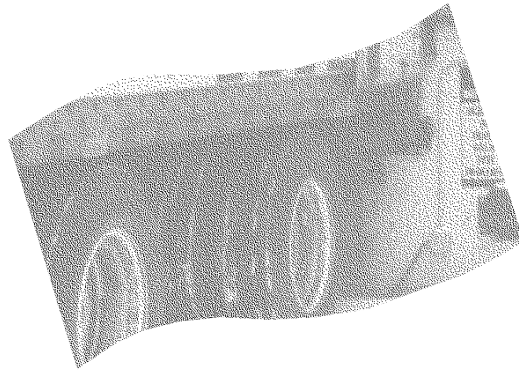


**Développement d'un outil
d'évaluation des mesures
de retenue des camions
aux quais de transbordement**
(Version corrigée)



**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

François Gauthier
Laurent Giraud
Réal Bourbonnière
Sylvain Bournival

Jean-Guy Richard
Renaud Daigle
Serge Massé

R-381

RAPPORT





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

NOS RECHERCHES *travaillent pour vous !*

MISSION

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

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

POUR EN SAVOIR PLUS...

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

www.irsst.qc.ca

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

Abonnement : 1-877-221-7046

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
2006

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

Développement d'un outil d'évaluation des mesures de retenue des camions aux quais de transbordement (Version corrigée)

ÉTUDES ET
RECHERCHES

François Gauthier, ing.¹, Laurent Giraud, ing. stag.², Réal Bourbonnière, ing.²,
Sylvain Bournival, ing. jr.¹, Jean-Guy Richard, docteur-ingénieur³, Renaud Daigle, tech.² et Serge Massé, ing.²

¹Département de génie industriel, École d'ingénierie, UQTR,

²Sécurité-ingénierie, IRSST

³Sécurité-ergonomie, IRSST

RAPPORT

 Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca

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

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

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST

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

SOMMAIRE

Les entreprises qui utilisent des chariots élévateurs pour charger et décharger des camions aux quais de transbordement connaissent bien le principal danger associé à ce type d'activité, soit que le chariot tombe du quai si le camion s'en éloigne subitement. Cet éloignement peut être causé par plusieurs événements. Le départ inopiné du camion est l'exemple le plus souvent cité et se produit lorsque le camion quitte le quai avant la fin du transbordement. Dans le cas du glissement, le camion ou la semi-remorque peut glisser en raison de la force induite par le freinage du chariot. Lors du basculement d'une semi-remorque, celle-ci pivote autour de ses béquilles, ce qui peut entraîner la chute du chariot du quai. Lorsque le chariot élévateur s'engouffre dans l'espace créé entre le quai et le camion, il est possible qu'il se renverse et éjecte son cariste. Le chariot lui-même ou la marchandise qu'il transporte peuvent alors écraser le cariste et causer des lésions sévères et même la mort. Ainsi, bien que la fréquence de ce type d'accident soit relativement faible, la gravité des conséquences est telle que ce risque est devenu une préoccupation croissante dans plusieurs établissements.

Même si plusieurs mesures de retenue des camions au quai peuvent être utilisées pour réduire les probabilités de ce type d'accident, des quasi-accidents et des accidents impliquant la chute d'un chariot élévateur d'un quai de transbordement se produisent toujours dans les entreprises québécoises. Ceci a entraîné un questionnement du milieu sur l'efficacité de ces différentes mesures selon leur contexte d'utilisation. Ce rapport présente les résultats d'un projet de recherche visant à développer et à valider un outil d'évaluation de la sécurité reliée aux mesures de retenue de camions au quai de transbordement en fonction du contexte particulier du quai et de l'établissement. Cet outil a été développé suite à plusieurs analyses, visites en entreprises et collectes de données dans l'industrie. Il aide l'utilisateur à déterminer si le niveau de sécurité est adéquat et permet de choisir les mesures de retenue qui seront les plus efficaces pour améliorer la sécurité dans un contexte donné. Des fiches de mise en œuvre facilitent la sélection et l'application des mesures, toujours en fonction des conditions du quai et de l'établissement.

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION	1
1.1	PROBLÉMATIQUE	1
1.2	ÉTAT DES CONNAISSANCES	2
1.2.1	<i>La chute du chariot élévateur du quai : les événements dangereux.....</i>	<i>2</i>
1.2.2	<i>Description des différentes mesures de retenue</i>	<i>3</i>
1.3	OBJECTIFS DE LA RECHERCHE	5
1.4	ÉQUIPE DE RECHERCHE	6
1.4.1	<i>Fonctionnement.....</i>	<i>7</i>
2	MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE DU PROJET.....	8
2.1	FAMILIARISATION ET COLLECTE DE DONNÉES	9
2.1.1	<i>Visites exploratoires.....</i>	<i>9</i>
2.1.2	<i>Visites de collectes de données.....</i>	<i>9</i>
2.1.3	<i>Enquête postale</i>	<i>9</i>
2.1.4	<i>Rencontre de fabricants et distributeurs de dispositifs de retenue.....</i>	<i>10</i>
2.2	L'ANALYSE DES RISQUES.....	10
2.2.1	<i>L'analyse rétrospective</i>	<i>10</i>
2.2.2	<i>L'analyse prospective.....</i>	<i>11</i>
2.3	VÉRIFICATION ET VALIDATION DES RÉSULTATS DE L'ANALYSE DES RISQUES	11
2.4	DÉVELOPPEMENT DE L'OUTIL	11
2.5	VALIDATION DE L'OUTIL	12
3	RÉSULTATS	13
3.1	BILAN DE LA SITUATION GÉNÉRALE AUX QUAIS DE TRANSBORDEMENT DANS LES ÉTABLISSEMENTS ÉTUDIÉS	13
3.2	RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE RISQUES	14
3.2.1	<i>L'analyse rétrospective</i>	<i>14</i>
3.2.2	<i>L'analyse prospective.....</i>	<i>21</i>
3.3	RÉSULTATS DES ÉTUDES DE VÉRIFICATION ET DE VALIDATION DES DONNÉES.....	23
3.3.1	<i>Étude sur la fiabilité des différents dispositifs.....</i>	<i>23</i>
3.3.2	<i>Modélisation du glissement d'une semi-remorque.....</i>	<i>24</i>
3.3.3	<i>Modélisation du basculement d'une semi-remorque.....</i>	<i>25</i>
3.3.4	<i>Modélisation de la résistance à la traction des barres anti-encastrement.....</i>	<i>28</i>
3.3.5	<i>Modélisation du comportement des cales de roues.....</i>	<i>31</i>
3.3.6	<i>Essais préliminaires de cales de roues.....</i>	<i>31</i>
3.3.7	<i>Modélisation des suspensions à air.....</i>	<i>35</i>
3.4	DESCRIPTION GÉNÉRALE DE L'OUTIL	36
3.4.1	<i>Concepts généraux de l'outil.....</i>	<i>36</i>
3.4.2	<i>Le questionnaire de caractérisation contextuelle.....</i>	<i>36</i>
3.4.3	<i>La grille d'évaluation de la sécurité et des mesures de retenue.....</i>	<i>38</i>
3.4.4	<i>Les fiches d'information pour la mise en œuvre des mesures</i>	<i>45</i>
3.5	VALIDATION DE L'OUTIL	46
4	DISCUSSION ET CONCLUSION	47
4.1	LIMITES DE L'OUTIL ET APPLICABILITÉ DES RÉSULTATS.....	47
4.2	SUITE AU PROJET ET RETOMBÉES ENVISAGÉES	47
5	BIBLIOGRAPHIE	49

Annexe A

Grilles de collecte de données utilisées lors des visites sur le terrain.

Annexe B

Résultats détaillés de la grille « rétrospective ».

Annexe C

Résultats des analyses AMDE.

Annexe D

Résultats de l'Arbre des Fautes (ADF).

Annexe E

Rapport : Étude du glissement d'une semi-remorque par modélisation.

Annexe F

Rapport : Étude du basculement d'une semi-remorque.

Annexe G

Rapport : Étude par éléments finis de la résistance des barres anti-encastrement.

Annexe H

Rapport : Étude préliminaire de l'efficacité des cales de roues utilisées pour contrer les risques de départ inopiné et de glissement de la remorque lors des travaux de transbordement.

Annexe I

Exemple d'application de l'outil d'évaluation.

Annexe J

Questionnaire de caractérisation contextuelle.

Annexe K

Description détaillée de la grille d'évaluation de la sécurité et des mesures de retenue.

Annexe L

Fiches de mise en œuvre des mesures de retenue.

Annexe M

Rapport sur l'étude de validation de l'outil d'évaluation.

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Dispositif de retenue de la barre anti-encastrement	4
Figure 2. Méthodologie générale du projet de recherche.....	8
Figure 3. Système de signalisation à drapeau	21
Figure 4. Résultats de l'analyse par ADF de la mesure « procédure de tracteur attelé »	23
Figure 5. Forces en jeu lors d'un basculement	26
Figure 6. Modélisation d'une barre de section 4x4 carré en charge.....	30
Figure 7. Pivotement de la cale.....	33
Figure 8. Cale réduisant les probabilités de pivotement	33
Figure 9. Cale s'enfonçant dans la chaussée	33
Figure 10. Cale écrasée sous le poids de la roue du camion	34
Figure 11. Rampage de la semi-remorque causé par une suspension à air.....	36
Figure 12. La grille d'évaluation de la sécurité et des mesures de retenue	39
Figure 13. Exemple de calcul de dévaluation totale.....	42
Figure 14. Améliorations maximales et réelles des mesures de retenue.....	43
Figure 15. Exemple de sélection de mesures de retenue	44
Figure 16. Exemple de résultat final.....	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Composition de l'équipe de recherche	6
Tableau 2. Informations sur les établissements étudiées.	14
Tableau 3. Occurrence des événements à risque dans les établissements étudiés.....	16
Tableau 4. Efficacité des dispositifs de retenue	17
Tableau 5. Raisons pour lesquelles un dispositif de retenue de la barre anti-encastrement n'est pas activé	18
Tableau 6. Raisons pour lesquelles les cales manuelles ne sont pas positionnées	19
Tableau 7. Efficacité de la signalisation	20
Tableau 8. Exemple d'une AMDE	22
Tableau 9. Possibilités de basculement en fonction des cas de chargement	27
Tableau 10. Résultats de l'étude de l'ATA	28
Tableau 11. Types de barres anti-encastrement recensés pour la simulation.....	29
Tableau 12. Résultats de la modélisation du chargement des barres anti-encastrement.....	30
Tableau 13. Signification des cotes du questionnaire	37
Tableau 14. Exemple d'une question	38
Tableau 15. Règles de dévaluation du potentiel d'applicabilité et d'efficacité des mesures	41

REMERCIEMENTS

Cette étude n'aurait pu voir le jour sans l'apport précieux et généreux de nombreuses entreprises et de nombreuses personnes.

Il nous faut souligner la contribution volontaire, et surtout généreuse, des entreprises qui ont participé à l'étude. Les connaissances acquises par les membres de l'équipe sont le fruit de nombreuses heures consacrées par plusieurs personnes de ces entreprises qui se sont soumises à plusieurs reprises à un véritable bombardement de questions. Nous aimerions souligner l'apport de Alcoa, Alex Coulombe Ltée, Asten Johnson, Beaulieu Canada, Collins & Aikman, Consoltex, Difco, GE Canada, Hafner, Imperial Tobacco Canada Ltée, Jasztex, Kruger Inc., Martel Express, Montpak, Olymel, Papier Rolland, Peinture Benjamim Moore, Produits de Beauté Iris, Provigo, Smurfit MBI, Thomas & Betts, Transport NGD, VA Tech et Vincor. Nous transmettons nos plus chaleureux remerciements à toutes les personnes de ces entreprises qui nous ont aidés.

Nous aimerions aussi remercier le Centre de formation en transport de Charlesbourg pour son excellente collaboration lors des essais sur l'efficacité des cales de roues, essais qui ont été effectués en totalité dans leurs installations.

L'équipe de recherche tient finalement à remercier les membres du comité de suivi – MM. Pierre Boulianne, de l'ASP – Transport et Entreposage, Denis Lincourt, de Préventex, Bernard Paquet, de la CSST et Gervais Saint-Pierre, de l'ASSPPQ; comité qui s'est réuni à plusieurs reprises pour accompagner le processus de recherche. Ce comité nous a notamment « ouvert » les portes de la majorité des entreprises citées ci-dessus.

1 INTRODUCTION

1.1 Problématique

En raison des exigences fonctionnelles associées à la réception et à la livraison de marchandises, la grande majorité des établissements industriels sont pourvus d'un ou de plusieurs quais de transbordement pour camions. Des recherches antérieures ont permis de constater que la chute ou la quasi-chute d'un chariot élévateur en bas du quai, suite au déplacement soudain du camion, est un événement relativement fréquent dans les établissements industriels (Charron et Gauthier, 1996). La chute d'un chariot du quai ou du camion peut entraîner des blessures graves au cariste dues à l'impact qui en résulte. De plus, il arrive aussi que le chariot se renverse lors de la chute, éjectant ainsi le cariste qui peut ensuite être écrasé par le chariot ou par sa structure de protection. Dans tous les cas, ces accidents ont un potentiel de gravité considérable (Bouliane et Dalière, 1986; IRSST, 1995).

Les statistiques de la Commission de la santé et de la sécurité du travail (CSST) des années 1991-1997 dénombrent au-delà de 5 600 accidents reliés à l'utilisation des chariots élévateurs dont certains sont en lien avec l'utilisation des chariots aux quais de transbordement. *L'Occupational Safety and Health Administration* américaine (OSHA, 1999) mentionne que la banque « OSHA Fatality/Catastrophe Reports¹ » contient 208 cas d'accidents graves de chariots élévateurs survenus entre 1984 et 1991 dont six (2,9 %) sont des chutes du chariot du quai ou du camion. De même, la banque « OSHA Emergency Communication System Reports² » détient 247 cas d'accidents graves de chariots survenus entre 1980 et 1991 dont sept (2,8 %) sont causés par des camions non retenus aux quais.

Plusieurs mesures de retenue des camions sont actuellement utilisées dans les établissements dans le but de prévenir les accidents aux quais de transbordement. Traditionnellement, des cales de retenue sont placées sous les roues du camion afin d'empêcher le déplacement. Toutefois, cette mesure nécessite une intervention manuelle pour placer ou enlever les cales. Ces opérations étant parfois contraignantes, il arrive fréquemment qu'elles soient négligées ou oubliées (Charron et Gauthier, 1996). De plus, les cales sont souvent inefficaces pour retenir un camion, par exemple lorsque la semi-remorque est vide ou que le sol est glissant (Benoît et Bélanger, 1997). Ces dernières années, plusieurs autres dispositifs permettant la retenue des camions au quai ont également été mis sur le marché. Le principe de fonctionnement de ces dispositifs est de retenir le camion en s'accrochant à la barre anti-encastrement ou en bloquant les roues. Des systèmes de communication (feux de circulation, alarmes sonores, etc..) sont également utilisés comme mesure de retenue, seule, ou en conjonction avec les systèmes mécaniques. Enfin, dans plusieurs établissements, ce sont des mesures organisationnelles qui assurent la sécurité des travailleurs : procédures d'autorisation de départ pour le camionneur, cadennassage du système de freinage de la semi-remorque, prise des clés du camion, etc..

Après une analyse préliminaire, il s'est avéré qu'aucune étude détaillée n'avait été réalisée afin d'évaluer le niveau réel de sécurité offert par les diverses mesures de retenue mise en oeuvre

¹ OSHA Fatality/Catastrophe Reports : recueil de résultats sommaires d'enquête d'accidents qui ont causé des fatalités, des catastrophes, amputations et hospitalisations de deux jours ou plus, ainsi que des accidents qui ont eu une publicité significative ou qui ont été la cause d'importants dommages matériels.

² OSHA Emergency Communication System Reports : système qui requiert de tous les administrateurs régionaux de fournir par téléphone au « National Office », un premier rapport des fatalités, catastrophes et événements importants (comme ceux qui reçoivent une publicité significative).

dans les établissements en tenant compte de leur contexte particulier. Le rapport de l'IRSST « *Dispositifs d'ancrage de camions - recueil d'informations techniques* » (Benoît et Bélanger, 1997) est un inventaire des dispositifs d'ancrage réalisé à la demande de l'Association sectorielle transport et entreposage (ASTE). Toutefois, ce projet n'a pu répondre à l'objectif ultime de cette demande : « *Analyser les différents moyens et dispositifs d'ancrage afin que nous puissions recommander...* » à cause de la grande complexité des différents systèmes, tel que mentionné à la page 10 du rapport. Aucune analyse de l'efficacité et de la fiabilité (d'un point de vue sécurité) de ces mesures de retenue n'a donc été réalisée dans le cadre de cette étude. De plus, certains points soulevés lors de cette étude indiquent que les différentes mesures de retenue des camions étudiées n'offrent pas le même niveau d'efficacité et de fiabilité dans tous les contextes d'utilisation pour prévenir les accidents aux quais de transbordement (Benoît et Bélanger, 1997).

Le présent projet de recherche a donc été entrepris afin de développer un outil systématique et objectif permettant d'évaluer l'efficacité, la fiabilité et la sécurité des diverses mesures de retenue. Cet outil devait permettre de faire un choix éclairé parmi les mesures de retenue existantes en fonction de la sécurité recherchée et des contraintes physiques d'opération et environnementales spécifiques à chaque installation.

1.2 État des connaissances

1.2.1 La chute du chariot élévateur du quai : les événements dangereux

Il y a trois événements dangereux principaux pouvant mener à la chute du chariot du quai de transbordement. Il s'agit du départ inopiné du camion³, du glissement du camion (ou de la semi-remorque) ou du basculement de la semi-remorque.

Le départ inopiné du camion est l'une des principales causes des accidents (Benoît & Bélanger, 1997). Cette situation se produit lorsque le camion est retiré de sa position au quai par un camionneur ou un gareur avant la fin du transbordement suite à une erreur humaine ou une mauvaise signalisation. À ce sujet, Brittingham (2001) place la faute sur la mauvaise communication entre le camionneur et le contrôleur. Deux autres possibilités coexistent : le gareur ou camionneur retire le mauvais camion du quai, ou replace le camion au cours du transbordement après avoir constaté qu'il était mal positionné (anonyme, 2001), ces situations s'étant déjà présentées.

La semi-remorque peut également se déplacer petit à petit vers l'avant sous l'effet de la force de freinage résultant du mouvement du chariot qui entre et sort de la semi-remorque. Ces petits déplacements qui s'additionnent peuvent être suffisants pour que la lèvre du pont niveleur quitte le plancher de la semi-remorque et tombe, laissant un espace important entre le quai et la semi-remorque. Cet espace peut alors être élargi lorsque les roues du chariot élévateur s'y coincent, entraînant potentiellement la chute du chariot. Trois cas de figures sont présents. D'abord, lorsque le chariot freine à l'intérieur de la semi-remorque, il transfère une partie de son

³ Afin d'alléger le texte, le mot « camion » sera utilisé pour désigner non seulement l'ensemble tracteur-semi-remorque mais aussi les camions-fourgon surélevés dont la partie de chargement est indissociable de la partie motrice. Les événements dangereux de départ inopiné et de glissement affectent également les ensembles tracteurs-semi-remorques et les camions-fourgon surélevés. Toutefois, le danger de basculement ne concerne uniquement que les semi-remorques lorsqu'elles sont détachées du tracteur.

