

Sécurité des outils, des machines et des procédés industriels

Études et recherches

RAPPORT R-601



Chariots élévateurs

**Étude ergonomique et analyse
des stratégies de conduite des caristes**

*Steve Vezeau
Priscille Haste
Denis Giguère
Nicolas Gagné
Christian Larue
Jean-Guy Richard
Denys Denis*



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

Mission *travaillent pour vous !*

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 preventionautravail@resourceintegration.ca

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales
2009

ISBN : 978-2-89631-349-5 (version imprimée)

ISBN : 978-2-89631-350-1 (PDF)

ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
Télécopieur : 514 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
février 2009

Sécurité des outils, des machines et des procédés industriels

Études et recherches

RAPPORT R-601

Chariots élévateurs Étude ergonomique et analyse des stratégies de conduite des caristes

Avis de non-responsabilité

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

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

Steve Vezeau¹, Priscille Hastey¹, Denis Giguère³ et Nicolas Gagné¹

*Avec la collaboration de :
Christian Larue³, Jean-Guy Richard⁴ et Denys Denis²*

¹ *Groupe 3D - UQAM*

² *Service de la recherche, IRSST*

³ *Service soutien à la recherche et à l'expertise, IRSST*

⁴ *IRSST*



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

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSS

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

REMERCIEMENTS

Nous tenons à transmettre nos plus sincères remerciements à l'ensemble des personnes qui ont permis d'assurer la réussite de cette recherche.

Nos remerciements les plus sincères à Madame **Sylvie Beaugrand**, ergonomiste, de l'IRSST pour son implication soutenue dans le projet, notamment sur les questions touchant l'analyse de risques.

Nos remerciements aux collègues responsables du volet « modélisation » de cette programmation, Mme **Marina Koutchouk** et MM. **Michel Gou** et **Carl-Éric Aubin**, École polytechnique de Montréal, ainsi que MM. **Denis Rancourt** et **Pierre-Étienne Bourret**, Université de Sherbrooke, pour leurs précieux commentaires.

Également, nos remerciements à nos collègues des laboratoires EPAP et MSMP de l'Institut national de recherche et de sécurité en France (INRS) travaillant aussi sur la problématique des chariots élévateurs, spécialement Mmes **Florence Hella** et **Liên Wioland** et MM. **Jean-François Schouller**, **Jérôme Rebelle** et **Pierre Lemerle**, avec qui nous avons eu plusieurs échanges très enrichissants et agréables.

Nos plus sincères remerciements aux **membres du comité de suivi** pour leurs précieux commentaires.

Nous tenons à remercier Mmes **Alexandra Gagnon** et **Anik Caron** du Groupe AST, M. **Gervais St-Pierre** de l'ASSPQ et M. **Denis Lincourt** et Mme **Sylvie Villeneuve** de Préventex, pour leur précieuse collaboration et les démarches effectuées auprès des entreprises qui ont participé à cette recherche.

Nous aimerions adresser nos remerciements plus particuliers à l'ensemble des **caristes** et du personnel ayant participé à l'étude pour leur grande coopération, leur disponibilité et leur sympathie et ce, à n'importe quel moment de la journée ou de la nuit où nous étions présents. Nos remerciements à Mme **Marlène Duval** et MM. **Gino Lavoie**, **Ghislain Leclerc**, **Tony Lévesque**, **Jean-Claude Pérusse** et **Lucien Piché**, pour nous avoir guidé dans leur entreprise et pour nous avoir permis de réaliser cette étude dans des conditions plus que favorables.

De plus, il nous apparaît indispensable de souligner la contribution des collègues suivants :

- M. **Benjamin Blanc** de la société Immervision qui a aidé à l'élaboration d'un outil d'aide à l'observation.
- MM. **Richard Croisetière** et **Anastasios Anastasiopoulos**, étudiants au DESS en design d'équipements de transport, École de design, UQAM, pour leur travail sur l'élaboration de pistes de solutions.
- M. **Franck Catorc**, étudiant au DESS en Design d'équipements de transport, École de design de l'UQAM et **Mathieu Oberdoff**, stagiaire à l'IRSST, qui ont contribué à la préparation de l'instrumentation des chariots.
- Mme **Véronique Laflamme**, agente de recherche au Groupe 3D, pour la revue de l'existant et l'analyse des rapports d'enquête d'accidents graves et mortels.
- M. **Jonathan Lévesque**, étudiant de l'École de technologie supérieure (ETS), qui a grandement contribué à la préparation, puis le montage des instruments sur les chariots dans les différents terrains d'études ainsi que pour sa participation lors de la cueillette des données.
- Mme **Chloé Thuilier**, d'abord étudiante au DESS en ergonomie, sciences biologiques, UQAM, puis agente de recherche, Groupe 3D, UQAM, pour son précieux travail d'analyse dans le protocole sur les postures de travail pendant la conduite.
- M. **Angel Alberto Toyos**, étudiant au Doctorat en sciences biologiques de l'UQAM, qui a fait une réflexion spécifique sur les critères permettant de choisir un chariot élévateur mieux adapté à l'activité et sur l'importance de prendre en compte le contexte d'utilisation lors du choix de chariot.
- M. **Steve Vigneault**, professionnel scientifique, programme sécurité-ingénierie, IRSST, pour avoir mené la veille technologique et scientifique avec autant de constance et de rigueur.

Nous remercions aussi MM. **Denis Audette** et **Denis Gaumont** du service de la conciergerie et de la logistique (SCOL), UQAM, ainsi que M. **Denis Buissière** du quai de réception de l'École polytechnique de Montréal, pour nous avoir gracieusement prêté leurs chariots et installations pour le développement de l'instrumentation du chariot.

Finalement, merci à tous ceux et celles que nous avons pu oublier et qui ont permis d'enrichir cette recherche.

SOMMAIRE

Cette étude ergonomique a pour but d'identifier les situations, événements ou conditions d'exécution du travail qui amènent les caristes et les autres travailleurs en coactivité à se retrouver dans des situations à risques. Elle vise à mieux comprendre et décrire l'activité qu'ils déploient et à identifier les déterminants du travail (chariot, charge, formation, aménagement, organisation) pouvant affecter leur sécurité et leur efficacité, notamment des collisions et des renversements. Les chariots élévateurs figurent parmi les équipements qui ont contribué à réduire considérablement la pénibilité des tâches de manutention. Cependant, ils sont également la cause de plusieurs accidents. En France, on recense chaque année plus de 8000 accidents avec arrêt, près de 800 accidents avec incapacité permanente, 13 décès et des coûts directs estimés à 45 millions d'euros. Au Québec, entre 1995 et 2000, on enregistre 4 142 cas d'indemnisation liés à un accident de chariot élévateur totalisant des débours de plus de 16 millions de dollars.

L'analyse ergonomique réalisée avec cinquante caristes (38 expérimentés et 12 novices) sur trois terrains (expédition et réception d'une papetière, et une cour à bois) a été effectuée grâce à l'observation instrumentée de l'activité des caristes (différents capteurs sur le chariot et plusieurs caméras vidéo) et à des entretiens effectués avec différents acteurs de la situation. Les observations ont porté sur les modes opératoires, les postures et la position des mains du cariste sur les leviers. Une analyse de la prise d'information visuelle (PIV) durant la conduite (port d'un oculomètre) a été effectuée pour documenter l'endroit où ils portent leur regard. Une analyse des traces a été faite pour comprendre l'influence des contraintes temporelles. Des entretiens dirigés et d'autoconfrontation ont été menés pour mieux comprendre les contraintes, la PIV, la gestion des risques liés à la tâche et les stratégies développées pour réaliser le travail. Les chariots élévateurs à contrepoids de 2 à 6 tonnes ont été choisis, car ils sont impliqués dans 65 % des accidents graves et mortels Tellier (1995) [54].

Les résultats montrent que le métier de cariste ne consiste pas seulement à conduire un véhicule, mais à mettre à profit des savoir-faire qui assurent la fluidité des mouvements et aident à gérer avec efficacité le transport de la marchandise et la sécurité. Le guidage et contrôle de la charge, la recherche de matériel et le travail de précision sont exigeants du point de vue de l'attention visuelle et sollicitent une prise d'information à la fois visuelle, auditive et proprioceptive pour prévenir les risques de collision et de renversement. Les obstructions visuelles liées à l'environnement et au chariot élévateur et ses équipements de levage masquent des informations nécessaires pour prévenir les accidents. La coactivité est importante dans les voies de circulation et les carrefours alors que les règles de priorité sont floues et non partagées par l'ensemble des travailleurs. Compte tenu de la forte concurrence, les aires d'entreposage et les voies de circulation sont exigües et encombrées, et engendrent du « déterrage » et des risques de collision. La conception des chariots élévateurs est déficiente et pourrait ne pas favoriser l'utilisation des dispositifs de retenue du cariste. Finalement, l'étude montre qu'il faut continuer la prévention pour sensibiliser les travailleurs sur les risques du travail en hauteur et à proximité de charges manipulées. Finalement, les recommandations visent entre autres à améliorer le design du chariot et de ses accessoires, l'aménagement des lieux, le repérage de la marchandise, l'organisation du travail et la formation des caristes et autres travailleurs en coactivité.

AVANT PROPOS

Ce document présente le rapport de recherche du projet 99-296 de la programmation de recherche intitulée : « *Amélioration de la conception des situations de travail impliquant des chariots élévateurs : Étude ergonomique et analyse des stratégies de conduite des caristes* ».

Des chercheurs en ergonomie, en design et en modélisation de l'Université du Québec à Montréal (UQAM), de l'IRSST, de l'École polytechnique de Montréal, de l'Université de Sherbrooke et de l'Institut national de recherche et de sécurité en France (INRS), ont initié une collaboration en 2003 pour tenter de diminuer la gravité des accidents liés à l'utilisation des chariots élévateurs, plus spécialement ceux impliquant des collisions et des renversements. Ces travaux s'inscrivent dans une programmation de recherche en deux volets : un volet en ergonomie visant à comprendre l'activité du cariste et un volet en modélisation visant à développer un outil de simulation numérique permettant d'évaluer l'efficacité des dispositifs de sécurité en cas de renversement du chariot.

Comme l'illustre la Figure 1, une première activité de consultation de la littérature et d'intervenants réalisée au début 2003 a permis de prendre connaissance de la problématique, d'élaborer une programmation de recherche intégrée sur les chariots, de découper les travaux selon différentes phases pour le volet « ergonomie » et de les orienter en fonction de trois futurs axes de recherche jugés pertinents selon les investigations effectuées : i) développer un indicateur de stabilité, ii) aménager la conduite en marche arrière et iii) développer une méthode d'évaluation des dispositifs de sécurité. Ces orientations ont guidé les choix méthodologiques pour la recherche faisant l'objet du présent document. Ainsi, une seconde phase a permis de documenter le projet, notamment la variabilité des chariots à contrepoids, d'instrumenter l'analyse et de préparer les terrains. La troisième phase, faisant l'objet de ce rapport, visait à étudier le travail des caristes, à identifier des pistes de solution et à enrichir et vérifier la pertinence des axes de recherche identifiés.

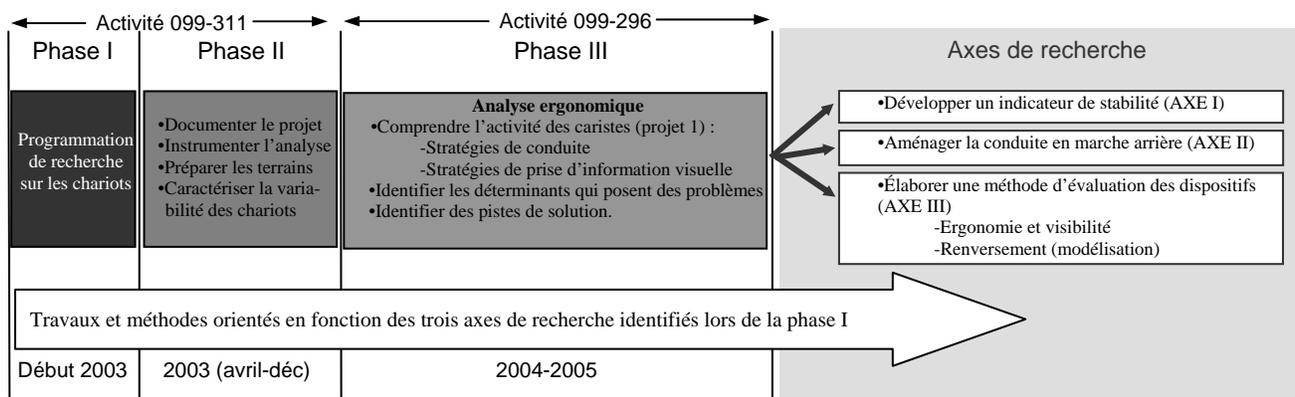


Figure 1 : Programmation sur les chariots élévateurs - Volet ergonomie (mars 2003)

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	I
SOMMAIRE	III
AVANT PROPOS.....	V
TABLE DES MATIÈRES	VII
LISTE DES TABLEAUX.....	XI
LISTE DES FIGURES.....	XIII
1. INTRODUCTION.....	1
2. PROBLÉMATIQUE.....	3
2.1. <i>Contexte général des VIM</i>	3
2.2. <i>Le cas des chariots élévateurs : les statistiques d'accidents</i>	3
2.3. <i>Les problèmes de renversements et de collisions</i>	5
2.4. <i>La nécessité de mieux comprendre l'activité des caristes</i>	6
2.5. <i>Les objectifs de la recherche</i>	8
3. MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE	11
3.1. <i>Les terrains d'études</i>	12
3.1.1 Poste de cariste à l'expédition d'une papetière (T1).....	12
3.1.2 Poste de cariste à la manutention de rouleaux et au ravitaillement des machines (T2)...	13
3.1.3 Poste de cariste à la manutention de matériaux de construction dans une cour extérieure (T3)	14
3.2. <i>Analyse de l'activité des caristes</i>	14
3.2.1 Les caristes ayant participé à l'étude	15
3.2.2 Instrumentation utilisée.....	15
3.2.2.1 Le chariot instrumenté et l'odométrie.....	15
3.2.2.2 Capture vidéo sur le chariot et sur le terrain	16
3.2.2.3 Enregistreur d'événement (Actopalm).....	16
3.2.2.4 L'oculomètre	16
3.2.3 Déroulement des observations	17
3.2.4 Traitement et analyse des données.....	17
3.2.4.1 Relevé et codification des points de regard pour la PIV	18
3.2.4.2 Entretiens	19
3.2.4.3 Les postures pendant la conduite	19
3.2.4.4 Déplacements et vitesses.....	21
3.2.4.5 Analyse de la coactivité dans les carrefours	21
3.2.4.6 Relevé de la marchandise (poids, caractéristiques, bris)	21
3.3. <i>Caractérisation des lieux, des chariots et des équipements</i>	21
4. RÉSULTATS	23

