseurs rencontrés ont tous au moins une expérience minimale de la conduite des chariots élévateurs. La participation de ces douze caristes a permis de couvrir une grande étendue de caractéristiques anthropométriques : taille allant de 1,57 à 1,83 m; poids de 68 à 147 kg; indice de masse corporelle allant de poids santé à obésité classe 3. La plupart des caristes étaient habillés légèrement mais certains portaient une veste. Cette étude ayant été réalisée hors de la saison hivernale, il a été demandé à un cariste d'enfiler un manteau d'hiver pour une simulation. Quelques caristes portaient des gants. Les caractéristiques des chariots, les types de rétracteurs et les caractéristiques des sièges faisant partie de l'étude terrain sont décrits à l'Annexe D.

En résumé, quatorze chariots fabriqués par quatre compagnies différentes étaient à l'étude. La capacité de ces chariots était de 1 300 à 7 000 kg. Un chariot était équipé d'une ceinture à rétracteur manuel, onze chariots avaient un rétracteur à blocage automatique (ALR) et deux disposaient d'un rétracteur à blocage d'urgence (ELR). Certains sièges comportaient des appuie-bras ou des retenues aux hanches et plusieurs étaient équipés d'une suspension.

Finalement, les tâches réalisées par les caristes lors des observations filmées étaient diverses : alimentation de lignes de production; stockage des produits fabriqués; préparation de commandes (composer les palettes, amener les produits sur le quai) et chargement /déchargement de camions.

### **3.3 Observations sur la ceinture de sécurité, les utilisateurs et le travail**

Cette section résume les principaux constats effectués dans les entreprises visitées. Quelques références aux écrits sont ajoutées lorsqu'elles sont disponibles.

#### ***3.3.1 Transition vers le port de la ceinture, perception des risques et du sentiment d'être protégé par la ceinture***

Les entretiens réalisés auprès des superviseurs nous indiquent que les entreprises visitées ont presque toutes procédé de façon graduelle à l'introduction du port de la ceinture obligatoire lors de l'annonce du changement à la réglementation (RSST). Elles ont d'abord informé les caristes de la nouvelle réglementation, les ont sensibilisés à la nécessité de porter la ceinture, leur ont aussi accordé une période de transition durant laquelle les caristes étaient incités à porter la ceinture, le superviseur se contentant de faire des rappels. À la date butoir prédéterminée, les caristes étaient tenus de porter la ceinture sans quoi ils recevaient un avis qui était déposé dans leur dossier et pouvaient conduire à des mesures disciplinaires. Aucune entreprise dit n'avoir été obligée de prendre des mesures disciplinaires, bien que, selon des superviseurs, quelques caristes se soient montrés parfois rebelles.

La plupart des superviseurs et des caristes rencontrés ont mentionné que le port de la ceinture a été accueilli difficilement. Cependant, au fil du temps, ceux-ci mentionnent que le port de la ceinture est devenu une habitude; plusieurs comparent la situation à celle qui a prévalu en conduite automobile. Même si l'habitude s'est ancrée, le tiers des caristes portent la ceinture par obligation et la trouvent inutile et agaçante. Les caristes justifient leur réponse en rappelant la vitesse limitée du chariot, le fait que la cabine soit fermée, que la mobilité du cariste soit limitée pour les manœuvres à reculons, et que certaines tâches exigent de monter et de descendre fréquemment du chariot.

Deux entreprises permettent aux caristes de ne pas porter la ceinture pour effectuer des tâches exigeant de monter et de descendre du chariot très fréquemment, dans des circonstances où le risque de renversement a été évalué. Il s'agit, selon les superviseurs, de tâches nécessitant des

déplacements sur de très courtes distances et à faibles vitesses, sur des surfaces planes<sup>4</sup>. Un superviseur ajoute qu'il y a une retenue aux hanches sur le siège utilisé pour ces tâches.

L'objectif de cette étude n'était pas d'évaluer les risques ou de faire un audit mais nous désirions recueillir le point de vue des superviseurs et des caristes quant aux risques perçus dans leur quotidien. Notons, entre autres, que plus de la moitié des répondants (superviseurs et caristes confondus) considèrent peu probables, voire inexistantes, les risques de renversement latéral. Les raisons les plus mentionnées sont l'absence ou le contrôle des conditions dangereuses (vitesse limitée des chariots, hauteur de gerbage limitée, plancher de ciment et plat), la stabilité du chariot de par son empattement et son poids, ainsi que les bonnes méthodes de travail (ne pas tourner brusquement avec une charge élevée, aller lentement dans les pentes). Un seul répondant a parlé spécifiquement de l'instabilité du chariot lorsque celui-ci est vide. Bien que très sommaires, ces résultats laissent penser que le phénomène d'instabilité latérale d'un chariot non chargé n'est pas toujours bien assimilé par les caristes.

Dans deux entreprises, les personnes interrogées ont dit avoir été témoins d'une chute d'un quai. Dans un des cas, le cariste était descendu du chariot alors que le chariot continuait d'avancer. Un superviseur, témoin d'une chute d'un quai, d'une collision dans une colonne et de la chute d'un objet d'un étage, souligne que la ceinture que portaient les caristes lors de ces accidents a probablement réduit les blessures et même sauvé une vie. Par ailleurs, un superviseur rapporte une collision avec une colonne; le cariste qui portait sa ceinture a reçu des soins de l'infirmerie, mais il n'est pas allé à l'hôpital. Un cariste mentionne avoir eu très peur lorsque son chariot est passé près de renverser latéralement; ce cariste considère que la ceinture permet de rester assis sur le siège, mais qu'elle ne protège pas suffisamment.

L'une des dernières questions posées aux caristes portait sur leur sentiment d'être protégés par la ceinture en cas d'accident. Les réponses obtenues sont partagées (Tableau 3). Les personnes ayant une perception positive de la protection que peut leur apporter la ceinture expliquent qu'elle permet de rester sur le chariot en cas d'accident ou qu'elle protège la tête en cas de collision. Ceux qui n'ont pas le sentiment d'être protégés par la ceinture font remarquer que le corps est libre de bouger, que la ceinture ne protège pas la tête et qu'ils pourraient donc être gravement blessés. De plus, deux répondants soulignent ne pas se sentir en danger vu la vitesse limitée du chariot. Dans une des entreprises, les caristes se questionnent sur la possibilité d'être blessés par la batterie lors d'un renversement. Enfin, bien qu'aucune question n'ait porté sur ce sujet, deux caristes d'une même entreprise pensent qu'une ceinture à baudrier, comme dans les automobiles, pourrait améliorer leur protection dans le cas de collisions, tandis qu'un cariste d'une autre entreprise croit qu'un baudrier lui nuirait dans l'accomplissement de son travail.

---

<sup>4</sup> Ces situations n'ont pas été analysées dans la présente étude.

**Tableau 3. Réponses des douze caristes à la question : « La ceinture me procure le sentiment d'être protégé en cas d'accident ».**

Tout à fait d'accord	Plutôt d'accord	Sans opinion	Plutôt en désaccord	Tout à fait en désaccord
3	4	0	3	2

### **3.3.2 Choix des ceintures installées sur les chariots élévateurs et des dispositifs de contrôle des risques**

La plupart des entreprises ont fait des choix d'équipements pour gérer l'utilisation sécuritaire du chariot élévateur. Certaines ont, par exemple, installé des systèmes pour limiter la vitesse en toutes circonstances ou dans les courbes, des détecteurs d'impact (G-force), un système de clés électroniques permettant d'identifier l'utilisateur du chariot, des procédures sur l'usage de clés d'identification afin de limiter l'accès au chariot, etc. Des entreprises ont également choisi des moyens permettant de gérer le port de la ceinture. Par exemple, deux établissements ont opté pour un système empêchant l'utilisation du chariot si la ceinture n'est pas bouclée. Deux autres ont choisi un signal sonore. Dans l'une d'elles, le superviseur mentionne que cette alarme aurait cependant peu d'effets sur les caristes qui ne veulent vraiment pas porter la ceinture alors que dans l'autre, le superviseur considère plutôt que l'alarme a un effet positif, question de rappel, même si le signal sonore cesse après un certain moment lorsque la ceinture n'est pas bouclée. Finalement, plusieurs entreprises ont opté pour des sangles de couleur vive (7 des 14 chariots), de façon à pouvoir repérer rapidement si la ceinture est portée. Dans une entreprise, les conditions environnementales ont cependant rapidement sali la sangle, celle-ci passant de la couleur orange fluorescent au brun-noir (Figure 13).



**Figure 13. Sangle, à l'origine de couleur orange, exposée à un environnement salissant.**

Par ailleurs, les entreprises ont mentionné plus rarement avoir eu des exigences sur les caractéristiques de la ceinture qui pourraient avoir un impact sur la facilité d'utilisation, par exemple : type de rétracteur, position des ancrages de ceinture, type d'attache, emplacement par rapport à la suspension de siège. Le choix d'un type de ceinture ne fait généralement pas l'objet d'une analyse spécifique; la ceinture déjà en place sur le chariot est utilisée ou on demande simplement au fournisseur ou au chargé de l'entretien d'équiper le siège d'une ceinture.

### 3.3.3 Bouclage/débouclage de la ceinture de sécurité

Cette section décrit la façon dont les caristes bouclent et débouclent habituellement leur ceinture et les difficultés parfois rencontrées sur ce plan. À titre de repère, l'analyse des vidéos du travail montre que certains caristes montent et descendent de leur chariot fréquemment, soit une fois toutes les 4,6 minutes. La fréquence pouvant même être parfois d'une fois toutes les 2,6 minutes pour des tâches d'alimentation de ligne, d'emballage et de stockage de produits finis. Cette fréquence est similaire aux résultats obtenus par Vezeau et al. (2009), soit, en moyenne, une fois à toutes les 2,4 minutes pour les tâches de préparation de commandes. Bien que toutes les tâches ne nécessitent pas autant de sorties du chariot, on note le réel besoin, surtout dans ces cas, d'avoir une ceinture facile à utiliser. Afin notamment de réduire le nombre de montées et de descentes du chariot, une entreprise a apporté d'importantes modifications à l'étiquetage de ses produits (p. ex. le type de code barres).

#### 3.3.3.1 Comment les caristes s'y prennent-ils?

La majorité des caristes attachent leur ceinture en se servant des deux mains et ce, peu importe le type de rétracteur utilisé (manuel, ALR, ELR). Dans le cas des modèles ALR et ELR, la ceinture se boucle en quatre phases (Figure 14) :

1. prendre la sangle avec la main du côté du rétracteur;
2. tirer la sangle et transférer l'extrémité à l'autre main (du côté de la boucle femelle);
3. maintenir un surplus de sangle avec la main côté rétracteur alors que l'autre main insère la languette dans la boucle;
4. positionner la sangle sur le corps (pas toujours fait).



**Figure 14. Phases typiques du bouclage à deux mains avec les rétracteurs ALR ou ELR.**

*a) Prendre la sangle, b) étirer la sangle et transférer de main, c) tenir un jeu dans la sangle et boucler et d) placer la sangle sur le corps.*

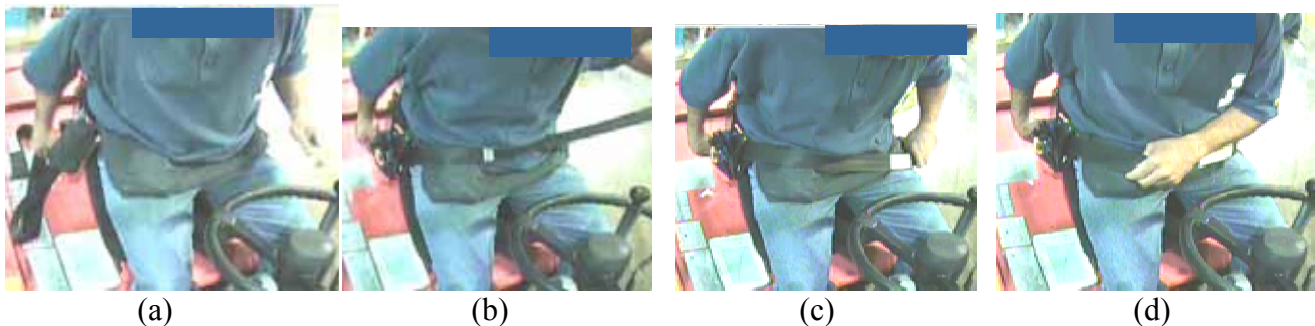
Par ailleurs, certaines particularités s'ajoutent parfois comme le fait de dénouer la sangle avant de la boucler ou de placer la sangle par-dessus ou sous l'étui à outils. Lorsque la boucle n'est pas fixée de façon rigide, une main est occupée à tenir cette boucle. Conséquemment, l'autre main doit tirer la sangle et n'est plus disponible pour maintenir un jeu dans celle-ci (Figure 15).