énergie cinétique à cette dernière, ce qui peut être suffisant pour la faire glisser de quelques centimètres. De plus, lorsque la semi-remorque est détachée du tracteur et/ou que ses freins sont défectueux ou non appliqués, celle-ci peut également rouler sous l'effet de la force créée par le chariot. Ces phénomènes de glissement ou de roulement⁴ peuvent être aggravés par une chaussée glissante (en hiver) ou par une chaussée en pente vers l'avant du camion. Comme le rapporte Brittingham (2001), le glissement peut se produire d'un seul coup, mais peut aussi prendre un certain temps, la semi-remorque avançant de quelques centimètres à chaque fois que le chariot s'engage dans la semi-remorque. Le second cas de figure est rapporté par Nelson (1999) sous le vocable de «*ski-slope*», effet qui est créé lorsque le plancher de la semi-remorque est plus bas que le niveau intérieur de l'entrepôt. En descendant dans la semi-remorque, le chariot y frappe systématiquement le plancher. Les efforts générés peuvent alors augmenter les probabilités de glissement. Enfin, les ressorts pneumatiques associés à la géométrie de la suspension peuvent aussi générer un léger avancement de la semi-remorque à chaque entrée du chariot. En effet, lorsque la roue de la semi-remorque est freinée, elle devient solidaire de la suspension. L'affaissement de la suspension dû à l'entrée du chariot dans la semi-remorque entraîne donc une légère rotation vers l'avant de la roue, ce qui peut faire avancer légèrement la semi-remorque.

Le basculement de la semi-remorque se produit uniquement dans le cas d'une semi-remorque qui n'est pas attelée à un tracteur et qui repose sur des béquilles. Deux cas peuvent être observés. Dans le premier cas, la semi-remorque bascule lorsque le centre de gravité du chariot et de sa charge se retrouve en avant des béquilles et que le moment de rotation autour des béquilles généré par la masse combinée du chariot et de la charge est supérieure au moment de rotation autour du même axe généré par la masse de la semi-remorque. Cette possibilité de basculement se rencontre surtout avec des semi-remorques courtes (Nelson, 1999) dont le centre de gravité est naturellement proche des béquilles.

Dans le deuxième cas, lorsqu'une force assez grande est imposée aux béquilles, celles-ci peuvent plier, casser ou retourner à leur position retirée (en cas de défaillance du mécanisme qui retient les béquilles en position). La plupart des béquilles reposent sur des coussinets métalliques et non sur des roues et ne peuvent donc pas glisser facilement vers l'avant lorsqu'une force est appliquée (Schwind, 1994). Il arrive également que les béquilles s'affaissent pendant le basculement de la semi-remorque car elles ne sont plus sollicitées suivant leur axe principal (vertical) mais plutôt perpendiculairement à celui-ci. Lorsque l'une ou les deux béquilles s'affaissent, la semi-remorque peut tomber sur le côté (affaissement d'une seule béquille) ou piquer du nez (affaissement des deux béquilles) (Nelson, 1999).

1.2.2 Description des différentes mesures de retenue

Plusieurs mesures sont utilisées pour retenir le camion au quai de transbordement. Pour ce qui est des dispositifs mécaniques, le rapport de l'IRSST (Benoît et Bélanger, 1997) dresse un inventaire complet des dispositifs de retenue mécanique et contient, en plus, une description détaillée des caractéristiques de chacun des systèmes disponibles sur le marché québécois. On distingue deux principaux types de dispositifs de retenue : les systèmes à cales de roues et

⁴ Afin d'alléger le texte, le terme « glissement » sera utilisé dans ce rapport pour décrire non seulement le glissement proprement dit mais également le déplacement par rotation des roues du camion ou de la semi-remorque (roulement).

les systèmes avec dispositif d'arrimage à la barre anti-encastrement, appelées aussi barre ICC⁵.

Les systèmes à cales de roue sont simplement constitués d'une cale que l'on positionne devant une des roues arrières du camion. Traditionnellement mis en place manuellement par le conducteur du camion, ce système est de loin le plus répandu dans les établissements québécois. Toutefois, tel que mentionné précédemment, les opérations de mise en place et d'enlèvement des cales étant parfois contraignantes, en raison notamment des conditions climatiques ou des contraintes de temps, il arrive qu'elles soient oubliées ou négligées. Pour réduire les risques d'oubli, des systèmes de surveillance et de communication permettant de donner un signal visuel et/ou sonore, ou même d'empêcher la mise en place du pont de liaison entre le camion et le quai lorsque la cale n'est pas en place, ont été développés.

Par ailleurs, les cales installées manuellement sont parfois difficiles à enlever après le chargement du camion car le pneu y applique une force importante en se déformant. Des systèmes de retenue des roues qui se positionnent mécaniquement par la simple activation d'une commande ont également été proposés, permettant de réduire les contraintes et les risques associés à la mise en place et à l'enlèvement des cales manuelles.

Les systèmes avec dispositif d'arrimage à la barre anti-encastrement (voir figure 1) fonctionnent essentiellement sur le même principe. Une fois le camion en place, une tige, un crochet ou un bras basculant vient retenir ou se placer devant la barre anti-encastrement. Ces systèmes compensent généralement l'affaissement de la suspension dû à la charge et aux déplacements du chariot (entrée et sortie, freinage, etc.).

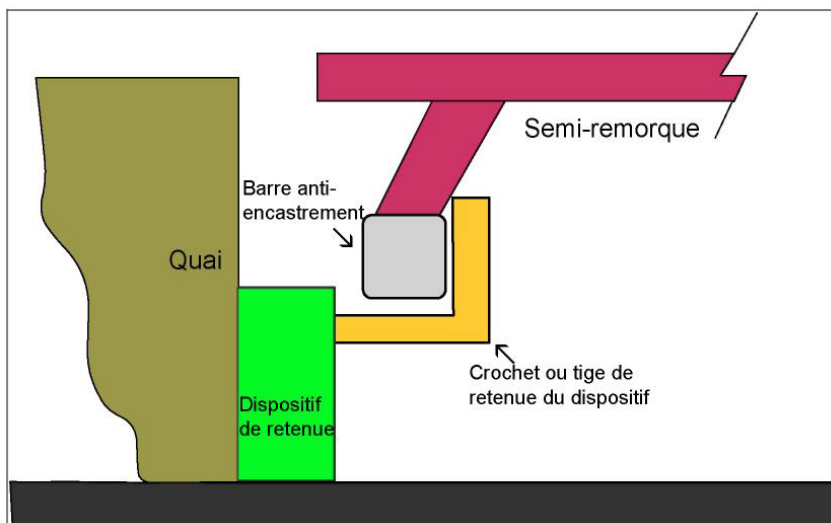


Figure 1. Dispositif de retenue de la barre anti-encastrement

⁵ La barre anti-encastrement (ou barre ICC) est une structure métallique fixée à l'Arrière de la semi-remorque qui est conçue pour éviter que les véhicules automobiles qui percutent le camion par l'arrière glissent sous celui-ci. Cette barre est donc conçue pour se déformer et résister à une force de poussée par impact et non pas à une force de traction. ICC : Interstate Commerce Commission : organisme du gouvernement fédéral américain et dissout en 1995 au profit du Department of Transport (DOT).

Des systèmes de surveillance et d'information peuvent être associés à tous les types de dispositifs disponibles sur le marché (cales manuelles ou mécaniques, dispositifs d'arrimage à la barre anti-encastrement). Reliés au module de commande des systèmes, ils assurent la surveillance de certains paramètres fonctionnels des dispositifs de retenue (auto diagnostic, position des éléments mobiles, etc.) et gèrent les fonctions de communication avec les divers éléments du quai (pont de liaison, porte, etc.). De plus, ils informent le cariste et le camionneur de l'état du système et des anomalies détectées et assurent la communication entre ceux-ci.

La majorité des établissements ont en place une communication plus ou moins formelle entre le cariste et le camionneur. Ces mesures procédurales comprennent entre autres l'échange de documents et la communication verbale directe entre le cariste ou le responsable des activités de transbordement et le camionneur. On retrouve aussi, mais plus rarement, des mesures qui comprennent entre autre la retenue des clés du camion ou le cadenassage des boyaux qui commande le relâchement des freins de la semi-remorque.

En ce qui a trait à la prévention du basculement de la semi-remorque, outre le maintien du tracteur attelé à la semi-remorque, certains établissements ont recours à des chandelles de support spécialement conçues à cette fin. Dans d'autres cas, des mesures procédurales sont mises en œuvre afin d'éviter que les plus gros chariots n'entrent dans les semi-remorques les plus courtes, qui sont nettement plus sujettes au basculement que les semi-remorques plus longues.

1.3 Objectifs de la recherche

Mis à part les cales manuelles et les mesures organisationnelles (procédurales), les dispositifs de retenue disponibles sur le marché sont encore relativement peu répandus dans les établissements industriels. On dénote toutefois une certaine tendance vers l'implantation à plus grande échelle de ces mesures de sécurité. Or, les personnes responsables de la sélection de ces mesures pour leurs établissements n'ont pas de méthodes pour évaluer le niveau de sécurité des mesures qu'ils comptent acquérir et/ou mettre en œuvre. En plus de prendre en compte des critères de choix fonctionnels, plusieurs paramètres doivent être considérés et dans la grande panoplie des mesures existantes, il devient difficile de discerner les mesures qui seront effectivement sécuritaires dans un contexte donné.

Les études antérieures menées par l'Institut n'avaient pas pour objectifs de réaliser des analyses détaillées de la sécurité des mesures de retenue existantes. De plus, à notre connaissance, aucune autre étude n'a été menée sur le sujet. Plusieurs questions restent donc sans réponse quant à l'adéquation, du point de vue de la sécurité, entre les diverses mesures de retenue et les contextes inhérents à chaque établissement. Ces informations sont pourtant essentielles afin que les personnes chargées de la sélection et de la mise en œuvre de ces mesures puissent faire des choix éclairés et implanter des mesures de sécurité sûres et fiables.

L'objectif principal de ce projet de recherche était donc de développer et de valider un outil d'évaluation de la sécurité relié aux mesures de retenue de camions au quai de transbordement. Cet objectif principal est basé sur la prémisse qu'il sera possible, pour une personne adéquatement initiée à l'outil développé, de procéder à une évaluation fiable des divers types de mesures qui lui seront soumis ainsi que de formuler des critères et des recommandations précis pour la mise en œuvre de ces mesures pour un contexte donné.

L'outil d'évaluation développé dans le cadre de cette étude devait répondre à deux critères incontournables. Il devait d'abord permettre de réaliser une évaluation juste avec des résultats valides pour les différents types de mesures utilisées dans plusieurs contextes différents. Il devait ensuite être adapté aux besoins des personnes qui l'utiliseront, c'est-à-dire les personnes qui participeront à la sélection et à la mise en œuvre des mesures de retenue dans des établissements industriels et commerciaux et aussi par les autres intervenants appelés à accompagner ces personnes dans les choix qu'ils auront à faire (par exemple, des inspecteurs de la CSST ou des personnes-ressources issues de divers organismes paritaires, patronaux ou syndicaux voués à la santé et à la sécurité du travail). À cet égard, l'outil conçu devait être relativement simple d'apprentissage et d'utilisation. Il devait également être efficace et permettre des évaluations rapides et sans l'apport d'analyses supplémentaires ou d'essais approfondis. L'outil devait également être conçu pour que sa diffusion puisse se faire rapidement et à grande échelle, moyennant les quelques mises en forme et le développement de la formation spécifique nécessaire à sa bonne application.

Il est important de souligner que l'outil vise à faire un choix éclairé parmi les mesures de retenue existantes en fonction de la sécurité recherchée ainsi que des contraintes d'opération et environnementales spécifiques à chaque installation. Il n'a donc pas été conçu pour faire un classement global et hors contexte des différents systèmes de retenue disponibles sur le marché en fonction de paramètres de sécurité prédéterminés; ce genre de classement pouvant injustement favoriser certains systèmes et en rejeter certains autres.

La présente étude a porté tant sur les aspects techniques qu'organisationnels des mesures de retenue pouvant avoir un impact sur la sécurité. Les défaillances des dispositifs mécaniques de même que leurs relations avec leur environnement d'utilisation (caractéristiques du quai, types de semi-remorques ou camion, conditions climatiques, etc.), ainsi que les interactions systémiques entre les personnes et les différentes mesures de retenue ont été particulièrement scrutées.

1.4 Équipe de recherche

L'équipe de recherche formée pour ce projet était composée de cinq chercheurs, un technicien et un étudiant de la maîtrise en génie industriel (concentration sécurité et hygiène industrielles) de l'UQTR. Les membres de l'équipe ont été sélectionnés en fonction de leurs compétences spécifiques. Le tableau 1 résume la composition de l'équipe de recherche.

Tableau 1. Composition de l'équipe de recherche

Nom et institution		Fonction dans le projet
François Gauthier	UQTR	Chercheur responsable. Ingénieur et spécialiste en analyse de risques.
Laurent Giraud	IRSST	Chercheur stagiaire co-responsable à l'IRSST à partir de juin 2002. Ingénieur et spécialiste en fiabilité et maintenance.
Serge Massé	IRSST	Chercheur co-responsable à l'IRSST jusqu'en mai 2002. Ingénieur et spécialiste en sécurité des machines (mécanique).
Jean-Guy Richard	IRSST	Chercheur. Ingénieur et ergonomiste.
Réal Bourbonnière	IRSST	Ingénieur et spécialiste en sécurité des machines (commandes).
Renaud Daigle	IRSST	Technicien.
Sylvain Bournival	UQTR	Étudiant gradué.

1.4.1 Fonctionnement

L'équipe de recherche avançait dans ses travaux en se réunissant environ une fois à toutes les trois semaines. Lors de chaque réunion, chacun des membres se voyait assigner une tâche à accomplir pour la prochaine réunion. Pendant la phase de collecte de données et d'analyse de risque, les réunions consistaient à expliquer aux autres membres les résultats des recherches de chaque chercheur, ces informations étaient discutées puis de nouvelles tâches étaient assignées à la lumière des données acquises et de la méthodologie du projet. Pendant la phase de création et de validation de l'outil, les réunions étaient surtout axées sur la sélection des différents paramètres de l'outil.

Plusieurs établissements ont été visités au cours du projet. Dans la majorité des cas, deux ou trois membres de l'équipe de recherche participaient à ces visites. À quelques occasions, un membre du comité de suivi du projet (dont il sera question au chapitre suivant) accompagnait les chercheurs.

Différentes modélisations ont été réalisées par les membres de l'équipe ou par des étudiants en ingénierie sous la supervision directe des membres de l'équipe. Des essais de cales de roues sur le terrain ont été réalisés par deux des membres de l'équipe dans les installations du Centre de formation en transport de Charlesbourg.

2 MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE DU PROJET

La réalisation de ce projet de recherche comportait cinq grandes étapes qui sont représentées à la figure 2. Il est pertinent de mentionner que ce projet jouissait du support d'un comité de suivi composé de divers intervenants issus de la CSST et d'associations en santé et sécurité (l'Association de santé et de sécurité des pâtes et papiers du Québec (ASSPPQ), l'Association sectorielle paritaire du secteur des textiles (Préventex) et l'Association sectorielle paritaire du secteur transport et entreposage (ASTE)). Ce comité avait pour mandat de recevoir et de commenter les résultats de la recherche au fur et à mesure de son avancement, d'orienter les chercheurs tout au long de la démarche en fonction de leurs besoins spécifiques et de mettre en contact les chercheurs avec les établissements pour la collecte de données. Cinq réunions du comité ont été tenues à des points stratégiques de l'avancement du projet, tel que le montre la figure 2.

Les principales étapes de la démarche de ce projet sont détaillées aux sections suivantes.

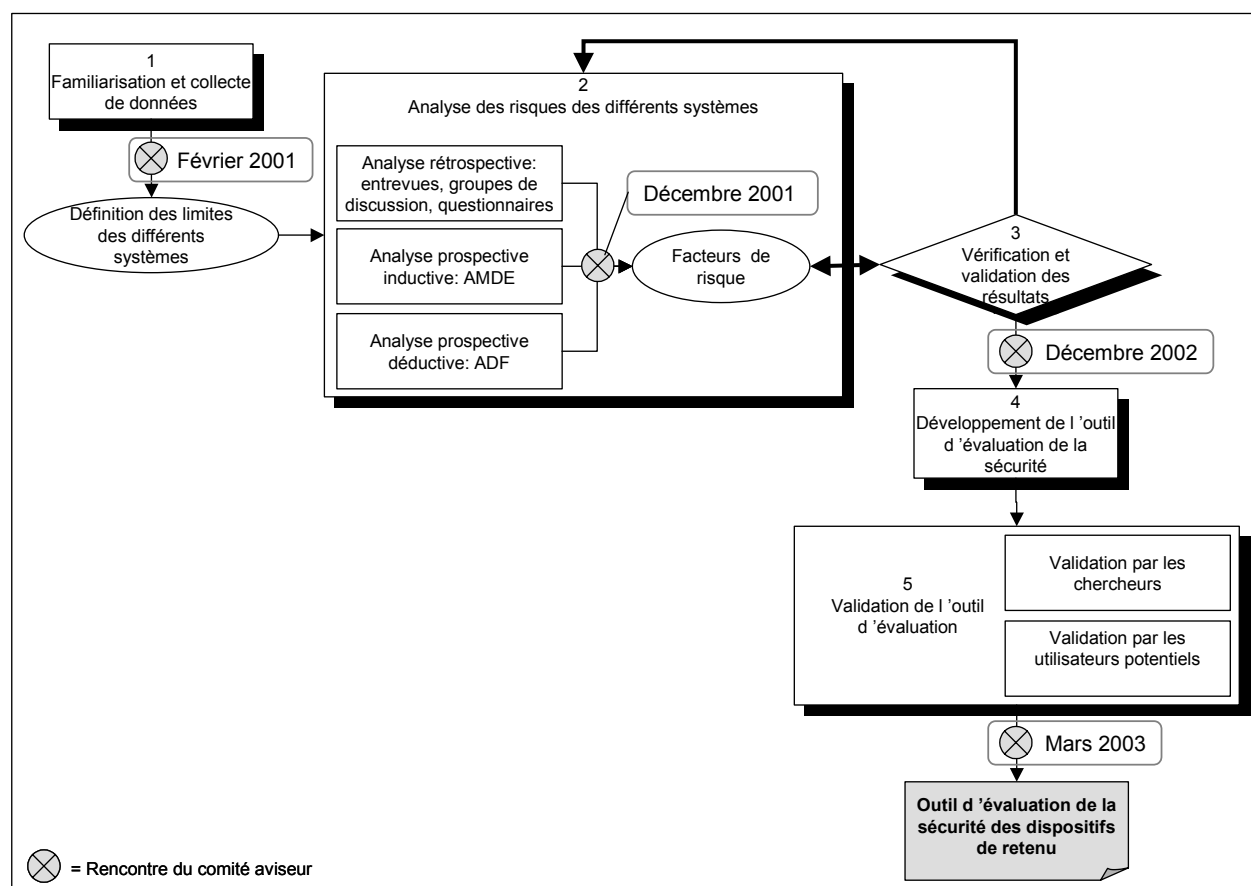


Figure 2. Méthodologie générale du projet de recherche

2.1 Familiarisation et collecte de données

Cette première étape était essentielle à la démarche d'analyse des risques. Il s'agissait pour les chercheurs de se familiariser avec les différentes mesures utilisées dans les établissements et de recueillir des informations servant à alimenter l'analyse proprement dite.