4.1.	<i>Le métier de cariste : mettre à profit des savoir-faire d'expérience pour gérer avec efficacité le transport de la marchandise et la sécurité</i>	23
4.1.1	La variabilité de la marchandise	24
4.1.2	La gestion des stocks : de la préparation, de la planification, du repérage, des responsabilités, des décisions et des contraintes temporelles	24
4.1.3	L'activité de conduite du chariot	28
4.1.3.1	Monter et descendre du véhicule	28
4.1.3.2	Les flexions et rotations pour réaliser l'activité.....	29
4.1.3.3	Le positionnement des mains pendant la conduite.....	30
4.1.3.4	La gestion de la stabilité.....	32
4.1.3.5	Les surfaces de roulement et les éléments accidentogènes	33
4.1.4	Le chargement des remorques : de nombreux critères à prendre en compte	34
4.1.5	Conclusion : le cariste comme agent de gestion de la marchandise et de la sécurité	35
4.2.	<i>La prise d'information chez les caristes : à la fois visuelle, auditive et proprioceptive</i> .	36
4.2.1	La prise d'information visuelle chez les caristes	36
4.2.1.1	Des cibles significatives liées à la tâche et à la sécurité	36
4.2.1.2	Le guidage et le contrôle de la charge, la recherche de matériel et le travail de précision : trois tâches exigeantes du point de vue de l'attention visuelle du cariste.....	36
4.2.1.3	Les obstructions visuelles liées à l'environnement et au chariot élévateur masquent des informations nécessaires pour prévenir les risques de collisions.....	42
4.2.1.4	La détection des personnes accroupies	44
4.2.1.5	La prise d'information visuelle lors de la conduite en marche arrière.....	44
4.2.1.6	Des étiquettes et des accessoires pour aider la prise d'information visuelle	46
4.2.2	La prise d'information auditive chez les caristes.....	49
4.2.2.1	Les bruits utiles pour les caristes	49
4.2.2.2	L'utilisation du klaxon et les situations d'urgence	49
4.2.2.3	Le piéton insonore : un danger potentiel.....	50
4.2.3	La prise d'information proprioceptive pour évaluer la stabilité de la charge et du chariot .	50
4.2.3.1	Des stratégies particulières pour prélever de l'information et prévenir les renversements frontaux	50
4.2.3.2	Des dispositifs actifs de prévention des renversements à l'efficacité douteuse.....	51
4.3.	<i>La coactivité et les risques de collisions</i>	51
4.3.1	L'importance de la coactivité (ou « coprésence ») dans les voies de circulation	51
4.3.2	Les carrefours : zone de passage ou de manœuvre ?	52
4.3.3	Les risques liés à la coactivité et aux tâches visuelles exigeantes	53
4.3.4	Les vitesses élevées dans les carrefours.....	54
4.3.5	Des règles de priorité incohérentes, floues et non partagées	55
4.4.	<i>L'aménagement des aires d'entreposage et des voies de circulation : des espaces encombrés qui augmentent les risques</i>	56
4.4.1	Les différentes formes d'encombrement.....	56
4.4.2	Le problème de l'utilisation des aires de chargement comme espace d'entreposage temporaire	56
4.4.3	L'exiguïté des espaces et la double manœuvre dangereuse	57

4.5.	<i>Les chariots élévateurs existants : la nécessité de poursuivre le travail de reconception pour favoriser la sécurité</i>	58
4.5.1	Les structures qui créent de l'obstruction	59
4.5.2	Un habitacle inconfortable	59
4.5.3	L'utilisation des pneus	60
4.5.4	Les accessoires et la sécurité.....	60
4.5.4.1	Les rétroviseurs	60
4.5.4.2	Les gyrophares et les feux stroboscopiques	60
4.5.4.3	Les feux de position et les lumières de recul	61
4.5.4.4	L'éclairage d'appoint	61
4.5.5	Les leviers de commandes	61
4.5.6	Les appareils de préhension	62
4.5.7	Le choix de chariot.....	62
4.6.	<i>La formation</i>	63
4.7.	<i>La nécessité de poursuivre le travail de prévention</i>	63
4.7.1	La prise de risques « évidents »	63
4.7.2	L'utilité de l'analyse des risques comme démarche de sensibilisation et comme moyen pour choisir les actions de prévention appropriées	64
5.	DISCUSSION.....	66
5.1.	<i>Un nouveau point de vue : prendre en compte l'activité des caristes pour mieux les aider à gérer leur sécurité</i>	66
5.2.	<i>Les apports et limites méthodologiques</i>	69
5.2.1	L'oculomètre : un outil efficace pour l'analyse du travail sur les VIM.....	69
5.2.2	La caméra immersive : un outil d'aide à l'observation des VIM.....	71
5.2.3	L'utilisation de l'odométrie et d'un accéléromètre triaxial pour déterminer les risques de renversements d'un chariot élévateur	72
5.3.	<i>Les recommandations</i>	73
5.3.1	Design du chariot	73
5.3.2	Design des accessoires	73
5.3.3	Architecture.....	74
5.3.4	Aménagement	75
5.3.5	Organisation du travail.....	75
5.3.6	Formation	76
5.3.7	Codification des marchandises.....	76
6.	CONCLUSION	77
7.	RÉFÉRENCES.....	79
8.	ARTICLES PUBLIÉS DANS LE CONTEXTE DU PROJET.....	83
	ANNEXES DU RAPPORT	85
	ANNEXE I : IMAGES DES INSTRUMENTS UTILISÉS	87
	ANNEXE II : ANALYSE DES ACCIDENTS GRAVES ET MORTELS IMPLIQUANT UN CHARIOT ÉLÉVATEUR SURVENUS AU QUÉBEC (1974-2002)	89
	ANNEXE III : EMPLACEMENT DE LA MARCHANDISE SUR LE QUAI D'EXPÉDITION (T1)	101
	ANNEXE IV : PLAN DE L'ENTREPÔT DU POSTE DE RÉCEPTION DES ROULEAUX (T2)	103
	ANNEXE V : PLAN DE LA COUR À BOIS (T3)	105

ANNEXE VI : GRILLE DE QUESTIONS POUR LES ENTRETIENS DIRIGÉS (EXEMPLE DU SECTEUR DU PAPIER).....	107
ANNEXE VII : RELEVÉ DE LA VARIABILITÉ DE CERTAINES CHARGES MANUTENTIONNÉES DANS LA COUR À BOIS (TERRAIN 3).....	109
ANNEXE VIII : NOMBRE DE FOIS OÙ LE CARISTE EST DESCENDU DU CHARIOT SELON LA NATURE DE LA TÂCHE EFFECTUÉE ET LES TERRAINS.....	111
ANNEXE IX : CARACTÉRISATION DES LIEUX ET DES ÉLÉMENTS ACCIDENTOGÈNES	113
ANNEXE X : RAYON DE BRAQUAGE ET DISTANCE REQUISE ENTRE LES REMORQUES SELON LES CARACTÉRISTIQUES DES CHARGES.....	115

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Nombre de cas, de jours et déboursés liés aux chariots élévateurs entre 1995 et 2000 au Québec.....	4
Tableau 2 : Principales caractéristiques du poste de caristes à l'expédition (T1)	13
Tableau 3 : Principales caractéristiques du poste de cariste à la manutention de rouleaux et au ravitaillement des machines	13
Tableau 4 : Principales caractéristiques du poste de cariste dans une cour extérieure	14
Tableau 5 : Variables recueillies et analysées avec le chariot instrumenté.....	17
Tableau 6 : Activités des caristes lors des enregistrements oculométriques du T1	19
Tableau 7 : Observables liés à l'analyse des postures pendant la conduite, la présence à bord du chariot et l'activité effectuée.....	20
Tableau 8 : Fréquences moyennes de flexions latérales et de rotations du tronc et du cou par minute selon les terrains.....	30
Tableau 9 : Distribution du temps (%) de positionnement de la main gauche et droite sur différents éléments pendant la conduite et selon les terrains	31
Tableau 10 : Distribution du temps (%) consacré à la manipulation simultanée des leviers pour les caristes expérimentés et les novices du T2 (temps total = 6 h 53)	31
Tableau 11 : Proportion du temps de tâche consacrée à la recherche de matériel et à l'utilisation du système de logistique et temps médian pour chaque utilisation (T1)	38
Tableau 12 : Liste des éléments de l'environnement sur lesquels le PDR s'est posé lors d'un cycle de chargement d'une durée de 62 secondes	38
Tableau 13 : Distribution des éléments de l'environnement sur lesquels le PDR s'est posé lors du déplacement dans les intersections	39
Tableau 14 : Liste des éléments de l'environnement sur lesquels le PDR s'est posé lors du déplacement de palettes dans un entrepôt.....	40
Tableau 15 : Hauteurs de charge pour lesquelles un sujet accroupi n'est PAS visible à des distances de moins de 5 m (zone grise)	44
Tableau 16 : Nombre de passages dans le carrefour X1 du T1 selon trois plages de temps.....	52
Tableau 17 : Nombre de passages par jour à l'entrée de la cour à bois T3 selon les véhicules et les piétons.....	53
Tableau 18 : Vitesses moyennes et maximales (km/h) marche avant et arrière pour les trois terrains.....	54

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Programmation sur les chariots élévateurs - Volet ergonomie (mars 2003)	v
Figure 2 : Distribution des 87 accidents graves et mortels survenus au Québec entre 1974-2002 selon le type d'accident	4
Figure 3 : Exemple de renversement frontal d'un chariot.....	4
Figure 4 : Modèle de l'activité du cariste.....	7
Figure 5 : Instruments installés sur les chariots	16
Figure 6 : Distribution du temps consacré aux principales tâches au T2 et T3.....	25
Figure 7 : Graphe du nombre de passages de véhicules clients (au centre) dans la cour à bois par tranche de 30 minutes lors de la journée du 5/08.....	27
Figure 8 : Distribution de la conduite en marche avant et arrière pour chaque terrain.....	28
Figure 9 : Nombre de descentes par minute du cariste selon différentes tâches.....	29
Figure 10 : Stabilité des charges (panneaux non attachés).....	32
Figure 11 : Stabilité des charges (pile instable)	32
Figure 12 : Stabilité des charges (Placer le rouleau avec précision).....	32
Figure 13 : Bris lié à un mauvais contrôle de la charge	33
Figure 14 : Quatre palettes de briques renversées.....	33
Figure 15 : Palette de bois renversée.....	33
Figure 16 : Gravier dans l'aire de déchargement faisant osciller la charge.....	34
Figure 17 : Mare d'eau influençant le freinage.....	34
Figure 18 : Passage sur rail faisant lever les roues.....	34
Figure 19 : Point de regard du cariste superposé sur la jonction entre le quai et le camion . La tête du cariste est ici penchée vers la gauche	42
Figure 20 : Zones non visibles (blanc) au sol autour d'un chariot avec charge.....	43
Figure 21 : Distance arrière, à partir du chariot, où l'information devient visible.....	43
Figure 22 : Distance de chaque côté du chariot, où l'information devient visible.....	43
Figure 23 : Le bas de la colonne est déformé.....	43
Figure 24 : L'usure évoque de nombreux frottements ou collisions.....	43
Figure 25 : Cornière de protection du palettier tordue	43
Figure 26 : Détection d'un travailleur accroupi	44
Figure 27 : Distance minimum de détection d'une personne accroupie par le cariste transportant une charge	44
Figure 28 : Posture du cariste, la tête tournée vers sa droite à environ 125°	46
Figure 29 : Aperçu de la vue (partielle) du cariste lorsque sa tête est tournée vers la droite à environ 125°	46
Figure 30 : Champ de vision estimé du cariste avec la tête fortement tournée vers l'arrière	46
Figure 31 : Point de regard porté sur le rétroviseur.....	47
Figure 32 : Les triangles foncés montrent les zones visibles	48
Figure 33 : Point de regard fixé sur le miroir parabolique	48
Figure 34 : Attention visuelle focalisée sur la charge lors du gerbage et coactivité à risque de collisions.....	54
Figure 35 : Coactivité risquée lors d'une manœuvre de gerbage.....	54
Figure 36 : Stock tampon bien délimité	57
Figure 37 : Stock tampon (B, C) engendrant de l'encombrement	57

Figure 38 : Le déterrage encombre les voies de circulation.....	57
Figure 39 : Double manœuvre liée à l'exiguïté de l'entrepôt (T3).....	57
Figure 40 : Double manœuvre liée à une surcharge de l'espace d'entreposage (préétude)	57
Figure 41 : Double manœuvre liée à l'encombrement par des véhicules (T3).....	57
Figure 42 : Graphe d'activité du déplacement de charges en hauteur (180 cm) avec vitesse (>5km/h) [Double manoeuvre].....	58
Figure 43 : Principaux déterminants ayant des conséquences sur la santé et l'efficacité des caristes.....	67
Figure 44 : Image recueillie avec un « fish-eye », puis déployée dans l'interface de visualisation développée par la société Immervision	71

1. INTRODUCTION

Ce document présente les résultats de l'étude ergonomique effectuée dans le cadre du projet de recherche 099-296. Elle a pour but d'identifier sur une base factuelle, les situations, événements ou conditions d'exécution du travail qui amènent les caristes et les autres travailleurs en coactivité¹ à se retrouver dans des situations à risques. Elle vise à mieux comprendre et décrire l'activité qu'ils déploient réellement et à identifier les déterminants du travail (chariot, charge, formation, aménagement, organisation) pouvant affecter leur sécurité et leur efficacité. Elle permet donc de mieux comprendre comment les travailleurs et les employeurs gèrent les risques et précise les déterminants sur lesquels on peut intervenir pour diminuer les risques de collisions et de renversements.

Le document présente dans un premier temps, la problématique motivant le choix de se concentrer davantage sur les problèmes de renversements et de collisions et la nécessité de mieux comprendre l'activité des caristes pour diminuer les risques d'accidents et décrit les objectifs de la recherche. Par la suite, nous présentons les terrains d'études et la méthodologie de recherche centrée principalement sur l'analyse de l'activité des caristes et l'étude de la prise d'information visuelle (PIV) pendant la conduite.

La quatrième section du document présente les résultats, notamment que le métier de cariste ne consiste pas seulement à conduire un véhicule, mais à mettre à profit des savoir-faire qui permettent d'assurer la fluidité des mouvements et de gérer avec efficacité le transport de la marchandise et la sécurité. De plus, le guidage et contrôle de la charge, la recherche de matériel et le travail de précision sont exigeants du point de vue de l'attention visuelle et sollicitent une prise d'information à la fois visuelle, auditive et proprioceptive pour prévenir les risques de collision et de renversement. Les obstructions visuelles liées à l'environnement et au chariot élévateur et ses équipements de levage masquent des informations nécessaires pour prévenir les accidents. Les résultats montrent également que la coactivité est importante dans les voies de circulation et les carrefours, et que les règles de priorité sont floues et non partagées par l'ensemble des travailleurs. De plus, les aires d'entreposage et les voies de circulation exigües et encombrées engendrent du « déterrage » et des risques de collision. Les résultats montrent également que la conception des chariots élévateurs est déficiente et pourrait ne pas favoriser l'utilisation des dispositifs de retenu du cariste. Finalement, les résultats montrent que les efforts déployés en formation doivent se poursuivre et favoriser le compagnonnage et qu'il faut continuer la prévention pour sensibiliser les travailleurs sur les risques liés au travail en hauteur sans harnais, debout sur les fourches et à proximité de charges manipulées, et qu'il faut poursuivre la formation pour sensibiliser non seulement les caristes mais aussi les piétons et les gestionnaires sur les collisions et les renversements.