**Figure 15. Bouclage lorsque la boucle n'est pas fixée rigidement (rétracteur ALR).**

*a) Maintenir la boucle d'une main, b) tirer la sangle de l'autre main et boucler – pas de maintien du jeu dans la sangle et c) placer la sangle sur le corps.*

Pour la ceinture à rétracteur manuel, deux situations peuvent se présenter : la sangle n'est pas pré-ajustée de la bonne longueur ou la sangle est déjà ajustée adéquatement. Dans le premier cas, le cariste prend la sangle d'une main et doit en ajuster la longueur en pesant sur le bouton du rétracteur avec l'autre main. Il insère la plaque dans la boucle et resserre la sangle à la longueur voulue (Figure 16). Dans le deuxième cas, le cariste n'a qu'à saisir la sangle et à boucler la ceinture (Figure 17).



**Figure 16. Phases typiques du bouclage avec le rétracteur manuel – avec ajustement.**

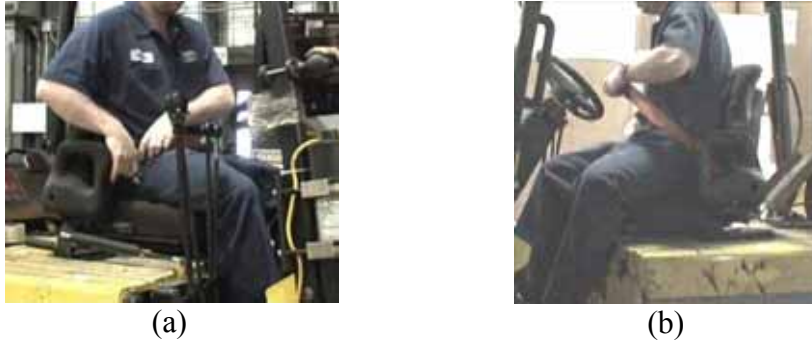
*a) Prendre la sangle, b) étirer la sangle en pesant sur le bouton du rétracteur, c) insérer la partie mâle dans la boucle et d) ajuster la longueur de la sangle à l'aide du bouton du rétracteur.*



**Figure 17. Phases typiques du bouclage avec le rétracteur manuel – sans ajustement.**

*a) Prendre la sangle et b) insérer la partie mâle dans la boucle.*

Le débouclage des ceintures ALR et ELR consiste à appuyer sur le bouton de la boucle afin de libérer la plaque de verrouillage (partie mâle de la boucle) et, la plupart du temps, à accompagner la sangle vers le rétracteur (Figure 18). Dans le cas des ceintures avec rétracteur manuel, au lieu de rembobiner la sangle, l'opérateur la déposera sur une surface du chariot. Un des caristes rencontrés a d'ailleurs pris l'habitude de déposer la sangle sur son volant (Figure 19). Ceci lui permet de se rappeler de boucler la ceinture et de laisser la plaque de verrouillage à un endroit accessible.



**Figure 18. Phases typiques du débouclage de la ceinture ALR et ELR.**

*a) Peser sur le bouton pour dégager la plaque de verrouillage et b) accompagner la sangle vers le rétracteur.*



**Figure 19. Débouclage de la ceinture à rétracteur manuel.**

*a) Peser sur le bouton pour dégager la plaque de verrouillage, b) et c) déposer la sangle, dans ce cas-ci, sur le volant.*

Basé sur la dizaine de cycles de bouclage/débouclage demandés à chaque cariste, le temps médian requis pour boucler la ceinture est de cinq secondes (Tableau 4). Cette durée inclut le temps pour tirer la sangle, insérer la plaque de verrouillage dans la boucle, ajuster la longueur et/ou la position de la sangle. Le temps minimal pour boucler la ceinture est de deux secondes. La durée maximale, de 34 secondes, est survenue lors d'un problème avec le rétracteur; la ceinture ne pouvait ni sortir ni entrer dans celui-ci.

**Tableau 4. Temps requis pour boucler/déboucler la ceinture, tous types de ceintures confondus (n= 145).**

	Temps pour boucler la ceinture (s)	Temps pour déboucler la ceinture (s)
Moyenne	5,0	2,4
Médiane	5,0	2,0
Minimum	2,0	1,0
Maximum	34,0	16,0

Dans le cas du rétracteur manuel, le temps pour boucler la ceinture lorsque la sangle n'est pas déjà de la longueur désirée est d'environ de huit secondes. Cependant, lorsque la sangle est déjà de la bonne longueur, ce temps peut être aussi court que deux ou quatre secondes, d'après les observations faites lors du travail réel. Ce type de ceinture serait donc plus intéressant dans un contexte où un chariot élévateur n'est utilisé que par un seul cariste (pas d'ajustement à répétition).

Pour l'ensemble des répétitions, le temps médian pour déboucler la sangle est de deux secondes. Cela inclut l'action d'appuyer sur le bouton de la boucle, l'accompagnement de la sangle vers le rétracteur ou le dépôt de la sangle (pour le rétracteur manuel). La durée minimale est de une seconde et la durée maximale, de 16 secondes. Ce maximum est survenu encore une fois en raison d'un problème de rétracteur. Lors de l'accomplissement de leurs tâches régulières et lors de la simulation, la façon de faire et le temps requis pour boucler et déboucler la ceinture se sont avérés semblables, à quelques exceptions près (p. ex. sangle pas toujours guidée jusqu'au rétracteur lors du débouclage).

Dans l'ensemble, les caristes trouvent que la ceinture est assez facile à mettre et à enlever. Certains mentionnent cependant des problèmes avec la boucle ou le rétracteur, ce que les observations ont également révélé : rétracteur qui bloque ou qui n'enroule pas la sangle complètement lors du débouclage, sangle qui s'accroche à l'étui d'outils, accès difficile aux deux parties de la ceinture (plaque de verrouillage et boucle) en raison de la configuration du siège et de la localisation des extrémités de la ceinture. Sur la base d'un cycle, la difficulté la plus coûteuse en temps est le problème de rétracteur. Cependant, on peut penser que, sur plusieurs cycles, les problèmes d'accès peuvent aussi être irritants.

### 3.3.3.2 Fonctionnement du rétracteur

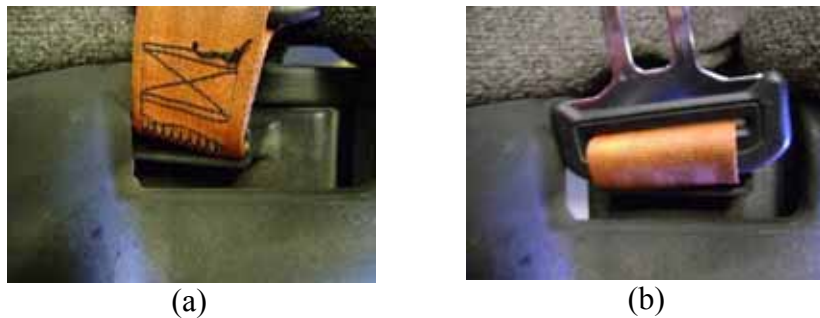
Toutes les entreprises nous ont mentionné avoir remplacé des ceintures, à cause de défauts de la boucle ou du rétracteur. Parmi les chariots à l'étude, plusieurs rétracteurs ALR d'une entreprise fonctionnaient mal, bien qu'ils fussent récents et utilisés dans un environnement peu poussiéreux<sup>5</sup>. La sangle avait parfois tendance à se plier sur elle-même en entrant dans le rétracteur. L'entrée du rétracteur était large et le mécanisme du rétracteur était aussi possiblement déficient (Figure 20).

<sup>5</sup> Smith et al. (2005) soulignent que les conditions poussiéreuses rencontrées dans les carrières rendent les rétracteurs inopérants.



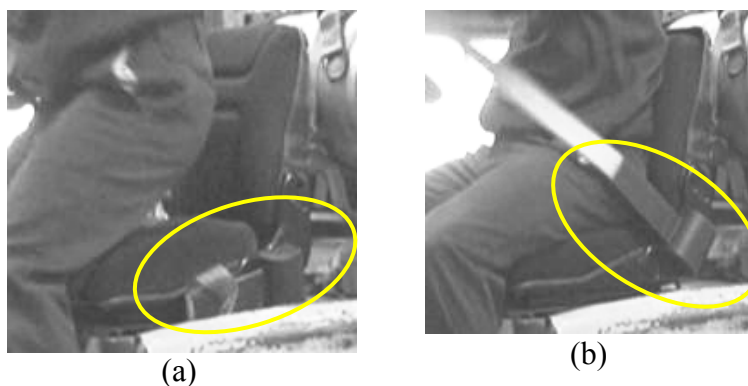
**Figure 20. Ceinture dont le rétracteur ALR et la sangle sont souvent sujets au blocage.**

Des problèmes de rétracteurs mal fixés ont aussi été observés dans deux entreprises. La Figure 21 montre le cas d'un rétracteur, encastré dans une retenue aux hanches, insuffisamment vissé et donc libre de bouger. La position illustrée à la Figure 21 (a) occasionne un frottement de la sangle avec la bordure de la retenue, rendant plus difficiles la sortie et l'entrée de la sangle dans le rétracteur.

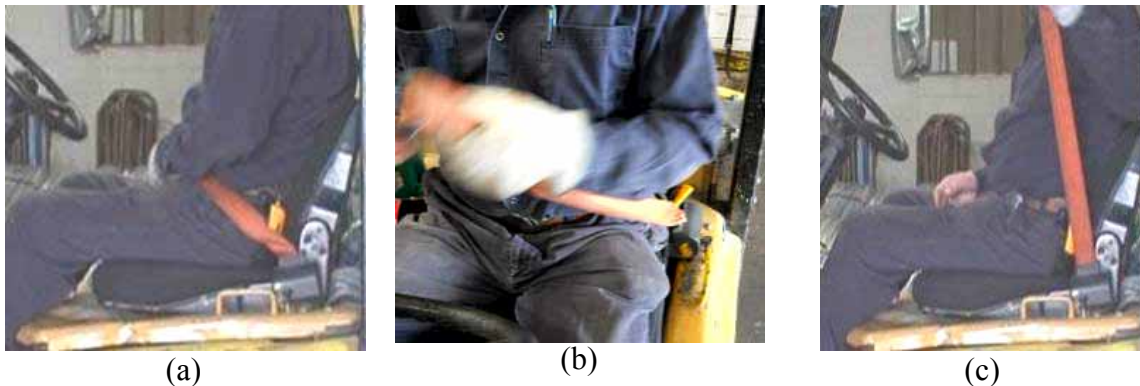


**Figure 21. Fixation du rétracteur dans la retenue à la hanche.**  
*a) Mauvaise fixation du rétracteur occasionnant un frottement de la sangle avec la bordure de la retenue à la hanche et b) bonne position du rétracteur.*

La Figure 22 montre une autre situation où le rétracteur est libre de pivoter, tandis que la Figure 23 nous fait voir le cas d'un rétracteur bien fixé mais dont la sortie n'est pas orientée de façon adéquate, ce qui ne favorise pas un bon rembobinage et une bonne sortie de la sangle.