2.1.1 Visites exploratoires

Quatre visites exploratoires ont d'abord permis aux chercheurs de mieux apprécier les différents systèmes mécaniques actuellement en opération. Les informations préliminaires obtenues, associées à celles issues de l'analyse de la littérature, ont servi à développer une catégorisation générale des mesures de retenue ainsi que des classes et sous-classes en fonction de leurs concepts. Les différentes possibilités de combinaison des différentes mesures de retenue ont également été déterminées. Cette étape a servi à recueillir des informations préliminaires afin de préparer les grilles de collecte de données qui ont été utilisées dans les analyses subséquentes.

2.1.2 Visites de collectes de données

Dix établissements où étaient utilisés divers systèmes de retenue mécanique (allant de la simple cale au dispositif automatique d'accrochage de la barre anti-encastrement) ont été visités. Ces établissements ont servi de site d'observation pour la collecte de données et les analyses subséquentes. Dans chacun de ces établissements, des observations sur le terrain, des entrevues semi-dirigées et la cueillette de documents ont été utilisées comme techniques de collecte de données.

Les informations recueillies à l'étape des visites exploratoires ont permis de développer cinq grilles spécifiques qui ont été utilisées pour la collecte de données. Ces grilles permettaient de recueillir les informations relatives aux établissements (taille, activité, etc.), aux incidents et accidents qui étaient survenus dans les dernières années aux quais de transbordement, à la description des quais (nombre de portes, hauteur, emplacement, etc.), aux mesures de retenue utilisées (cales, crochets, lumières, etc.) et enfin, aux mesures organisationnelles mises en œuvre. Ces grilles ont constitué les outils de base pour la collecte de données.

À quelques exceptions près, chaque établissement était visité à trois occasions. Deux ou trois chercheurs participaient à chaque visite et chacune d'elles durait normalement de deux à quatre heures. La première visite consistait à établir le contact avec les personnes clés de l'établissement et les responsables des quais de transbordement, ainsi qu'à recueillir les données de base sur l'établissement (grille « Établissement »). La seconde visite était consacrée à la collecte de données sur les quais et les dispositifs de retenue (grilles « Environnement quai » et « Dispositif »). Enfin, la troisième visite servait à recueillir les données sur l'aspect organisationnel et sur les accidents et incidents antérieurs (grilles « Perspective utilisateur » et « Rétrospective »). Un exemplaire de chacune de ces grilles est présenté à l'annexe A.

2.1.3 Enquête postale

Parallèlement aux observations sur le terrain, une enquête postale a été effectuée auprès de 92 établissements dont les coordonnées avaient été fournies par les représentants des

associations industrielles siégeant sur le comité de suivi du projet. Cette enquête a été échelonnée de l'été 2001 à l'été 2002. Le questionnaire utilisé était basé sur la grille « Rétrospective » utilisée lors des observations sur le terrain. Les informations recueillies concernaient essentiellement les mesures de retenue utilisées, les accidents et incidents qui se sont produits dans ces établissements relativement aux activités du quai de transbordement ainsi qu'un aperçu global des facteurs de risque les plus fréquents ainsi que leurs occurrences. Suite à un rappel téléphonique, 32 établissements ont répondu à cette enquête, permettant d'obtenir un taux de réponse de 34.8 %.

2.1.4 Rencontre de fabricants et distributeurs de dispositifs de retenue

Les représentants des principaux distributeurs québécois de dispositifs de retenue mécanique ont été rencontrés. Ces rencontres avaient pour but de mieux comprendre les particularités de chaque type de systèmes de retenus mécanique. Dans certains cas, des détails techniques sur la conception de ces systèmes ont été recueillis.

2.2 L'analyse des risques

L'outil d'évaluation a été développé sur la base d'une analyse de risques associée à l'application des différentes mesures de retenue. Cette analyse tenait compte des caractéristiques des différentes mesures en relation avec leur environnement (caractéristiques du quai, types de semi-remorques ou camion, conditions climatiques, etc.) et des interactions entre les personnes et ces mesures. Des facteurs de risque ont été identifiés et associés aux caractéristiques conceptuelles des différentes mesures. À partir des facteurs de risque identifiés, des paramètres définissant l'efficacité et la fiabilité des mesures et des regroupements de mesures ont été définis afin de développer l'outil d'évaluation.

Les informations recueillies précédemment lors des visites, de l'enquête postale et des rencontres avec les fabricants et les distributeurs ainsi que la détermination des limites ont permis aux chercheurs de lancer l'analyse des risques proprement dite, qui constituait le cœur de ce projet de recherche. Cette analyse a été réalisée en utilisant deux approches distinctes : l'analyse rétrospective et l'analyse prospective.

2.2.1 L'analyse rétrospective

L'analyse rétrospective utilise l'historique du système à analyser pour identifier les dangers connus ainsi que leurs causes. Elle a donc pour objectifs de répertorier les événements dangereux qu'un système a engendré dans le passé et d'identifier les causes réelles (connues) de ces événements. Cette analyse, qui s'apparente à une enquête, n'est évidemment applicable qu'à des systèmes bien connus et utilisés depuis un certain temps. En utilisant les données recueillies via les visites et l'enquête postale, les chercheurs ont donc procédé à l'analyse des informations sur :

- les accidents, incidents et risques encourus dans le passé;
- les défaillances survenues dans le passé (circonstances, conditions environnementales, pièces défaillantes, etc.);
- la fiabilité des différents systèmes;
- les principaux facteurs humains reliés aux accidents et incidents passés;

- les principaux facteurs externes responsables des défaillances des systèmes existants (environnement, camion ou semi-remorque, barre anti-encastrement, etc.).

Ces données ont servi à définir une base de données de facteurs de risque pour lesquels les chercheurs ont établi une évaluation de leur fréquence d'occurrence. Ces facteurs de risque ont ensuite été introduits dans un modèle d'analyse des risques sous forme d'arbre des fautes de façon à ce que les causes mêmes de ces facteurs de risque puissent être analysées.

2.2.2 L'analyse prospective

Les analyses prospectives sont plus théoriques et orientées sur les dangers potentiels (et leurs causes) que peut présenter un système quelconque. On distingue deux modes spécifiques pour l'analyse prospective : l'analyse prospective inductive et l'analyse prospective déductive.

Les analyses prospectives inductives (des causes vers les effets) débutent généralement par l'identification des possibilités de défaillance des éléments d'un système (humains, machines, procédés, procédures, logiciels, etc.). Les analystes étudient ensuite les effets de ces défaillances (ou facteurs de risque) sur l'ensemble du système et les événements dangereux qui en découlent. L'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) a été utilisée pour réaliser des analyses prospectives inductives de l'application des différentes mesures de retenue.

L'AMDE est cependant une méthode de base utilisée pour les analyses grossières et doit être complétée par des analyses prospectives déductives, notamment pour l'étude des défaillances multiples et des effets séquentiels. Les analyses prospectives déductives (des effets vers les causes) débutent par la définition des événements ou situations critiques non désirables pouvant impliquer un système, et se poursuivent par la recherche des causes de ces événements. Suivant cette logique, c'est la méthode de l'arbre des fautes (ADF) qui a été utilisée pour compléter l'analyse des risques des mesures de retenue.

Ces analyses ont été réalisées par les membres de l'équipe de recherche en équipes restreintes de deux à quatre personnes.

2.3 Vérification et validation des résultats de l'analyse des risques

Les analyses détaillées des risques réalisées sur les mesures de retenue existantes ont nécessité des observations et des cueillettes de données régulières sur le terrain. Certaines informations et hypothèses ont dû notamment être confirmées par les utilisateurs de ces systèmes et/ou par leurs fabricants. De plus, il a également été nécessaire de procéder à certaines analyses techniques plus détaillées permettant de valider et de vérifier la justesse de l'analyse. Entre autres, il fut nécessaire pour les chercheurs de déterminer l'impact réel (probabilité d'occurrence et effets) de certains facteurs de risque identifiés (comme par exemple, l'efficacité réelle des cales de roues sur un sol glacé).

2.4 Développement de l'outil

Les résultats de l'analyse des risques réalisée à l'étape précédente ont servi directement à l'élaboration de l'outil d'évaluation de la sécurité des mesures de retenue. C'est à partir des

facteurs de risque identifiés durant l'étape précédente de la recherche qu'à pu être élaboré l'outil. Il s'agissait essentiellement de transposer les résultats de l'analyse des risques dans une structure logique, permettant à un évaluateur formé d'évaluer le niveau de sécurité d'un contexte donné, en considérant l'apport sécuritaire de mesures de retenue actuelles ou envisagées.

Plusieurs concepts d'outil ont été proposés par les membres de l'équipe de recherche, la plupart sur la base de matrices décisionnelles paramétrées. Afin d'obtenir un outil d'évaluation à la fois fiable et d'un niveau de complexité modéré, les chercheurs ont confronté ces concepts à des critères de logique et de convivialité de la démarche. Ces évaluations ont été réalisées lors de plusieurs rencontres impliquant l'ensemble de l'équipe de recherche. Les éléments pertinents des différents concepts évalués ont été graduellement rassemblés dans un concept d'outil final. Par la suite, des améliorations tant sur le plan de la forme que sur les paramètres d'évaluation contenus dans l'outil ont été apportées par l'équipe de recherche. L'expertise en ergonomie ainsi qu'en analyse de risque des membres de l'équipe de recherche a été particulièrement mise à contribution pour compléter le développement et l'optimisation de l'outil.

2.5 Validation de l'outil

L'outil d'évaluation développé a été soumis à une phase de validation afin de s'assurer qu'il permettait effectivement de réaliser une évaluation juste et suffisante de la sécurité des différentes mesures de retenues. L'outil a été testé lors de l'évaluation de douze installations existantes dans des établissements ciblés. Ces établissements ont été choisis pour leurs différences contextuelles au niveau des activités de transbordement ainsi que pour obtenir une certaine variété au niveau des mesures de retenue en place. Chaque visite de validation durait de deux à trois heures et permettait d'appliquer l'outil d'évaluation à un quai de transbordement et d'obtenir des informations sur l'historique du quai, incluant la description des éventuels incidents et d'accidents s'y étant produits. Une brève présentation des résultats de l'évaluation était ensuite faite au responsable du quai désigné par l'établissement.

Cette validation ne visait pas à évaluer le degré de convivialité de l'outil avec des utilisateurs potentiels. Toutefois, quelques membres du comité de suivi du projet, eux-mêmes des utilisateurs potentiel de l'outil, ont participé à plusieurs de ces évaluations. Ceci a permis aux membres du comité de suivi de se familiariser avec l'outil dans son application à un cas réel. La présence de membres du comité de suivi lors des visites de validation de l'outil a aussi permis de bénéficier d'avis d'experts qui ont servi à l'ajustement final de l'outil.

3 RÉSULTATS

3.1 Bilan de la situation générale aux quais de transbordement dans les établissements étudiés

Dix établissements ont été visités, chacun à deux ou trois reprises par différents membres de l'équipe de recherche. Dans chaque cas, les cinq grilles de collecte de données ont été complétées lors de ces visites. La grille «établissement» permettait de recueillir des informations sur l'établissement alors que la grille «perspective utilisateur» rassemblait des informations sur les procédures et sur la perception du risque par les gens concernés par le transbordement. La grille «environnement quai» regroupait toutes les informations concernant les quais de l'établissement, par exemple les dimensions, le type et l'état de la cour, etc.. La grille «dispositif de retenue» rassemblait les informations sur les différents dispositifs de retenue utilisés par l'établissement, leurs dimensions, les systèmes de signalisation et d'alarmes, leur mode de fonctionnement, leur séquence logique d'opération, etc.. Enfin, la grille «rétrospective», identique à celle utilisée pour l'enquête postale, permettait de recueillir des informations sur les événements (accidents et incidents) survenus à l'établissement ainsi que sur l'efficacité des mesures en place.

Aux données recueillies dans ces dix établissements sont venues s'ajouter celles de l'enquête postale à laquelle ont répondu 32 établissements. Ces informations ont été utilisées pour dresser le bilan de la situation générale des quais de transbordement. Elles ont également alimenté l'analyse de risques et permis de tester les versions préliminaires de l'outil.

Sans permettre de réaliser des analyses statistiques détaillées, les données recueillies ont permis de préciser le profil des établissements étudiés ainsi que les différentes mesures de sécurité utilisées et les situations rencontrées. Sur les 42 établissements pour lesquels des données complètes ont été compilées, 40 comptaient entre 75 et 200 employés, donc majoritairement des PME. Dans près de la moitié de ces établissements (22), le sol de la cour était plat. Dans le même nombre d'établissements, un gareur (c'est-à-dire une personne spécifiquement attitrée au placement et au retrait des semi-remorques) assuraient le déplacement des semi-remorques. Le trafic journalier moyen aux quais variait considérablement entre les établissements, de moins de 5 camions pour l'un d'entre eux à plus de 51 pour 4 établissements. L'arrivée des camions était uniformément répartie sur le quart de travail dans 26 établissements, mais 11 ont signalé des pointes d'achalandage importantes. Le tableau 2 présente une série d'informations complétant ce bilan.

Des informations sur huit types de mesures de retenue ont été demandées. Trois d'entre-elles (le cadenassage⁶ des boyaux d'air du système de freins de la semi-remorque, la prise des clefs et les dispositifs de retenue automatique des roues) n'étaient pas utilisées par les établissements sondés. Les cinq types de mesures utilisés dans ces établissements sont : les dispositifs de retenue de la barre anti-encastrement, les cales manuelles, les cales à détection de positionnement et plaque de retenue⁷, la signalisation visuelle et l'alarme sonore. Les dispositifs de retenue de la barre anti-encastrement étaient les mieux représentés, avec 36

⁶ Deux établissements ont rapporté utiliser cette procédure, cependant après confirmation il s'est avéré qu'ils confondaient celle-ci avec une autre ou qu'ils ne l'utilisaient pas.

⁷ Dans le questionnaire cette mesure portait le nom de : dispositif de retenue à cale de roue à positionnement mécanique.

établissements rapportant utiliser ces dispositifs, pour un total de 298 portes de quais équipés. Ces dispositifs sont généralement assez récents, la moyenne d'âge de ceux-ci se situant entre 4 et 5 ans. La grande majorité de ces systèmes sont utilisés en association avec un système de signalisation visuelle. Les cales manuelles sont également très répandues, 25 établissements ont rapporté les utiliser. Dans ce cas-ci, seulement deux d'entre eux rapportent que leurs cales sont reliées à un système de signalisation visuelle. Pour ce qui est des cales à détection de positionnement et plaque de retenue, quatre établissements ont rapporté les utiliser, toutes en association avec un système de signalisation visuelle. Bien qu'il existe des systèmes de signalisation visuelle indépendants, tous ceux recensés dans l'étude étaient reliés à un dispositif de retenue mécanique quelconque. Il en était de même dans les cinq établissements où les quais étaient équipés d'alarmes sonores.

Tableau 2. Informations sur les établissements étudiés.

Questions	Énoncé	Énoncé	Énoncé	Énoncé	Énoncé	Énoncé	Énoncé	Énoncé	Énoncé	
		Nb d'établissements	Nb d'établissements	Nb d'établissements	Nb d'établissements	Nb d'établissements	Nb d'établissements	Nb d'établissements	Nb d'établissements	
Nombre de caristes affectés aux quais de transbordement	1 à 2	0	3 à 5	4	6 à 10	7	11 à 20	6	21 et plus	14
Capacité nominale des chariots-élévateurs (1000 lbs)	1 à 3	3	3 à 5	7	5 à 10	7	10 à 15	7	+ de 15	7
Achalandage dans un quart de travail	Réparti	26	Bourrées	11	Concentré	1				
Proportion des camions et semi-remorques avec une barre anti-encastrement	- de 25%	2	25 - 50%	0	50 - 75%	6	75 - 90%	8	90 % et +	20
Proportion des camions et semi-remorques qui ont une barre anti-encastrement en mauvais état	- de 25%	31	26 - 50%	1	50 - 75%	0	75 - 90%	0	90 % et +	0
Proportion des semi-remorques transbordées avec le tracteur attelé	- de 25%	19	27 - 50%	3	50 - 75%	6	75 - 90%	2	90 % et +	11

3.2 Résultats de l'analyse de risques

3.2.1 L'analyse rétrospective

L'analyse rétrospective a été réalisée via les informations recueillies à l'aide de la grille « rétrospective » qui a été utilisée pour l'enquête postale ainsi que lors des dix visites de collecte de données sur le terrain. Ce questionnaire était divisé en trois parties, soit les caractéristiques des établissements répondants au questionnaire, les événements (accidents et incidents) s'y étant produits et les informations pertinentes aux dispositifs de retenue. L'annexe B présente les résultats détaillés obtenus pour les 42 questionnaires complétés. Des rencontres avec les principaux fabricants et distributeurs de dispositifs de retenue mécaniques ont également permis de compléter les informations. À la lumière des données recueillies, il s'avère que plusieurs événements observés dans les établissements visités font partie des facteurs de risque entrant dans la chaîne de causalité des accidents impliquant la chute du chariot au quai de transbordement.

Une grande partie du questionnaire visait à documenter les accidents et incidents survenus dans les établissements, ainsi que les dysfonctionnements ou les non-activations des mesures de retenues. Trois des 42 établissements étudiés rapportent un accident impliquant la chute complète d'un chariot élévateur du quai durant les dernières années. À première vue, la probabilité d'occurrence de ce type d'accident peut paraître faible. Toutefois, il est important de considérer la gravité potentielle des conséquences de la chute d'un chariot du quai. En effet,

ce type d'accident cause souvent la mort du cariste ou des lésions graves à la colonne vertébrale, surtout si le chariot se renverse suite à la chute. Par conséquent, le risque associé à la chute du chariot du quai de transbordement demeure préoccupant.

Par ailleurs, plusieurs événements pouvant contribuer à la chute d'un chariot du quai ont été relevés au cours de cette étude. Par exemple, un camion qui avance ou glisse même en présence de cales (sans tentative de départ du chauffeur) est un événement très courant qui se produit chaque jour dans plusieurs établissements. Les données recueillies permettent d'évaluer à plus de 1800 le nombre d'occurrences de cet événement en 5 ans dans les 42 établissements étudiés. Conséquemment, le coincement des roues avant du chariot entre le camion et le quai est aussi un événement relativement fréquent (rapporté dans 14 établissements). Ce coincement est dû à la chute de la lèvre du pont niveleur suite au début du départ du camion ou à son glissement. Cet événement est à la limite de la chute du chariot.

On relève également plusieurs départs inopinés d'un camion alors qu'un chariot élévateur se trouve toujours à l'intérieur. Dix des établissements étudiés affirment que cet événement s'est produit au moins une fois durant les dernières années. Ici encore, la chute du chariot a été évitée de justesse. Au niveau de l'événement dangereux de basculement, l'affaissement des béquilles d'une semi-remorque s'est produit au moins une fois dans 13 des 42 établissements étudiés. On a également observé dans trois établissements un début de basculement de la semi-remorque qui a été retenue par un dispositif de retenue s'accrochant à la barre anti-encastrement (en moyenne une fois par année). Les données qui concernent les accidents et incidents sont résumées dans le tableau 3. Pour sa part, le tableau 4 renseigne sur l'efficacité des dispositifs de retenue lors de tentatives de départs inopinés du camion ou de basculement de la semi-remorque.