En discussion, le document fait état des principaux apports théoriques, méthodologiques et pratiques de la recherche, formule certaines recommandations pour améliorer la conception des situations de travail impliquant un chariot élévateur et met en perspective l'ensemble des résultats, notamment leur généralisation.

¹ Par coactivité, nous entendons l'utilisation simultanée d'un même espace par plusieurs caristes, opérateurs, dirigeants et/ou personnes.

2. PROBLÉMATIQUE

2.1. Contexte général des VIM

Les véhicules industriels motorisés (VIM ou en anglais, PIV — powered industrial vehicle) ont largement contribué à réduire la pénibilité des tâches de manutention qui ne pouvaient plus être effectuées manuellement et à accroître la rentabilité de la production [36]. Au fil des ans, la conception de ce type de véhicule a évolué pour satisfaire aux exigences de plus en plus élevées de confort, de sécurité, de productivité et de respect de l'environnement. Force est de constater que ces avancées n'ont pas été suffisamment efficaces puisque de nombreux accidents graves, voire mortels, surviennent encore lors de leur utilisation. Aux États-Unis, en 1985, on dénombrait environ 34 000 accidents ayant nécessité une hospitalisation en salle d'urgence directement associés aux VIM [13]. Selon le Bureau of labor statistics américain (BLS), une centaine de travailleurs meurent chaque année suite à un incident impliquant ce type de véhicule [17]. Près du quart (24 %) de ces décès accidentels surviennent lors du renversement du véhicule, 17 % après que la victime ait été écrasée ou frappée par du matériel et 14 % après qu'elle ait été frappée par le véhicule. Les autres décès sont liés à des intoxications, des décharges électriques, des chutes, etc. Ces quelques données suffisent à justifier la nécessité de poursuivre la production et la systématisation des connaissances sur les véhicules industriels motorisés afin de réduire les risques associés à leur utilisation.

Les VIM peuvent prendre plusieurs formes. Au seul chapitre des chariots automoteurs, on distingue la variété suivante : les chariots porteurs, les chariots tracteurs, les transpalettes, les gerbeurs, les chariots pour la préparation de commandes et même des modèles où le poste de commande s'élève [6]. Les chariots élévateurs à contrepoids sont disponibles en plusieurs tonnages et on retrouve des modèles à prise de charge frontale, latérale et bidirectionnelle. Il existe également des chariots tout-terrain (ex. cours à bois, chantiers de construction), des chariots embarqués (ex. livraison de tourbe, bière, matériaux de construction), etc. Une autre variante des VIM réside dans les accessoires que l'on peut installer sur les chariots pour répondre aux besoins spécifiques de manutention des industries : rallonge de fourches, éperon (ex. fabrication de tapis), potence (ex. garage), etc. Le spectre du champ d'études des VIM étant relativement large, nous avons jugé préférable à court terme d'appuyer nos réflexions sur un cas d'application spécifique : les chariots élévateurs à contrepoids. Le choix des chariots élévateurs comme premier cas type a été fait en fonction des demandes émanant des intervenants du milieu, des expériences acquises antérieurement à l'IRSST, des statistiques d'accidents que nous résumerons à l'instant et d'une opportunité de collaboration qui s'offrait à nous avec les chercheurs de l'INRS en France.

2.2. Le cas des chariots élévateurs : les statistiques d'accidents

Les chariots élévateurs figurent parmi les équipements qui ont contribué à réduire considérablement la pénibilité des tâches de manutention. Pourtant, un récent recueil de statistiques d'accidents indique que les risques associés aux chariots élévateurs sont aussi très élevés et qu'ils sont la cause de plusieurs accidents de travail, et ce, dans plusieurs pays [56]. En France, chaque année, les chariots élévateurs sont à l'origine de plus de 8000 accidents avec arrêt, près de 800 accidents avec incapacité permanente et de 13 décès. Le coût direct des accidents est

estimé à 45 millions d'euros par an [7]. En Finlande, on fait état de 1 500 incidents par an. En Ontario, entre 1990 et 1995, les chariots ont engendré 136 accidents graves dont 18 mortels. Au Québec, entre 1995 et 2000, on enregistre 4 142 cas d'indemnisation impliquant directement un chariot élévateur. Ces indemnisations totalisent un déboursé total de plus de 16 millions de dollars (Tableau 1). La répartition des 4 142 dossiers selon la catégorie et la nature des lésions montre que la majorité (81 %) des lésions sont des ecchymoses, des entorses, des fractures, des coupures, etc.

Tableau 1 : Nombre de cas, de jours et déboursés liés aux chariots élévateurs entre 1995 et 2000 au Québec

	Nbr dossiers	Nbr jours	Déboursés totaux
Nombre total d'accidents	4 142	185 236	16 366 569 \$
Accidents retenus			
Coincé ou écrasé par de l'équipement ou des objets	1 475	64 245	5 554 581 \$
Frappé par un objet	486	20 704	2 094 127 \$
Piéton heurté par un véhicule, un équipement mobile	454	26 947	2 660 062 \$
Heurter un objet	572	15 283	1 219 232 \$
Totaux	2 987	127 179	11 528 002 \$

Une analyse des 87 accidents graves et mortels survenus entre 1974 et 2002 répertoriés dans la banque d'accidents VREN et le site ISST de la CSST, effectuée sur la base des travaux de Tellier (1995) [54] et illustré à la (Figure 2), montre que ces accidents se répartissent comme suit : renversement du chariot (28 %), travailleur coincé ou écrasé par le chariot (30 %) et travailleur écrasé par la marchandise (21 %). L'annexe II dresse un portrait plus exhaustif de cette analyse. La répartition de ces accidents montre qu'ils surviennent le plus souvent (41%) lors de la conduite du véhicule. De plus, aux États-Unis, une étude effectuée par le NIOSH spécifiquement sur les chariots élévateurs (1 021 accidents) rapporte que les trois circonstances les plus fréquemment rencontrées sont : le renversement du chariot (22 %), un travailleur frappé par le chariot (20 %) et un travailleur écrasé par le chariot (16 %). L'ensemble de ces données montre l'importance de mener des recherches visant à réduire les risques graves liés à l'utilisation des chariots élévateurs.

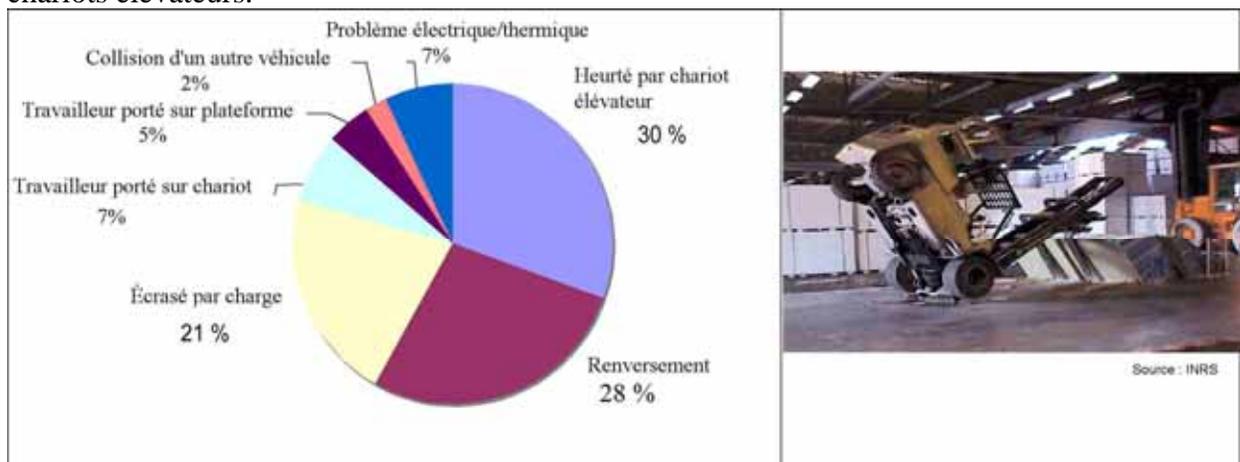


Figure 2 : Distribution des 87 accidents graves et mortels survenus au Québec entre 1974-2002 selon le type d'accident

Figure 3 : Exemple de renversement frontal d'un chariot

2.3. Les problèmes de renversements et de collisions

Les renversements constituent un problème majeur sur lequel des efforts de recherche doivent être consacrés puisqu'ils constituent la première circonstance d'accidents et que la gravité de ces accidents est très élevée ; plusieurs de ces accidents sont mortels. Il y a deux types de renversement : frontal et latéral. Le renversement frontal est souvent lié à des erreurs d'évaluation de la charge, notamment une sous-estimation du poids de la charge ou à l'inégalité du sol en lien avec la hauteur de la charge (Figure 3). En ce qui concerne le renversement latéral, les causes premières sont la vitesse excessive lors d'un virage en "J" et/ou le pneu qui passe dans un trou, sur un obstacle ou qui tombe du trottoir [42]. L'écrasement du cariste par la structure de protection contre la chute d'objets (FOPS) est la plupart du temps à l'origine de blessures graves [21].

Les chariots élévateurs sont très instables puisque leur conception implique un centre de gravité haut et un faible rayon de braquage [33]. Le chariot est particulièrement instable lorsqu'il est sans charge, car son centre de gravité est alors positionné vers l'arrière, plus près des limites du triangle de stabilité. Selon Tellier [54], la conduite du chariot sans charge est la tâche où l'on retrouve la majorité des accidents. Les accessoires de manutention (pincettes, fourches, éperons, etc.) affectent aussi la stabilité en déplaçant le centre de gravité et en modifiant la capacité réelle de charge. Les roues directionnelles, situées à l'arrière, engendrent une instabilité naturelle dans les virages [21]. Le temps de renversement latéral est très rapide : environ 1,4 - 1,5 s (bascule + renversement latéral) [33]. Sachant que le temps de réaction normal d'une personne est d'au moins 0,75 s, l'opérateur n'a pas beaucoup de temps pour réagir. Ainsi, pendant le renversement, l'opérateur, croyant qu'il a suffisamment de temps pour sauter, tente alors de sauter du côté le plus bas du chariot, là où il risque d'être écrasé. Malgré le fait qu'il existe des dispositifs de prévention du renversement, il subsistera toujours des risques de renversement latéral du chariot, ne serait-ce qu'à cause du type d'environnement dans lequel il évolue. De plus, Dias [22] rapporte que le Health and Safety Executive (HSE) en Angleterre, a démontré qu'un chariot peut se renverser à une vitesse aussi faible que 4–5 km/h lorsqu'il prend brutalement son virage et que le risque est augmenté si les fourches sont en position haute ou si le sol est irrégulier.

Les risques de blessures graves n'existent pas seulement chez les caristes, mais également chez les opérateurs qui travaillent à proximité en coactivité [17]. Au Québec, parmi les 87 accidents extraits de la VREN, 52 % impliquent les caristes et 48 % les manœuvres, journaliers, préposés à l'expédition ou camionneurs. L'examen des agents causaux de 583 cas compensés (1994 – 1997)² amène à penser qu'en plus d'un problème de communication, un des facteurs de causalité de 460 des 583 accidents serait une carence en information visuelle. De ces 583 cas, 54,3 % sont des piétons heurtés par un chariot ; en effet, les genres d'accidents rapportés sont en majorité un "piéton heurté par un véhicule ou un équipement mobile" [soit sur un chemin public, soit dans une "zone non routière"] (54,4 %), un "véhicule ou un équipement mobile qui heurte un objet immobile" (12,1 %) ou une "collision entre véhicules ou équipements mobiles" (4,9 %). Toutes ces circonstances d'accidents laissent supposer que la victime n'a pas vu le chariot à temps, ou que le cariste n'a pu voir le piéton, un autre chariot ou une partie de son environnement de travail. Ceci montre la nécessité d'une approche de recherche qui va au-delà des problèmes de renversements et qui apporte des connaissances sur l'ergonomie et la sécurité

² Source : fichier des lésions professionnelles de la CSST (1994-1997).

du cariste, mais aussi la sécurité des travailleurs en coactivité. Cette approche doit donc considérer tant les risques intrinsèques au véhicule que ceux extrinsèques. Elle doit se préoccuper des problèmes de visibilité qui engendrent des collisions piéton-chariot / chariot-équipements.

Plusieurs types de chariots élévateurs sont utilisés dans les entreprises. En France, il y a entre 160 000 et 180 000 chariots et environ 500 000 caristes [22]. En 1981, Statistique Canada estimait qu'au Québec, 6 924 personnes effectuaient un travail correspondant à la description "9315 - Conducteur de matériel de manutention" (CCDP, 1981). Rappelons ici que le conducteur du chariot n'est pas toujours classifié comme cariste : il peut avoir une autre occupation comme manœuvre ou contremaître. Le taux d'incidence des accidents de travail pour cette catégorie d'emploi, basé sur le recensement canadien de 1996, est de 9,41 %, presque le double du taux d'incidence moyen pour l'ensemble des travailleurs du Québec. On ne dispose cependant pas de données précises sur le nombre de chariots en circulation, sinon une étude effectuée au Québec en 1995 par l'entreprise Track Test inc. qui estimait que le parc des chariots élévateurs à contrepoids de 2 à 3 tonnes serait d'environ 7000 véhicules [32]. Selon Tellier [54], les accidents graves et mortels surviennent principalement (65 %) avec les chariots à contrepoids de 2 à 3 tonnes. En conséquences, nous centrerons davantage nos travaux sur les chariots de 2 à 6 T.

2.4. La nécessité de mieux comprendre l'activité des caristes

Bien que les statistiques montrent l'importance des lésions professionnelles liées à l'utilisation des chariots élévateurs, il y a peu d'études scientifiques qui font le portrait global du travail de cariste ainsi que des situations à risque et solutions qui découlent de ce travail. L'examen des références parues depuis 1994³, montre l'existence d'une multitude de documents portant sur les chariots élévateurs. Parmi ceux-ci, on retrouve une forte proportion de textes sur la formation des caristes et sur les consignes de sécurité [4][14][41][49], sur les normes de construction, d'essai et de formation [1][2][3], sur les exigences visuelles [37][38], sur le renversement et la stabilité [5][8][9][16][21][28][30][31] et sur la caractérisation des postes de conduite [35][40][48].