**Figure 22. Rétracteur mal fixé au siège et libre de pivoter.**  
*a) Position du rétracteur lorsque la ceinture n'est pas attachée et b) le rétracteur suit le mouvement de la sangle lorsqu'une tension est exercée.*



**Figure 23. Orientation du rétracteur non optimale pour mettre et enrouler la sangle.**  
*a) et b) plis dans la sangle et frottement et c) guidage de la sangle vers le rétracteur pour faciliter l'enroulement.*

### 3.3.3.3 Longueur de la sangle et emplacement de la boucle et du rétracteur

La longueur des sangles vues en entreprise est présentée au Tableau 5. La sangle la plus courte mesurait 94 cm et ne convenait pas à un cariste de forte taille. Celui-ci pouvait boucler la ceinture mais la sangle, étirée à son maximum, était inconfortable même si le rétracteur était de type ELR. Les autres sangles mesuraient toutes au moins 110 cm et convenaient aux opérateurs. En termes de longueur disponible pour le bouclage, on peut considérer que la longueur de la tige de fixation de la boucle s'ajoute à la longueur de la sangle (Tableau 5). La longueur médiane disponible pour le bouclage est de 142 cm alors qu'elle n'est que d'environ 94 cm sur un des sièges.

**Tableau 5. Longueur des sangles et des fixations de boucle et distance latérale entre le rétracteur et la boucle.**

	Longueur de sangle	Longueur sangle + tige-boucle approx.	Distance latérale entre l'ouverture de la boucle et la sortie de sangle du rétracteur
Médiane	121 cm (47 po.)	142 cm (56 po.)	49 cm (19 po.)
Min.	94 cm (37 po.)	94 cm (37 po.)	38 cm (15 po.)
Max.	152 cm (60 po.)	183 cm (72 po.)	53 cm (21 po.)

Smith et al. (2005) rapportent des difficultés d'utilisation de la ceinture avec des vêtements chauds (manteau et gants) et mentionnent que la sangle n'est pas suffisamment longue pour les opérateurs de forte taille. Ces problèmes et celui du port de vêtements lourds sont aussi fréquemment recensés dans le cas des ceintures de véhicules routiers (Balci et al. 2001). Dans la simulation effectuée avec un cariste d'assez forte corpulence portant un manteau d'hiver, la sangle de 118 cm convenait (total de 140 cm avec la fixation de boucle) (Figure 24a). Parmi les six caristes qui endossent périodiquement un manteau chaud et volumineux, certains disent :

1. trouver plus difficile l'accès aux parties de la ceinture qui se trouvent alors cachées sous le manteau;
2. devoir tirer davantage la sangle;

3. devoir mettre la sangle, trop courte, sous leur manteau;
4. se sentir inconfortables (frottement, sensation d'être coincé).

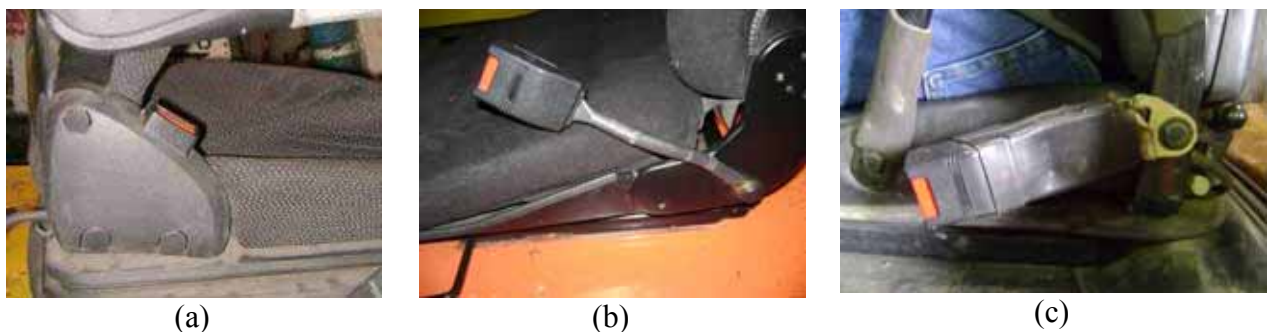
Deux caristes parlent de l'importance de la position des parties de la ceinture particulièrement avec le port du manteau : l'un souhaiterait que les deux parties de ceinture soient un peu plus éloignées du corps, l'autre apprécierait que la boucle soit sur une longue tige plutôt que d'être encastrée. La Figure 24 (b et c) montre que même les vêtements moins volumineux peuvent avoir certains effets sur la façon d'utiliser la ceinture.



**Figure 24. Exemples du port de la ceinture.**

*a) Sangle portée par-dessus le manteau d'hiver mi-cuisse, b) sangle placée sous la poche ventrale de la veste et c) sangle portée sous la veste. Le cariste retient le pan de la veste pour boucler la ceinture.*

Tel que nous l'avons mentionné précédemment, l'emplacement de la boucle contribue à la facilité de bouclage. Dans les entreprises visitées, les deux parties de la ceinture étaient toutes fixées au siège. Certaines boucles sont encastrées à même le côté du siège, d'autres sont maintenues par des tiges rigides plus ou moins longues et finalement certaines sont fixées de façon semi-rigide (i.e. ne restent pas en place) (Figure 25). Quelques caristes ont dit apprécier la tige rigide qui leur permet d'accéder facilement à la boucle et qui la maintient toujours dans la même position.



**Figure 25. Types de fixation de la boucle.**

*a) Encastrement, b) tige rigide et c) gaine semi-rigide.*

Par ailleurs, l'espacement latéral entre les deux parties de la ceinture peut aussi bien faciliter le bouclage et débouclage que nuire à la manœuvre. Les sièges étroits ont des ancrages de ceinture très près du corps des caristes. Certains doivent se pencher pour libérer l'espace pour accéder à la sangle et à la boucle (Figure 26). Pour les sièges à l'étude, la distance latérale médiane entre les deux sections de ceinture est de 49 cm, la distance maximale, de 53 cm et la distance minimale de 38 cm.



**Figure 26. Siège étroit - accès difficile à la sangle.**

### 3.3.3.4 Appuie-bras et retenue à la hanche

Plusieurs sièges pour chariots élévateurs comportent soit des appuie-bras, soit des systèmes de retenue aux hanches, soit des systèmes de retenue thoracique. Aucun commentaire ni observation particulière n'ont été faits quant aux systèmes de retenue thoracique et au port de la ceinture. Lorsqu'il y avait des appuie-bras, celui de gauche était en position relevée dans les chariots à l'étude. L'appuie-bras droit, dont le prolongement comporte les commandes d'équipement de préhension actionnées par les doigts, était en position abaissée. Dans cette position, l'appuie-bras restreint l'accès à la boucle de ceinture (Figure 27). Ainsi, pour faciliter le bouclage, un opérateur souhaiterait que la boucle soit fixée sur une tige plus longue.



**Figure 27. Accès difficile pour boucler et déboucler en raison de l'appuie-bras.**

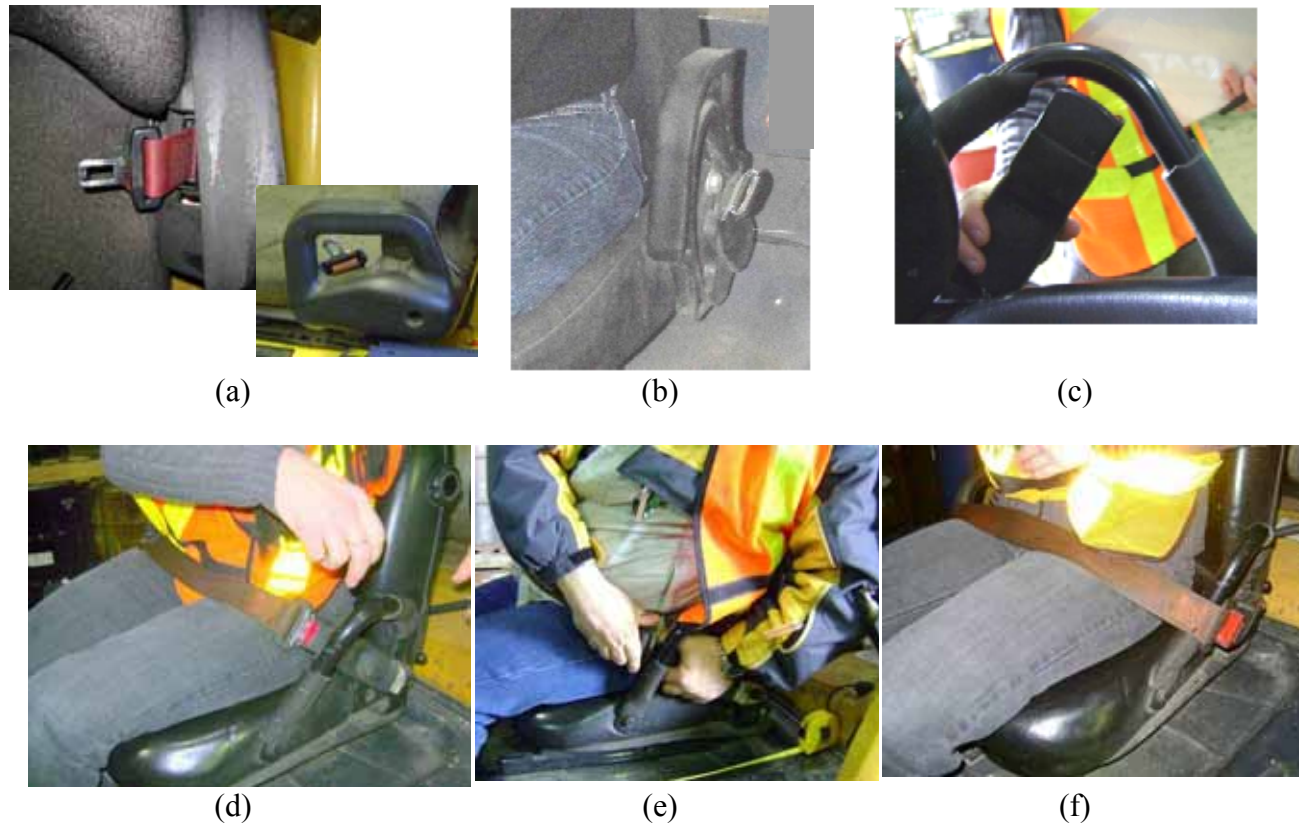
De la même façon, les retenues aux hanches, qui sont fixes, délimitent la largeur de l'assise et sont dans la zone d'accès aux deux parties de la ceinture. La Figure 28 montre des exemples de

difficulté d'accès à la sangle en raison de la retenue; les caristes doivent se pencher de côté pour libérer la zone de la sangle. Ceux qui utilisaient un siège équipé de retenues aux hanches trouvent d'ailleurs l'accès à la sangle un peu moins facile que leurs collègues utilisant un siège sans retenue.



**Figure 28. Exemples de difficulté d'accès à la sangle en raison de la retenue à la hanche.**

Dans certains cas, le rétracteur est intégré à même la retenue et se situe en son centre (Figure 29a). Dans d'autres cas, le rétracteur et la boucle sont fixés au siège du côté externe de la retenue (Figure 29, b et c) et il faut alors passer la sangle et la boucle au travers l'ouverture de la retenue pour que la ceinture soit attachée adéquatement près du corps (Figure 29d). Le bouclage peut alors être difficile à réaliser (Figure 29e). La Figure 29c illustre que le retrait d'une partie de la gaine de mousse couvrant la retenue facilite l'accès à la boucle fixée du côté externe. Dans une entreprise, la ceinture est plutôt bouclée par-dessus la retenue aux hanches (de façon similaire à la Figure 29f). En procédant ainsi, le cariste dit qu'il ne sent pas la ceinture (ALR), qu'elle ne le dérange pas, que c'est comme s'il n'en avait pas. Il ajoute qu'il en serait probablement autrement s'il devait attacher la ceinture sous les retenues aux hanches. Boucler par-dessus les retenues présente plusieurs avantages : le bouclage est plus facile; une portion de la sangle ne touche pas au corps du cariste; la tension dans la sangle dépend en partie du contact avec les retenues ce qui réduit probablement le resserrage automatique de la sangle. Cependant, le bouclage par-dessus les retenues aux hanches est susceptible de laisser un jeu entre la sangle et le corps pour les personnes de faible gabarit (Figure 29f), ce qui soulève la question de la protection en cas d'accident.