Tableau 3. Occurrence des événements à risque dans les établissements étudiés

Cette situation est rencontrée en moyenne à tous les :	Nombre d'établissements ayant répondu ...							
	jours	semaines	mois	ans	2 ou 3 ans	5 ans ou plus	Jamais	Ne s'applique pas
Un camion ou une semi-remorque a quitté le quai avec le chariot élévateur à l'intérieur.	0	0	0	0	3	7	29	0
Un chariot élévateur est tombé entre le quai et le camion (ex. : roues avant seulement) après qu'un camion ou une semi-remorque s'en soit éloigné ou ait glissé pendant le transbordement.	0	0	0	2	4	8	24	1
Un chariot élévateur est tombé complètement du quai après qu'un camion ou une semi-remorque s'en soit éloigné ou ait glissé pendant le transbordement.	0	0	0	0	0	3	34	0
Suite à une erreur de manœuvre, un chariot élévateur est tombé d'un quai où il n'y avait pas de camion ou de semi-remorque.	0	0	0	0	0	2	36	1
Le camion ou la semi-remorque s'est éloigné du quai en raison d'un glissement de la cale.	1	2	2	1	3	5	17	6
Les béquilles de la semi-remorque se sont affaissées et celle-ci a basculé vers l'avant.	0	0	0	1	2	9	25	2
La semi-remorque a basculé vers l'avant en raison du poids du chariot et/ou de la charge.	0	0	0	0	1	4	32	1
La semi-remorque a presque basculé vers l'avant en raison du poids du chariot et/ou de la charge mais a été retenue par le dispositif de retenue de la barre anti-encastrement (barre ICC).	0	0	0	3	0	1	30	5

Tableau 4. Efficacité des dispositifs de retenue

Cette situation est rencontrée en moyenne à tous les :	Nombre d'établissements ayant répondu ...							
	jours	semaines	mois	ans	2 ou 3 ans	5 ans ou plus	Jamais	Ne s'applique pas
Le camionneur ou le gareur a tenté de quitter le quai avec un camion ou une semi-remorque et...								
le dispositif de retenue utilisé l'en a empêché.	0	2	5	5	7	4	11	2
la barre anti-encastrement (barre ICC) du camion ou de la semi-remorque a été déformée et/ou arrachée de façon telle que le camion ou la semi-remorque a pu quitter le quai.	0	0	1	5	3	4	16	7
le dispositif de retenue de la barre anti-encastrement (barre ICC) était activé mais a été abîmé ou s'est décroché et n'a pas permis de retenir le camion ou la semi-remorque.	0	0	1	1	0	3	25	6
la cale de roue à positionnement manuel était en position mais n'a pas permis de retenir le camion ou la semi-remorque.	0	1	1	1	2	2	11	18
la semi-remorque a presque basculé vers l'avant en raison du poids du chariot et/ou de la charge mais a été retenue par le dispositif de retenue de la barre anti-encastrement (barre ICC).	0	0	0	3	0	1	30	5

On remarque qu'aucun dispositif de retenue n'est efficace à 100% car un certain nombre de camions arrivent quand même à quitter le quai. Il y a donc une certaine efficacité de retenue, mais elle n'est pas totale, surtout avec les cales de roues. Il est également intéressant de constater qu'il est relativement fréquent que la barre anti-encastrement d'un camion ne résiste pas à l'effort de traction lors d'un départ inopiné dans les établissements où sont utilisés des dispositifs de retenue de la barre anti-encastrement. Cinq entreprises affirment même que cet événement se produit en moyenne chaque année. Il convient donc de se questionner sur l'efficacité réelle de ces dispositifs en fonction de l'état des camions.

Dans 22 des 29 établissements où sont installés des dispositifs de retenue de la barre anti-encastrement, on affirme que ces dispositifs sont effectivement utilisés (activés) dans la grande majorité des cas. Dans sept d'entre eux, ces dispositifs ne sont généralement pas utilisés ou sont utilisés moins de 95% du temps. Le tableau 5 donne les raisons principales du taux d'utilisation des dispositifs.

Les défaillances intrinsèques des dispositifs de retenue de la barre anti-encastrement sont relativement peu fréquentes si l'on considère le nombre d'heure d'utilisation total de ces dispositifs. On rapporte des problèmes techniques qui empêchent l'utilisation d'un de ces dispositifs au moins une fois par mois dans huit des 42 établissements. Il arrive également que l'équipement de déneigement endommage certains dispositifs, mais peu d'établissements ont rapporté ce problème. Quant aux autres causes externes pour lesquelles le dispositif n'est pas utilisé (autre qu'un facteur humain), la glace, l'eau et la neige sont souvent à blâmer, surtout en hiver. Il arrive enfin que le dispositif soit désactivé avant la fin du transbordement. Quatre établissements indiquent que cette situation se produit au moins une fois par mois et que le gareur ou le camionneur en sont généralement responsables.

Tableau 5. Raisons pour lesquelles un dispositif de retenue de la barre anti-encastrement n'est pas activé

Cette situation est rencontrée en moyenne à tous les :	Nombre d'établissements ayant répondu ...							
	Jours	semaines	mois	ans	2 ou 3 ans	5 ans ou plus	Jamais	Ne s'applique pas
Le dispositif de retenue de la barre anti-encastrement n'a pas été activé :								
en raison d'un oubli ou d'une négligence de la part du cariste.	1	4	4	5	3	1	13	1
en raison d'un oubli ou d'une négligence de la part du camionneur.	0	3	2	1	1	0	13	12
en raison d'un oubli ou d'une négligence de la part du « shunter ».	0	0	1	0	0	0	12	19
en raison d'un oubli ou d'une négligence de la part d'une autre personne.	0	3	0	3	0	0	13	13
en raison d'un problème technique associé au dispositif ou à son système de commande (bris ou mauvais fonctionnement).	0	2	6	6	5	2	10	1
en raison d'une incompatibilité entre celui-ci et le camion ou la semi-remorque.	2	4	7	5	1	3	8	2

Dans les 25 établissements où des cales manuelles sont utilisées, seulement sept rapportent que les cales sont utilisées plus de 95% du temps, ce qui laisse à penser que dans les autres établissements, les cales sont soit négligées, soit utilisées lorsque la mesure de retenue principale (par exemple un dispositif de retenue de la barre anti-encastrement) n'est pas applicable. Le tableau 6 présente les résultats se rapportant à l'utilisation des cales. On constate que la négligence est la cause principale du non-positionnement d'une cale. On remarque également que les cales de roues sont nettement moins appliquées que les autres types de dispositifs de retenue.

En ce qui concerne l'efficacité des cales, dans 14 établissements on affirme avoir été témoin de situations où une semi-remorque ou un camion s'éloignait du quai à cause du glissement de la cale. Sept établissements affirment également que la cale n'a pas permis de retenir le camion lors d'un départ inopiné.

Tableau 6. Raisons pour lesquelles les cales manuelles ne sont pas positionnées

Cette situation est rencontrée en moyenne à tous les:	Nombre d'établissements ayant répondu ...							
	jours	semaines	mois	ans	2 ou 3 ans	5 ans ou plus	Jamais	Ne s'applique pas
La cale n'a pas été mise en place :								
parce que les conditions environnementales (pluie, neige, grand froid, etc..) rendaient cela difficile ou impossible.	1	3	2	4	0	1	5	
en raison de la courte durée de l'intervention de transbordement.	2	4	2	1	0	1	6	
en raison d'un oubli ou d'une négligence de la part du cariste.	2	4	2	1	0	1	3	
en raison d'un oubli ou d'une négligence de la part du camionneur.	2	4	4	2	0	0	4	
en raison d'un oubli ou d'une négligence de la part du « shunter ».	2	0	0	1	0	0	6	9
parce qu'il n'y avait pas assez d'espace pour circuler entre les deux camions ou semi-remorques.	1	0	0	0	0	0	8	8
parce qu'il n'y avait pas de cale disponible sur place	0	1	2	2	0	1	9	
parce que la cale disponible était brisée	0	1	1	4	1	1	11	
La cale a été retirée par erreur avant la fin des activités de transbordement :								
par le camionneur.	0	0	0	2	1	0	10	2
par le « shunter ».	0	0	0	1	0	0	9	5
par une autre personne.	0	0	0	1	0	0	10	

Seulement 4 établissements ont rapporté utiliser les cales à détection de positionnement et plaque de retenue. Ceux-ci affirment que le dispositif est effectivement utilisé dans plus de 95% des cas. L'échantillon étant de très petite taille, il était difficile d'obtenir des données détaillées quant aux événements et aux modes de défaillance associés à ce type de dispositifs. Toutefois un établissement a noté l'oubli d'un camionneur comme cause de non-positionnement de la cale et un autre a mentionné que parfois la cale ne pouvait être mise en place en raison des conditions environnementales. Quant aux modes de défaillance, on rapporte que la cale peut être endommagée par un camion qui tente de quitter le quai et que certaines défaillances internes auraient également été observées (capteur désajusté, élément mécanique défaillant).

Pour ce qui est des dispositifs de signalisation visuelle, le tableau 7 permet de constater que l'efficacité de cette mesure de retenue reste très limitée. En fait, chacun des événements recensés dans le tableau aurait pu conduire à un accident que la signalisation aurait dû prévenir. On remarque que dans plusieurs établissements, il est fréquent que tant le camionneur, le gareur ou le cariste ne remarquent pas ou ne tiennent pas compte de la signalisation visuelle. Au niveau des modes de défaillance de la signalisation visuelle, seules des ampoules brûlées ont été notées dans la majorité des établissements. Par ailleurs, les cinq établissements qui utilisent une alarme sonore comme mesure de retenue n'ont rapporté aucun problème de défaillance avec celle-ci.

Tableau 7. Efficacité de la signalisation

Cette situation est rencontrée en moyenne à tous les :	Nombre d'établissements ayant répondu ...							
	jours	semaines	mois	ans	2 ou 3 ans	5 ans ou plus	Jamais	Ne s'applique pas
Le camionneur a tenté de quitter ou a quitté le quai avec le camion ou la semi-remorque avant la fin des opérations de transbordement :								
parce qu'il n'avait pas remarqué que le système de signalisation indiquait que le dispositif était en position.	0	0	5	2	3	5	14	4
parce qu'il n'avait pas tenu compte du système de signalisation qui indiquait que le dispositif était en position.	0	0	5	3	2	2	16	3
Le « shunter » a tenté de quitter ou a quitté le quai avec le camion ou la semi-remorque avant la fin des opérations de transbordement :								
Parce qu'il n'avait pas remarqué que le système de signalisation indiquait que le dispositif était en position.	0	1	1	1	2	3	10	0
parce qu'il n'avait pas tenu compte du système de signalisation qui indiquait que le dispositif était en position.	0	0	1	1	1	1	12	1
Le cariste s'est introduit dans le camion ou la semi-remorque sans que le dispositif de sécurité ne soit présent car :								
il n'a pas remarqué que le système de signalisation indiquait que le dispositif n'était pas en position.	0	0	5	3	1	1	22	3

Parmi les réponses reçues du questionnaire postal, un établissement a rapporté utiliser un système de signalisation qui jusqu'alors n'avait pas été identifié par l'équipe de recherche (cet établissement a conçu lui-même le dispositif), une visite supplémentaire a alors été effectuée. Le dispositif, illustré à la figure 3 est un système de signalisation par drapeau. Lorsque le cariste relève le drapeau à l'intérieur de l'usine, un deuxième drapeau se rabaisse devant la semi-remorque grâce à un système de poulies. L'établissement a eu recours à ce type de signalisation car le soleil frappait directement sur les feux de signalisation et le contraste entre le feu vert et le feu rouge était ainsi passablement réduit.



Figure 3. Système de signalisation à drapeau

Afin de compléter l'analyse rétrospective, les représentants de trois fabricants de dispositifs de retenue de la barre anti-encastrement ainsi qu'un fabricant de cale à plaque et détection de positionnement ont été rencontrés. Ces entrevues ont permis de recueillir de l'information sur certains détails des dispositifs, les difficultés, les problèmes et solutions et sur certaines situations particulières. Les modes de défaillances, problèmes et désavantages de certains dispositifs concurrents ont également été notés donnant ainsi plus d'éléments aux chercheurs pour créer l'outil. Les détails spécifiques à chaque dispositif ont été pris en note et ont été colligés dans l'arbre des fautes et utilisés lors de la création de l'outil, plus particulièrement dans les fiches de mise en œuvre des mesures de retenue.

3.2.2 L'analyse prospective

L'analyse prospective comportait deux volets, soit l'analyse prospective inductive (à l'aide de la méthode de l'analyse des modes de défaillance et de leurs effets - AMDE) et l'analyse prospective déductive, supportée par la méthode de l'arbre des fautes (ADF). En plus de supporter l'analyse prospective déductive, l'arbre des fautes a également servi à structurer dans un format logique et détaillé l'ensemble des facteurs de risque identifiés lors de l'analyse rétrospective et de l'analyse prospective inductive.

Dans le but de simplifier la classification, les analyses des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) ont été divisés en quatre catégories : 1) les AMDE reliées aux procédures 2) à la signalisation et communication 3) aux dispositifs de retenues automatiques des roues et 4) aux dispositifs de retenue de la barre anti-encastrement. Ces analyses ont permis de générer des informations essentielles à la construction de l'outil d'évaluation. Plusieurs facteurs de risque qui n'avaient pas été relevés lors de l'analyse rétrospective ont ainsi été identifiés. Le tableau 8 présente un exemple d'une partie de l'AMDE sur les dispositifs de retenue de la barre anti-encastrement. L'intégralité des grilles AMDEs se trouve dans l'annexe C.

Tableau 8. Exemple d'une AMDE

Composant	Mode de défaillance	Effets		Causes possibles (immédiates)
		Local (sur les autres composants)	Final (sur le système)	
Barre anti-encastrement	Se déforme sous l'effet de la traction	Dispositif retient partiellement	Camion partiellement retenu Barre anti-encastrement fragilisée	a) Barre trop faible (conception, usure) b) Déformation initiale c) Force suffisante pour créer déformation
	Est déformée (avant d'arriver au quai)	Dispositif retient partiellement Dispositif mal positionné Détection peut ne pas le remarquer	Camion pas ou partiellement retenu	a) Voir causes de déformation
	S'arrache sous l'effet de la traction	Barre peut rester sur le dispositif Peut ne pas détecter que la semi-remorque n'est plus là (mais détecte toujours la barre anti-encastrement)	Camion non retenu	a) Barre trop faible (conception, usure) b) Déformation initiale c) Force suffisante pour arracher
	Est absente	Dispositif ne se positionne pas	Camion non retenu	a) A été arrachée avant b) Type de camion qui n'a pas de barre

Tel que mentionné précédemment, l'arbre des fautes a été utilisé premièrement pour organiser et classer les facteurs de risques identifiés lors des analyses précédentes et deuxièmement comme support à l'analyse prospective déductive. Cet ADF étant très volumineux, le niveau de détail était limité aux causes dont la probabilité pouvait être déterminée qualitativement à l'aide des données recueillies lors des visites sur le terrain. Il a également été divisé en 19 sous arbres, soit un pour l'analyse de l'accident, sept pour l'analyse détaillée des événements dangereux et onze pour l'analyse des facteurs déterminants de l'efficacité des mesures. L'ADF complet, accompagné d'une description des événements importants, se trouve à l'annexe D.

Un exemple tiré de l'ADF est illustré à la figure 4. La figure présente une petite partie de l'ADF totale qui décrit les causes pouvant réduire l'efficacité de la mesure « procédure de tracteur attelé » qui permet d'empêcher le basculement d'une semi-remorque ainsi que de réduire les risques de glissement. Trois causes principales peuvent conduire à cette réduction de l'efficacité. La première est une procédure non compatible avec l'entreprise. Par exemple, si une semi-remorque doit rester longtemps au quai afin d'y être chargée, il est peu probable que le tracteur reste attelé à celle-ci durant toute la durée du chargement. Cette situation rend la mesure non-profitable pour l'établissement et donc incompatible avec ses besoins. Elle a donc toutes les chances d'être contournée, ce qui la rend moins efficace. La mesure peut également être rendue inefficace si les procédures ne sont pas respectées ou si la semi-remorque doit être dételée pour une raison particulière. Enfin, la mesure sera par ailleurs inefficace contre le glissement si la force de retenue est insuffisante en raison de la non-application des freins du tracteur ou lorsque de très grandes forces sont générées par le chariot à l'intérieur de la semi-remorque.

On remarque dans la figure que mis à part les symboles standards de construction d'un arbre des fautes, on retrouve un carré aux coins arrondis. Il s'est avéré nécessaire d'ajouter ce symbole compte tenu de la situation particulière de la recherche. Celui-ci représente un événement qui n'est ni nécessaire ni suffisant pour que l'événement auquel il est rattaché se produise. Cependant il peut influencer la probabilité d'occurrence de cet événement. Par exemple, une inclinaison de la cour vers l'avant du camion n'est pas une condition nécessaire ou suffisante pour obtenir un glissement de la semi-remorque. Toutefois, dans ces conditions, la probabilité de glissement s'en trouve augmentée.