À l'exception des travaux de l'INRS [15][22][23][46] parus très récemment, très peu d'études portent sur l'analyse du travail des caristes dans sa globalité. Parmi celles recensées, une énumère les nombreuses tâches, activités et compétences du métier de cariste, mais cette description n'est pas mise en relation avec les aspects de SST [45]. D'autres études s'intéressent aux déterminants des facteurs de risque pour la santé et la sécurité des travailleurs [19][47]. Ces études rapportent entre autres que les problèmes relatifs aux conducteurs, aux tâches, aux engins et aux milieux de travail sont interdépendants [47], qu'il existe plusieurs facteurs d'incidents parmi les modes de circulation en entreprise, les chariots élévateurs, les caristes et l'environnement physique de travail [49]. Sur le plan méthodologique, Collins et al. [18][19], ont effectué une étude épidémiologique basée sur l'analyse d'incidents, sur des observations de l'environnement physique et sur des entrevues et, comparent les conditions présentes lors de la

³ Une partie des références sont issues d'une analyse de la littérature effectuée par Bellemare et al. (2000) lors d'une demande d'activité antérieure intitulée : "Étude ergonomique pour la prévention des problèmes de santé et de sécurité reliés à l'utilisation des chariots élévateurs".

survenue d'un accident à celles de groupes témoins utilisant également des chariots élévateurs mais n'ayant pas eu d'accident. Östberg et al. [49] ont aussi basé leur étude sur l'observation du travail et des entrevues auprès de 104 caristes.

Malgré le fait qu'il existe une pléthore d'informations sur la tâche de cariste et les consignes de sécurité, et que la conception des chariots a évolué pour satisfaire aux exigences de plus en plus élevées de confort, de sécurité, de productivité et de respect de l'environnement, les données d'accidents montrent bien que ces avancées n'ont pas été suffisamment efficaces et que les risques associés à l'utilisation de ces véhicules sont toujours très élevés et surtout très coûteux pour la santé des caristes. Nous formulons le postulat que « *tant du côté de la formation, de la conception que de la normalisation, le débat est toujours orienté en fonction de la tâche prescrite (...ce que **doit** faire le cariste) et non en fonction de son activité ou tâche réelle (...ce qu'il fait **réellement**)* ». Pour enrichir les efforts de prévention, il nous apparaît donc nécessaire d'apporter un nouveau point de vue en documentant les modes opératoires associés à la conduite des chariots élévateurs tels que déployés durant le travail des caristes. Les principaux déterminants influençant la conduite des caristes sont illustrés à la Figure 4.

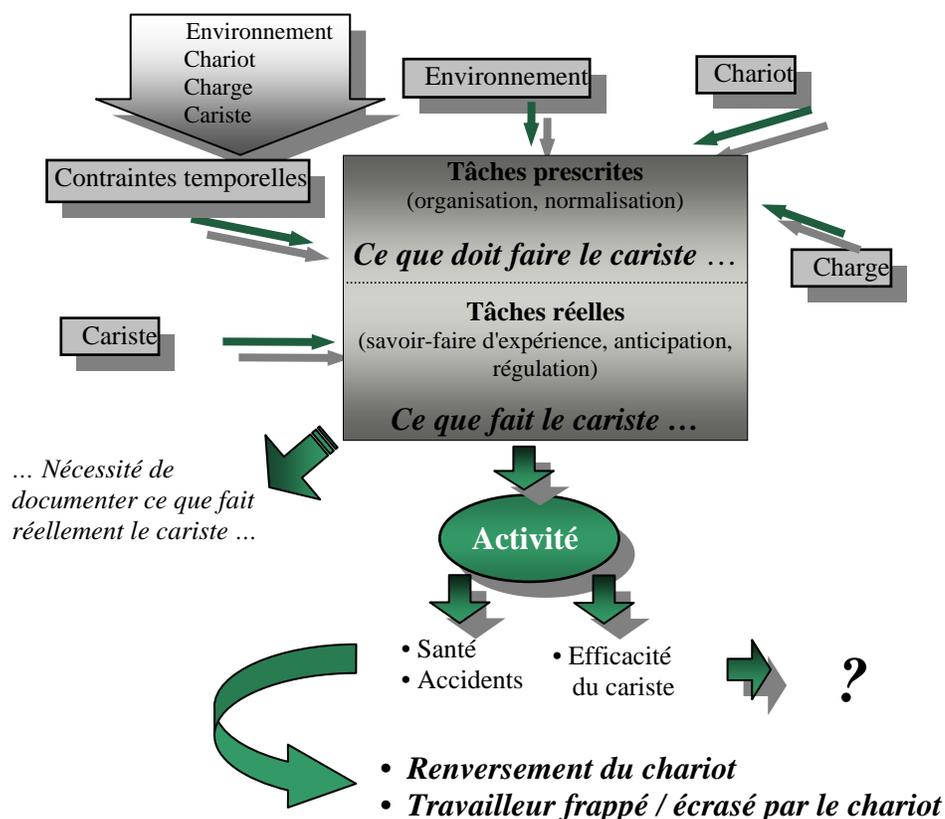


Figure 4 : Modèle de l'activité du cariste

Les déterminants possibles identifiés dans la littérature sont les **contraintes temporelles**, la facilité de manipulation des **charges**, la conception et l'entretien des **chariots** (mauvaise visibilité, pneus usés, fuite d'huile, freins défectueux, mauvaise conception des

commandes, ...), **l'environnement** de travail (aire de circulation inégale, rampe, sol encombré, éclairage inadéquat, ...) et l'expérience des **caristes** (formation, habitude des tâches, freinage trop brutal, virage sur sol incliné, mauvaise gestion de la charge, ...) [21][22]. Précisons que les contraintes temporelles sont elles-mêmes influencées par les autres déterminants. D'ailleurs, les contraintes de temps font souvent partie des conditions de travail habituelles du cariste et peuvent l'amener à ne pas respecter entièrement certaines consignes de sécurité [22].

Dans ce modèle, on constate qu'il y a plusieurs façons d'agir sur la conception des situations de travail (les normes, les règlements, les procédures, la conception des lieux de travail, l'organisation du travail, le chariot et ses équipements, la formation, l'adéquation chariot-tâche, etc.). Il importe alors de documenter les éléments de variabilité et les contraintes qui caractérisent chacun de ces déterminants. Il convient en même temps de documenter, l'influence qu'ils exercent sur l'activité du conducteur et celle des autres caristes ou travailleurs piétons (coactivité) et de préciser les conséquences qu'ils peuvent avoir sur la santé des opérateurs et l'efficacité dans le travail.

2.5. Les objectifs de la recherche

Ce projet a pour principal objectif d'étudier le travail des caristes pour identifier les déterminants (environnement, formation, chariot, charge, organisation du travail, contraintes temporelles,...) qui posent des problèmes de collision et de renversement. Il vise également à étudier l'activité de conduite des caristes, notamment la prise d'information visuelle, pour identifier les différents repères visuels qu'ils utilisent, identifier les situations, endroits et moments où les risques de renversement et de collision sont les plus élevés et pour déterminer l'importance qu'accordent les caristes à ces risques. Finalement, ce projet vise à comprendre comment agir sur les déterminants afin d'améliorer la conception des situations de travail et de formuler des recommandations et des pistes de solutions visant des actions préventives. Les analyses préliminaires (cf. Chapitre 3) ont permis de formuler les hypothèses suivantes :

- *Le métier de cariste ne consisterait pas seulement à conduire un véhicule, mais à mettre à profit des savoir-faire qui permettent d'assurer la fluidité des mouvements pour gérer avec efficacité la stabilité des charges et éviter des renversements et des collisions. Pour y arriver, les caristes mettraient en œuvre des stratégies de régulation et d'anticipation individuelles (doubles manœuvres) et collectives (compréhension mutuelle du travail de chacun), mais les contraintes spatiales, organisationnelles et de production mettraient certaines de ces stratégies en échec, encombreraient davantage les voies de circulation, déplaceraient les trajectoires du chariot, engendreraient des déplacements coûteux en temps, ce qui favoriserait les risques de renversement et de collision. De plus, les règles de circulation et de priorité seraient floues et non partagées, ce qui favoriserait les risques de collision, notamment dans les carrefours, espace de croisement et de manœuvres, où les vitesses seraient plus élevées et la coactivité plus importante.*

- *Le travail des caristes serait exigeant du point de vue de l'attention visuelle et les obstructions visuelles liées à l'environnement et au design des chariots élévateurs exacerberaient cette contrainte, induiraient des postures contraignantes dont des flexions et*

rotations prononcées du tronc, ne favoriseraient pas l'observation de certaines zones de l'environnement de travail, ni la détection d'obstacles au sol comme des trous ou des piétons, ce qui favoriserait les risques de renversement et de collision avec les travailleurs en coactivité.

De plus, ce projet vise à répondre aux objectifs spécifiques suivants :

- À travers les études terrains, contribuer à l'identification des besoins des différents acteurs (gestionnaires, préventionnistes, acheteurs, formateurs, législateurs, caristes, concepteurs, etc.) et les outils à développer pour répondre à ces besoins, puis formuler des recommandations permettant de guider le développement de tels outils ;
- Fournir des paramètres réalistes pour enrichir les outils de simulation numérique de l'INRS et de l'École polytechnique, en caractérisant la nature des postures adoptées par les caristes durant la conduite ainsi que la nature des parcours qui y sont effectués (état des lieux, type de sol, aménagement des aires de stockage) et les éléments accidentogènes qu'on y retrouve (inégalités du sol, rampe, poteaux, obstacles sur le sol, etc.) ;
- Dresser une liste de scénarios types d'activités et de variables à prendre en compte lors de l'évaluation ergonomique des dispositifs de sécurité (Axe III) ;
- Fournir des repères de conception pour l'aménagement de la conduite en marche arrière (Axe II).

Aux objectifs initiaux, nous avons également ajouté le développement d'une ébauche de démarche d'analyse de risques de renversements et de collisions avec piétons. Trois grandes considérations sont à l'origine de cet ajout : 1) les chariots élévateurs sont utilisés dans une multitude de situations de travail, mais les recommandations de prudence et les contenus de formation considèrent rarement les particularités propres à chaque entreprise ; 2) malgré ces recommandations, des accidents et incidents surviennent et il n'est pas clair que les caristes (et l'entreprise) disposent de toutes les informations nécessaires pour évaluer adéquatement les risques et pour les éviter ; 3) pour être applicables et efficaces les moyens de prévention doivent reposer sur l'identification des facteurs de risque propres à la situation de travail. Le développement d'une démarche d'analyse de risque semblait donc une avenue très intéressante pour amener les entreprises à prendre conscience des risques et à envisager les moyens de préventions adéquats pour leur contexte. Cette démarche fait l'objet d'un rapport distinct intitulé : « *Démarche d'analyse et d'appréciation des risques de renversements et de collisions* ».

3. MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

La méthodologie préconisée dans cette étude pour documenter le travail des caristes est une approche terrain, soit l'analyse de l'activité des caristes [34]. Celle-ci consiste à observer et interroger le travailleur dans ses tâches habituelles en influençant le moins possible les activités de travail régulières et à analyser les documents d'entreprise. L'étude ergonomique a été effectuée dans trois entreprises choisies avec l'aide des membres d'un comité de suivi⁴ et de relayeurs comme les conseillers des associations sectorielles paritaires (ASP). Le choix a été fait parmi les entreprises intéressées à participer à l'étude des secteurs d'activité commerces, magasins de détail et grande distribution, scieries et forêts, car le nombre d'accidents de chariot élévateur était plus élevé dans ces secteurs [34]. De plus, les entreprises devaient nous permettre d'analyser les stratégies de conduite lorsque les caristes étaient confrontés aux caractéristiques suivantes :

- Manipuler des charges lourdes, fragiles, volumineuses et/ou instables ;
- Conduire avec la vue obstruée et en marche arrière ;
- Ravitailler des postes ou machines et travailler en coactivité ;
- Rouler sur des surfaces lisses (plancher de béton) et/ou inégales (cour extérieure) ;
- Charger et décharger des remorques ;
- Gerber et dégerber des charges ;
- Contraintes temporelles élevées.

Cette section décrit les principales caractéristiques de la méthode, notamment les entreprises et les terrains étudiés, les participants, l'instrumentation utilisée, le déroulement des observations et le traitement des données. Pour alléger le texte, ce chapitre ne présente que les faits saillants du protocole d'étude de la prise d'information visuelle (PIV) des caristes lors de la conduite du véhicule. La mise en oeuvre d'un oculomètre dans le cadre d'une étude ergonomique de terrain a nécessité l'adaptation des protocoles d'acquisition habituels à des situations très différentes de celles rencontrées dans les laboratoires. Ces adaptations aux conditions de terrain ont nécessité certains aménagements et aussi, le développement d'un savoir-faire spécifique, autant au niveau du calibrage, de la définition des observables ou de l'utilisation de vidéo oculométrique dans le cadre d'entrevue d'autoconfrontation. Vue l'ampleur du travail sous-jacent à cette approche, les auteurs du rapport ont opté de ne pas alourdir l'essentiel du rapport principal avec des questions, disons-le, qui sont davantage méthodologiques. Un document regroupe cependant l'ensemble des informations et est disponible sur demande⁵. Une synthèse de la démarche a également fait l'objet d'un article⁶.

⁴ Le comité de suivi ou de pilotage était constitué d'intervenants du milieu concernés par la problématique des chariots élévateurs, notamment des conseillers des ASP et de la CSST, chercheurs, représentants des fabricants et de mutuelles de prévention, etc.

⁵ Pour information contacter giguere.denis@irsst.qc.ca

⁶ Giguère, D., Gagné, N. Vezeau, S. (2006) « *Use of eye tracking in ergonomics : a field study of lift truck operators' work activity* », In : Eye-Tracking Research and Applications Symposium (ETRA), (4, 2006, San Diego Ca., USA) ETRA 2006 Eye Tracking Research and Applications Symposium 2006, Duchowski, A.T and Rähä, K-J [dir.], New-York, ACM SIGGRAPH, avril 2006.

3.1. Les terrains d'études

Sept entreprises ont été approchées pour participer au projet. Seules trois d'entre-elles ont été en mesure de participer à l'étude tout au long. En préétude, une entreprise du secteur du textile a permis d'observer des activités de déchargement de balles de coton, leur entreposage, leur manipulation pour ravitailler des machines et du travail varié de manutention en forte coactivité. La seconde entreprise dans le secteur des pâtes et papiers a permis d'étudier de manière plus systématique des activités liées à l'expédition de marchandises, notamment les manutentions sur le quai et le chargement de remorques, et a également permis d'observer dans un autre secteur des activités de déchargement de remorque, de manutention de rouleaux et de ravitaillement de machines. Une dernière entreprise de distribution de matériaux de construction a permis d'observer la manutention de matériaux dans une cour extérieure, entreprise qui agissait à la fois comme magasin et centre de distribution. Ce document met l'accent sur les deux dernières entreprises, car la méthode a été appliquée avec plus de rigueur. Toutefois, il est important de souligner que plusieurs éléments de réflexions ou exemples sont issus de l'ensemble des entreprises visitées, plus spécialement l'entreprise dans le secteur du textile. La préétude a notamment permis d'identifier plusieurs situations à risques, de mieux connaître les contraintes associées au travail des caristes et de documenter certaines stratégies déployées pour prévenir les risques. Elle a également permis de bonifier notre méthode, notamment les grilles d'entrevues et les paramètres d'instrumentation des chariots (caméras et capteurs).