**Figure 29. Exemples de positionnement du rétracteur et de la boucle.**

*a) Boucle de ceinture fixée au centre de la retenue à la hanche, b) boucle de ceinture fixée à l'extérieur de la retenue à la hanche, c) le retrait de mousse sur la retenue à la hanche permet de passer la boucle de ceinture dans l'ouverture, d) bouclage sous la retenue à la hanche; sujet de faible corpulence (simulation), e) position pour boucler la ceinture sous la retenue à la hanche (simulation) et f) bouclage de la ceinture par-dessus la retenue aux hanches; sujet de faible corpulence (simulation).*

### 3.3.3.5 Bouton de la boucle, port de gants

Les boucles utilisées dans les différents chariots comportaient un bouton sur le côté ou à l'extrémité (Figure 30). Un cariste a montré sa grande préférence pour les boutons situés à l'extrémité (b) qu'il juge plus faciles et rapides à presser. Outre les problèmes d'enclenchement de la boucle, aucune difficulté pour détacher la ceinture n'a été rapportée, peu importe le type de bouton.

En raison notamment des manutentions à effectuer, plusieurs caristes portent des gants pour conduire le chariot, et ce, même durant l'été. D'autres caristes n'en portent que durant l'hiver. Aucune difficulté n'a été soulevée concernant le port de gants et le bouclage ou le débouclage de la ceinture.



**Figure 30. Type de bouton de boucle.**

*a) Bouton de côté et b) bouton d'extrémité.*

### 3.3.3.6 Équipements portés à la taille

Dans les entreprises visitées, les téléphones, scanners et autres équipements étaient placés dans l'habitacle du chariot. Cependant, quatre caristes portaient à la taille un porte-outils; trois l'avaient mis du côté du rétracteur, le quatrième, du côté boucle femelle. Les observations du travail révèlent qu'en raison de l'étui, les caristes doivent parfois replacer la sangle lors du bouclage (Figure 31a) et que celle-ci, lorsqu'elle est placée sous le porte-outils, reste parfois coincée lors du débouclage (Figure 31b). À quelques reprises, il a également été constaté que le rétracteur ELR ne reprenait pas totalement le surplus de sangle car celle-ci était coincée sous le porte-outils (Figure 31c). Un seul cariste a relaté que le porte-outils lui causait certains inconforts. Par ailleurs, deux caristes portaient la ceinture (rétracteur manuel, rétracteur ALR) par-dessus leur porte-outils; l'un d'eux précise que c'est pour éviter les inconforts.



**Figure 31. Exemples d'inconvénients liés au port d'équipements à la taille.**

*a) Sangle prise dans le porte-outils lors du bouclage, b) rétracteur manuel : la sangle reste prise sous le porte-outils lorsque le cariste descend du chariot et c) Rétracteur ELR : la sangle en excès, coincée sous le porte-outils, n'est pas reprise par le rétracteur lorsque le cariste se rassoit.*

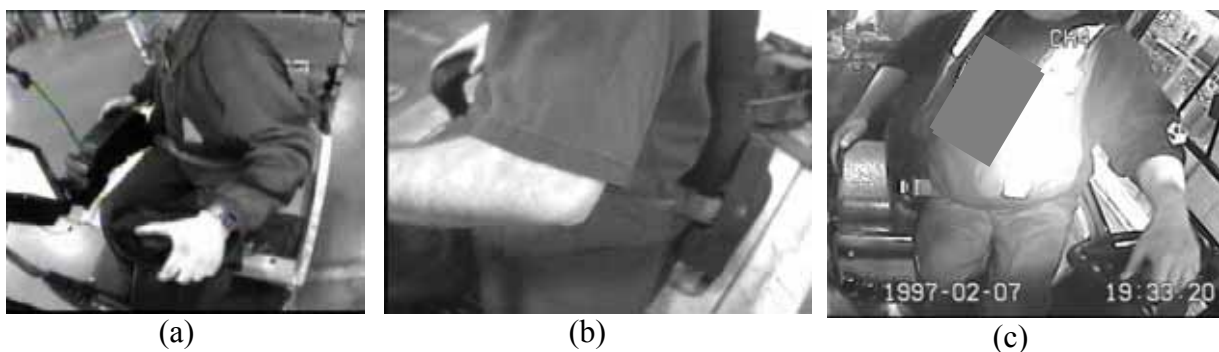
### 3.3.4 L'utilisation de la ceinture dans l'accomplissement du travail

L'agacement de devoir boucler et déboucler la ceinture lors de l'exécution du travail et ce, plus particulièrement lorsqu'on monte et descend souvent du chariot, a été souligné par plusieurs

caristes. Cinq caristes mentionnent par ailleurs des inconforts au bas du ventre sous la sangle et un à la hanche lorsqu'il prend une position pour reculer.

Vezeau et al. (2009) rapportent que 30 à 48 % du temps de déplacement des chariots élévateurs s'effectue en marche arrière. Le transport de charges volumineuses peut aussi exiger des déplacements en marche arrière sur de longues distances. À titre d'exemple, l'un des caristes participant à l'étude effectuait des déplacements répétés à reculons d'une durée moyenne de 31 secondes et deux autres exécutaient des trajectoires en marche arrière d'une durée de 1,5 minute.

Deux caristes ayant à conduire à reculons sur de longues distances ont mentionné la difficulté supplémentaire à se tourner avec la ceinture. Dans un cas, la ceinture avait un rétracteur ALR (Figure 32, a et b); dans l'autre cas, le rétracteur était manuel et l'ajout d'un siège pivotant a permis au cariste de compenser le manque de mobilité (Figure 33a). Un autre opérateur utilisant une ceinture à rétracteur manuel ajustait la longueur de la ceinture de façon à ne pas être ennuyé lorsqu'il se retournait; selon nos observations, il conserve un jeu d'environ 5 cm dans la sangle (Figure 33b). Un opérateur utilisant une ceinture ELR confie qu'il a déjà utilisé une ceinture ALR mais qu'il n'en voudrait plus (Figure 32c). Finalement, un cariste mentionne sa perte de mobilité au niveau cervical au fil des ans et sa difficulté croissante à tourner le torse et la tête vers l'arrière; la ceinture ALR ne le gêne pas mais il ne se tourne pas complètement. Le déplacement partiel du bassin sur l'assise permet d'améliorer la vision vers l'arrière; ainsi, la vision ne devrait pas restreindre ce mouvement. Les observations montrent que le rétracteur ELR est le mécanisme qui offre le plus facilement cette mobilité.



**Figure 32. Postures pour voir lors de manœuvre à reculons.**

*a) et b) rétracteurs ALR et c) rétracteur ELR.*



**Figure 33. Rétracteur manuel – se tourner pour voir lors de manœuvre de reculons.**

*a) siège pivoté vers la droite et b) siège droit, ceinture un peu moins serrée.*

Les activités de travail amènent aussi les opérateurs à se pencher de côté et vers l'avant pour voir, scanner, accéder à des listes de commande, etc. La mobilité offerte par chaque type de rétracteur est difficile à évaluer étant donné la grande variabilité des situations et le petit échantillon étudié. La présence d'un jeu dans la sangle favorise les déplacements plus importants du corps. Dans le cas des ceintures ALR, ce jeu peut venir de l'emplacement des ancrages, de la faible corpulence du cariste (Figure 34a) ou du bouclage de la ceinture par-dessus les retenues aux hanches. À ces facteurs s'ajoute, dans le cas d'un rétracteur manuel, le jeu laissé dans la sangle tel que le détermine le cariste (Figure 34b). Finalement, dans le cas du rétracteur ELR, à moins d'avoir une sangle trop courte, la longueur de la sangle s'adaptera aux mouvements du cariste, ce qui est avantageux pour ce dernier (Figure 34c).



(a)



(b)



(c)

**Figure 34. Se pencher pour voir ou pour scanner.**

*a) Rétracteur ALR, cariste de faible corpulence, b) rétracteur manuel avec petit jeu dans la sangle et c) rétracteur ELR.*

Le système présenté à la Figure 35 était installé sur un chariot élévateur équipé d'une ceinture à rétracteur ALR; il comporte une section extensible entre l'ancrage et la boucle de la ceinture. Si ce mécanisme est installé à droite, comme c'était le cas dans l'entreprise visitée et sur le pré-terrain, et que l'opérateur se tourne vers la droite pour voir à l'arrière, c'est la hanche gauche qui tire sur la ceinture et le mécanisme n'a aucun effet. Si l'opérateur se tourne du côté gauche, sa hanche droite tirera sur le mécanisme et l'activera. Cependant, vu la résistance du ressort, le gain paraît peu important. Le cariste qui travaillait avec une telle ceinture supposait qu'il y a un avantage mais n'a pas pu confirmer si ce mécanisme s'activait par moment. Les vidéos du travail ont permis de constater que ce mécanisme semblait s'étirer lorsque le cariste se penchait vers l'avant et du côté opposé (Figure 35c). Dans cette situation, le poids du corps contribue à tirer sur le mécanisme et selon un axe approprié. Il n'a pas été possible de vérifier si ce mécanisme présentait un gain lorsqu'il y a des secousses verticales. Sur la ceinture observée en entreprise, ce

ressort permet une extension d'un peu moins de 5 cm. Dans l'ensemble, en gardant en tête que nos observations sont peu nombreuses, les gains de ce système pour la mobilité et le confort semblent se limiter à quelques situations particulières.



**Figure 35. Système « sans blocage ».**

*a) Non étiré, b) étiré à son maximum et c) situation de travail où il s'est activé.*

L'atténuation des secousses et des vibrations est une préoccupation dans les entreprises. Certaines prennent d'ailleurs particulièrement soin des surfaces de roulement pour limiter les chocs ou vibrations. Seuls trois des quatorze sièges à l'étude ne comportaient pas de suspension. Une seule était pneumatique, les autres étant mécaniques. Quatre suspensions se situaient au dossier et les autres sous le siège.

Wilcoxon (1998) mentionne que les ceintures statiques (sans rétracteur) et les ceintures avec rétracteurs ALR sont les plus fréquemment utilisées dans les véhicules hors-route et que les utilisateurs rapportent des inconforts liés aux tensions qu'exerce la ceinture. En effet, lorsque les ancrages de la ceinture sont installés sur la partie inférieure et fixe du siège alors que le dossier et l'assise se déplacent avec la suspension, le rétracteur ALR peut resserrer la sangle. Ce resserrement peut également avoir lieu lorsque le cariste bouge sur son siège. Dans une des entreprises, des caristes conduisant sur un sol bien nivelé ont mentionné que les petites secousses du chariot étaient suffisantes pour que la ceinture ALR se resserre par moment; cette situation génère alors des inconforts. Les ceintures avec un rétracteur ALR doivent être rembobinées complètement pour permettre de rajuster la sangle. Un superviseur a mentionné que certains caristes, inconfortables avec les ceintures ALR, bloquaient l'entrée de la ceinture dans le rétracteur en fixant une épingle de sûreté sur la sangle. Cette situation n'a cependant pas été vue chez les caristes participants ni rapportée par ceux-ci.

Sur les terrains visités, certains caristes ajoutent un coussin au dossier de leur siège (Figure 36). L'un d'eux explique que cela lui procure un meilleur support au dos et surtout que cela lui permet de s'approcher du volant pour être plus confortable. Tout comme le mentionne ce cariste, il est probable que la compression de ce coussin contribue par moment au resserrement de la ceinture ALR.



**Figure 36. Ajout d'un coussin au dossier.**

Smith et al. (2005) et Sullman (1998), dans des études portant sur des engins de chantier, notent que même les rétracteurs ELR peuvent bloquer lorsqu'il y a des secousses ou des pentes. Cette situation ne s'est pas présentée dans l'entreprise où les ceintures ELR étaient utilisées, les surfaces de roulement étant assez lisses et planes.

## **4. REPÈRES POUR GUIDER LE CHOIX D'UNE CEINTURE PELVIENNE**

À la lumière des différentes informations recueillies dans cette étude, un certain nombre de repères sont à considérer lorsque vient le temps de choisir une ceinture pelvienne pour utilisation dans un chariot élévateur. Soulignons que le choix d'une ceinture devrait se faire en collaboration avec des caristes afin de favoriser l'installation d'options qui conviendront aux utilisateurs et qui prendront en compte les conditions de réalisation du travail.