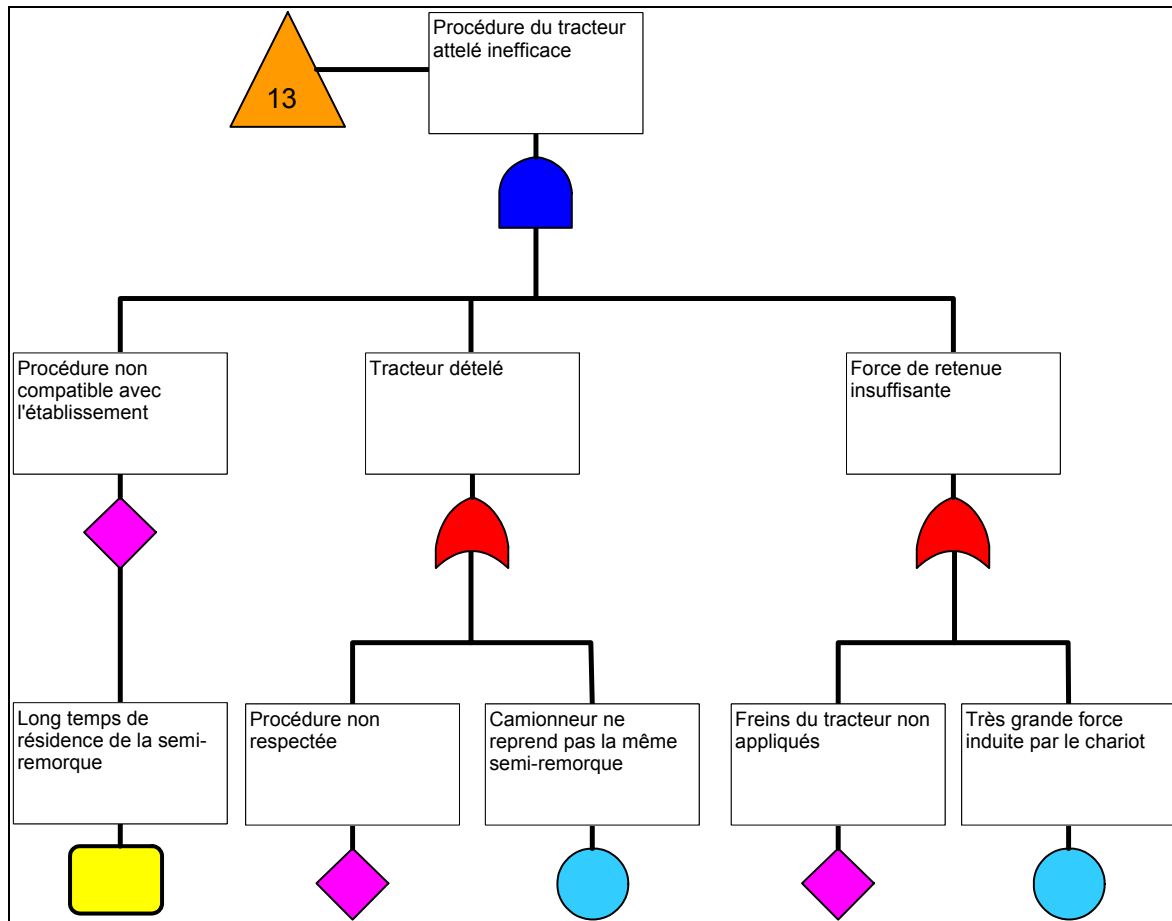


Figure 4. Résultats de l'analyse par ADF de la mesure « procédure de tracteur attelé »

3.3 Résultats des études de vérification et de validation des données

Plusieurs études parallèles ont été entreprises par les chercheurs au cours du projet afin de compléter les résultats de l'analyse de risques et de valider certaines hypothèses. Ces analyses sont présentées brièvement aux paragraphes suivants. Les résultats de ces analyses ont servi par la suite à alimenter l'outil d'évaluation des mesures de retenue.

3.3.1 Étude sur la fiabilité des différents dispositifs

Une étude sommaire sur la fiabilité des dispositifs de retenue disponibles sur le marché québécois a été entreprise afin de tenter de faire ressortir les éventuels problèmes de fiabilité des modèles existants. Cette étude a cependant été abandonnée en cours de route parce que les données préliminaires révélaient que ces dispositifs étaient beaucoup plus fiables que les autres maillons de la chaîne de causalité des accidents. En clair, la très grande majorité (sinon la totalité) des accidents et incidents qui ont été analysés n'avaient pas comme agents causals la défaillance d'un élément d'un dispositif de retenue. De plus, vu les nombreux modèles

disponibles sur le marché, les différentes conditions d'utilisation (maintenance, conditions environnementales, etc.) ainsi que la difficulté d'obtenir des plans détaillés, l'obtention de résultats précis aurait consommé des ressources beaucoup trop grandes compte tenu de leur utilité. Par ailleurs, l'évolution technique de ces dispositifs étant très rapide, les résultats d'une telle étude auraient été obsolètes dès leur publication. Trois conclusions générales ont cependant pu être tirées de cette étude préliminaire. D'abord, il s'avère que la fiabilité est dépendante des conditions dans lesquelles les dispositifs sont utilisés. Ensuite, une maintenance minimale est généralement requise pour garder la fiabilité de ces systèmes à un niveau acceptable enfin, l'utilisation du principe d'actionnement positif des capteurs et l'utilisation de contacts à ouverture forcée réduisent les risques de défaillance de ces dispositifs de sécurité.

3.3.2 Modélisation du glissement d'une semi-remorque

La modélisation sur le glissement a été réalisée suite à des commentaires reçus lors des visites sur le terrain ainsi que pour valider certaines données rapportées dans la littérature. Une modélisation s'avérait nécessaire pour confirmer que le glissement était possible, mais surtout pour déterminer dans quelles circonstances celui-ci était possible et quels facteurs le caractérisaient.

Dans cette modélisation, seul le glissement pur a été évalué (c'est-à-dire quand les roues de la semi-remorque glissent et ne tournent pas) et ceci pour plusieurs types de semi-remorques non attelées à un tracteur. Deux paramètres ont été mis en opposition dans la simulation, soit la force générée par l'inertie du chariot élévateur au moment où il freine dans la semi-remorque et la force de friction totale entre la semi-remorque et le sol. Si la première devient supérieure à la seconde, il y aura glissement pur. L'intensité de cette force d'inertie est fonction de plusieurs paramètres tels que la masse combinée du chariot et de sa charge et la vigueur avec laquelle le chariot freine (indirectement, la vitesse initiale du chariot). Pour ce qui est de la force de résistance de la semi-remorque, elle est due principalement aux coefficients de friction entre les roues et le sol et entre les béquilles et le sol, à l'inclinaison de la cour et enfin, au poids et à la position du centre de masse de l'ensemble (la semi-remorque, le chariot et les marchandises). Les détails des calculs ainsi que les tableaux des résultats se trouvent à l'annexe E.

Six types de terrain ont été simulés, soit de l'asphalte sec, de l'asphalte mouillé, du béton sec, du béton mouillé, du gravier sec et un pavé enneigé/glacé. Les coefficients de friction entre les pneus et le sol ont été trouvés dans la littérature alors que les coefficients de friction entre l'acier des béquilles et le sol ont été déterminés expérimentalement (détails à l'annexe E).

Les différentes simulations ont prouvé l'influence du poids du chariot, de la force de freinage, de la nature de la chaussée et de l'inclinaison de la cour sur les probabilités de glissement. La nature de la chaussée est probablement le paramètre le plus important pour ce qui est de glissement pur. En effet, le coefficient de friction entre les pneus de la semi-remorque ainsi que celui des béquilles change en fonction de la surface sur laquelle ils s'appuient. Il y a une différence peu notable entre l'asphalte sèche, humide, le ciment sec, humide et le gravier. Toutefois, la glace et la neige n'offrent que très peu de résistance. Faits intéressants à noter, la modélisation a permis de constater que sur un sol asphalté sec et dans des conditions extrêmes (pente inclinée à 10%, chariot très rapide et lourd), le glissement de la remorque est improbable, alors que sur un pavé glacé, il est possible même avec une cour parfaitement horizontale et un chariot léger. Bien que le modèle montre qu'il est improbable qu'un glissement se produise sur un pavé qui n'est pas glacé, dans la pratique certaines conditions rendent ceci

possible, comme par exemple la présence de débris ou de sable entre les pneus de la semi-remorque et le sol, rendant la chaussée plus glissante.

La vitesse initiale du chariot (qui détermine la force de freinage) apparaît comme la variable qui a l'impact le plus prononcé après l'état de la chaussée. L'équation $E=mv^2/2$, qui détermine l'énergie transmise du chariot à la semi-remorque, montre que la vitesse (mise au carré) joue un rôle très important. Cependant, les valeurs qui ont été utilisées pour simuler les cas extrêmes sont difficiles à obtenir dans la réalité. On peut donc présumer que l'influence de la vitesse du chariot aura un effet équivalent aux autres facteurs.

Le poids du chariot a aussi un effet important. Selon les résultats de la modélisation, tous les types de chariots, peu importe leur poids, peuvent faire glisser une semi-remorque sur un pavé glacé. Sur une chaussée non glacée, seuls les chariots de 5443 kg (12 000 lbs) de capacité, chargé au maximum et se déplaçant à vitesse maximale, se rapprochent du point de glissement, sans toutefois l'atteindre. Pour ce qui est de la pente de la cour, elle a un effet amplificateur ou modérateur. Les simulations ont été effectuées avec une pente de 10% vers l'extérieur et 10% d'inclinaison vers le quai. En moyenne, lorsque l'on augmente la pente de la cour de 10% vers le quai, la force que peut retenir la semi-remorque (par friction) augmente ou diminue de 7% à 8%. L'effet est donc considérable.

L'influence de la dimension de la semi-remorque a également été évaluée. Deux semi-remorques de longueurs différentes ont évidemment un poids différent. De plus, lorsque la semi-remorque est plus longue, le chariot peut avancer plus profondément et une plus grande partie de son poids sera supporté par les béquilles de la semi-remorque et donc moins sur les roues. La modélisation a cependant permis de constater que ce paramètre n'avait qu'une faible influence sur le résultat final.

En résumé, la modélisation a démontré l'influence de quatre paramètres sur le glissement pur d'une semi-remorque, soit le poids du chariot, la force de freinage de celui-ci (indirectement, sa vitesse initiale), l'état de la chaussée et la pente de la cour. Pour ce type de glissement, la longueur de la semi-remorque a une influence minime comparativement aux autres paramètres. La présence du tracteur n'a pas été évaluée. Ces résultats ont été pris en compte lors de l'élaboration de l'outil.

3.3.3 Modélisation du basculement d'une semi-remorque

La modélisation du basculement a servi à déterminer les conditions où le basculement d'une semi-remorque est possible. Cinq des 42 établissements étudiés ont affirmé avoir connu cette situation au moins une fois et certaines publicités des fabricants de dispositifs de retenue de la barre anti-encastrement mentionnent également que le problème est réel. Une vérification s'avérerait donc nécessaire.

Cette modélisation a tenté de déterminer la force de réaction aux roues de la semi-remorque, en supposant que la rotation (basculement) se produit autour du point de pivot entre les béquilles et le sol. Si cette force de réaction est positive, alors les roues sont sous contraintes (elles supportent une charge) et il n'y a pas de basculement, si elle est négative, la semi-remorque bascule. La simulation tient compte de la masse et du centre de gravité de tous les éléments (chariot, semi-remorque et, le cas échéant, de la marchandise déjà présente), de la force de freinage du chariot, des dimensions de la semi-remorque et de l'inclinaison de la cour

(figure 5). Les détails des calculs ainsi que les résultats complets des simulations se trouvent à l'annexe F.

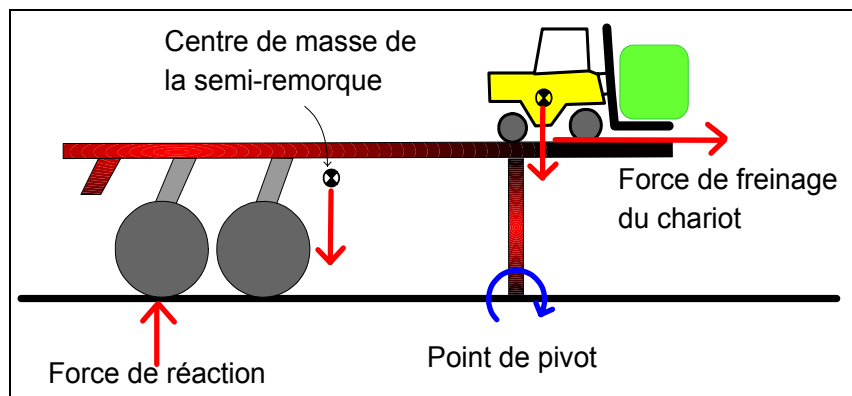


Figure 5. Forces en jeu lors d'un basculement

La modélisation a révélé qu'il est effectivement possible d'obtenir des conditions où le basculement est probable, ce qui confirme les informations recueillies lors des collectes de données. Cinq facteurs principaux influencent cet événement dangereux : la masse combinée chariot-marchandise, la force de freinage générée par le chariot (définie par sa vitesse initiale), l'endroit où le chariot freine, la longueur de la semi-remorque et la pente de la cour.

En analysant les résultats des simulations, il a été possible de faire ressortir certaines conclusions générales. Premièrement, dans tous les cas simulés, si des marchandises sont déjà à l'intérieur de la semi-remorque, les probabilités de basculement sont plus faibles (mais pas nulles), ceci principalement dû au fait que ces marchandises empêchent le chariot de pénétrer jusqu'au fond de la semi-remorque. Il est donc raisonnable de croire que le basculement se produira principalement lors du chargement du premier lot de marchandises ou du déchargement du dernier. L'endroit où le chariot freine à l'intérieur de la semi-remorque est donc le facteur principal dans le problème du basculement : si le chariot ne dépasse pas le niveau des béquilles, il ne peut y avoir de pivotement autour de celles-ci.

Pour ce qui est de la longueur de la semi-remorque, les probabilités de basculement sont très faibles, voire nulles avec une semi-remorque de 16,15m (53 pieds). Dans ce cas, le basculement est possible seulement dans des cas extrêmes : chariot freinant au point où il glisse dans la semi-remorque, arrêt directement à l'arrière de la semi-remorque, chariot lourd et pente de la cour de 10% vers l'extérieur). À l'inverse, une semi-remorque de 9,75m (32 pieds) basculera très facilement même dans des conditions normales d'utilisation. Il est cependant possible d'éviter le basculement en réduisant la vitesse et la masse totale chariot-charge. Quant aux semi-remorques de longueur intermédiaires, les probabilités de basculement varient en fonction des autres paramètres, mais sont toujours plus élevées lorsque la semi-remorque est plus courte.

L'impact de la masse combinée chariot-charge semble linéaire entre un chariot de 1 587 kg (3 500 lbs) de capacité et un de 6 123 kg (13 500 lbs). Il n'y a cependant pas de chariots assez légers pour éviter le basculement dans toutes les circonstances.

La force de freinage, (indirectement, la vitesse du chariot), a un impact similaire à celui de la masse du chariot lorsqu'elle se situe entre 25% et 100% de la capacité de freinage maximale du chariot. Il est cependant très difficile d'évaluer les valeurs réelles utilisées dans les établissements. Bien que lors de la majorité des visites effectuées les chariots ne semblaient pas freiner brusquement, des marques de pneus observées sur le plancher de certaines semi-remorques portent à croire que l'utilisation de la capacité de freinage maximale est possible. La vitesse est un paramètre amplificateur : il n'est pas nécessaire de freiner brusquement pour entraîner un basculement, mais la simulation a démontré que cette situation augmente les probabilités. Il est à noter que lors des simulations, le chariot freinait et arrêtait directement au fond de la semi-remorque, ce qui est le pire des cas. En réalité, cette situation est peu probable, ce qui réduit l'impact réel de la vitesse du chariot sur le basculement.

Finalement, la pente de la cour influence aussi les probabilités de basculement. Dans la plupart des cas simulés, si la semi-remorque bascule, elle le fera à toutes les inclinaisons de la cour sous les mêmes paramètres et inversement si elle ne bascule pas. Cependant, lorsqu'il y a un équilibre entre les forces du chariot et la masse de la semi-remorque, une inclinaison vers l'extérieur causera un basculement alors qu'une inclinaison vers le quai l'empêchera.

Le tableau 9 résume une partie des résultats disponibles dans l'annexe F. À noter que dans la plupart des établissements, des chariots d'une capacité inférieure ou égale à 1 587 kg (3 500 lbs) sont utilisés. Les chariots de capacité de 5 443 kg (12 000 lbs) sont relativement peu utilisés pour le transbordement de camions. De plus, la simulation suppose que le chariot s'arrête au fond de la semi-remorque. Si le chariot s'arrête avant d'atteindre le niveau des béquilles de la semi-remorque, les risques de basculement sont pratiquement nuls dans la majorité des cas.

Tableau 9. Possibilités de basculement en fonction des cas de chargement

		Vitesse (pourcentage du freinage maximal du chariot)						
		50%			100%			
		Pente de la cour			Pente de la cour			
		-10%	0 (plat)	10%	-10%	0 (plat)	10%	
Longueur de la semi-remorque (pieds)	32	3500	X	X	X	X	X	X
		8000	X	X	X	X	X	X
		12000	X	X	X	X	X	X
	45	3500						
		8000						
		12000	X			X	X	X
	53*	3500						
		8000						
		12000	X			X	X	X

X = basculement potentiel de la semi-remorque
 *Deux essieux
 ** En supposant le chariot chargé à sa pleine capacité

Cette simulation a permis de déterminer que le paramètre de la longueur de la semi-remorque avait un impact majeur sur le basculement. Le poids du chariot ainsi que sa force de freinage (vitesse) ont aussi un impact, mais celui-ci est moindre que dans le cas de la longueur de la semi-remorque et il en est de même pour la pente de la cour. Les résultats présentés au tableau 9 doivent être considérés avec prudence, compte tenu des nombreuses variations possibles entre la simulation et la réalité.

3.3.4 Modélisation de la résistance à la traction des barres anti-encastrement

L'analyse de la littérature et les visites ont fait ressortir que lorsque les dispositifs de retenue de la barre anti-encastrement n'arrivaient pas à retenir la semi-remorque, la résistance de la barre était souvent en cause. Quelques personnes interviewées ont également cité des cas où la barre anti-encastrement, retenue par le dispositif, s'était détachée lors du départ du camion. Dans un des établissements visités, on a affirmé que dans environ 70% des cas où le dispositif était mis à l'épreuve (tentative de départ inopiné), la barre était arrachée. Une modélisation de la résistance des barres anti-encastrement a donc été réalisée. Celle-ci s'est déroulée en trois étapes, soit la collecte d'information, la simulation d'un effort de traction sur les barres anti-encastrement ainsi que sur leurs supports et la détermination de la force développée par le tracteur. Cette étude a donc permis de comparer la résistance des barres anti-encastrement avec les forces qu'elles devraient supporter en cas de départ inopiné. Les détails de cette étude se retrouvent dans le rapport «Étude sur la résistance des barres anti-encastrement» présenté à l'annexe G.

3.3.4.1 Collecte d'information

Afin de modéliser les bons types de barres anti-encastrement, une courte étude a été réalisée afin de mesurer et évaluer les conditions des barres de quelques semi-remorques. Cette étude servait également à confirmer les informations contenues dans le rapport «*Results of Underride Guards Surveys*» de l'*American Trucking Association* (ATA, 1996) qui recensait les barres anti-encastrement d'un très grand nombre de semi-remorques aux États-Unis. Ce rapport, rassemblant les résultats de quatre études, a évalué l'état des barres anti-encastrement de plus de 1 200 semi-remorques. Une de ces quatre études affirme que 64% des barres anti-encastrement sont endommagées alors qu'une autre affirme que seulement 14% des semi-remorques ont une barre endommagée. Le rapport montre cependant que les critères de qualité n'étaient pas les mêmes d'une étude à l'autre. Le tableau 10 résume les résultats d'un des quatre sondages en ce qui concerne le type de barres observées ainsi que le pourcentage de barres endommagées. On constate que les barres carrées sont généralement en bon état comparativement aux profilés en «C».

Tableau 10. Résultats de l'étude de l'ATA

Type de profilé	Nombre recensé	% endommagé
En «I»	73	38.3
Carré	337	5
Rectangulaire	151	10.5
Rond	23	4.3
En «C», 3" à 4" de large	217	29
En «C», 6" ou + de large	56	30

Pour l'étude effectuée par l'équipe de recherche, un peu plus d'une centaine de semi-remorques ont été observées. Onze types de barres anti-encastrement représentatif de l'ensemble des barres observées ont été recensés. Celles-ci ont été mesurées, et leurs caractéristiques principales ont été enregistrées dans le tableau 11.