3.1.1 Poste de cariste à l'expédition d'une papetière (T1)

Une analyse ergonomique a été effectuée dans une entreprise de transformation de papiers fins (papier coupé en feuille et emballé selon diverses quantités et qualités, entreposé et expédié) du secteur des pâtes et papiers. L'entreprise regroupe 122 employés et peut convertir annuellement plus de 100 000 tonnes de papiers principalement expédiés au Canada et aux États-Unis. Le travail des caristes est principalement réalisé dans deux départements : la réception des rouleaux et l'expédition. Chaque département est autonome en terme d'organisation du travail. À l'expédition, 15 caristes se partagent sept chariots élévateurs (3 chariots à contrepoids et 4 chariots à conduite debout). Ils sont affectés à trois tâches spécifiques : l'adressage, la préparation des commandes et le chargement des remorques (Tableau 2). La préparation des commandes est effectuée avec les chariots à conduite debout (Raymond). Les charges manutentionnées, principalement des palettes ou « skids » de caisses ou rames de papier d'environ 0,9 m x 1,2 m, varient en hauteur. L'entrepôt est composé d'onze allées transversales (22 rangs de palettiers à 5 étages) et deux voies de circulation principales. Les commandes arrivent à fréquence variable au fil de la journée. Les caristes apportent le matériel aux quais d'expédition. L'inventaire et le système de commande sont informatisés et l'entreprise utilise un système de code à barres pour identifier les produits, étagères, allées et portes sur le quai. Les chariots élévateurs sont équipés d'un lecteur de code à barres et les caristes scannent les codes à chaque opération pour connaître à tout moment l'état des stocks. Les caristes assignés aux chargements peuvent charger jusqu'à 30 remorques par jour. Les camions peuvent contenir, de façon mixte ou homogène, des skids, des palettes et des rouleaux. L'intérêt plus particulier pour ce terrain d'études est le chargement des remorques et la manutention de marchandise avec un chariot à fourches oeuvrant sur un quai d'expédition, situation que l'on retrouve dans plusieurs entreprises.

Tableau 2 : Principales caractéristiques du poste de caristes à l'expédition (T1)

Environnement	Entrepôt intérieur Quai d'expédition	
Chariots	2 Hyster, 1 Clark et 4 Raymond Fourches	
Population	15 caristes	
Tâches	1. Préparer des commandes 2. Charger des remorques	

3.1.2 Poste de cariste à la manutention de rouleaux et au ravitaillement des machines (T2)

L'analyse ergonomique du travail de manutention de rouleaux et de ravitaillement des machines a été effectuée dans l'autre secteur de l'usine de transformation de papiers fins : la réception. Les tâches consistent à : i) décharger des rouleaux (la matière première) variés en tailles et en poids, ii) à les stocker dans un entrepôt divisé en 15 sections marquées au sol (cf. Annexe V) et interdit aux piétons, et iii) à ravitailler cinq machines en rouleaux de papier selon un programme de fabrication (Tableau 3). Pour effectuer ces tâches, cinq caristes réguliers (et deux réservistes) se partagent deux chariots élévateurs de location munis d'une pince de préhension. Les caristes travaillent parfois en binômes lors de période de pointe. Dans ce cas, le cariste dit « régulier » aura principalement en charge l'alimentation des machines en rouleaux de papier alors que l'autre s'occupera du déchargement des remorques. Les chariots sont équipés d'un lecteur de codes à barres et chaque rouleau doit être scanné. L'intérêt de ce terrain d'études réside dans la gestion du déchargement des remorques et les contraintes temporelles élevées associées au ravitaillement des postes de travail.

Tableau 3 : Principales caractéristiques du poste de cariste à la manutention de rouleaux et au ravitaillement des machines

Environnement	Entrepôt intérieur	
Chariots	2 Hyster de location Pince de préhension	
Population	7 caristes (4 expérimentés et 3 novices)	
Tâches	1. Alimenter 4 machines 2. Alimenter 1 machine sur appel 3. Décharger les remorques	

3.1.3 Poste de cariste à la manutention de matériaux de construction dans une cour extérieure (T3)

Une analyse ergonomique a été effectuée dans une des succursales d'une entreprise spécialisée dans la vente de matériaux de construction et de rénovation. Cette succursale agit à la fois comme centre de rénovation (magasin), centre de distribution et centre administratif pour plus d'une douzaine de magasins affiliés. La succursale regroupe 120 employés dont 38 sont affectés spécifiquement à la cour à bois où travaillent les caristes. Au total, 27 opérateurs (21 manutentionnaires et 6 contremaîtres) se partagent 12 chariots élévateurs (Tableau 4). La cour à bois regroupe des matériaux de construction variés (planches, structures métalliques, isolants, blocs de béton, etc.) entreposés dans des palettières extérieurs et une douzaine de hangars. Le plan de la cour figure en Annexe V. Les caristes sont attirés à quatre tâches spécifiques : le service à la clientèle, la préparation des commandes, la réception et le déchargement des remorques ainsi que la préparation des commandes intermagasins et le chargement des remorques (Tableau 4, en haut). Le poste du service à la clientèle n'a pas fait l'objet d'une étude approfondie, car l'utilisation des chariots était occasionnelle. Toutefois, ces caristes ont pu à un moment ou un autre utiliser le chariot instrumenté (cf. 3.2.2 Instrumentation utilisée). L'intérêt plus particulier pour ce terrain était d'étudier le travail dans une cour extérieure où les surfaces de roulement peuvent être inégales, où le chargement de remorque est effectué par le côté et où le travail est parfois réalisé à l'obscurité et lors d'intempéries.

Tableau 4 : Principales caractéristiques du poste de cariste dans une cour extérieure

Environnement	Entrepôts intérieurs Stockage extérieur	
Chariots	12 chariots à fourches (1999-2004) 7 Toyota 30 - 1 Toyota 35 - 2 Caterpillar - 1 Toyota 3 roues électriques - 1 Hyster loué	
Population	21 manutentionnaires + 6 contremaîtres	
Tâches	1. Service d'aide à la clientèle 2. Préparation intermagasin 3. Réception de la marchandise 4. Préparation des commandes et des livraisons	

3.2. Analyse de l'activité des caristes

La méthode utilisée d'une entreprise à l'autre était similaire. Une **présentation du projet** a été faite aux représentants de l'employeur et des employés de chaque entreprise. Une **analyse des documents écrits** (procédures, règles, politiques, contenu de formation, description de tâches, plan d'usine, avis de dérogation de la CSST, statistiques SST, enquêtes d'accidents, horaires de travail, composition des équipes de travail, etc.) a été effectuée pour documenter les contraintes temporelles, d'organisation, de production, etc., et pour élaborer une **stratégie d'analyse** spécifique au terrain d'études selon les conditions d'exécution du travail. Des

observations et entretiens préliminaires ont permis de mieux comprendre les contraintes qui astreignent les caristes, mais également de s'approprier le vocabulaire technique. Des **observations systématiques** ont été effectuées à l'aide d'un chariot instrumenté et d'un oculomètre pour étudier les modes opératoires, la prise d'information visuelle (PIV) et les stratégies de conduite, notamment pour caractériser les sources d'information utiles, les déplacements et les postures de travail. Ces observations étaient concentrées sur une semaine dans chaque terrain pour couvrir l'ensemble des quarts de travail et obtenir un maximum d'éléments de comparaison. L'ensemble de l'intervention « active » s'est échelonnée sur une période entre trois et six mois. Le protocole et l'instrumentation ont cependant été adaptés à chacun des terrains. Une **analyse de la coactivité** dans les voies de circulation à grande affluence a aussi été effectuée à l'aide d'enregistrements vidéo. Des **entretiens dirigés et d'autoconfrontation** ont été menés pour mieux comprendre les contraintes, la PIV et la gestion des risques liés à la tâche. Un **relevé des lieux** et des plans a été réalisé pour s'imprégner de l'organisation des lieux et localiser les zones de stockages, les machines, les allées de circulation. Ils ont aussi permis des échanges avec les caristes lors des entretiens. Un **dépliant explicatif** du projet laissé aux caristes et aux gestionnaires permettait de préciser les objectifs et les modalités de réalisation de l'étude.

3.2.1 Les caristes ayant participé à l'étude

Tous secteurs confondus, cinquante caristes ont participé à l'étude (38 expérimentés et 12 novices). Au T1, 15 caristes expérimentés ont été interrogés. Ils avaient tous reçu une formation. Ils comptaient en moyenne 25 années d'ancienneté. Toutefois, seulement 6 d'entre eux ont conduit le chariot instrumenté et ont fait l'objet d'analyses fines de leurs modes opératoires. Au T2, quatre caristes expérimentés et trois novices ont participé à l'étude. Un des novices était à sa première journée de travail dans cette usine. Cinq caristes (3 expérimentés et 2 novices) ont fait l'objet d'analyses fines. Au T3, vingt-trois caristes et cinq contremaîtres (souvent caristes), entre 17 ans et 63 ans, ont été interrogés. L'âge moyen était de 40 ans. Leur expérience dans l'entreprise variait entre 2 jours et 17 ans (moyenne = 3,3 ans). Neuf caristes avaient moins de 6 mois d'expérience. Douze d'entre eux ont conduit le chariot instrumenté, donc ont fait l'objet d'analyses fines. Pour l'étude de la PIV, 15 caristes ont porté l'oculomètre. L'âge moyen des participants était de 46 ans et ils comptaient en moyenne 27 ans d'expérience.

3.2.2 Instrumentation utilisée

3.2.2.1 Le chariot instrumenté et l'odométrie

Le chariot le plus utilisé par les caristes a été équipé de capteurs pour récolter de l'information sur la hauteur de fourche, l'inclinaison du mât, les déplacements du système de préhension, la présence de charges, la vitesse et la trajectoire du véhicule (Figure 5). Plusieurs tests ont été effectués en situation laboratoire à l'UQAM et à l'École polytechnique de Montréal pour développer une instrumentation fiable et polyvalente. Toutefois, comme l'équipement était utilisé intensément dans des milieux industriels, plusieurs bris sont survenus. Ces bris ont parfois compliqué le travail d'analyse, car nos bases de données n'étaient pas toutes homogènes. La synchronisation de ces différentes sources de données (caméras et capteurs) en temps réel a été assurée par un dispositif d'acquisition de données [44]. Les capteurs utilisés sont les suivants :

- Déplacements/vitesse/accélération (encodeur - odométrie) ;
- Tangage et roulis du véhicule (accéléromètre triaxial) ;
- Hauteur de fourche (potentiomètre linéaire, P300) ;
- Angle du mât (potentiomètre linéaire, P75) ;
- Rayon de braquage des roues (encodeur).

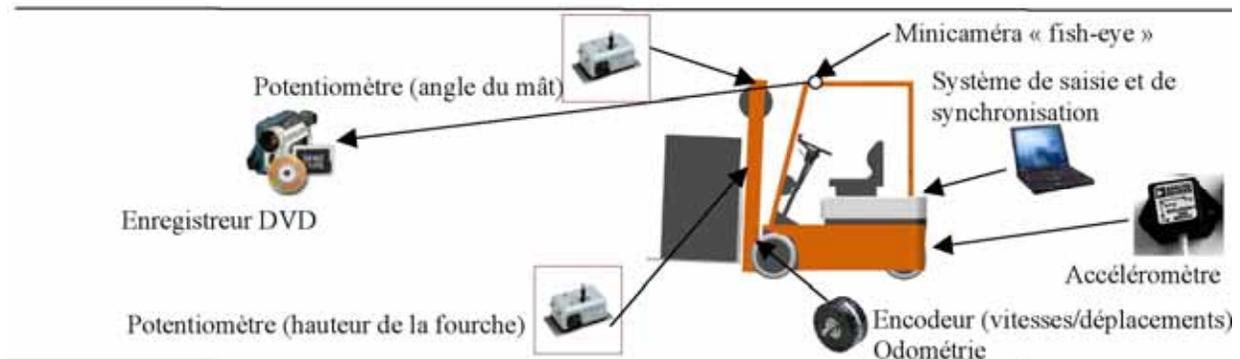


Figure 5 : Instruments installés sur les chariots

3.2.2.2 Capture vidéo sur le chariot et sur le terrain

Trois systèmes de caméra ont été utilisés. Une mini caméra (capteur 0.1 lux pour faible luminosité) munie d'une lentille fish-eye (Annexe I) reliée à une caméra DVD Sony, a été installée à bord du chariot au-dessus du cariste pour voir l'ensemble de sa *posture* durant la conduite, la *position* de ses mains sur les leviers et les *montées et descentes* du chariot, puis de comparer les modes opératoires des expérimentés et des novices. Un outil d'aide à l'observation a été développé à partir de la technologie immersive (cf. 5.5.2). Deux autres caméras vidéo ont filmé (environ 60 heures) des endroits stratégiques dans les entrepôts pour analyser la *coactivité* et l'encombrement sur le quai, dans les voies et les carrefours. Finalement, en raison du rayon d'action assez important dans la cour à bois, le système de surveillance de l'entreprise totalisant une douzaine de caméras a été utilisé pour l'analyse de la coactivité et l'encombrement.

3.2.2.3 Enregistreur d'événement (Actopalm)

Un relevé d'observations sur le terrain a été effectué avec un enregistreur d'événements Palm Tungstène muni du logiciel Actopalm (cf. 3.2.3).

3.2.2.4 L'oculomètre

L'instrument utilisé pour enregistrer les déplacements du point de regard (PDR) est un oculomètre (*eye-tracker*) Iscan ETL-500 composé d'un module optique porté par le cariste et d'un module de traitement des données. Le module optique est en fait un serre-tête portant deux caméras vidéo miniatures, une qui filme l'œil du cariste et l'autre, l'ergorama⁷, c'est-à-dire une partie du champ visuel dans lequel le cariste porte son regard. Le module de traitement fusionne

⁷ L'ergorama peut se définir comme le domaine non-exclusif de l'espace de travail où se trouve l'information visuelle, réelle ou potentielle, nécessaire pour réaliser le travail en toute sécurité.

ces deux sources d'information pour fournir, après calibrage, la position (x, y) du point de regard superposé à l'ergorama. Dans la pratique, les enregistrements ont été effectués sur le terrain et le traitement des données s'est fait *a posteriori*. Dix-sept séances d'enregistrements ont été réalisées avec les quinze caristes participants ; quatorze de ces enregistrements étaient d'une qualité suffisante, à divers degrés, pour analyse, totalisant six heures et 32 minutes de vidéo montrant les déplacements du PDR.

3.2.3 Déroulement des observations

Au T1 et T3, le déroulement chronologique de l'activité a été effectué *a posteriori*, à partir des bandes vidéo. Au T2 et T3, un relevé d'observations spécifique a été effectué avec l'enregistreur d'événements (Actopalm). Les données ont été recensées pendant trois quarts de travail pour avoir des données quantitatives sur le déchargement des remorques, la gestion des stocks (stock tampon, déterrage, rangement), l'alimentation des machines, la prise d'information (avec un opérateur, ordinateur, collègue, personnel de bureau, notes personnelles), les montées et descentes du chariot, l'utilisation du scanner, le repérage, les pauses, les déplacements et l'organisation du travail. Un observateur suivait l'engin et encodait les données. La compilation de ces données a été effectuée avec le logiciel Actogram. Le Tableau 5 présente les variables recueillies et analysées avec le chariot instrumenté.