### **4.1 Conformité aux normes**

Plusieurs normes couvrent la conception et la fabrication des ceintures de sécurité, fournissant des critères précis sur différents aspects: résistance aux micro-organismes, résistance mécanique, résistance au cyclage, résistance à la température, à la raideur, etc. La norme SAE J386 qui s'applique aux véhicules de travail hors route, est assez détaillée sur ce sujet et permet donc de couvrir plusieurs aspects pratiques d'utilisation d'une ceinture. Les autres normes ont des exigences similaires sur ces aspects. Les normes fournissent aussi des seuils de blocage concernant les différents types de rétracteurs automatiques, tels les ALR et les ELR, mais elles ne statuent pas quant au type de rétracteur en fonction de l'une ou l'autre application. Il est important de noter que les ceintures ont probablement été conçues en fonction des besoins de l'industrie automobile et non pour des utilisations plus particulières comme dans le cas des chariots élévateurs. Par conséquent, les seuils indiqués dans les normes ne sont pas nécessairement compatibles avec toutes les conditions de fonctionnement d'un chariot élévateur sur le terrain. Cette démonstration a été faite au chapitre 2.

### **4.2 Longueur de ceinture**

La longueur utile d'une ceinture se calcule en additionnant la longueur de la sangle à celle de la fixation de la boucle. Il est important de tenir compte de la variabilité des gabarits des caristes ainsi que des conditions d'habillement hivernal et du port d'outils à la ceinture. Selon notre étude sur le terrain, une longueur de ceinture de 140 cm convenait, alors qu'une longueur de 94 cm était insuffisante.

### **4.3 Positionnement des ancrages et caractéristiques du siège**

Il est de loin préférable que les ancrages de la ceinture se situent au-dessus de la suspension du siège, afin que le plan d'assise et les ancrages se déplacent solidairement lorsque la suspension est en action. Le siège doit être dimensionné de sorte que les caristes aient facilement accès aux deux parties de la boucle, évitant en particulier qu'elles soient derrière le cariste ce qui peut se produire lorsque le siège est très étroit. Par exemple, dans les entreprises visitées, une distance latérale de 50 cm entre les ancrages était préférable à une distance de seulement 38 cm, mesurée sur l'un des sièges. Les entreprises optant pour des sièges avec retenues aux hanches devraient considérer des choix qui minimisent les entraves au bouclage et au débouclage. Soulignons que, dans le cas où la ceinture est fixée du côté extérieur des retenues, il peut être laborieux de faire passer les parties de la ceinture à travers la retenue. Le fait de boucler la ceinture par-dessus la

retenue peut alors paraître une solution intéressante mais, en raison du jeu laissé entre l'utilisateur et la ceinture, cela pourrait réduire la protection des utilisateurs de plus petit gabarit. En ce qui concerne les appuie-bras, ils devraient pouvoir se relever pour faciliter l'accès aux deux parties de la ceinture. Finalement, afin de faciliter le bouclage, il est préférable que la boucle soit maintenue par une fixation rigide et assez longue (p. ex. tiges) plutôt que par une fixation souple.

## 4.4 Installation, entretien et utilisation de la ceinture

Différents aspects sont aussi à considérer lors de la sélection de la ceinture, en ce qui a trait à son installation, son entretien et son utilisation, notamment :

### 1. L'installation du rétracteur

- S'assurer que le rétracteur soit fixé selon les instructions du fabricant et les normes.
- L'inclinaison de la ceinture doit se situer entre  $60^{\circ} \pm 15^{\circ}$ , pour réduire le mouvement vertical de l'occupant (se référer à la norme SAE J386).

### 2. L'entretien des ceintures

- Vérifier périodiquement l'état de fonctionnement des ceintures (rétracteur, boucle, sangle).
- Nettoyer les mécanismes (p. ex. vérifier que la bille du rétracteur ELR puisse bouger facilement et que les autres pièces mobiles soient libres de se déplacer).
- S'assurer que les deux parties de la ceinture soient bien fixées (notamment que le rétracteur ne bouge pas).
- Vérifier que le rétracteur comporte toutes les pièces (p. ex. gaine) pour faciliter l'entrée de la sangle et pour limiter la contamination par la poussière.

### 3. Le port d'équipements à la taille

- Examiner et tester les différents types de porte-outils offerts sur le marché, certains sont peut-être davantage compatibles avec le port de la ceinture. Dans cette étude, nous n'avons pas exploré les possibilités offertes sur le marché.

### 4. Bouclage de la ceinture

- Au moment de boucler la ceinture, s'assurer que la partie mâle est bien retenue dans la partie femelle;
- Éviter le jeu excessif dans la sangle et s'assurer que la ceinture repose bien sur les os du bassin. La norme SAE permet un jeu de 50 mm maximum avant blocage.

## 4.5 Choix du type de rétracteur

Le choix du rétracteur est de loin le plus important facteur à considérer. En effet, ce rétracteur aura un impact autant du point de vue de la sécurité du cariste que de son confort, de sa vision et de la sécurité de l'environnement dans lequel le chariot se déplace. À la lumière des informations recueillies dans ce rapport, un certain nombre de points doivent être pris en compte pour sélectionner le rétracteur le plus approprié, notamment :

### **1. Changements fréquents d'utilisateurs**

Dans certaines entreprises, un même chariot élévateur peut être utilisé par différents caristes durant un quart de travail. Dans ce contexte, lorsque les changements d'utilisateurs sont fréquents, les rétracteurs manuels sont moins intéressants, puisque la longueur de sangle doit être ajustée à chaque changement de cariste. Les rétracteurs ALR et ELR qui reprennent automatiquement tout surplus de la sangle lors du bouclage procurent une flexibilité intéressante dans ce contexte.

### **2. Mobilité, liberté de mouvement**

La liberté de mouvement du cariste, lorsque celui-ci est attaché, varie selon différents facteurs (emplacement des ancrages de la ceinture, caractéristiques des retenues aux hanches, siège pivotant...), dont le type de rétracteur qui joue un rôle important. En l'absence de jeu suffisant dans la sangle, le cariste ne pourra soulever une hanche ou déplacer son bassin sur le siège comme cela est souvent nécessaire pour voir à l'arrière du chariot en reculant. Les ceintures les plus contraignantes sont celles qui restent bloquées, en tout temps, avec la sangle très près du corps (jeu de 4 cm ou moins). À l'opposé, les rétracteurs ELR qui permettent le déroulement de la sangle en situation normale (i.e. en l'absence d'accélération ou d'inclinaisons significatives), sont beaucoup plus indiqués dans les situations où les caristes doivent avoir une bonne mobilité pour atteindre des équipements ou se tourner sur leur siège pour conduire à reculons sur de longues distances. D'un point de vue sécurité des piétons ou des structures qui entourent le chariot, il importe que ce facteur soit pris en considération.

### **3. Présence de vibrations, suspension, compression des coussins du siège, utilisation d'un dossier supplémentaire**

Le rétracteur ALR est celui qui présente le plus d'inconvénients. Ce type de ceinture reprend le jeu qui se crée dans la sangle lorsqu'un coussin se comprime, que la position du cariste change ou que l'assise se déplace de haut en bas par rapport aux ancrages. La sangle se resserre sur le cariste et celui-ci doit enlever la ceinture, la rembobiner dans le rétracteur et la rattacher pour retrouver l'ajustement initial. Sur un siège à suspension, il faut s'assurer que les ancrages de la ceinture soient placés sur l'assise afin de minimiser le resserrement de la sangle sur l'utilisateur.

### **4. Confort**

L'analyse des caractéristiques mécaniques et de la perception des caristes indique que la ceinture équipée d'un rétracteur ALR est moins confortable. Ce point est lié aux deux précédents, plus précisément à la possibilité limitée de bouger sur le siège et au resserrage et blocage automatique de la sangle par le rétracteur. Le nombre limité de situations de travail observées et de données de perception des participants recueillies au sujet des rétracteurs manuels et des rétracteurs ELR ne permet toutefois pas de conclure qu'un rétracteur est plus confortable que l'autre dans diverses situations de travail.

### **5. Facilité d'entretien**

Le rétracteur manuel est de loin celui qui possède le moins de pièces et, par conséquent, demande le moins de vérification et d'entretien. En termes de complexité, vient ensuite le rétracteur ALR et, tel que nous en avons discuté, présente sur le plan de ses modes de défaillances, une probabilité plus élevée de mauvais fonctionnement. De plus, son entretien n'est

pas particulièrement aisé en cas de contamination, de sorte qu'un suivi doit être prévu pour assurer son bon fonctionnement en tout temps. Finalement, le rétracteur ELR est celui qui présente la plus grande complexité. Il possède le plus grand nombre de pièces, ce qui multiplie les possibilités de défaillance selon le type de contamination. De même, son entretien n'est pas nécessairement aisé et un suivi attentif et régulier doit donc être effectué.

## **6. Capacité du rétracteur à retenir le cariste lors des renversements**

Le rétracteur manuel avec un faible jeu dans la sangle, i.e. < 5 cm (2 po.), présente de très bonnes capacités de retenue du cariste dans toutes situations de renversement. En effet, une sangle bien ajustée permet de retenir le cariste à l'intérieur du FOPS. Cependant, lorsque ce rétracteur est utilisé avec une sangle possédant plus de 5 cm (2 po.) de jeu, l'efficacité de la ceinture à retenir le cariste à l'intérieur de la cabine pourrait être compromise. Bien qu'une ceinture à rétracteur manuel utilisée en laissant un jeu dans la sangle puisse empêcher le cariste de sauter, il n'est pas certain qu'elle le retiendra entièrement à l'intérieur de la cabine lors des renversements; ce système ne pourra alors empêcher le cariste de se retrouver coincé entre le sol et le FOPS.

Les capacités de retenue du rétracteur ALR sont aussi bonnes que celles du rétracteur manuel. De plus, contrairement au rétracteur manuel, il ne permet pas à l'utilisateur de laisser un jeu dans la sangle (à moins que ce dernier n'utilise un moyen de contournement). Le jeu est plutôt déterminé par le nombre de dents du pignon de blocage de la bobine et est en fait normalisé à 50 mm maximum (cf. SAE J386).

Les rétracteurs ELR assurent un blocage selon différents seuils d'accélération du chariot ou de son inclinaison et, dans certains cas, du défilement de la sangle. Le chapitre 2 a fourni des explications détaillées démontrant que le rétracteur ELR peut être efficace dans beaucoup de conditions de renversement d'un chariot, mais pourrait ne pas l'être dans plusieurs autres. De par la variabilité des conditions de renversement, le rétracteur ELR ne peut donc être considéré comme une solution universelle de protection du cariste.

## **7. Conformité aux normes**

Tel que nous en avons discuté précédemment dans ce rapport, plusieurs normes existent pour définir les caractéristiques requises pour les ceintures de sécurité, en particulier les rétracteurs. Nous avons vu que les normes, bien qu'elles comportent des critères semblables, possèdent des seuils différents. Dans le cas d'une utilisation pour chariot élévateur, la norme FMVSS 209 apparaît intéressante concernant les seuils de blocage, mais celui basé sur l'inclinaison du rétracteur n'est pas suffisamment conservateur pour assurer la sécurité du cariste. Sur cet aspect, la norme SAE J386 est préférable, mais elle est moins conservatrice en ce qui concerne les seuils de blocage associés à l'accélération sur le défilement de sangle; cette norme reste même ambiguë à ce sujet. Elle demeure toutefois celle qui est préconisée pour les ceintures qui équipent les chariots élévateurs dans plusieurs provinces du Canada.

## 5. DISCUSSION

Au Québec, la ceinture figure parmi les dispositifs de retenue proposés pour éviter que le cariste ne soit écrasé par la structure de protection lors du renversement de chariots élévateurs. Le règlement, de même que les manufacturiers et les écrits scientifiques, ne fournissent toutefois aucune indication sur le type de ceinture le plus approprié pour utilisation dans un chariot élévateur à contrepoids. Le but de cette présente étude était de recueillir des informations techniques sur les ceintures de sécurité et sur leur utilisabilité en vue de faire un état de la situation pour les chariots élévateurs à contrepoids.