Tableau 11. Types de barres anti-encastrement recensés pour la simulation

No	Type de profilé	Dimensions de la section (po)	Marque et année de fabrication	Long. (cm)	Distance entre les attaches (cm)	Haut. du sol (cm)	Suspension
1	Carré	4 x 4 x 3/16	Inconnue	90	49	21	Air
2	Carré	4 x 4	Trailmobile	94	48	15	Air
3	En «C»	4 x 1½ x 3/16	Inconnue	73	50	24	Ressort
4	Carré	4 x 4 x 5/32	Trailmobile (2001)	94 ½	48	16 ½	Ressort
5	Carré	4 x 4	Trailmobile (1999)	98	48	19	Air
6	En «C»	4 x 1½ x 3/16	Manac (1986)	67	49	17	Ressort
7	En «C»	6 x 2 x 3/16	Trailmobile	66	43 ½	26	Ressort
8	Rectangle	5 x 3	Manac	94	49	18	Air
9	Carré	5 x 5	Manac	96	40	18	Air
10	Rectangle	4 x 3 x 1/4	Fruehauf (1985)	68	44	21	Ressort
11	En 'I'	4 x 2-1/4 (3/32 âme, 1/8 fer plat)	Inconnue	66	40	—	Ressort

Quatre types ont été retenus pour la simulation, soit le profilé carré 4x4, le profilé carré 4x4 à support renforcé, le profilé en « C » et le profilé rectangulaire, ces quatre types étant les plus courants selon le rapport de l'ATA. Deux valeurs importantes ont été déterminées par simulation, soit les valeurs maximales que peuvent supporter la plus forte et la plus faible des barres anti-encastrement et maximale. Ces valeurs indiquent qu'au-delà d'une certaine force aucune barre anti-encastrement ne peut résister et qu'en dessous d'une certaine valeur toutes les barres pourront supporter les efforts qui leur sont imposés.

3.3.4.2 Modélisation des barres ICC en charge

Les modélisations ont été effectuées sur le logiciel d'éléments finis Cosmos/M. Chacun des quatre modèles de barre anti-encastrement a fait l'objet d'une étude pour déterminer la force à laquelle elle entrerait en déformation permanente. L'acier utilisé pour la simulation était de l'acier standard ayant une limite élastique de 300 MPa (44 000 psi). Le chargement était simulé par une barre se faisant tirer par ses supports et un dispositif de retenue simulé comme un blocage appliqué sur 5,08 cm (2 pouces) de large centré au milieu de la barre. La figure 6 montre un exemple d'une modélisation effectuée avec des déformations amplifiées. Les résultats de cette étude sont résumés dans le tableau 12.

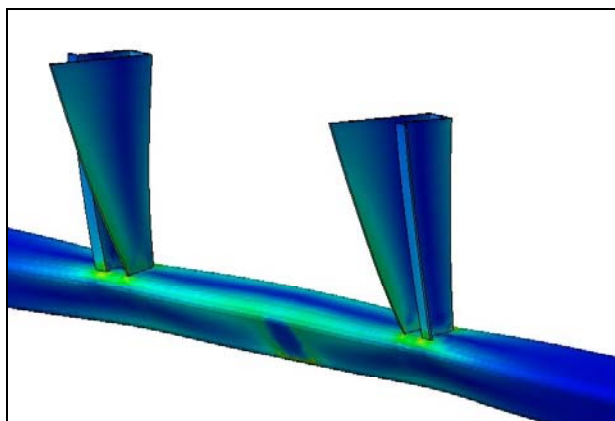


Figure 6. Modélisation d'une barre de section 4x4 carré en charge

Tableau 12. Résultats de la modélisation du chargement des barres anti-encastrement

Modèle	Charge maximale (Kg)	Charge maximale (lbs)
Profilé en C	3040	6 700
Profilé carré	5940	13 100
Profilé rectangulaire	6 530	14 400
Profilé carré renforcit	7940	17 500

Évidemment, ces résultats ont été obtenus par une modélisation qui peut différer passablement de la réalité. Par exemple, les barres peuvent être rouillées ou déformées et alors fournir une résistance beaucoup moins importante que ce que le laissent paraître ces résultats. Dans un extrait vidéo d'une publicité d'un fabricant de dispositif de retenue de la barre anti-encastrement, on présente une mise en scène où une barre anti-encastrement retenue par le système est sollicitée à plusieurs reprise par le tracteur. Après quelques tentatives, celle-ci se déforme pour finalement commencer à déchirer au niveau de son support. On peut donc en conclure que chaque impact endommage un peu de façon permanente la barre anti-encastrement la rendant moins apte à retenir lors d'un prochain impact. Dans bien des cas au cours de la modélisation, la limite de résistance était atteinte à la jonction entre la barre anti-encastrement et son support et cette zone est très difficile à simuler notamment en raison de la soudure qui relie les deux pièces ensemble. Les résultats de la modélisation donnent cependant une bonne appréciation de l'ordre de grandeur des forces que peuvent supporter les barres anti-encastrement.

3.3.4.3 Estimation de la force développée par le tracteur

La force que peut générer un tracteur a été déterminée afin de la comparer à la force que peuvent supporter les barres anti-encastrement. Une étude sommaire rapportée dans le rapport «Étude sur la résistance des barres anti-encastrement» de l'annexe G démontre que les tracteurs peuvent développer une force de traction de 15 300 Kg⁸ (33 660 lbs) dans des

⁸ Cette valeur a été déterminée grâce à un calcul qui se base sur le fait qu'au Québec le règlement du ministère des transports limite la charge des roues motrice du tracteur à 18 000Kg. Certaines personnes interviewées pendant l'étude ont rapporté que cette loi serait parfois contournée et que certains tracteurs étaient en mesure de tirer une charge plus lourde.

conditions idéales (chaussée asphaltée, sèche et en bon état) sur une chaussée plate. On peut donc conclure, en mettant cette valeur en relation avec celles du tableau 12, qu'un tracteur ayant la puissance maximale permise au Québec pourrait assez facilement arracher toutes les barres anti-encastrement s'il tire au maximum de sa puissance.

Quant à la force de retenue ressentie par les camionneurs, une information importante a été recueillie en discutant avec des camionneurs et les gareurs lors des visites sur le terrain. Lorsqu'un camionneur perçoit une résistance en tentant de quitter un quai, il peut croire qu'il est retenu par un dispositif. Mais il peut aussi penser que cette résistance est due à la pente du quai, à la masse de sa charge ou à la présence de glace qui bloque les roues. La réaction pourrait être d'appuyer davantage sur l'accélérateur. Dans ces conditions, la barre anti-encastrement a peut de chances de retenir le camion. Cette situation a pu être constatée lors des visites effectuées par les chercheurs, plusieurs personnes ont rapporté avoir été témoin qu'une barre anti-encastrement avait été arrachée d'un camion.

3.3.4.4 Conclusion de la modélisation

La non-uniformité des barres anti-encastrement du point de vue de leur résistance ainsi que la force générée par les tracteurs empêche de conclure sans équivoque sur la résistance des barres anti-encastrement : certaines pourront retenir le tracteur, d'autres non. Trop de facteurs sont en jeu pour obtenir des statistiques précises sur les pourcentages de départs inopinés qui seront arrêtés par un dispositif de retenue de la barre anti-encastrement lorsqu'elles seront placées dans un contexte réel. Il est possible cependant d'affirmer que les barres anti-encastrement, ainsi que les dispositifs qui les retiennent, seront, dans presque tous les cas, capables de contrer le glissement du camion ou de la semi-remorque.

3.3.5 Modélisation du comportement des cales de roues

Une étude succincte a été effectuée à l'aide du logiciel *Visual Nastran Desktop* pour tenter de modéliser le comportement d'une cale de roue. Cette étude n'a pas été concluante puisque le logiciel utilisé avait des difficultés à modéliser le frottement et la friction. Des essais réels ont donc été nécessaires pour prédire le comportement des cales.

3.3.6 Essais préliminaires de cales de roues

Suite aux commentaires recueillis sur les cales lors des visites, il est apparu évident que des études étaient nécessaires pour évaluer l'efficacité réelle des cales de roues. Les modélisations numériques n'ayant pas été concluantes, des essais sur le terrain ont donc été réalisés. Neuf cales ont été testées (incluant une section de 2x4 en bois et une cale à plaque de retenue). Aucune d'entre-elles ne respectait la norme SAE J348 (SAE, 1990). Cette norme précise les caractéristiques générales que devrait avoir une cale de roue afin de permettre une retenue adéquate d'un véhicule. L'échantillon était cependant représentatif des cales vendues et utilisées au Québec. Les cales ont été choisies sur catalogue sans vérifier, au moment de la commande, si elles respectaient les caractéristiques de la norme SAE J348.

Les essais ont été effectués en positionnant une cale sous une roue de semi-remorque et en observant l'effet de la cale lorsqu'il y avait un glissement ou un avancement (départ inopiné) de la semi-remorque. Les tests ont été effectués sur cinq types de sol, soit de l'asphalte sec, de l'asphalte mouillé, sur de la neige, de la glace et sur un sol en terre battue. Des essais de

glissement et de départ inopiné ont été réalisés sous différentes conditions de chargement (remorque vide, chargée à moitié ou chargée au maximum de sa capacité). Les essais de glissement ont été effectués avec et sans le tracteur attelé à la semi-remorque, mais la partie avec le tracteur a rapidement été abandonnée puisqu'il n'y avait jamais de glissement (les cales étaient donc inutiles). Pour générer la force de glissement un chariot, déplaçant une charge d'environ 540 kg, entrainé dans la semi-remorque à une vitesse d'environ 13 km/h et freinait brusquement au milieu. Une cour horizontale a été utilisée pour tous les essais. La description des cales ainsi qu'un résumé des résultats des essais sous forme de matrice sont disponibles dans l'annexe H, cette annexe comprend aussi le rapport complet des essais sur les cales.

Les essais de départs inopinés ont donné les résultats attendus, soit qu'aucune cale ne peut retenir le tracteur, et ce dans toutes les conditions d'essais⁹. En revanche, pour ce qui est de glissement, les cales n'étaient pas toujours utiles : en fait, le glissement ne se produit que lorsque la suspension à air n'est pas neutralisée (suspension haute), que le tracteur n'est pas présent et que la chaussée est enneigée ou glacée. Quand la chaussée est mouillée ou sèche il n'y a pas de glissement uniquement à cause de la force de friction entre les béquilles de la semi-remorque et le sol (les freins de la semi-remorque n'étaient pas toujours appliqués). Dans les cas où il y avait du glissement, aucune cale n'a pu retenir la semi-remorque : dans tous ces cas la cale glissait avec la semi-remorque (toutes les cales ont glissé avec la remorque).

Les cales peuvent faillir à leurs tâches de cinq façons différentes, par glissement, par pivotement, par enfoncement dans le sol, par écrasement ou tout simplement en laissant la roue passer au-dessus d'elles.

Lorsque le glissement de la cale est en cause, la cale se retrouve à glisser plus facilement que la roue de la semi-remorque. Selon l'équation $F = \mu_s \bullet N$ ¹⁰, la force de friction dépend du coefficient de friction entre les deux matériaux concernés et de la force normale (poids). Puisque le poids de la cale peut être considéré comme négligeable comparé au poids de la semi-remorque, il n'y a que le coefficient de friction qui peut être différent¹¹. Le caoutchouc des pneus est conçu pour avoir une bonne friction avec la chaussée, il est donc très probable que la cale ait un coefficient égal ou plus faible. Dans ces conditions, si la roue de la semi-remorque glisse, la cale glisse automatiquement. Il est également possible, lorsque la roue de la semi-remorque roule, que la cale glisse devant la roue. Ceci s'est produit avec quelques modèles de cales et sur une chaussée glissante. Encore une fois, la cause est une force de friction trop faible entre la cale et le sol mais également entre la cale et le pneu de la semi-remorque, ce dernier n'ayant même pas la possibilité de monter sur la cale puisque celle-ci glisse dès qu'il y a contact.

Le deuxième mode de défaillance est le pivotement de la cale. La force transmise du pneu de la semi-remorque à la cale est rarement uniquement verticale, il y a donc une composante horizontale. Si la résultante de ces deux composantes est située à l'extérieur de la cale, alors celle-ci pivotera autour du point le plus rapproché de la cale (figure 7). Une cale plus longue, comme à la figure 8 pourrait être un moyen d'éviter ceci. La norme SAE J348 exige d'ailleurs que les cales aient une longueur 1.73 fois plus grande que la hauteur.

⁹ Ceci s'applique à toutes les cales manuelles. Les cales à détection de positionnement et plaque de retenue sont traitées plus en détail dans l'annexe.

¹⁰ «N» représente la force Normale, elle correspond au poids appliqué là où il y a friction.

¹¹ En considérant une cale à surface de contact plat entre la cale et la chaussée, à l'opposé de la cale à plaque de retenue.

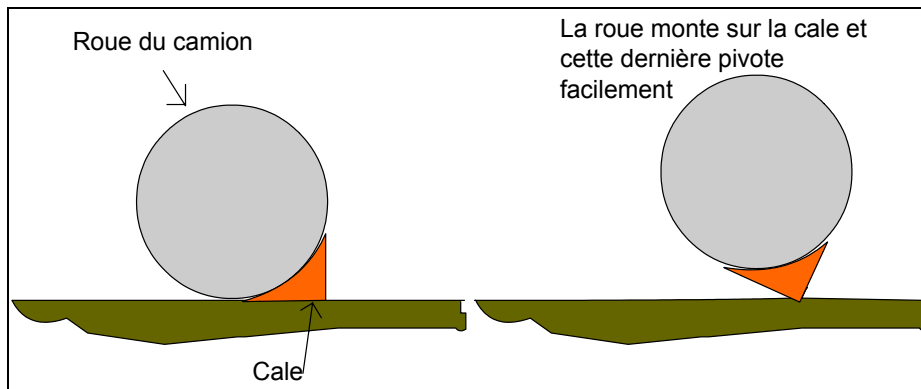


Figure 7. Pivotement de la cale

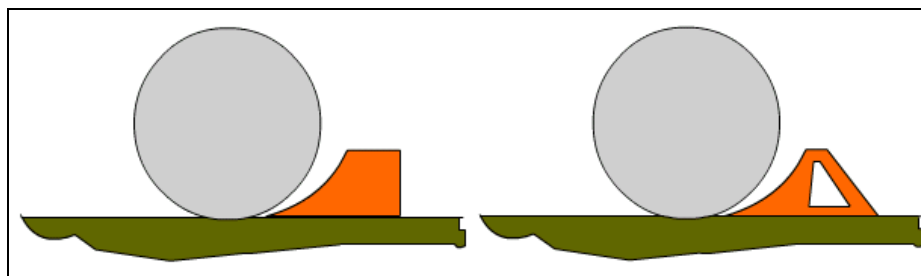


Figure 8. Cale réduisant les probabilités de pivotement

La troisième cause de défaillance est l'enfoncement de la cale dans le sol sous le poids de la semi-remorque. Quand la cale est partiellement enfouie dans la chaussée, elle n'oppose plus la même hauteur à la roue ni le même angle d'inclinaison, donc elle n'a plus la force de retenue qu'elle devrait normalement avoir. La figure 9 démontre sommairement ce principe. Ce problème se présente uniquement lorsque la chaussée est meuble (terre battue) et particulièrement avec les cales ayant une faible surface de contact avec le sol (cale supportée par le contour seulement ou par des pattes). Une façon simple de pallier à ceci est d'augmenter la surface de contact cale/chaussée, ainsi il sera plus difficile de creuser la chaussée.

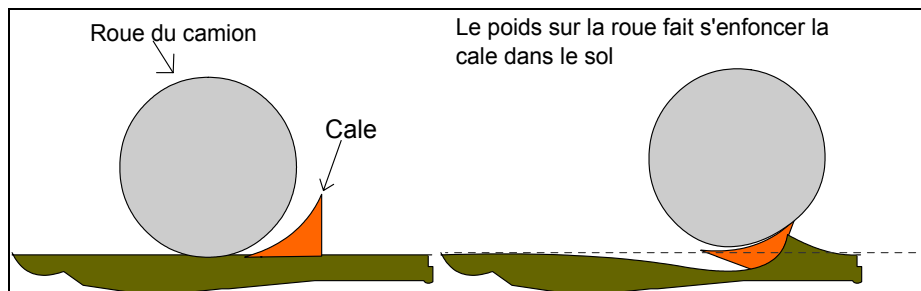


Figure 9. Cale s'enfonçant dans la chaussée

Vient ensuite l'écrasement de la cale, lorsque les cales sont composées d'un matériau mou elles peuvent être écrasées sous le poids de la roue du camion. À ce moment, la cale n'offre que peu de résistance à la semi-remorque (voir figure 10 tirée des essais sur les cales). La solution à ceci est tout simplement de fabriquer la cale dans un matériau plus solide. La norme SAE J348 demande une résistance à une charge verticale en fonction de la grosseur de la roue. Pour une roue de 56.8 cm (22 pouces) de rayon, ce qui est commun pour les semi-remorques rencontrées sur les routes, la cale doit résister à une charge uniformément répartie de 14 000 kg (30 800 lbs).



Figure 10. Cale écrasée sous le poids de la roue du camion

Finalement le cinquième mode de défaillance d'une cale de roue se résume simplement au passage de la roue de la semi-remorque par-dessus la cale. La cause principale de cette défaillance est la faible hauteur de la cale, conjuguée avec la déformation du pneu, ce qui était le cas pour quelques cales étudiées, mais tout particulièrement pour la section de 2x4. La norme SAE J348 indique une hauteur de cale en fonction du rayon de la roue de la semi-remorque, pour un rayon de 56,8 cm (22 pouces), une hauteur de cale de 29,8 cm (11.75 pouces) est requise.

Faute de temps et de moyens, l'équipe de recherche n'a pu réaliser tous les tests nécessaires pour démontrer l'effet de toutes les cales dans toutes les circonstances. Généralement un seul essai était effectué par cale dans des conditions données. De plus, le paramètre de l'inclinaison de la cour n'a pu être évalué, même si celui-ci a probablement une influence selon les simulations sur le glissement.

Ces essais ont permis de constater que, de façon évidente, la très grande majorité des cales de roues présentement utilisées au Québec ont une efficacité très limitée contre les événements dangereux de glissement ou de départ inopiné d'un camion du quai. D'autres conclusions n'étant pas reliées aux cales peuvent être tirées de ces essais. Lorsque la chaussée est sèche et asphaltée, la semi-remorque n'avance pas sous les forces de glissement (forces induites par

le chariot), ce qui est conforme aux résultats obtenus par la modélisation sur le glissement. Certains tests ont même été effectués sur des semi-remorques sans freins et la force de friction aux béquilles a été suffisante pour empêcher le mouvement. Il est à noter toutefois que ces essais ont été réalisés sur une surface sans inclinaison avec un chariot léger¹² et une vitesse relativement rapide, cependant il est possible de retrouver dans les établissements des chariots beaucoup plus lourds et/ou se déplaçant plus rapidement.

3.3.7 Modélisation des suspensions à air

La modélisation des suspensions à air a été entreprise suite aux commentaires de caristes recueillis lors des visites ainsi qu'à certaines mentions d'un problème de glissement dans quelques articles recensés dans la littérature. Dans la majorité des cas il était noté que les semi-remorques munies de suspensions à air causaient plus de problèmes de glissement que les semi-remorques équipées de suspension à lame. Dans la grande majorité des cas, aucune explication n'était fournie à ce phénomène. Il n'y avait que constatation d'un certain «avancement» de la semi-remorque lors des travaux de transbordement. Une modélisation a donc été nécessaire pour mieux comprendre le phénomène et déterminer s'il y avait effectivement une augmentation du niveau du risque de glissement lors de l'utilisation de ce type de suspension.