Tableau 5 : Variables recueillies et analysées avec le chariot instrumenté

Caméras	Capteurs
<ul style="list-style-type: none">• La fréquence et la durée des flexions latérales et torsions du tronc et du cou ;• La position des mains durant la conduite ;• Les interactions avec les commandes ;• Montées et descentes du chariot et motifs ;• Erreurs de commandes.	<ul style="list-style-type: none">• Le nombre de manœuvre pour positionner le véhicule ;• La distance parcourue par le cariste selon la tâche à réaliser ;• La vitesse du véhicule selon la nature des déplacements ;• L'occurrence des accélérations et freinages ;• La position de la charge dans l'espace ;• Les rayons et vitesses dans les virages.

L'étude de la prise d'information visuelle (PIV) a été réalisée principalement à l'aide d'enregistrements du point de regard (PDR⁸) de caristes portant l'oculomètre. Tous les caristes participants, sauf un, conduisaient le chariot instrumenté (Cf. section 3.2.2). Ils recevaient la consigne de faire leur travail comme ils avaient l'habitude de le faire. Pendant l'enregistrement, un membre de l'équipe de recherche prenait note de l'activité générale et des incidents reliés au travail du cariste participant.

3.2.4 Traitement et analyse des données

Le traitement et l'analyse des données ont été effectués *a posteriori* à partir des bandes vidéo, des données issues du Palm et de l'oculomètre. Les données issues des capteurs ont subi une première compression pour pouvoir être intégrées au système de synchronisation de données CAPTIV (Annexe I). Ce logiciel nous a permis de coupler l'analyse des postures et le

⁸ Le point de regard (PDR) peut se définir comme l'objet ou l'endroit sur lequel l'œil se pose dans une scène.

positionnement des mains avec les données issues de l'instrumentation, de faire des traitements statistiques, de produire des tableaux de durées d'états, puis de produire des graphes d'activité.

Pour l'étude de la PIV, la réalisation du vidéo montrant la superposition du marqueur de PDR sur la scène se faisait *a posteriori*. Les séquences vidéo montrant les déplacements du PDR ainsi obtenus ont ensuite été numérisées en format AVI et stockées sur ordinateur en vue de leur analyse en synchronisme avec certaines données numériques issues des capteurs (déplacement, hauteur des fourches et angle du mât) installés sur le chariot instrumenté. La synchronisation avec les fichiers vidéo et les fichiers des capteurs était aussi assurée par le logiciel CAPTIV.

3.2.4.1 Relevé et codification des points de regard pour la PIV

L'analyse du déplacement du PDR enregistré à bord d'un véhicule en mouvement ne peut bénéficier d'un soutien informatique, contrairement à des situations où la scène, est fixe. En effet, dans ce dernier cas, des zones d'intérêt peuvent être définies par des coordonnées cartésiennes sur un plan vertical et le décompte des fréquences et des durées de passage du PDR dans ces zones peut être confié à un logiciel. Une telle automatisation du dépouillement est impossible dans notre cas car la scène est continuellement en changement au cours du déroulement du travail. Les données doivent donc être dépouillées manuellement, image par image, ce qui représente un travail considérable. Vu la lourdeur du processus et le grand nombre de PDR recueilli, l'analyse des données s'est fait en deux temps. L'activité de travail des caristes du T1 a d'abord été analysée au moyen d'un dépouillement quantitatif⁹ des données oculométriques et par des entrevues individuelles et semi-dirigées s'appuyant sur le visionnement de séquences vidéos montrant le déplacement du PDR. Ensuite, pour T2 et T3, c'est une analyse qualitative¹⁰ de la position du PDR qui a été faite, appuyée par des questions ponctuelles sur la prise d'information visuelle lors des entrevues de validation, hors confrontation, post-terrains.

Pour le T1, les séquences ont d'abord été segmentées en cycles de chargement ou de déplacement et l'analyse a principalement porté sur les risques de collision aux intersections, lors de rencontres ou de croisements d'autres chariots élévateurs et lors de manœuvres de recul. Ces observables ont d'abord été identifiés dans les séquences vidéo et notés à l'aide de CAPTIV. Les éléments sur lesquels le PDR des caristes se posait dans ces circonstances ont ensuite été identifiés. Le temps de fixation sur ces éléments (analyse quantitative) n'a été mesuré que sur une seule séquence compte tenu du temps de dépouillement nécessaire. Le Tableau 6 résume les activités réalisées par les caristes lors des enregistrements oculométriques.

Pour les T2 et T3, l'activité de travail a aussi été segmentée en cycles, mais selon des subdivisions orientées vers des sous-tâches (transport, gerbage, déplacement, dégerbage). Pour ces deux terrains, l'analyse qualitative validait la présence ou l'absence de patterns déjà observés, et notait le comportement visuel dans des situations jugées problématiques ou lors d'une dysfonction qui troublait le déroulement d'une opération.

⁹ On entend par « analyse quantitative » toute analyse basée sur des dénombrements, des durées ou des fréquences. Ce type d'analyse impliquait systématiquement un examen image par image de la séquence d'intérêt et un codage des observables.

¹⁰ On entend par « analyse qualitative » toute analyse basée sur une appréciation globale du phénomène observé, ou encore sur la notion de présence / absence d'une modalité d'un phénomène.

Tableau 6 : Activités des caristes lors des enregistrements oculométriques du T1

Cariste	Durée	Activité principale
S03	32 m 54 s	Stockage et emballage de 23 palettes
S04	24 m 16 s	Chargement de 9 palettes dans une remorque, recherche de stock
S05	46 m 05 s	Chargement de 21 palettes dans une remorque
S06	43 m 21 s	Stockage et déplacements dans l'entrepôt, 28 cycles
S07	30 m 07 s	Chargement de 18 palettes dans une remorque
S08	39 m 41 s	Chargement de 16 palettes dans une remorque

3.2.4.2 Entretien

Différents types d'entretiens ont été effectués dans les trois terrains. Des **entretiens préliminaires semi-dirigés** constitués de questions ouvertes ont été effectués avec l'ensemble des caristes, des responsables des opérations et des opérateurs en coactivité pour documenter leurs connaissances des politiques, règles, prescriptions et pratiques préventives préconisées. Les entretiens étaient effectués à la fin d'un cycle de travail, lorsque le travailleur immobilisait son véhicule ou lorsqu'il pouvait se libérer. Les analyses ont aussi été soumises aux opérateurs sous forme d'**autoconfrontation** (verbalisations de l'opérateur confronté à certaines parties filmées de son activité) et d'**entretiens dirigés** effectués à partir de séquences vidéo triées sur le volet, de plans d'usine et de données de production. Ces entretiens ont été filmés ou enregistrés. Un compte rendu des tours de paroles a été fait pour compiler les entretiens [25][27][55]. Les questions visaient à enrichir l'analyse et à documenter les problèmes associés aux contraintes temporelles, à la conception des équipements (chariot et appareil de préhension), à la formation, à l'aménagement des lieux, à la manipulation des charges et à documenter les raisons qui amènent les caristes à transformer leurs modes opératoires selon la diversité des situations. Elles visaient également à mettre en lumière les régulations et stratégies d'anticipation qu'ils utilisent et les conséquences que les contraintes temporelles peuvent avoir sur la qualité du travail et les risques de renversement et de collision (cf. Annexe VI). Les entretiens ont été effectués dans une salle de l'entreprise. D'autres entretiens ont été effectués avec les caristes et les dirigeants pour valider les résultats.

Pour la prise d'information visuelle, une entrevue d'autoconfrontation a été réalisée avec chacun des six caristes participants du T1. Pour ces entretiens, un montage vidéo des séquences pertinentes à la problématique a été réalisé à partir des enregistrements originaux du PDR, et était utilisé comme mise en situation. Cette entrevue était elle-même enregistrée sur vidéo et le contenu était transcrit ultérieurement. Les thèmes abordés lors de l'entrevue d'autoconfrontation étaient le contrôle du chariot et de la charge, la recherche et transport du matériel (incluant l'utilisation de l'ordinateur de logistique et la recherche de stock dans l'entrepôt) et l'interactions avec d'autres chariots et piétons (priorité aux intersections, rôle du klaxon et des miroirs). Pour les T2 et T3, un nombre limité de questions spécifiques à la prise d'information visuelle était inclus dans les entretiens de validation post-terrain.

3.2.4.3 Les postures pendant la conduite

Les postures pendant la conduite ont été analysées avec les vidéos de la caméra fish-eye embarquée sur le chariot. Les données ont été recensées quand l'opérateur était à l'intérieur du

chariot. Les observations ont été réalisées selon les périodes suivantes : T1 - 2 jours (36 heures) avec un temps total de conduite de 11 h 47 min ; T2 – 2 jours (48 heures) avec un temps total de conduite de 6 h 53 min ; T3 – 4 jours (60 heures) avec un temps total de conduite de 11 h 35 min. Le choix des périodes de dépouillement a été fait en fonction de l’opérationnalité des instruments, pour couvrir tous les quarts, avoir une variété d’utilisateurs et selon des périodes calmes et d’affluence. Quatre catégories d’observables ont été analysées : les positions des mains, la position du tronc, la présence à bord et l’activité effectuée (Tableau 7).

Tableau 7 : Observables liés à l’analyse des postures pendant la conduite, la présence à bord du chariot et l’activité effectuée

Position des mains		Posture du tronc	Présence à bord	Activités
<u>Main gauche</u>	<u>Main droite</u>			
Volant	Volant	Neutre	Dedans	Manoeuvres
Corps	Corps	Flexion latérale g	Dehors	Déplacements
Klaxon	Klaxon	Flexion latérale d		Remorques
Scan	Scan	Rotation g		Emballeuse
Embrayage	Leviers (T1,T3)	Rotation d		
Papier	Lev. 1 (T2)			
Frein à main	Lev. 2 (T2)			
Autre	Lev. 3 (T2)			
Téléphone	Lev. 1-2(T2)			
	Lev. 1-2-3 (T2)			
	Ordinateur			
	Papier			
	Téléphone (T3)			
	Autre			

T1 = terrain 1, T2 = terrain 2, T3 = terrain 3

Pour la position des mains pendant la conduite, chaque main a été observée selon ce qu’elle touchait. Lorsqu’une même main correspondait à 2 critères simultanément, le maniement des leviers et du volant a été priorisé (exemple : manipule un levier alors qu’il tient un scan avec la même main). La catégorie « autre » correspond à d’autres activités comme attendre, parler ou lorsque l’opérateur quitte le chariot. Le protocole a été affiné au T2 pour distinguer la position des mains sur chaque levier. La posture du tronc a été caractérisée en terme de flexions latérales et rotations. Une flexion était saisie lorsque le buste de l’opérateur était incliné sur le côté alors que la rotation, lorsque l’opérateur tournait la tête du côté gauche ou droit et qu’on ne voyait plus son visage. Au T3, le changement de caméra a modifié l’angle de vision de la caméra et n’a pas permis de faire une saisie aussi fine des rotations qu’au T1 et T2. Une autre passe vidéo a permis de recenser la présence ou non du cariste à bord du chariot. Les activités ont été classées comme suit : i) les *manoeuvres* commençaient à partir du premier changement de hauteur des fourches jusqu’au début d’une autre activité, ii) les *déplacements* dès que la charge était posée ou cueillie, iii) la *remorque*, au moment où il entrait jusqu’à ce qu’il en sorte, iv) l’*emballeuse* lorsque le cariste sortait du chariot pour emballer une palette, et v) les *autres* pour toute autre activité.

3.2.4.4 Déplacements et vitesses

L'analyse des vitesses et des déplacements a été effectuée avec les données provenant des encodeurs du chariot instrumenté. Les déplacements ont été calculés dans le logiciel Excel alors que les vitesses ont été analysées dans le logiciel CAPTIV. Outre les statistiques de base comme la vitesse moyenne en déplacement et en manœuvre, une analyse spécifique a été faite pour identifier les séquences où les pics de vitesse étaient atteints, à la fois en marche avant et arrière. Deux critères ont été appliqués : plus de 10 km/h et plus de 15 km/h.

3.2.4.5 Analyse de la coactivité dans les carrefours

Une analyse de la coactivité a été effectuée dans des endroits stratégiques, notamment les carrefours, identifiés comme plus affluents ou risqués par les caristes. Cette analyse, faite a posteriori avec les bandes vidéo filmant un carrefour en particulier, avait pour objectif d'une part de connaître le nombre de passages qu'effectuaient les caristes, véhicules et piétons dans un même carrefour ou voie de circulation, et d'autre part, de dénombrer les croisements et interactions (discussion et arrêt du véhicule) caristes-caristes, caristes-véhicules et caristes-piétons. Trois endroits ont été analysés dans le T1 (Quai 1, carrefour X1¹¹ et carrefour X5¹²), deux endroits au T2 (carrefour X7¹³ et X8¹⁴) et un carrefour a été analysé au T3, celui de l'entrée de la cour. Outre la fréquence de croisement, le temps de passage et d'interaction a aussi été noté (en heures, minutes) pour évaluer la nature de cette coactivité et le statut réel des voies de circulation (espace de circulation ou espace de manœuvre).

3.2.4.6 Relevé de la marchandise (poids, caractéristiques, bris)

Un relevé photographique et dimensionnel des principales charges manutentionnées était systématiquement fait dans chacun des terrains. Ce relevé a été croisé aux données d'entreprise recueillies pour tracer un portrait juste de la variabilité des charges. De plus, deux analyses spécifiques ont été faites aux T1 et T3. Au T1, un relevé systématique de l'encombrement du quai (position des palettes) a été réalisé pendant une journée pour connaître et qualifier l'évolution de la marchandise au fil du temps et quantifier l'encombrement du quai (Annexe III). Le relevé de l'entrepôt était fait à toutes les 30 minutes et la hauteur des palettes était notée selon des paramètres de visibilité : en bas de yeux (jaune) ou au-dessus des yeux (rouge) du cariste assis sur son siège (± 2 mètres). Cette analyse a permis de mettre en évidence les moments d'encombrement extrême. Au T3, un relevé pondéral des principales charges soulevées a été effectué avec une balance industrielle (6000 lbs) pour caractériser la variabilité des marchandises et pour pouvoir estimer leur centre de masse ; paramètre important pour évaluer la stabilité du chariot. Les charges pesées sont répertoriées dans un tableau en Annexe VII.

3.3. Caractérisation des lieux, des chariots et des équipements

Une caractérisation des lieux, chariots et équipements a été réalisée à l'aide de photographies et de relevés dimensionnels. Les photographies montrent les caractéristiques du

¹¹ X1 : Carrefour du T1 reliant le quai d'expédition, le bureau et les palettiers ;

¹² X5 : Carrefour du T1 situé à proximité des machines de coupe et des chargeurs à batteries ;

¹³ X7 : Carrefour du T2 situé devant l'aire de stockage n° CC17 ;

¹⁴ X8 : Carrefour du T2 situé devant le quai de déchargement.

sol, les indices d'avaries dans l'environnement et serviront à établir une relation entre la présence d'obstacles ou passages difficiles et des problèmes de détection visuelle de la part du cariste. Certaines de ces photos sont présentées en Annexe IX et discutées au chapitre 4.2.1.3 sur les obstructions visuelles.