Le port de la ceinture de sécurité est une consigne à laquelle les manufacturiers de chariot élévateurs demandent de se plier. Ainsi, bien que le Règlement sur la santé et la sécurité du travail au Québec n'exige pas explicitement le port de la ceinture, il est communément accepté qu'il s'agit du minimum à respecter.

Le volet terrain de notre étude a permis d'identifier un certain nombre de facteurs à prendre en considération dans l'évaluation de la performance d'une ceinture. Ces facteurs ont été identifiés dans des situations variées d'utilisation de la ceinture susceptibles d'être observées dans d'autres entreprises du Québec. Cependant, les limites des conclusions de notre étude résident dans le petit échantillon d'entreprises visitées et de chariots élévateurs, le nombre d'entrevues de caristes, notamment ceux équipés de ceintures avec rétracteurs ELR et manuels. Certaines conditions n'ont pas fait l'objet de l'étude, telle l'utilisation de chariots dans des cours extérieures ou sur des terrains inégaux. De plus, aucune femme cariste ne faisait partie de l'échantillon. Les commentaires et les besoins de celles-ci auraient-ils été différents de ceux de leurs collègues masculins?

L'étude terrain était centrée sur l'utilisation de la ceinture pelvienne, telle qu'elle est installée actuellement sur les chariots. Bien que les caristes disent s'être habitués à s'attacher et que le bouclage et le débouclage de la ceinture prennent relativement peu de temps, soit quelques secondes, la ceinture semble un irritant pour plusieurs d'entre eux, surtout lorsqu'ils doivent fréquemment descendre de leur chariot. Ces conclusions corroborent celles de l'étude de Smith et al. (2005) portant sur trois types de ceintures utilisées dans les véhicules de carrières (ceinture pelvienne, ceinture avec baudrier, harnais). Cette étude révèle que l'acceptation des systèmes de retenue dépend des tâches à accomplir. La nécessité de monter/descendre fréquemment et le besoin de mobilité pour voir sont peu compatibles avec les systèmes de retenue, plus particulièrement avec les types harnais ou avec baudrier.

Pour favoriser le port de la ceinture, Sullman (1998) propose de faciliter l'accès aux deux parties de la ceinture et de permettre de n'utiliser qu'une main pour se servir de la ceinture au moyen de l'ajout d'un rétracteur. La présente étude exploratoire montre que la grande majorité des caristes utilisent les deux mains pour attacher et détacher la ceinture et ce, peu importe le type de rétracteur, et même si les points d'ancrage se situent sur le siège à proximité du cariste. Les sièges très étroits, la présence de retenues aux hanches, le type de fixation des boucles et des rétracteurs, l'entretien déficient du rétracteur ainsi que le port de vêtements volumineux ou le port d'outils à la ceinture sont des facteurs qui interfèrent avec l'utilisation de la ceinture. Par ailleurs, quelques chariots comportaient des rétracteurs mal fixés ou fonctionnant mal. Lors du

choix d'équipements, plusieurs entreprises s'intéressent aux dispositifs permettant de faciliter la gestion du port de la ceinture (p. ex. couleur de la sangle, signal sonore ou anti-démarrage lors du non bouclage). Avant l'achat, une analyse des besoins tenant compte des caractéristiques du siège, de la ceinture, des utilisateurs et des tâches à réaliser permettrait d'amoinrir certains des inconvénients liés à l'utilisation de la ceinture. Il est important que cette analyse se fasse en collaboration avec les caristes afin d'assurer le meilleur choix. Par la suite, la vérification et l'entretien de la ceinture pourraient s'avérer importants pour minimiser les dysfonctionnements.

Dans l'ensemble, il ressort de notre étude que chacun des types de rétracteurs possède ses avantages et ses inconvénients, selon le contexte d'utilisation des chariots. En effet, les ceintures équipées d'un rétracteur manuel ont comme atout d'assurer la rétention du cariste à l'intérieur du FOPS, peu importe le type de renversement, mais elles peuvent restreindre la mobilité du cariste et doivent être réajustées pour chaque nouvel utilisateur. Pour contrecarrer le problème de mobilité, les usagers pourraient laisser un jeu dans la sangle, mais trop de jeu peut compromettre leur sécurité lors d'accidents. À cet effet, le rétracteur ALR ne permet pas au cariste de laisser un jeu important dans la sangle et s'ajuste automatiquement sur les hanches de chaque nouveau cariste; par contre, il restreint la mobilité. Ce type de rétracteur peut diminuer le confort du cariste, particulièrement sur certains terrains cahoteux lorsque tout jeu est repris et que la ceinture se resserre sur lui. Ce phénomène est lié en partie à la présence d'une suspension du siège et de la souplesse du coussin de siège, ainsi qu'au nombre de dents des pignons de blocage de la bobine de la sangle.

Pour contrer les problèmes énumérés précédemment, l'utilisation d'un rétracteur de type ELR apparaît être une alternative à considérer. En effet, ce rétracteur permet une grande mobilité au cariste, en plus d'automatiquement rembobiner le jeu dans la sangle mais sans bloquer. Même si ce type de rétracteur est utilisé dans les véhicules routiers, l'analyse faite dans la présente étude révèle que les mécanismes de blocage pourraient ne pas s'activer dans certains types de renversements ou d'impacts que peuvent subir les chariots élévateurs. La norme SAE J386 comporte en effet des seuils de blocage/débloccage qui ne sont pas 100 % compatibles avec une utilisation pour les chariots élévateurs.

Étant donné la variabilité des seuils de blocage proposés dans les normes et étant donné une certaine flexibilité des critères de blocage/débloccage dans la plupart des normes sur les ceintures, il est difficile de comparer les résultats des écrits pour déterminer quel rétracteur ELR est le plus adéquat pour les chariots: les articles scientifiques ne décrivent en effet que rarement les seuils de blocage et de déblocage des rétracteurs qu'ils ont utilisés pour leurs études. Par exemple, les normes requièrent un blocage de la sangle pour des accélérations de déroulement qui s'élèvent à 0,7, 1,5 ou 2g, selon la norme. La norme SAE J386 proposée pour les chariots élévateurs n'impose aucun seuil de blocage explicite pour l'accélération du déroulement de la sangle. On peut toutefois supposer, implicitement, que le niveau de 1g serait celui qui est préconisé. Cependant, puisque la norme n'indique aucun seuil officiel, et si on applique la norme à la lettre, une ceinture qui respecte la norme SAE J386 pourrait avoir un seuil de blocage très variable, à la limite inexistant, en ce qui a trait à l'accélération du défilement de sangle. Dans cette optique, à l'achat d'une ceinture, le fabricant devrait fournir les spécifications techniques réelles et complètes sur les seuils de blocage/débloccage du rétracteur de la ceinture. Cependant, même en disposant de ces données, il peut être difficile de juger de la protection offerte par le rétracteur;

les données expérimentales sur l'efficacité de ces rétracteurs pour les scénarios d'accidents spécifiques aux chariots élévateurs n'étant pas disponibles actuellement.

En outre, les rétracteurs ELR gagneraient à posséder des seuils de blocage plus faibles, tels que ceux que préconise la norme FMVSS 209 dédiée aux véhicules automobiles. Cette norme apparaît être celle qui est la plus conservatrice quant aux seuils d'accélération, i.e. elle préconise un seuil de non-blocage à 0,3g, comparé à 1g pour la norme SAE J386, relativement à l'accélération du défilement de la sangle, et un seuil de 0,7g versus 1g pour la norme SAE J386 comme seuil de blocage relativement à l'accélération du rétracteur lui-même. La norme FMVSS 209 est cependant moins conservatrice par rapport au critère d'inclinaison. Il serait important, si la norme FMVSS 209 est prise comme référence, de démontrer qu'un seuil de non-blocage au défilement de sangle de 0,3g ne causera pas de problème de confort lors des mouvements du cariste sur son siège ou lors de déplacements sur des terrains cahoteux ou avec pentes.

Nous n'avons pas effectué de revue exhaustive des ceintures existantes sur le marché. Des études supplémentaires seraient nécessaires pour déterminer sous quelles conditions précises des ceintures avec rétracteurs ELR pourraient être une solution envisageable, car elles présentent des avantages indéniables sur le plan de l'utilisabilité. Pour s'assurer que les rétracteurs ELR puissent être utilisés dans les chariots élévateurs, les actions suivantes devraient être considérées :

- Obtenir auprès des fabricants les spécifications précises (seuils de blocage et non-blocage) des rétracteurs offerts sur le marché, au-delà de ce qui est enregistré pour les tests reliés aux normes en vigueur;
- Préciser dans quelles situations de travail ces rétracteurs sont satisfaisants ou non du point de vue de la sécurité et du confort (par exemple au moyen de simulations, de bancs d'essais pour le volet sécurité et d'études terrain pour le volet ergonomique); ainsi, il pourrait être intéressant de démontrer si le seuil de 0,3g/0,7g de la norme FMVSS 209 est approprié pour le confort, sachant qu'elle pourrait être plus performante en matière de sécurité que la norme SAE J386;
- Développer et valider d'autres mécanismes permettant de bloquer la sangle en situation d'urgence, afin de dissocier les seuils d'inclinaison et d'accélération. Par exemple, utiliser des accéléromètres et un gyroscope (i.e. des IMU ou « Inertiel Measurement Units ») pour détecter l'orientation et les paramètres dynamiques du chariot et déclencher le blocage de la sangle dans les conditions propices aux renversements, aux collisions et aux chutes.
- Identifier une ceinture qui aurait un seuil de blocage à l'inclinaison qui serait de l'ordre de 12 à 15 degrés. Cette caractéristique aiderait à combler les déficits des rétracteurs ELR pour plusieurs conditions de renversement. On ne doit toutefois pas oublier que le seuil d'inclinaison entre en conflit avec le seuil d'accélération du véhicule et c'est pour cette raison que les normes ne forcent pas un seuil de blocage à 12 à 15 degrés. En dissociant les mécanismes de blocage pour ces deux phénomènes, il serait possible d'assurer un seuil d'inclinaison plus approprié pour les chariots élévateurs.



## 6. CONCLUSION

La présente étude exploratoire a permis de faire le portrait des principaux types de ceintures de sécurité destinées à l'utilisation dans les chariots élévateurs en vente au Québec. L'analyse des caractéristiques physiques de certaines des ceintures de même que le recueil de données provenant de sept entreprises québécoises de différents secteurs d'activité ont permis de constater certains avantages et inconvénients des rétracteurs manuels, ALR et ELR, sur le travail, le confort et la sécurité des caristes. Outre le rétracteur, l'étude démontre que l'installation de la ceinture et les caractéristiques du siège ont leur importance pour faciliter l'utilisation de la ceinture. Les caristes disent, pour la plupart, avoir pris l'habitude de s'attacher, mais plusieurs trouvent cette contrainte inutile ou irritante notamment lorsqu'ils ont fréquemment à descendre du chariot et à y monter. Avant l'achat d'une ceinture et d'un siège, une bonne analyse du contexte d'utilisation en entreprise pourrait aider à déterminer des exigences compatibles à ce contexte afin d'amoindrir certains irritants, cette analyse devant être menée avec la participation des caristes. Bien qu'ils n'aient pas été visés par notre étude, les facteurs organisationnels ne doivent pas être oubliés lorsqu'on désire diminuer les contraintes du travail associées au port de la ceinture (p. ex. réduction du besoin de monter et de descendre du chariot par un meilleur système d'étiquetage).

Parmi les différentes composantes d'une ceinture de sécurité, le type de rétracteur joue un rôle important sur l'adéquation de la ceinture avec son contexte d'utilisation. La présente étude a répertorié trois types de rétracteurs de sangle qui sont communément offerts sur le marché: le ELR, le ALR et le rétracteur manuel. Notre étude, basée sur une recension des écrits et une brève analyse dynamique du fonctionnement de la sangle, n'a pas permis de trouver un type qui satisfasse à toutes les contraintes que nous avons pu répertorier.