La modélisation a été effectuée sur le logiciel *MathCAD 2000* et simule l'effet des forces du chariot sur une semi-remorque équipée d'une suspension à air. La simulation a démontré qu'il était possible qu'une semi-remorque rampe (glisse) à cause de ce type de suspension. Lorsque la suspension est compressée, la semi-remorque tend à avancer bien que les roues arrières restent en place (voir figure 11). Lorsque le chariot avance un peu plus au fond de la semi-remorque, la charge appliquée sur les roues diminue et la suspension remonte. Cependant, puisque le chariot se trouve plus près des béquilles, la force de friction entre les béquilles et le sol devient plus grande que celle entre les roues et la chaussée. Les roues reviennent donc à leur position de repos non pas en faisant reculer la semi-remorque, mais en glissant de quelques millimètres vers l'avant. Une succession de ces petits glissements peut conduire à un avancement suffisant de la semi-remorque pour que la lèvre du pont niveleur tombe.

¹² Le chariot, sa charge et le conducteur totalisaient 3870 Kg, ce qui est considéré comme un chariot léger.

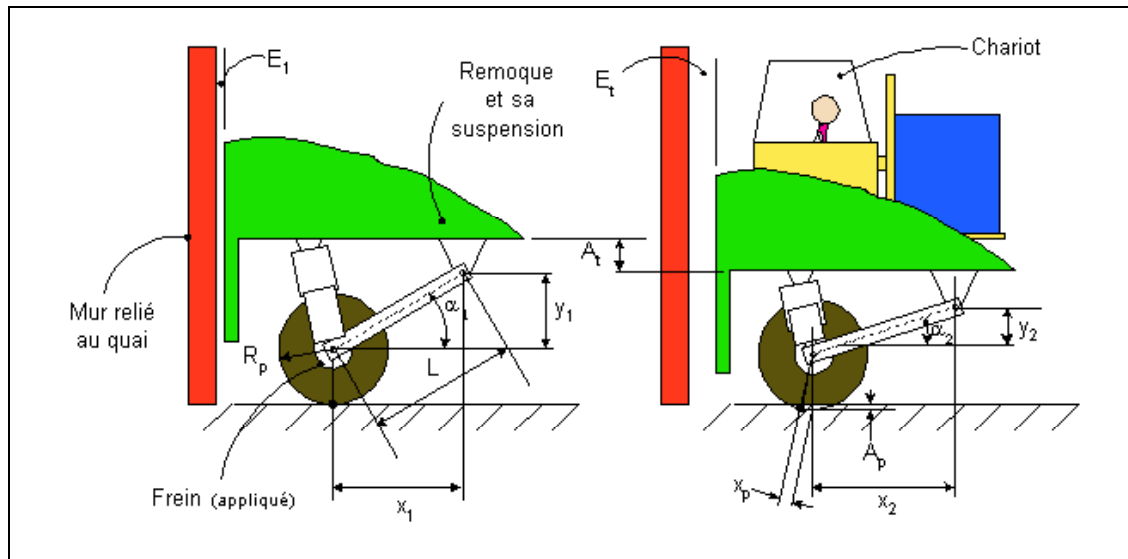


Figure 11. Rampage de la semi-remorque causé par une suspension à air

3.4 Description générale de l'outil

3.4.1 Concepts généraux de l'outil

Le but de l'outil est d'évaluer la sécurité aux quais de transbordement, de suggérer à l'évaluateur les moyens les plus efficaces pour améliorer la sécurité et fournir des informations selon le contexte sur les différentes mesures de retenue afin de lui permettre d'en retirer le maximum du point de vue sécurité. L'outil se divise en trois parties :

1. Un questionnaire de caractérisation contextuelle du quai;
2. Une grille d'évaluation de la sécurité et des mesures de retenue;
3. Des fiches de mise en œuvre des mesures de retenue.

Les prochains paragraphes présentent le détail de ces trois parties de l'outil. Un exemple d'un cas fictif évalué en utilisant l'intégralité de l'outil est présenté à l'annexe I.

3.4.2 Le questionnaire de caractérisation contextuelle

Ce questionnaire permet à l'évaluateur de définir précisément le contexte du quai pour lequel est réalisée l'évaluation en définissant un niveau de sécurité et l'efficacité des différentes mesures de retenue en se basant sur plusieurs paramètres jugés importants. Ces paramètres proviennent des analyses, modélisations et recherches effectuées au cours du projet. À noter que le questionnaire évalue uniquement les paramètres contextuels du quai et de l'établissement et ne tient pas compte de mesures de retenue déjà en place (qui sont évaluées dans la deuxième partie de l'outil).

Dans un premier temps, la transposition des résultats de l'analyse de risque vers l'outil s'est fait à partir des informations consolidées dans l'ADF global contenant l'ensemble des facteurs de

risques décrivant dans le détail la problématique. Les facteurs de risque ont été classés selon leur impact dans les quatre catégories suivantes :

- Impact sur l'événement dangereux de départ inopiné;
- Impact sur l'événement dangereux de glissement de la semi-remorque;
- Impact sur l'événement dangereux de basculement de la semi-remorque;
- Impact sur l'adéquation ou l'efficacité d'une mesure de retenue.

Par la suite, les facteurs de risque les plus importants de chacune des catégories ont été regroupés pour former le questionnaire d'évaluation contextuel. Ce questionnaire constitue l'élément de base pour la collecte des données servant à l'outil d'évaluation. Ses résultats alimentent une grille qui analyse les données pour faire ressortir le niveau de sécurité en fonction du contexte. Ce questionnaire se retrouve en annexe J et on y trouve une explication de chacune des questions et le justificatif de leur utilisation.

Le questionnaire a été réduit aux trente questions jugées les plus pertinentes dans l'évaluation de la sécurité et de l'efficacité des mesures de retenue. Chacune de ces questions offre à l'évaluateur un choix de réponses à cinq niveaux, la signification de chacune de ces cotes est expliquée dans le tableau 13. Si l'évaluateur reconnaît une de ces situations comme étant celle de l'établissement visé, il choisit la cote reliée à cet énoncé. Deux énoncés intermédiaires (cote 1 et 3) séparent les trois situations principales au cas où la situation ne rejoindrait pas parfaitement un des trois énoncés principaux. Le tableau 14 présente à titre d'exemple une des 30 questions du questionnaire.

Tableau 13. Signification des cotes du questionnaire

Cote	Signification
4	Situation la plus favorable, elle représente un contexte favorable
3	Cote intermédiaire entre 2 et 4
2	Situation médiane
1	Cote intermédiaire entre 0 et 2
0	Situation la plus défavorable

Une fois le questionnaire complété, l'évaluateur peut passer à la prochaine étape en important tout simplement les trente cotes caractérisant l'établissement. Les questions aident également à poser un regard critique sur la sécurité aux quais ciblés. Règle générale, une cote de 4 signifie un niveau de sécurité favorable ou un élément améliorant la sécurité alors qu'une cote de 0 signifie qu'il y a un risque plus grand ou qu'une certaine mesure de retenue risque de ne pas fonctionner. Cela ne veut pas pour autant dire qu'une cote de 4 doit être visée sur chaque question; chaque établissement a des contraintes pouvant empêcher d'améliorer un certain point du questionnaire. La grille d'évaluation contextuelle permet néanmoins d'analyser ces points faibles et d'orienter l'évaluateur dans la recherche de solutions permettant d'améliorer le contexte.

Tableau 14. Exemple d'une question

1. Nature de la chaussée de la cour

Cote	Énoncés
4	La chaussée est pavée (asphaltée ou bétonnée ou plaque spéciale au niveau des roues) et est en bon état.
3	Entre 2 et 4.
2	La chaussée est en gravier ou en pavé de mauvais état.
1	Entre 0 et 2.
0	La chaussée est en sable ou en terre battue.

3.4.3 La grille d'évaluation de la sécurité et des mesures de retenue

La grille d'évaluation de la sécurité et des mesures de retenue (figure 12) est basée sur une feuille de calcul *MS-Excel*. Ce support a été choisi en raison de sa simplicité ainsi que de la très grande disponibilité du logiciel dans les établissements. Elle utilise les résultats du questionnaire pour établir les niveaux de sécurité inhérents aux trois événements dangereux ainsi qu'une évaluation contextualisée de l'efficacité des différentes mesures de retenue. Cinq parties distinctes la composent, soit l'acquisition des cotes du questionnaire [partie A sur la figure 12], l'évaluation de la sécurité brute [partie B et C], l'évaluation des mesures de retenue [D], l'amélioration théorique maximale des mesures [E], l'amélioration réelle des mesures [F], le choix des mesures de retenue [G] et l'évaluation de la sécurité finale [H]. Les paragraphes suivants présentent le détail de chacune des différentes parties de la grille. Une description approfondie de cette partie de l'outil se retrouve également en annexe K.

Questions	Cote	Facteur de sécurité			Impact sur applicabilité et performance																						
		Départ inopiné	Glissement	Basculement	Impact	Dispositif de retenue de la barre anti-encastrement	Impact	Dispositif de retenue des roues (auto.)	Impact	Cale manuelle	Impact	Cale à déflexion de positionnement et plaque de retenue	Impact	Impact	Impact	Impact	Impact	Impact	Impact	Impact	Impact	Impact	Impact	Impact			
1 Nature de la chaussée	4	4																									
2 État de la chaussée aux abords du quai (glace, neige, sable, débris)	1	1			A	-10%	C	-40%	B	-20%	B	-20%															
3 État de la cour en hiver (déneigement)	1	1			A																						
4 Inclinaison de la cour	2	2	2																								
5 Espacement entre deux camions stationnés au quai (portes)	0																										
6 Nombre de portes sur ce quai	3	3																									
7 Numérotation des portes	4	4																									
8 Distance maximale de la plus proche porte d'accès extérieur	1																										
9 Présence de barres anti-encastrement (barres ICC)	3				C	0%																					
10 État général des semi-remorques	0				B	-10%																					
11 Longueur des semi-remorques	0	0	0																								
12 Nature et état de la suspension des semi-remorques durant le transbordement	2	2																									
13 Présence ou absence des tracteurs lors du transbordement	2	2	2																								
14 Différence de hauteur entre le quai et le camion	4	4																									
15 Longueur d'appui de la bavette du pont niveau	2	2																									
16 Masse combinée du chariot et de la charge transportée	2	2	2																								
17 Vitesse de circulation des chariots à l'entrée ou à la sortie des camions	4	4	4																								
18 Nombre camions transbordés durant la période la plus achalandée	3	3																									
19 Nombre de chariot transbordant simultanément un même camion (co-activité)	4	4																									
20 Temps de résidence d'un camion au quai	3																										
21 Temps disponible pour les conducteurs	3																										
22 Responsabilité du positionnement et du retrait des camions	3	0																									
23 Proportion des camionneurs reprenant la même semi-remorque	3	3																									
24 Gestion des camionneurs durant le transbordement	0	0			A	-20%	A	-20%																			
25 Rôle du réparateur, coordonnateur, planificateur ou contremaître	3	3			A	0%	A	0%																			
26 Autorisation de départ différée	3	3																									
27 Niveau de formation et d'expérience des caristes affectés au quai	3	3	3	3	A	0%	A	0%	A	0%																	
28 Qualité des règles et procédures pour les activités au quai	3	3			A	0%	A	0%	A	0%																	
29 Respect des règles et procédures par les employés de l'établissement pour les activités au quai	4	4	4	4	A	0%	A	0%																			
30 Respect des règles et procédures par les camionneurs qui se présentent au quai	0	0																									
Niveau de sécurité brut		2,54	2,38	2,38																							
Améliorations maximales possibles																											
	Départ inopiné	1,0	3,0	0,0		1,0	0,0	0,0	0,0	0,5	1,0	3,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Glissement	3,0	3,0	0,5		3,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Basculement	1,0	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	3,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Améliorations selon les conditions de l'entreprise																											
	Départ inopiné	0,6	1,2	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Glissement	1,8	1,2	0,0		0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Basculement	0,6	0,0	0,0		0,0	0,0	0,0	2,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Sélectionner mesures actuelles ou envisagées																											
Niveau de sécurité après mesures		2,54	2,38	2,38																							

Figure 12. La grille d'évaluation de la sécurité et des mesures de retenue

3.4.3.1 Acquisition des cotes du questionnaire [partie A]

Dans cette section, l'évaluateur n'a qu'à entrer les résultats du questionnaire de caractérisation contextuelle, une ligne de la grille correspond à chacune des questions. Ces cotes, toujours de 0 à 4, seront traitées dans les sections suivantes. Les résultats entrés dans cette section sont ensuite transposés aux autres sections automatiquement par le chiffrier.

3.4.3.2 Évaluation du niveau de sécurité brut [parties B et C]

Le niveau de sécurité du quai par rapport aux trois événements dangereux est déterminé à partir des cotes ayant une influence marquée sur chacun de ces événements. Par exemple, treize des trente questions ont une influence marquée sur l'événement dangereux de départ inopiné. Ces influences ont été établies à partir des résultats de l'analyse des risques. Les résultats entrés par l'évaluateur pour ces questions sont alors transposés automatiquement dans la partie [B] et utilisés pour déterminer le niveau de sécurité brut pour le risque de départ inopiné en calculant la moyenne des cotes. Règle générale, pour chacun des événements dangereux, l'impact de chaque question est semblable, une cote de «0» à une question a sensiblement le même impact qu'une cote de «0» à une autre question. Il y a cependant des exceptions à cette règle dans le cas de l'événement dangereux de basculement. En effet, quelques questions n'ont pas la même influence et le calcul de la moyenne ne peut s'appliquer dans toutes les circonstances. Trois règles spécifiques ont donc été établies pour tenir compte de ces exceptions, elles sont décrites en détail à l'annexe K.

Le résultat final de cette opération, qui se trouve à la partie [C], est le niveau de sécurité brut de chacun des trois événements dangereux. Le niveau de sécurité brut est une indication du potentiel de sécurité en référence au contexte général du quai, en faisant abstraction des mesures de retenue utilisées. Ces valeurs sont à la base du choix des mesures de retenue, chaque mesure implantée pouvant potentiellement améliorer le niveau de sécurité brut d'un ou plusieurs événements dangereux.

3.4.3.3 Évaluation du potentiel d'applicabilité et d'efficacité des mesures [partie D]

La recherche a démontré que l'applicabilité et l'efficacité des différentes mesures peuvent varier considérablement en fonction du contexte du quai. Par exemple, si les camions qui se présentent à un quai donné ne sont généralement pas équipés de barres anti-encastrement (comme c'est le cas des camions équipés de plate-forme élévatrice), les dispositifs de retenue de la barre anti-encastrement verront leur potentiel d'efficacité réduit considérablement. La partie [D] de la grille permet donc de déterminer un pourcentage de dévaluation du potentiel d'applicabilité et d'efficacité des différentes mesures en fonction du contexte du quai.

La détermination des pourcentages de dévaluation est fonction des résultats de la partie [A], chacune des trente questions pouvant réduire le potentiel d'efficacité des différentes mesures de retenue. Cependant, l'impact de chacune des questions varie en fonction des mesures concernées. Par exemple, pour l'efficacité potentielle des cales manuelles, la question 5 (distance entre les camions) a un impact beaucoup plus grand que la question 21 (temps disponible par les caristes). En effet, si le camionneur ne peut se glisser entre deux camions pour positionner la cale, celle-ci ne sera pas utilisée. Par contre, si les caristes manquent de temps pour vérifier que la cale est bien placée et agir en conséquence si elle ne l'est pas, on peut présumer que la cale sera tout de même utilisée dans la majorité des cas.

Pour tenir compte de ces différences, quatre règles d'impact ont été définies, soit A, B, C et E. La règle «A» signifie que la question a un impact négatif faible sur l'efficacité de la mesure, comme le temps disponible par les caristes de l'exemple précédent. Dans ce cas, si le résultat de la question (la cote) est de 2, 3 ou 4 alors l'efficacité de la mesure ne s'en trouverait pas réduite. Si la cote est de 1, la dévaluation de l'efficacité de la mesure sera de 10% et si la cote est de 0 sur la question alors la mesure est dévaluée de 20%.

La règle « B » a un impact modéré et la règle « C » a un impact majeur c'est à dire que la dévaluation de l'efficacité de la mesure est de 80% lorsque la cote de la question est «0». Ce contexte a pour effet d'éliminer pratiquement l'effet de la mesure comme dans l'exemple cité plus haut sur les cales : si l'espace est insuffisant entre deux camions pour aller porter une cale, alors la cale devient une mesure inefficace et inapplicable.

Pour ce qui est de la règle E, il s'agit d'une règle particulière associée à la question 20 (temps de résidence d'un camion au quai) en relation avec la mesure des « chandelles sous la semi-remorque ». En effet, dans le cas des mesures « procédure du tracteur attelé » et « procédure de retenue des clefs », si le temps de résidence du camion au quai est long, alors ces mesures sont difficilement applicables. Par contre, si la semi-remorque ne reste que quelques minutes au quai, c'est la mesure « chandelles sous la semi-remorque » qui devient difficilement applicable, en raison du temps requis pour procéder à cette opération. La règle « E » permet donc de tenir compte de ce cas particulier.

L'impact de ces quatre règles est résumé au tableau 15. L'impact de chaque question sur le potentiel d'applicabilité et d'efficacité de chaque mesure a été établi par les membres de l'équipe de recherche, parfois après de longues discussions, basés sur les différentes études et modélisations effectuées au cours du projet. Les justifications des choix de chaque règle d'impact dans la grille sont fournies à l'annexe K.

Tableau 15. Règles de dévaluation du potentiel d'applicabilité et d'efficacité des mesures

Cote -->	0	1	2	3	4	
Règle A	-20%	-10%	0%	0%	0%	Faible impact
Règle B	-40%	-20%	-10%	0%	0%	Impact modéré
Règle C	-80%	-40%	-20%	0%	0%	Impact majeur
Règle E	0%	0%	-10%	-20%	-40%	Impact modéré inverse

À partir des résultats entrés dans la partie [A], la feuille de calcul détermine automatiquement les pourcentages de dévaluation pour chaque mesure, ce qui donne la dévaluation totale de la mesure (avec un maximum de -100%). La figure 13 présente un cas simplifié avec 6 questions seulement. Par exemple, la cote de la question 25 est «0» et la règle d'impact est «A». En regardant le tableau 15, on remarque qu'au croisement de A et 0, la dévaluation est de -20%. De façon similaire, les questions 26 et 27 causent respectivement -10% et 0% de dévaluation. La question 28 n'a aucun impact sur l'efficacité de la mesure, il n'y a donc pas de dévaluation. La question 29 a un impact qui utilise la règle B, avec une cote de 3 ceci correspond à une dévaluation de 0%. Quant à la question 30, son impact de C et sa cote de 2 correspondent à -20% de dévaluation. En additionnant tous les pourcentages on obtient la dévaluation totale de -50%. Ces opérations sont effectuées automatiquement dans la feuille de calcul *MS-Excel*.