Des relevés dimensionnels de deux chariots (Toyota électrique et Toyota 30 thermique), ont été réalisés ainsi qu'un dessin à l'échelle en plan et en vue de profile pour effectuer des simulations 2D sur la trajectoire du regard à l'aide de lignes droites partant du centre des deux yeux. Ces dessins ont permis de déterminer les angles morts, les zones masquées ou non visibles aux pieds des roues, la zone de vision en marche arrière et les évaluations des distances de détection de piéton accroupie.

Enfin, des photos et relevés dimensionnels des accessoires d'aide à la prise d'informations visuelles du cariste ont été réalisés dans les trois terrains. On y trouve les miroirs paraboliques, les étiquettes de produits, les panneaux de circulation et différents types d'avertisseurs de présence. Ces données mettront en perspective des problèmes de repérage visuel par le cariste, des problèmes d'aménagement et les conséquences sur les risques de collisions ou d'accrochage avec les structures, le matériel, d'autres chariots ou des piétons.

4. RÉSULTATS

L'étude permet de montrer que contrairement à la perception qu'on peut en avoir, le travail de cariste ne consiste pas seulement à déplacer des charges en conduisant un véhicule, mais à gérer un ensemble de paramètres pour arriver à le faire avec efficacité, c'est-à-dire sans endommager la marchandise et dans des délais impartis, souvent courts à cause de la pression concurrentielle. Le premier rôle du cariste est de répondre aux exigences de manutention d'un système de production en utilisant un outil de travail, un véhicule, un chariot élévateur qui le supporte dans sa tâche et atténue la pénibilité de la manutention. Manutentionner une charge, c'est se soumettre à des opérations de manipulation, de déplacement de marchandises en vue de les emmagasiner, de les expédier ou de les vendre [43].

Ce chapitre présente les principaux résultats issus de l'analyse de l'activité. Il synthétise l'analyse spécifique de chacun des terrains présentée dans les rapports d'intervention remis aux entreprises. D'abord, sur la base des trois terrains observés, nous traçons un portrait du travail des caristes et mettons en lumière différentes stratégies qu'ils utilisent et les contraintes qu'ils rencontrent pour gérer avec efficacité le transport des marchandises, leur sécurité et pour conduire un chariot élévateur. Ensuite, nous montrons comment la prise d'information visuelle, auditive et proprioceptive participe au travail des caristes, pallie aux problèmes d'obstructions visuelles et aide à gérer les risques. Une section est également consacrée au problème de la coactivité et les risques de collisions dans les carrefours et les voies de circulation. Par la suite, nous discutons des risques de collision et de renversement générés par l'encombrement et l'aménagement des espaces. Une cinquième section traite de la conception déficiente des chariots élévateurs. Puis, nous présentons les contraintes associées à la formation des caristes et discutons de la nécessité de continuer le travail de prévention.

4.1. Le métier de cariste : mettre à profit des savoir-faire d'expérience pour gérer avec efficacité le transport de la marchandise et la sécurité

L'analyse de l'activité montre que manutentionner une charge avec efficacité dans un système de production est une tâche exigeante qui nécessite des savoir-faire qui permettent de gérer simultanément de nombreux paramètres liés à la charge, aux espaces de travail, aux objectifs de production, aux contraintes temporelles et organisationnelles et à la conduite d'un véhicule. Gérer la manutention d'une charge, c'est la localiser, la prendre et évaluer sa stabilité selon des critères variables d'une fois à l'autre. C'est apprendre à développer des modes opératoires précis et difficiles à acquérir pour manœuvrer un véhicule dans des espaces restreints. C'est déplacer la charge en adoptant une conduite fluide qui tient compte des surfaces de roulement, des obstacles sur les parcours, des gens que l'on rencontre soudainement, des chauffeurs qui attendent, des machines qui doivent être ravitaillées. C'est aussi faire face à des périodes de rush, des retards et des pressions temporelles. C'est ordonnancer la séquence de cueillettes selon des critères judicieux liés au trajet de livraison de la remorque, à des modifications de commandes ou à de la marchandise endommagée pour assurer une qualité et une efficacité de service. Cette section vise à décrire certains de ces paramètres qui font partie intégrante du travail des caristes et qui modulent leur façon de conduire le véhicule.

4.1.1 La variabilité de la marchandise

La variabilité des charges est un déterminant important du travail des caristes. D'une manutention à l'autre, les caristes doivent manipuler des charges de même nature (palettes, rouleaux, paquet de planches,...), mais qui varient sur le plan des dimensions (longueur, largeur, hauteur), de la forme, du poids, de la fragilité, etc.

À titre d'exemple, pour arriver à produire une gamme de plus de 1650 formats de papier différents, les caristes de l'entreprise du T2 devaient apporter quotidiennement plus de 150 rouleaux de papier de gamme variée, non inventoriée, qui pouvaient différer selon le numéro de lot, le format (60 - 185 cm en hauteur et 102 - 137 cm en diamètre), la base du papier, l'épaisseur, le calibre, la couleur, le mandrin, le poids (400 kg à plus de 2 tonnes), la longueur de papier existant sur le rouleau et la machine de coupe à laquelle il était destiné. La conjonction de l'ensemble de ces paramètres faisait la particularité d'un rouleau. Dans le cas de la *variabilité intercatégorie*, les différences sont facilement reconnaissables par les caristes, mais la *variabilité intracatégorie* (i.e. deux rouleaux de même numéro de lot différencié selon un des paramètres précités) est très fine et parfois difficilement observable. Cette variabilité sollicite l'attention du cariste qui a plus de mal à évaluer la charge et accroît les activités de recherche et de repérage des rouleaux.

Au T3, les caristes devaient manipuler plus de 8000 produits différents. Le tableau présenté en Annexe VII illustre quelques-unes des caractéristiques de cette variabilité. Comme dans l'exemple précédent, on retrouve une variabilité intercatégorie facilement identifiable (i.e. : bois vert, mousse, placoplâtre, ...) et intracatégorie plus subtile comme le bois vert qui n'a pas le même poids selon qu'il regorge de sève ou qu'il a séché au moulin. Dans le cas de marchandises variées, la tâche du cariste est plus ardue, car il doit connaître la propriété des charges pour se déterminer une stratégie de manutention. Par exemple, un panneau de placoplâtre très fragile doit être manutentionné à basse vitesse, car il oscille facilement et risque de se fendre. En manipulant des panneaux d'aggloméré lustrés et très glissants, le cariste doit freiner tout en douceur. Il ne doit pas déplacer des panneaux de polystyrène qui ne sont pas attachés, car ils vont s'envoler. Et ainsi de suite pour l'ensemble des 8000 produits.

4.1.2 La gestion des stocks : de la préparation, de la planification, du repérage, des responsabilités, des décisions et des contraintes temporelles

L'analyse montre que la recherche de la marchandise entraîne plusieurs conséquences coûteuses pour le cariste, notamment la perte de temps, des relations conflictuelles avec ceux qui attendent, des pertes financières et des manipulations supplémentaires. À titre d'exemple, l'analyse de l'activité au T3 montre pour une activité de préparation de commande intermagasin de 27 articles, que le premier article a nécessité 22 minutes de recherche et l'aide d'un deuxième cariste, et le second 56 minutes, soit plus d'une heure de perte de temps pour seulement deux articles. Plusieurs possibilités s'offrent au cariste s'il ne trouve pas la marchandise là où elle devrait se trouver : il cherche intuitivement en circulant avec le chariot, demande à des collègues, consulte le système informatique et/ou enlève la marchandise de la commande ou la remplace par une autre de meilleure qualité au même prix. Cette recherche oblige le cariste à réorganiser son activité et accroît la pression temporelle puisque la remorque doit être remplie pour une heure de

départ fixée. Une des difficultés tient au fait que la marchandise bouge et change constamment de place en fonction des commandes, de l'arrivée de nouvelles marchandises, du départ des remorques, etc. L'entrepôt est « vivant ». Comme le cariste ne sait jamais ce qui l'attend d'une fois à l'autre, l'analyse montre qu'il met en place des stratégies d'anticipation et de régulation qui lui permettent de mieux gérer ces impondérables routiniers, stratégies basées sur la connaissance des stocks et des lieux et la création de stock tampon.

Par exemple, l'activité de gestion du cariste débute systématiquement par une phase de préparation, d'organisation et de planification du travail de la journée. Il organise le déroulement chronologique des tâches à effectuer et planifie une vision à long terme de son travail. Il anticipe. Au T2, ce temps de préparation pouvait prendre jusqu'à 40 minutes en début de quart. Au total, plus de 54 % du temps de travail observé (n = 24 heures ; 3 quarts) était consacré à la préparation et à la gestion des stocks (Figure 6). Le temps à manœuvrer pour alimenter les machines, leur principale tâche, représentait 17 % du temps total de travail. Ainsi, le cariste inspectait l'entrepôt pour mieux se représenter l'état des stocks. La localisation des rouleaux lui évitait d'avoir à les chercher au moment où il devait les amener à la machine. Il s'agit donc d'une stratégie d'anticipation et de prudence qui permettait d'éviter de devoir chercher prestement des rouleaux en roulant.

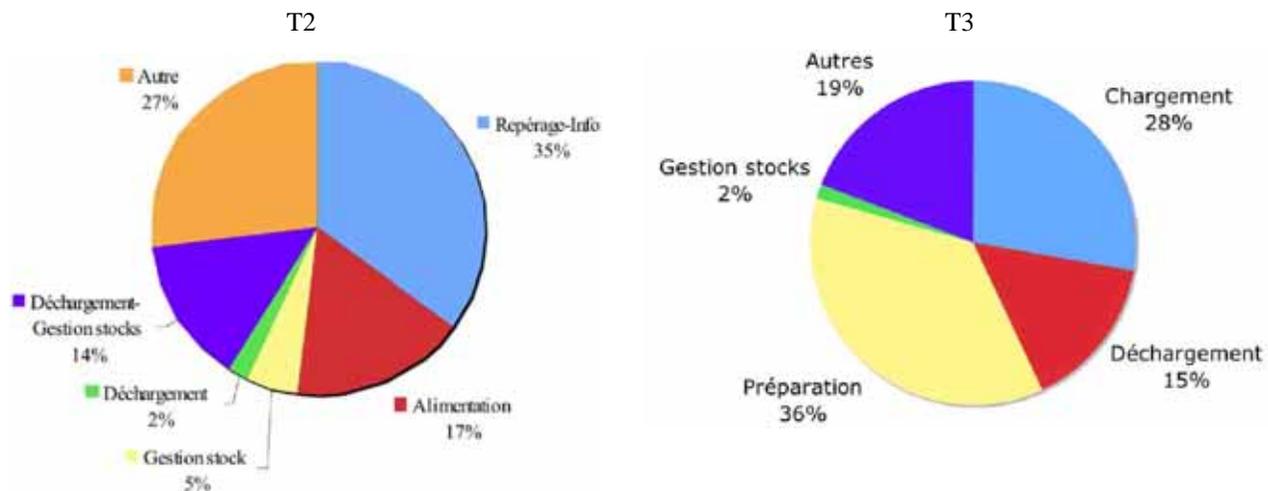


Figure 6 : Distribution du temps consacré aux principales tâches au T2 et T3

Compte tenu qu'une partie des stocks se trouvait dans les remorques, ce travail de repérage en début de quart lui permettait d'anticiper et d'organiser les déchargements, au fur et à mesure, en fonction de la place qu'il avait dans l'entrepôt et des besoins présents et futurs des machines. Le cariste disposait de marges de manœuvres pour décider de ne pas décharger immédiatement une remorque si l'entrepôt était surchargé et qu'elle ne contenait pas des rouleaux à couper rapidement, pour éviter la dispersion des rouleaux dans les zones de stockage et optimiser l'efficacité du travail, c'est-à-dire « faire tourner les opérations avec fluidité ; si tu dois dépiler beaucoup, tu ralentis et tu travailles deux fois plus » ; ce que nous appelons du

« déterrage »¹⁵. Selon la situation, les caristes utilisaient différentes stratégies de manutention, notamment de décharger et placer les rouleaux immédiatement (14 %), de décharger et déposer les charges sur le quai pour libérer la remorque (2 %) et de repositionner les rouleaux d'un lieu de stockage à un autre (5 %).

Au T3, sur plus de 15 heures d'observation, les caristes ont consacré 36 % du temps de travail à la préparation de commande, 2 % à des activités de gestion de stock, c'est-à-dire au repositionnement de la marchandise, et 43 % au chargement/déchargement de remorque. L'activité de préparation consistait à faire du repérage, de la recherche de marchandise, des déplacements avec des charges et des manœuvres. Le temps de préparation et la quantité de déplacements augmentent à mesure que la marchandise est difficile à trouver.

La variabilité de la marchandise accentue le travail de recherche, car elle complique l'identification et le repérage. Pour gérer cette variabilité, inventorier la marchandise, faciliter sa classification et son repérage, les entreprises ont codifié la marchandise et se sont dotées de système logistique. Selon la performance du système logistique, cette recherche est plus ou moins facilitée. Dans les trois terrains, l'analyse a montré plusieurs écarts entre l'information fournie par le système et l'état réel des stocks. Cela est lié à plusieurs raisons : erreur du système, oubli de scanner une charge après l'avoir déplacée, marchandises endommagées non rapportées, etc. Une des tâches cognitivement ardue du travail des caristes est d'interpréter cette codification, de l'associer à un lieu de stockage et de commencer la recherche. Les observations montrent que les caristes expérimentés apprennent les codes par cœur et se développent des repères pour être en mesure de reconnaître rapidement la marchandise de loin. Compte tenu de la piètre qualité des étiquettes, les caristes mentionnent les utiliser pour confirmer l'information, pas pour repérer la charge. *Les caristes gèrent en partie cette variabilité en anticipant l'inventaire par un travail de préparation, d'organisation et de localisation des stocks.* Certaines entreprises attirent un opérateur uniquement à cette tâche : le vérificateur ou l'adresseur. *Plus il y a des caristes qui travaillent en même temps, plus le travail de repérage est exigeant et important, car plus la marchandise bouge rapidement.*

L'analyse a mis en évidence que *les activités de déterrage sont coûteuses pour les caristes. D'abord parce qu'une palette enterrée n'est plus visible et implique un temps de recherche plus long et que la déterrer implique des manipulations supplémentaires et l'encombrement des voies de circulation* (cf. section 4.4). À titre d'exemple, au T3, le cariste a mis 7 minutes pour aller chercher une palette enterrée, puis 10 minutes pour reconstituer les stocks qu'il avait mis de côté pour la déterrer. Cette opération l'a amené à manipuler une palette instable : un lot de planches non attachées. Dans les situations où il y a plusieurs caristes, comme au T1, et où les chances de se faire enterrer une palette sont élevées, certains caristes vont se créer des stocks tampons, voire encombrer les voies de circulation, et accroître les risques de collisions.