Le rétracteur ELR présente plusieurs avantages du point de vue du confort de l'utilisateur et de sa mobilité pour effectuer le travail. Cependant, les analyses réalisées dans cette étude exploratoire ne nous permettent pas de considérer ce type de rétracteur comme une solution universelle de protection des caristes. Les rétracteurs ELR possèdent en effet trois caractéristiques fonctionnelles importantes relativement à leurs performances pour protéger le cariste: le niveau d'accélération du défilement de la sangle à partir duquel elle bloque, le niveau d'accélération du chariot avant que la sangle ne bloque et le niveau d'angulation du rétracteur avant qu'il ne bloque. Or, les normes répertoriées relatives aux ceintures de sécurité équipées d'un rétracteur ELR indiquent des seuils de blocage qui ne nous apparaissent pas compatibles avec la cinématique de plusieurs types de renversements de chariots, cinématique qui est très différente de celle observée lors de plusieurs accidents d'automobiles. En outre, les trajectoires cinématiques lors des renversements de chariot ne sont pas bien connues et sont, de toute façon, assez variables.

L'étude des normes relatives aux rétracteurs ELR montre qu'à l'exception du critère de blocage selon l'inclinaison du rétracteur, la norme FMVSS 209 sur les ceintures de sécurité apparaît comme la norme la plus conservatrice au niveau sécurité du cariste. Toutefois, les niveaux d'accélération requis pour induire un blocage du rétracteur étant inférieurs à ceux de la norme SAE J386, il serait important de vérifier que ces seuils ne mènent pas à un blocage continu de la ceinture lorsque le chariot se déplace sur les terrains cahoteux. De plus, ces seuils ne doivent

pas diminuer significativement le champ de vision du cariste lorsqu'il se retourne. Idéalement, le choix d'un rétracteur qui dissocie le seuil d'inclinaison et d'accélération du véhicule serait bénéfique, ainsi qu'un seuil de blocage à l'inclinaison qui se situerait entre 12 et 15 degrés. Des bancs d'essais pourraient s'avérer nécessaires pour quantifier les caractéristiques des rétracteurs ELR offerts sur le marché si elles ne sont pas incluses dans la documentation rendue publique. Étant donné le nombre élevé de composants en jeu, conjointement avec des tolérances variables des matériaux, de la rigidité et des dimensions de ces composants, il est évident que des variations de performance d'un rétracteur à l'autre sont attendues.

L'utilisation d'une ceinture avec rétracteur automatique (ALR) présente des désavantages au point de vue du confort et de la mobilité nécessaire à l'accomplissement du travail mais, lorsqu'elle est bien entretenue, elle assure la protection du cariste lors du renversement en évitant son éjection. La ceinture à rétracteur manuel constitue une option intéressante pour la protection du cariste, mais elle doit être ajustée sans jeu important dans la sangle. Cette contrainte fait en sorte qu'elle nous apparaît moins appropriée lorsque plusieurs caristes utilisent le même chariot élévateur au cours d'une période de travail.

## 7. BIBLIOGRAPHIE

### 7.1 Publications scientifiques

- Balci, R., Vertz, A. et Shen, W. (2001), *Comfort and Usability of the Seat Belts*, SEA 2001 World Congress, Detroit, Michigan, March 5-8 2001, SAE Technical Paper Series, 2001-01-0051
- Bourret, P.-É., Martel, S., Koutchouk, M., Roux, M.-A., Gou, M., Aubin, C.-É. et Rancourt, D. (2008), *Sécurité des chariots élévateurs : Étude de l'efficacité de la ceinture de sécurité*, Études et recherches/Rapport R-541, Montréal, IRSST, 139 pp.
- Cannon, M.R., Eisentraut, D.K. et Sanahan, D. F. (2002), *Assessment of timely lockup of web-sensing restraint retractors*, SAE International, F565, 2002-01-1548.
- Klima, M.E., Toomey, D.E. et Weber, M.J. (2005) *Seat belt retractor performance evaluation in rollover crashes*, SAE International, F569, pp. 2-9.
- Male, G.E. (2003) *Safety of Industrial Lift Trucks – a Survey of Investigated Accidents and Incidents (April 1997 to March 2001)*, Specialist Inspector Reports no. 60, HSE, 46 p.
- Meyer, S.E. Hock, D., Herbst, B. et Forrest, S. (2001). *Dynamic analysis of ELR retractor spoolout*, SAE International and Messe, Dusseldorf , F566, pp.2-7.
- Meyer, S.E., Oliver, A. A., Hock, D. A., Hayden, J. D., Forrest, S. M., Herbst, B. R. et Clarke, C.C. (2008). *The effect of vertical and multiplanar accelerations on differing production seat belt sensor designs*, Proceedings of IMECE2008, 2008 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, October 31-November 6, Boston, Massachusetts, IMECE2008-68931, pp. 71-81.
- Moffatt, E.A., Cooper, E.R., Croteau, J.J., Parenteau, C. et Togliola, A. (1997). *Head excursion of seatbelted cadaver, volunteers and Hybrid III ATD in a dynamic/static rollover fixture*. Proceedings of the 41<sup>st</sup> Stapp Car Crash Conference, 13-14 November 1997, Orlando, Florida, USA (SAE technical paper 973347): Society of Automotive Engineers. pp. 509-525.
- Myers, M.L., Cole, H.P., Westneat, S.C. (2006) *Seatbelt Use During Tractor Overturn*, Journal of Agricultural Safety and Health, 12(1), pp. 43-49.
- Rains, G.C. (2000) Effectiveness of roll-over protective structures in reducing ram tractor fatalities, Journal of Agricultural Safety and Health, 6(1), pp. 13-27.
- Roberts, H. A., Partain, M., Batzer, S.A. et Renfroe, D. A. (2007), *Failure analysis of seat belt buckle inertial release*, Engineering Failure Analysis, 14, pp. 1135-1143
- Robinson, B.J. Knight I.M., et O'Neill, D. (1996) Agricultural vehicle seatbelts – ergonomics of current designs (final report) TRL Unpublished project report, PR/SE/219/96.
- Siegmund G.P., Chimich, D.D., Heinrichs, B.E., DeMarco, A.L. et Brault, J.R. (2005), *Variations in occupant response with seat belt slack and anchor location during moderate frontal impacts*, Traffic Injury Prevention, 6(1), pp. 38-43.
- Smith, T., Couper, G., Donaldson, W., Neale, M. and Carroll, J. (2005), *Seatbelt performance in quarry vehicle incidents – Final report*, TRL Limited for the Health and safety executive, Berkshire (UK), 141 p.

- Sullman, M.J.M., (1998), *Increasing seat belt usage in logging machinery*, short communication, International Journal of Industrial Ergonomics, 21 (1998), pp. 397-405.
- Tellier, C. (1995a) *Sommaire des accidents de chariots élévateurs répertoriés par la CSST de 1991 à 1994*. IRSST, document de travail non publié.
- Tellier, C. (1995b) *Analyse sommaire des accidents graves et mortels provenant de la banque VREN de la CSST de 1974 à 1994*. IRSST. Document interne non publié.
- Thomas, T.M., Marine, M.C. et Wirth, J. L.(2002) *Emergency-locking retractor performance in rollover accidents*, Proceedings of IMECE 2002, no 39101, pp. 2-26
- Toomey, D.E. et Klima, M.E. (2009). *Evaluation of seat belt assembly: physical evidence in properly functioning and intentionally disabled retractor demonstrations*, SAE International, F568, pp. 2-12.
- Vezeau, S., Hastey, P., Giguère, D., Gagné, N., Larue, C., Richard, J.-G., Denis, D. (2009), *Amélioration des situations de travail impliquant les opérateurs de chariots élévateurs : étude ergonomique et analyse des stratégies de conduite des caristes*, Études et recherches/Rapport R-601, Montréal, IRSST, 133 p.
- Wilcoxon, K.T. (1998) *Improving Seat Belt Comfort on Off-highway Vehicles*, International Off-Highway and Powerplan Congress and Exposition, Milwaukee, Wisconsin, September 14-16 1998, SAE Technical Paper Series, 982058.

## 7.2 Normes et règlements

- Norme ANSI B56.1-1975. *Safety Standard for Low Lift and High Lift Trucks*.
- Norme ANSI Z89.1-2009 *American National Standard for Industrial Head Protection*.
- Norme ASME B56.1 1993. *Safety Standard for High Lift and Low Lift Trucks*.
- Norme CSA B335.1 1997. *Low Lift and High Lift Trucks*.
- Norme E/ECE/324 Additif 15: Règlement 16, rev. 6, 19 mai 2009. *Accord concernant l'adoption de prescriptions techniques uniformes applicables aux véhicules à roues, aux équipements et aux pièces susceptibles d'être montés ou utilisés sur un véhicule à roues et les conditions de reconnaissance réciproque des homologations délivrées conformément à ces prescriptions*, en ligne : [www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs/r016r6f.pdf](http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs/r016r6f.pdf), 1 mars 2011.
- Norme FMVSS 209 49 CFR ch. V:2008 (paragraphe 571.209). pp. 831-849. *Seat Belt Assemblies*. Federal Motor Vehicle Standards, Department of Transportation, 1 mars 2011, [www.crash-network.com/Regulations/FMVSS/fmvss.html](http://www.crash-network.com/Regulations/FMVSS/fmvss.html).
- Norme ISO 9241-11:1998. *Ergonomic requirements for office work with visual terminal (VDTs) – Part 11: Guidance on usability*.
- Norme ISO 24135-1:2006. *Chariots de manutention - Spécifications et méthodes d'essai pour les systèmes de retenue de l'opérateur - Partie 1: Ceintures de sécurité ventrales*.
- Norme SAE International J386, *Operator Restraint System for Off-Road Work Machine.*, version février 2006.
- Norme SAE, Aerospace standard 8043, *Restraint systems for civil aircraft*, Revision B, 2008.

OSHA, 1996. Nova Scotia, Occupational Health and Safety Act S.N.S. c.7, Part 7 Hoists and Mobile Equipment, article 65(1)(a)(i).

Règlement sur la santé et la sécurité du travail, Loi sur la santé et la sécurité du travail, *Section XXIII, Manutention et transport du matériel, §2 Appareils de levage, 256. Chariot élévateur, 256.1. Dispositif de retenue du cariste*, en ligne : [www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/](http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/), 2008.

## Annexe A. Boucle et plaque de verrouillage

Le système d'attache de la ceinture se compose d'une boucle, qui constitue la partie femelle, et d'une plaque de verrouillage, qui constitue la partie mâle. La plaque de verrouillage comporte une languette qui s'insère dans la boucle et, à l'autre extrémité, un plateau d'attache relié à la sangle. La boucle est fixée à la carrosserie du véhicule ou au siège par l'intermédiaire d'un câble, d'une courroie, d'une latte de métal ou d'une sangle, ou elle est encastrée dans un boîtier.

La boucle peut avoir un ou plusieurs boutons de déverrouillage situés soit sur la face externe, le devant ou sur le côté ou une combinaison de ces solutions. Il existe aussi sur les harnais, des boucles de ceintures rondes sur lesquelles peuvent se connecter plusieurs sangles. Le dégagement des languettes se fait en tournant un levier situé sur la face externe. Finalement, on peut retrouver les boucles de type « siège d'avion » qui, comme le nom l'indique, se retrouvent principalement dans les avions de passagers, mais qui sont occasionnellement installées dans les véhicules de travail. On dit de ces boucles qu'elles sont conçues pour un environnement poussiéreux et hostile, exigeant de la robustesse et de la durabilité.

Tout comme la boucle, la plaque de verrouillage doit pouvoir résister aux très grandes charges indiquées dans les normes associées aux ceintures. Il existe plusieurs sortes de plateaux d'attache. Le plateau d'attache à verrouillage est composé d'une barre de métal permettant de retenir la sangle à la longueur déterminée par l'utilisateur. On le retrouve sur les ceintures pelviennes sans rétracteur. Le plateau d'attache libre ne contient pas de système de blocage et peut glisser le long de la sangle, il est installé sur des ceintures possédant un rétracteur et trois points d'attache. Finalement, le plateau d'attache cousu fixe la sangle pelvienne et/ou de type baudrier directement sur le plateau. Ce type de plateau est utilisé avec les ceintures comportant des rétracteurs.