Questions	Cote	Impact	Signalisation intérieure/extérieure
25 Rôle du répartiteur, coordonnateur, planificateur ou contremaître	0	A	-20%
26 Autorisation de départ différée	1	A	-10%
27 Niveau de formation et d'expérience des caristes affectés au quai	2	A	0%
28 Qualité des règles et procédures pour les activités au quai	3		
29 Respect des règles et procédures par les employés de l'établissement pour les activités au quai	3	B	0%
30 Respect des règles et procédures par les camionneurs qui se présentent au quai	2	C	-20%
			-50%

Figure 13. Exemple de calcul de dévaluation totale

3.4.3.4 Potentiel d'amélioration maximal théorique de la sécurité par les mesures de retenue [partie E]

Le potentiel d'amélioration maximal théorique de la sécurité représente l'amélioration maximale à la sécurité que peut apporter une mesure de retenue en fonction des trois événements dangereux. Cette valeur est indépendante du contexte d'utilisation de la mesure. Par exemple la figure 14 montre que pour la mesure « dispositif de retenue de la barre anti-encastrement », l'amélioration potentielle maximale de la sécurité face au départ inopiné est de 1, elle est de 3 contre le glissement et de 1 contre le basculement. Cela signifie qu'un tel dispositif peut être très efficace pour contrer le glissement et qu'il sera, au mieux, d'une efficacité limitée contre les deux autres événements dangereux. Le potentiel d'amélioration de la sécurité de toutes les mesures de retenue a été ainsi évalué en relation avec chaque événement dangereux. Une valeur allant de 0 à 3 a été attribuée à chaque cas. Chaque valeur a été établie par l'équipe de recherche d'après les résultats des différentes études, simulations et essais. La justification des valeurs choisies est présentée à l'annexe K.

3.4.3.5 Amélioration réelle de la sécurité des mesures de retenue [partie F]

Tel qu'il en a été question au paragraphe précédent, la recherche a démontré que l'applicabilité et l'efficacité des différentes mesures peuvent varier considérablement en fonction du contexte du quai. Le potentiel d'amélioration maximal théorique de la sécurité de chaque mesure de retenue doit donc être ajusté en fonction du contexte particulier d'un quai donné. L'amélioration réelle de la sécurité des différentes mesures est donc déterminée en appliquant les pourcentages de dévaluation aux potentiels d'amélioration maximum théoriques de chaque mesure. Par exemple, à la figure 14, la dévaluation de la mesure du dispositif de retenue de la barre anti-encastrement (première colonne de chiffre à gauche) est de -40%. 40% a donc été

retiré de l'amélioration maximale possible contre le départ inopiné dont la valeur était 1. L'amélioration réelle de la mesure contre le départ inopiné dans ce contexte donné est donc de 0,6. De même, 40% a été retiré de la valeur 3 de la mesure contre le glissement pour une amélioration réelle de 1,8. Ce sont ces trois valeurs d'amélioration réelle de la sécurité pour chaque mesure qui sont importantes pour les autres étapes.

	Dispositif de retenue de la barre anti-encastrement	Dispositif de retenue des roues (auto.)	Cale manuelle	Cale à détection de positionnement et plaque de retenue
	-40%	-20%	-60%	-20%
Améliorations maximales possibles				
Départ inopiné	1.0	3	0	1
Glissement	3.0	3	0.5	3
Basculement	1.0	0	0	0
Améliorations réelles				
Départ inopiné	0.6	2.4	0	0.8
Glissement	1.8	2.4	0.2	2.4
Basculement	0.6	0	0	0

Figure 14. Améliorations maximales et réelles des mesures de retenue

3.4.3.6 Choix des mesures de retenue [partie G]

Dans cette partie de l'outil, l'évaluateur doit sélectionner les mesures de retenue déjà utilisées dans l'établissement (en cochant les cases correspondantes, voir la figure 15), puis faire une évaluation du niveau de sécurité actuel (décrit au paragraphe suivant). Si le niveau de sécurité est acceptable pour les trois phénomènes dangereux, les démarches peuvent être arrêtées. Cependant, si le niveau de sécurité est jugé insuffisant, l'évaluateur doit faire un ou plusieurs choix parmi les mesures de retenue proposées dans l'outil et regarder à nouveau le niveau de sécurité final. Ce processus est itératif jusqu'à ce que le niveau de sécurité relatif aux trois phénomènes dangereux soit acceptable.

Questions	Cote	Départ inopiné	Glissement	Basculement	Impact	Dispositif de retenue de la barre anti-encastrement	Impact	Dispositif de retenue des roues (auto.)	Impact	Cale manuelle	Impact	Cale à détection de positionnement et plaque de retenue	Impact	Procédure du tracteur attelé	Impact	Chandelle sous la semi-remorque
		Améliorations selon les conditions de l'entreprise														
			Départ inopiné			0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
			Glissement			0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
			Basculement			0,0		0,0		0,0		0,0		0,0		0,0
			Sélectionner mesures actuelles ou envisagées													
						x				x						

Figure 15. Exemple de sélection de mesures de retenue

3.4.3.7 Évaluation de la sécurité finale [partie H]

Les trois valeurs obtenues à cette étape (figure 16) sont le résultat final de l'outil d'évaluation et indiquent le niveau de sécurité du départ inopiné, du glissement et du basculement respectivement. Elles proviennent de l'addition des améliorations réelles de la sécurité des mesures de retenue sélectionnées avec le niveau de sécurité brut du quai.

Niveau de sécurité après mesures actuelles ou envisagées	4,69	3,72	4,00
---	------	------	------

Figure 16. Exemple de résultat final

En utilisant de concert la partie [G] et la partie [H] de l'outil, l'évaluateur doit sélectionner des mesures jusqu'à ce que le niveau de sécurité lui paraisse acceptable. Cependant ce niveau acceptable peut différer d'une personne à l'autre. Pour les besoins internes du projet de recherche, l'équipe de recherche a établi le barème suivant :

- un résultat inférieur à 3 : sécurité trop faible, requiert une action immédiate;
- un résultat entre 3 et 4 : sécurité moyenne, une amélioration serait souhaitable;
- un résultat supérieur ou égal à 4 : bon niveau de sécurité, la situation peut être jugée acceptable.

Il est toutefois important de préciser qu'il appartient à l'évaluateur de déterminer lui-même son propre barème en fonction de ses expériences propres et des caractéristiques propres à l'établissement qui fait l'objet de l'évaluation.

Pour aider l'évaluateur dans sa démarche de sélection des mesures de retenue appropriées, les améliorations apportées par chaque mesure sur chacun des trois événements dangereux sont visibles sur l'outil. Par exemple, si une faiblesse est constatée au niveau du glissement, le choix de l'évaluateur doit porter sur une mesure améliorant la condition de glissement. Dans l'exemple de la figure 15, la mesure de dispositif de retenue de la barre anti-encastrement serait intéressante puisqu'elle offre une amélioration réelle de la sécurité contre le glissement d'une valeur 1,5. À l'inverse, la chandelle sous la semi-remorque (la dernière mesure à droite) n'est d'aucune utilité contre cet événement dangereux (valeur d'amélioration réelle de la sécurité

contre le glissement égal à 0). Néanmoins, l'outil se veut être une aide à la sélection des mesures de retenue et ne prétend pas à la vérité absolue. Il convient donc pour l'évaluateur de poser un regard critique sur les résultats obtenus et de faire un choix réfléchi en fonction des besoins et des ressources de l'établissement. Par exemple, certaines mesures viennent avec de fortes contraintes procédurales qu'il faudra implémenter, alors que d'autres demandent des investissements importants.

3.4.4 Les fiches d'information pour la mise en œuvre des mesures

Une fois que l'outil a permis à l'évaluateur de définir un scénario adéquat qui permettra d'obtenir un niveau de sécurité acceptable, l'établissement doit procéder à l'implantation des mesures choisies. Pour ce faire des fiches d'information ont été conçues pour la mise en œuvre des différentes mesures.

Ces fiches, présentées à l'annexe L, contiennent l'information nécessaire pour une implantation adéquate de nouvelles mesures ou pour améliorer l'implantation de mesures existantes. Elles ont été construites à partir des données obtenues lors des essais, études et analyses réalisés, lors des visites d'établissements, par l'étude des dispositifs, par l'analyse de la littérature et enfin, par le jugement d'experts (membres du comité de suivi, personnes interviewées lors des visites, représentants des fabricants). Toutes les données pertinentes concernant les mesures de retenue recueillies au cours du projet s'y retrouvent colligées. L'information contenue dans ces fiches doit être utilisée judicieusement. Il est en effet impossible de cibler toutes les situations possibles dans l'ensemble des établissements et c'est pourquoi les fiches doivent être utilisées comme des guides et non comme une norme stricte. Les points les plus importants ayant été repérés et décrits dans les fiches, il est de la responsabilité de l'établissement d'adapter ces informations en fonction de ses besoins.

Une fiche a été complétée pour chacune des 11 mesures et chacune se divise en trois sections¹³, soit les considérations physiques, les considérations d'implantation et les considérations procédurales.

- Les considérations physiques regroupent tous les paramètres dont devrait tenir compte l'établissement lorsqu'elle veut acquérir ou fabriquer l'équipement nécessaire à une mesure de retenue.
- Les considérations d'implantation regroupent toutes les opérations qui doivent être entreprises lors de l'implantation, tant sur le plan physique qu'organisationnel, de la mesure de retenue. On y retrouve par exemple des informations sur la formation nécessaire, la mise en place des procédures ou l'installation d'un dispositif. Il est à noter que lors de la formation, les employés devraient être sensibilisés aux trois événements dangereux ciblés dans cette étude, ainsi qu'aux limites des différentes mesures de retenue. Aucune mesure n'est parfaite et une erreur humaine ou une méconnaissance d'une mesure peut conduire à un accident.
- Les considérations procédurales, elles regroupent toutes les informations concernant les procédures qui viennent de pair avec chaque mesure. Les points importants et nécessaires au bon fonctionnement des mesures de retenue y sont énumérés. Les procédures qui y sont décrites sont génériques et doivent être adaptées aux conditions particulières de l'établissement.

¹³ La procédure de tracteur attelé et la procédure de relation poids chariot – longueur semi-remorque n'ont des informations que dans les deux dernières sections.

3.5 Validation de l'outil

L'outil d'évaluation a été élaboré en s'appuyant sur le jugement des membres de l'équipe de recherche; jugement basé sur les données obtenues au cours de la recherche. Une démarche de validation de l'outil s'avérait donc nécessaire afin de s'assurer qu'il permettait effectivement de réaliser une évaluation juste et suffisante de la sécurité des différentes mesures de retenues en fonction d'un contexte donné. L'outil a été utilisé pour l'évaluation de douze installations existantes dans des établissements ciblés. Ceci a entre autre permis à l'équipe de recherche de mettre à l'essai le questionnaire de caractérisation contextuel et la grille d'évaluation de la sécurité et des mesures de retenue dans un contexte réel.

Les résultats des évaluations ont ensuite été analysés afin d'évaluer la validité de l'outil. Les chercheurs ont d'abord vérifié si l'application de l'outil d'évaluation permettait de produire des résultats qui correspondaient bien à la réalité. À cette fin, les niveaux de sécurité obtenus par l'application de l'outil ont été confrontés à l'historique d'incident et d'accident du quai concerné. Ensuite, à la lumière des informations recueillies, chacun des paramètres de l'outil a été évalué par les chercheurs quant à leur adéquation avec la situation réelle. Il s'agissait de déterminer si le résultat obtenu pour chaque paramètre correspondait à la réalité. Par exemple, les chercheurs ont déterminé l'influence du paramètre « inclinaison de la chaussé » sur le risque de glissement de la semi-remorque en comparant l'impact de ce paramètre défini dans l'outil avec l'historique du quai.

Suite à cette étude de validation, quelques ajustements ont été apportés à l'outil afin de corriger certaines lacunes observées par les chercheurs. Certaines questions ont été modifiées pour qu'elles soient sans équivoques et plus précises, deux autres ont été modifiées dans le cadre de la validation des résultats numériques. Quant à la grille d'évaluation de la sécurité, l'étude de validation a permis de repérer des résultats qui n'étaient pas conformes au niveau de sécurité réel. En effet, certaines cotes de sécurité s'avéraient généralement faibles alors qu'il n'y avait pas d'incidents ou d'accidents et vice-versa. Certaines modifications ont alors été apportées à la distribution des règles de dévaluation dans la grille pour tenir compte des irrégularités identifiées.

Une nouvelle version de l'outil a alors été créée et les cotes des douze visites de validation ont été réintégrées dans ce nouvel outil. Une fois de plus, quelques irrégularités ont été repérées et une nouvelle série de modifications a été apportée. Cette dernière version a également été mise à l'épreuve avec les résultats des douze visites de validation. Cette fois-ci, les résultats correspondaient d'avantage avec la réalité. L'annexe M contient le détail de l'étude de validation, les résultats de l'outil original et des deux phases de modification ainsi qu'une explication de chacune des modifications importantes effectuées.

4 DISCUSSION ET CONCLUSION

4.1 Limites de l'outil et applicabilité des résultats

L'objectif principal de ce projet de recherche était de produire un outil d'évaluation de la sécurité des mesures de retenue des camions aux quais de transbordement.

Bien que l'outil puisse suggérer les caractéristiques intéressantes qu'un système devrait avoir pour être efficace selon le contexte de l'établissement, il ne peut pointer directement sur un modèle disponible sur le marché. Il est d'ailleurs possible qu'aucun modèle sur le marché ne regroupe toutes les caractéristiques nécessaires à une parfaite optimisation de la mesure de retenue. L'outil se limite également aux cas standards rencontrés dans l'industrie et ne peut prévoir toutes les exceptions. Par exemple, les solutions suggérées par l'outil ne seraient pas nécessairement adaptées à un entrepôt construit sur pilotis (qui ne peut s'accommoder de certains modèles de dispositifs).

De plus, une certaine formation est nécessaire au bon fonctionnement de l'outil. Il ne peut, à l'état actuel, être utilisé efficacement par des gens n'ayant reçu aucune formation.

Tel que présenté précédemment, cet outil est basé sur une analyse détaillée de la sécurité des différents types de mesures. Ceci constitue également un résultat intéressant si l'on considère le point de vue des fabricants, vendeurs et installateurs de ces systèmes. Les fabricants, entre autres, pourront utiliser les résultats du présent projet pour améliorer la sécurité de leurs produits.

L'outil a été conçu pour faire un choix éclairé parmi les systèmes offerts et ceci en fonction de la sécurité recherchée ainsi que des contraintes d'opération, environnementales et économiques spécifiques à chaque installation. Il ne permet donc pas de faire un classement hors contexte des différents systèmes de retenue disponibles.

4.2 Suite au projet et retombées envisagées

Le résultat ultime de ce projet était de transférer l'outil et les compétences requises aux personnes désignées par le milieu pour évaluer les mesures de retenue et sélectionner celles répondant le mieux aux exigences de sécurité, tout en considérant les particularités du milieu de travail dans lequel ces mesures seront mises en oeuvre. Toutefois, l'outil d'évaluation développé dans le cadre de cette recherche n'a pas été conçu pour une diffusion immédiate. Il devra être adapté et donner lieu à un guide d'évaluation associé à une formation spécifique permettant aux personnes concernées d'utiliser l'outil de façon adéquate. Cette seconde phase devrait normalement être pilotée par les personnes et les organismes qui seront appelés à faire usage de l'outil dans leurs activités professionnelles de prévention. Cette prise en charge par le milieu est importante pour que les connaissances générées au cours de cette recherche puissent être adaptées aux besoins spécifiques des personnes concernées.

La diffusion des connaissances générées au cours de cette recherche permettra vraisemblablement d'orienter le choix des mesures de retenue vers des solutions optimales du point de vue de la sécurité tout en étant réaliste pour l'établissement. On peut également s'attendre à certains impacts au niveau de la conception des dispositifs. En effet, puisque les demandes des évaluateurs seront plus précises, mieux définies et basées sur des informations

solides, ceci devrait encourager les fabricants de ces dispositifs à s'ajuster aux nouvelles exigences de leurs clients.

5 BIBLIOGRAPHIE

American Trucking Association (1996). Results of Underride Guard Survey.

Anonyme (2001) Near Miss Leads to Dock Safety Upgrades. Modern Material Handling, Octobre 2001. pp. 81.

ABT, W. et LAUMAN, H.J. « Accidents and Types of Accidents on Fork Lift Trucks » – A Statistical Analysis, HSE translation N° 7846. London, England: Health and Safety Executive, Translation services, (août 1983).

BENOÎT, R. et BÉLANGER, M. Dispositifs d'ancrage de camions – Recueil d'informations techniques, IRSST, Montréal, Études et Recherche, Rapport R-165, 26 p., (août 1997).

BOULIANE, P. et DALIÈRE, M. Guide de prévention - Chariots élévateurs, Montréal, Québec : Association sectorielle Transport Entreposage, 1986.

CHARRON, F. et GAUTHIER, F. Avant-projet de recherche sur la sécurité dans l'utilisation des chariots élévateurs. Rapport final, Groupe de recherche en ingénierie simultanée de l'Université de Sherbrooke, Sherbrooke, 41 p., (février 1996).

EN 1050 (1995) Sécurité des machines - Principes pour l'appréciation du risque, Comité Européen de Normalisation, 21 p.

IRSST (1995) Analyse d'accidents graves. Document résumé préparé par les membres de l'équipe de recherche. Avant projet de recherche sur les chariots élévateurs, document non publié.

KETCHPAW, B.E. « Changes at the Loading Dock: Safety for the Next Decade », Professional Safety, décembre 1988.

KETCHPAW, B.E. « Don't Let Your Dock Area Get Out of Hand », Safety & Health, novembre 1989.

OSHA Preambles – Truck Training, IV. Studies of Accidents and Injuries Data and Training Effectiveness, part A,
Site internet http://www.osha-slc/Preamble/TT_html/TRUCK_TRAINING4.html (15 septembre 1999).

OSTBERG, O. et SVENSSON, G. « Fork-lift Trucks, Drivers and Safety at the Warehouse: an Analysis of Critical Incidents », Goteberg Psychological Reports, vol. 3, N° 1, p. 1-8, (1973).

SAE J348, Wheel Chocks, Truck And Bus Chassis and Powertrain Committee, Society of Automotive Engineers, Warrendale, juin 1990.

TISSERAND, M. et ENGLERT, M. Exigences minimales de visibilité au poste de conduite des chariots élévateurs, Vandoeuvre, France : Institut National de Recherche et de Sécurité, Centre de Recherche, 1983.

TISSERAND, M. et SCHOULLER, J. F., Visibilité au poste de conduite des chariots élévateurs. 1^{re} partie - Analyse des projets de normes, Vandoeuvre, France : Institut National de Recherche et de Sécurité, Centre de Recherche, 1978.

HELLA F., TISSERAND, M. et SCHOULLER, J.F. « Analysis of Eye Movements in Different Tasks Related to the Use of Lift Trucks », Applied Ergonomics, vol. 22, N° 2, p. 101-119, (avril 1991).

FMVSS N° 223 Rear Impact Guards for Trailers and Semitrailers subject to FMVSS N° 224, Rear Impact Protection, (janvier 1998).

FMVSS N° 224 Rear Impact Protection- Trailers, Semitrailers with Gross Vehicle Weight Rating of 4 500 kg (10 000 lbs) or more, (janvier 1998).