## **Annexe B. Autres dispositifs d'urgence**

Les dispositifs décrits dans cette annexe sont offerts par les fabricants de ceinture mais sont d'abord destinés aux véhicules routiers comportant un système de retenue avec baudrier. Leur application pour les chariots élévateurs doit être validée auprès des fabricants.

### **Prétendeurs**

Lors d'accidents, le prétendeur serre presque instantanément la ceinture sur l'occupant. Sur les ceintures sans rétracteurs (ceintures statiques), le prétendeur est placé entre l'ancrage et la boucle de ceinture. Au moment de l'impact, le prétendeur tire vers le bas le câble qui est attaché à la boucle, éliminant ainsi le jeu entre la sangle et l'occupant. L'idée est la même sur les ceintures avec rétracteurs (ceinture dynamique), à l'exception que c'est la sangle de la ceinture qui est enroulée en rembobinant le rétracteur et non le câble qui est tiré. Dans les deux cas, le mouvement du prétendeur vise à appliquer une plus grande pression sur l'occupant pour limiter son mouvement.

### **Limiteur d'effort**

Les limiteurs d'effort sont indiqués lors de l'utilisation d'une ceinture avec baudrier. Les os du bassin sont robustes et peuvent supporter une force considérable sans fracturer. La cage thoracique est quant à elle souple mais, sous un certain effort, les côtes peuvent se fracturer sous l'impact. Le limiteur d'effort viendra donc limiter les pressions transmises à la cage thoracique. Il existe principalement trois types de limiteur d'effort : le limiteur simple, le limiteur mécanique et le limiteur en torsion.

#### ***Limiteur simple***

Le limiteur le plus simple est constitué d'un pli cousu dans la sangle de la ceinture de sécurité. La couture est conçue pour se déchirer sous une certaine quantité de force appliquée. La portion de sangle peut ainsi se libérer pour diminuer la transmission de la charge de la ceinture à l'occupant.

#### ***Limiteur mécanique***

Le limiteur mécanique est une échelle composée de dents métalliques et rattachée d'un côté au rétracteur et de l'autre, à la carrosserie du véhicule par le biais de l'ancrage. Lors de l'utilisation normale de la ceinture de sécurité, les dents de métal permettent de maintenir en place le rétracteur. Lorsque la force appliquée sur les dents augmente, les dents se déforment, ce qui permet au rétracteur de se déplacer vers le haut, libérant ainsi la sangle et diminuant la transmission de la charge à l'occupant.

### **Limiteur en torsion**

Un autre type de limiteur d'effort est employé dans les systèmes de ceintures plus évolués; il s'agit de l'utilisation d'une barre de torsion. Cette barre est reliée à la bobine du rétracteur d'un côté, et est fixée à la structure du véhicule de l'autre. La barre de torsion est constituée d'une tige métallique qui, sous l'effet d'une force suffisante, se tord et se déforme permettant ainsi le déroulement d'un peu de longueur de sangle.

### **Sangle avec des fibres à impédance variable**

La sangle avec des fibres à impédance variable agit comme un limiteur de charge, au moment de l'impact, en réagissant en trois étapes. Premièrement, les fibres à haute résistance retiennent le passager en place. Ensuite, ces fibres relaxent et s'étirent juste assez pour limiter la force appliquée sur le thorax de l'occupant et amortir le mouvement du corps alors qu'il entre en contact avec le coussin gonflable. Finalement, les fibres retiennent le passager pour éviter à ce dernier de heurter le volant ou le tableau de bord lorsque le coussin gonflable dégonfle.

### **Pré-prétendeur**

Certains pré-prétendeurs permettent de diminuer la charge sur le thorax de l'occupant au moment d'un accident. Pour ce faire, ils utilisent un moteur électrique à haute vitesse qui serre la ceinture de sécurité environ un dixième de seconde avant que l'impact survienne en utilisant le système électronique du véhicule, tel que les senseurs de stabilité, les senseurs de freins (« panic-braking sensors ») ou les radars de pré-impact.

L'élimination du jeu dans la ceinture de sécurité peut débuter tôt comparativement aux ceintures qui ne sont pas équipées de prétendeurs ou qui possèdent un prétendeur conventionnel. Ceci permet conséquemment de réduire l'effort transmis sur le tronc de l'occupant. Le système de pré-prétendeur est réversible, il peut s'activer par précaution et resserrer la ceinture quand il est difficile de déterminer s'il y aura ou non un accident. Ce système de pré-prétendeur peut aussi être utilisé comme signal d'alarme à l'utilisateur, en faisant vibrer la ceinture de sécurité comme, par exemple, lorsqu'un conducteur entre dans une courbe à trop grande vitesse.

### **Bloqueur de sangle**

Le bloqueur de sangle est un mécanisme installé à l'entrée du rétracteur qui, grâce à une bride de serrage, permet de bloquer la sangle lors d'accidents. Avec le rétracteur, le blocage se fait sur la bobine tandis qu'avec le bloqueur de sangle, le blocage se fait à l'entrée du rétracteur. Ce déplacement du lieu de blocage réduit les risques de sortie de la ceinture enroulée trop librement autour de la bobine. En effet, au moment du blocage de la bobine par le rétracteur, si la sangle n'est pas enroulée de façon assez serrée, sous l'effet du serrage suivant l'impact, elle sera libérée et déplacera l'occupant d'une distance inconnue pendant la collision.

## **Coussin gonflable intégré à la ceinture**

Au même titre que les coussins gonflables des tableaux de bord, des volants ou des côtés du véhicule, le coussin gonflable placé à l'intérieur de la ceinture de sécurité se déploie au moment de l'impact à l'aide de charges pyrotechniques placées, par exemple, à l'intérieur de la boucle de ceinture. Ce type de ceinture agit comme un prétendeur en gonflant, en plus de potentiellement diminuer le risque que la tête frappe la porte du véhicule.

### **« Plateau confort »**

Les « plateaux confort » permettent d'ajuster la longueur de la sangle, sur les ceintures à baudrier, en bloquant l'enroulement de la sangle dans le rétracteur. L'avantage est que l'utilisateur peut ajuster la ceinture confortablement en l'empêchant de trop se serrer sur lui. Ce produit est destiné, entre autres, aux camionneurs utilisant des sièges à suspension afin d'éviter les inconforts pouvant être occasionnés par le blocage de la sangle et par le frottement de la sangle sur l'épaule et pour permettre une plus grande amplitude de mouvement. Advenant le cas où le véhicule subit une soudaine décélération, le système se désengage et permet à la ceinture de se rétracter adéquatement afin de maintenir le sujet en place. Le système permet donc de maintenir une longueur de sangle donnée mais réduit ainsi potentiellement l'efficacité de la ceinture.

## Annexe C. Autres types de ceintures de sécurité

### Ceinture à trois points d'attache

La ceinture à trois points d'attache est composée d'une sangle pelvienne et d'une sangle de type baudrier, qui passe en diagonale devant le thorax, de la hanche jusqu'à l'épaule du côté opposé. Elle comprend deux points d'ancrage fixés au sol ou sur le siège et situés de part et d'autre de l'utilisateur ainsi qu'un troisième point de fixation localisé sur un des piliers de la voiture et permettant de faire passer la sangle au-dessus de l'épaule. Cette fixation du baudrier peut être statique, avec rétracteur ou avec un quatrième point d'ancrage, situé aussi sur le pilier, mais plus bas. Dans ce dernier cas, le rétracteur est installé sur l'ancrage du bas, tandis qu'un anneau sert de guide à la sangle sur l'ancrage du haut.

Contrairement à la ceinture pelvienne, la ceinture à trois points d'attache empêche l'abdomen d'entrer en contact avec le volant lors d'une collision frontale. Cependant, elle n'empêche pas totalement la tête de percuter le volant ou d'autres structures avoisinantes (Smith et al. 2005). Lors d'un renversement latéral statique ou dynamique à 90°, la ceinture à trois points d'attache retient davantage le tronc et la tête du conducteur que la ceinture pelvienne, à condition que le sens du renversement concorde avec le côté du tronc retenu par la ceinture (Smith et al. 2005). En effet, si le baudrier est porté du côté opposé au renversement, le déplacement du tronc et de la tête est alors semblable à celui qui est mesuré lorsque l'occupant porte une ceinture pelvienne. L'étude de Smith et al. (2005) a aussi dénoté que le baudrier avait tendance, lors de renversements dynamiques, à entourer le cou et lui transmettre des efforts qui pourraient probablement entraîner des blessures.

### Harnais

Le harnais est la ceinture de sécurité la plus restrictive. Il peut avoir de quatre à sept points d'ancrage et est majoritairement utilisé dans les voitures de course ainsi que dans les systèmes de sécurité des enfants. Il peut s'utiliser sans rétracteur comme il peut en comporter deux ou trois. Un rapport rédigé par le « Health and Safety Executive » (Smith et al. 2005) stipule que le meilleur système de retenue dans les engins de terrassement ou miniers est le harnais à quatre points d'ancrage, puisqu'il permet de retenir adéquatement l'utilisateur en place, lors de renversements frontaux et latéraux, statiques ou dynamiques. Cependant, les auteurs soulignent que l'acceptabilité de ce type de système dépend des tâches effectuées par les opérateurs. Notamment, le harnais est peu compatible pour les tâches qui requièrent de monter et de descendre souvent du véhicule ou qui demandent une mobilité, par exemple pour se tourner.

## Annexe D. Conditions observées

**Tableau D1. Caractéristiques des 12 caristes participants.**

Sexe	Homme : 12 Femmes : 0
Ancienneté comme cariste dans l'entreprise (années)	Médiane : 12,5 Min. : 2,0 Max : 37,0
Taille (m)	Médiane : 1,77 Min. : 1,57 Max : 1,83
Poids (kg)	Médiane : 88,2 Min. : 68 Max. : 147
IMC : indice de masse corporelle - homme (nombre de sujets par classe)	Poids santé ou embonpoint : 7 Obésité (classes 1, 2, 3) : 5
Caractéristiques vestimentaires	Port de vêtements légers, veste ou manteau d'hiver Avec ou sans gants Avec ou sans étui à outils porté à la taille

**Tableau D2. Expérience des 7 superviseurs participants.**

Sexe	Homme : 7 Femmes : 0
Expérience à titre de superviseur dans l'entreprise (années)	Médiane : 4,0 Min : 2,0 Max : 14,0
Expérience comme cariste, dans l'entreprise ou ailleurs (années)	Médiane : 2,0 Min. : 0,5 Max. : 11,0

**Tableau D3. Caractéristiques des 14 chariots à l'étude.**

Fabricant	Toyota, Hyster, Yale, Cat
Type d'équipement de préhension	À pince, à fourches, à éperon
Type de moteur	Propane, électrique
Cabine	Ouverte et fermée
Capacité (inclus l'équipement de préhension)	Entre 1 300 kg (3 000 lb) et 7 000 kg (15 000 lbs)

**Tableau D4. Type de rétracteurs de ceinture installés sur les 14 chariots à l'étude.**

Type de rétracteur	Nombre
Manuel	1
ALR (« automatic locking retractor » – rétracteur automatique)	11
ELR (« emergency locking retractor » - rétracteur d'urgence)	2

**Caractéristiques des sièges installés sur les 14 chariots à l'étude :**

- Avec ou sans appuie-bras, retenues thoraciques, retenues aux hanches;
- Sans suspension ou avec suspension sous l'assise ou au dossier; et
- Siège fixe ou pouvant pivoter dans le plan horizontal.

**Autres caractéristiques présentes sur certains chariots à l'étude :**

- Anti-démarrreur associé au bouclage de la ceinture;
- Alarme sonore lors du non-bouclage de la ceinture;
- Sangle de ceinture orange;
- Système d'identification du cariste avec clé magnétique;
- Enregistreur de données de collision (G-Force);
- Limiteur de vitesse; et
- Réducteur de vitesse dans les courbes.