Les observations montrent qu'en période d'accalmie, les caristes cherchent à prendre de l'avance. Cette stratégie d'anticipation vise à prévoir des périodes de rush ou des retards

¹⁵ Par « déterrage », nous entendons une série de manœuvres pour déplacer temporairement sur le côté les marchandises placées devant une charge que l'on souhaite avoir.

éventuels : « *je planifie toujours d'avance parce que ça change souvent* ». *Les retards, les périodes de rush et la pression temporelle font partie intégrante du travail des caristes. Ils sont liés à plusieurs impondérables dont la recherche de marchandise, les incidents, les attentes, les changements de commande, etc.*

Dans le secteur des pâtes et papiers, les caristes rapportent que les changements de production et les modifications de commande qui sont souvent spontanés et imprévisibles, engendraient de la pénibilité dans le travail, car ils entraînaient une perte des marges de manœuvres et de la vision à long terme de l'organisation du quart. Les caristes devaient alors se réorganiser rapidement en fonction du nouvel élément, ce qui contraste avec la préparation minutieuse qu'ils avaient effectuée en début de quart. La perte de temps associée aux changements de programmation (T2) variait entre 40 minutes et une heure. Nous en avons observé quatre en une seule journée.

Au T3, la politique de satisfaction du client posait aussi des problèmes. Ainsi, un cariste pouvait être en train de charger une remorque ou préparer une commande, lorsqu'un client se présentait dans la cour, il devait interrompre son activité pour le servir. Cette règle est d'autant plus contraignante que le cariste appartenait à n'importe quel secteur d'activité ayant ses propres contraintes. La Figure 7 montre la variabilité du nombre de clients qui se sont présentés (en rouge) à l'entrée de la cour. On remarque qu'il n'y a pas de moments prévisibles et que le cariste est susceptible de se faire interrompre à tout moment, ce qui favorise la pression temporelle. Entre 9 h 00 et 9 h 30, il y a eu près de 70 arrivées de client. Les mêmes problèmes se sont posés avec l'ajout de commandes de dernière minute en fin de journée au T1. Les pressions concurrentielles obligent les entreprises à être capable de réagir rapidement et fournir rapidement toute nouvelle commande. *Ces modifications de commandes, selon le moment où elles surviennent, mettent en échec le travail de préparation, obligent une certaine réorganisation et un travail de récupération, occasionnent des retards et des contraintes temporelles pénibles pour les caristes.*

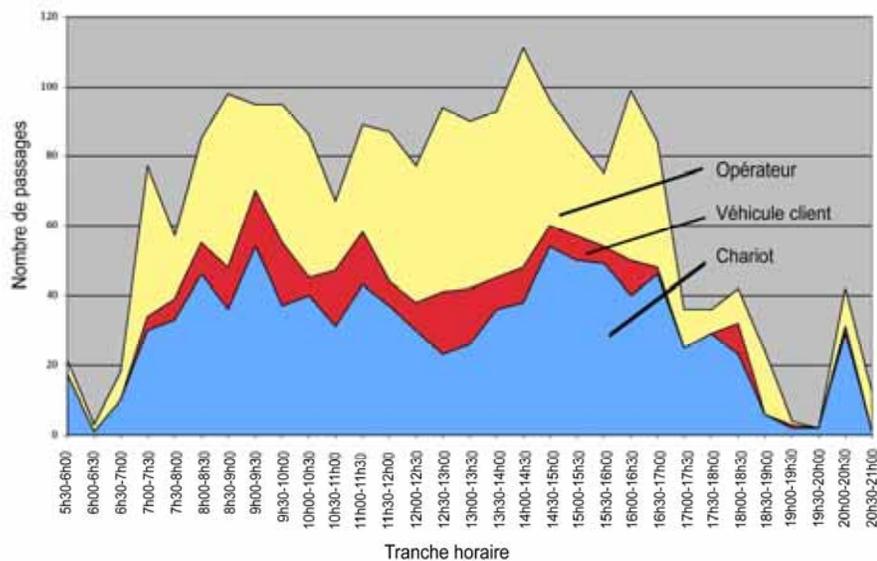


Figure 7 : Graphe du nombre de passages de véhicules clients (au centre) dans la cour à bois par tranche de 30 minutes lors de la journée du 5/08

4.1.3 L'activité de conduite du chariot

Les caristes observés dans les trois terrains roulaient le plus souvent en marche avant (Figure 8). Les marches arrière ont été effectuées durant les manœuvres, pour sortir d'une remorque ou lors d'activité de recherche de marchandises. Au T2, les caristes ont effectué davantage de marche arrière, car la dimension des rouleaux et la pince obstruaient la vue vers l'avant. Au T2 et T3, sur une quinzaine d'heures d'observation (environ deux quarts de travail), le chariot instrumenté a parcouru plus de 33 km. Outre la prise d'information au cours de la conduite dont il sera question plus loin (cf. section 4.2), trois éléments liés à la conduite des chariots ont retenu notre attention, notamment monter et descendre du véhicule, les postures du tronc et du cou pour réaliser l'activité et le positionnement des mains pendant la conduite. Pour ne pas alourdir le texte, les auteurs ont choisi de ne présenter dans ce document qu'une synthèse de ces éléments. Une compilation plus exhaustive des stratégies de conduite par cariste et par entreprise est compilée dans un document intitulé : « Caractérisation des postures et de l'environnement des caristes pour mieux simuler leur activité » disponible sur demande¹⁶.

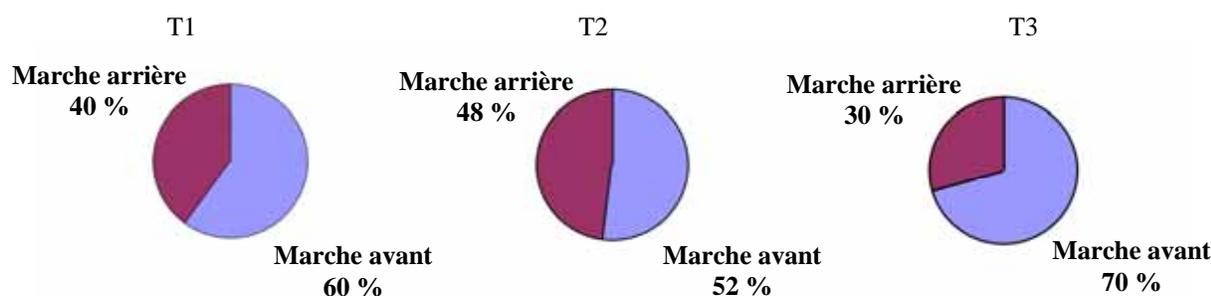


Figure 8 : Distribution de la conduite en marche avant et arrière pour chaque terrain

4.1.3.1 Monter et descendre du véhicule

Nous avons dénombré les fois où les caristes sont descendus et montés abord du chariot instrumenté. La Figure 9 montre le nombre de descentes par minute selon trois types de tâches et ce, pour les trois terrains. On observe une grande variabilité dans les trois terrains selon la nature des tâches effectuées. L'Annexe VIII présente l'ensemble des données obtenues dans les trois terrains.

Dans certaines tâches comme le chargement des remorques, les caristes n'ont pas eu à descendre souvent. Par exemple, au T1, les caristes sont descendus 35 fois en 321 minutes d'observation (0,11 descente / min), soit en moyenne une descente à toutes les 9,2 minutes. Les graphes d'activité font état de situation de chargement de 22 palettes d'environ 30 minutes, pendant lesquelles le cariste, n'a pas quitté son poste. Toutefois, les résultats montrent certaines situations comme les tâches de préparation des commandes où les caristes doivent descendre plus souvent du chariot, et ce, dans les trois terrains observés. Comme l'illustre la Figure 9, les caristes ont effectué en moyenne 0,42 descente par minute, c'est-à-dire qu'ils sont descendus en moyenne à toutes les 2,4 minutes. Le nombre de descentes par minute le plus élevé a été observé au T3 où les caristes sont descendus 90 fois au cours des 160 minutes d'observation, soit une

¹⁶ Pour obtenir le document, contacter vezeau.steve@uqam.ca

sortie à toutes les 1,8 minutes. Les caristes devaient notamment descendre pour mettre les séparateurs entre les palettes et pour récupérer les bons de commande. Sur T2, les caristes devaient notamment descendre pour aider un opérateur à déplacer un rouleau, pour consulter l'ordinateur ou pour scanner les rouleaux. Ainsi, les raisons qui amènent les caristes à sortir sont multiples : prendre le bon de commande, aller au bureau, ramasser son crayon, ramasser des débris, ouvrir une porte, fermer la remorque, vérifier l'état de la charge, scanner une palette, changer la batterie, remplacer le réservoir de propane, actionner les équipements d'emballage, chercher une charge spécifique, faire du repérage et organiser la marchandise sur une palette. En accord avec d'autres études [32][39], les entrevues effectuées avec les caristes dans les trois terrains confirment que cette grande variabilité d'occurrence de montées et descentes du chariot expliquerait l'inutilisation de certains dispositifs de retenue comme la ceinture de sécurité. Elle met également en évidence les contraintes posturales contraignantes à déployer pour accéder au véhicule.

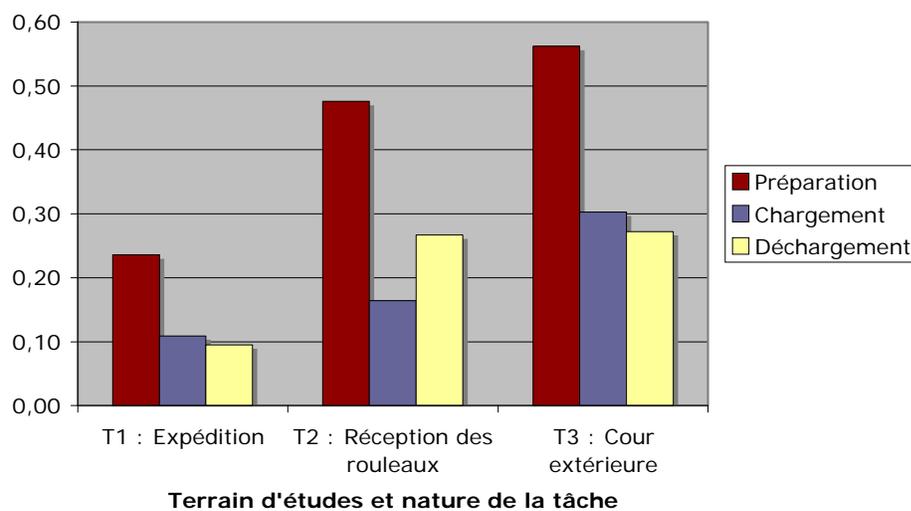


Figure 9 : Nombre de descentes par minute du cariste selon différentes tâches

4.1.3.2 Les flexions et rotations pour réaliser l'activité

L'analyse de l'activité montre que les caristes doivent fréquemment adopter des postures contraignantes pour compenser les obstructions visuelles liées au chariot et à l'environnement (cf. section 4.2.1.3), notamment des flexions et rotations prononcées du tronc et du cou (Tableau 8). Globalement, les résultats sont cohérents sur tous les terrains, c'est-à-dire que les caristes font plus de flexions à gauche et plus de rotations à droite.

Les flexions prononcées sont adoptées pour prendre de l'information visuelle vers l'avant, c'est-à-dire à travers le mât, le dossier et le FOPS alors que les torsions sont attribuables à la prise d'information visuelle lors de la marche arrière. La quantité de flexion latérale gauche s'explique par la présence des leviers du côté droit et le fait que le siège est décentré vers la

gauche. Au T2, l'obstruction visuelle plus importante causée par les rouleaux et la pince ainsi que le travail de précision requis pour empiler les rouleaux, a augmenté le nombre de flexions à droite. Au T3, le nombre de flexions par minute a été le plus élevé. *Ces données témoignent de l'influence de la tâche et de la PIV sur les postures de conduite, car les contraintes liées à la dimension et la variété des charges et à la précision exigée pour charger les remorques étaient élevées sur ce terrain. Le nombre élevé de mouvements du rachis (flexions et rotations) engendre une sollicitation des vertèbres cervicales et des muscles dorsaux et lombaires qui pourrait engendrer de la fatigue musculaire.* Au T1 et T2, une partie des flexions latérales est aussi liée à l'utilisation du scan. Les observations montrent également que les novices font davantage de flexions. Les chariots observés avaient tous des sièges à dossier bas, sans appui latéraux, qui permettaient d'adopter de telles postures nécessaires pour gérer la stabilité des charges. Toutefois, l'analyse de l'activité nous amène à nous interroger sur l'impact que pourraient avoir les sièges enveloppant et les supports aux épaules très proéminents sur l'activité de conduite, notamment la prise d'information visuelle et la manipulation des leviers de commandes. Comme il n'a pas été possible d'en observer dans les différents terrains, il nous semble important de poser la question.

Tableau 8 : Fréquences moyennes de flexions latérales et de rotations du tronc et du cou par minute selon les terrains

Posture	T1	T2	T3	Fréquence moy. pour l'ensemble des terrains	Fréquence moy. pour les caristes expérimentés	Fréquence moy. pour les caristes novices	
Flexion latérale d	0,6	2,9	3,4	2,6	2,4	3,2	
Flexion latérale g	1,7	3,5	6,2	4,4	4,0	6,7	
Rotation d	2,4	0,9	1,9	1,8	1,8	1,9	
Rotation g	2,0	0,7	0,6	1,0	1,0	0,8	

4.1.3.3 Le positionnement des mains pendant la conduite

Les résultats de l'analyse des postures adoptées par les caristes à bord du chariot sont cohérents d'un terrain à l'autre (Tableau 9). Les caristes conduisent rarement les deux mains sur le volant. La main gauche est presque toujours positionnée sur le volant ($\pm 80-90\%$), alors que la main droite est maintenue sur les leviers ($\pm 65-75\%$) à droite du siège. Au T1 et T2, il faut également souligner que les caristes ont interagi à plusieurs reprises avec un ordinateur (943 fois) et un scan (509 fois) et pendant plus de 8 % du temps d'observation (T1 : 11 h 47 ; T2 = 6 h 53 ; T3 = 11 h 35). La main droite a fait plusieurs allers-retours entre les leviers et les équipements électroniques.

Les caristes expliquent qu'ils préfèrent garder la main droite sur les leviers, car les déplacements sont courts et les manœuvres impliquant l'utilisation des leviers sont fréquentes. De cette façon, ils peuvent continuer à conduire tout en anticipant les manœuvres qu'ils devront faire. C'est un avantage pour la performance [52].

Tableau 9 : Distribution du temps (%) de positionnement de la main gauche et droite sur différents éléments pendant la conduite et selon les terrains

Main portée sur	Main gauche			Main droite		
	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)	T1 (%)	T2 (%)	T3 (%)
Volant	90	78	80	3	4	5
Corps	5	8	8	7	10	12
Embrayage	2	0	2			
Frein	0	1	1			
Klaxon	1	0	0	1	1	0
Total Leviers				75	65	69
Levier1					25	
Levier1-2					19	
Levier1-2-3					1	
Levier2					4	
Levier3					16	
Ordinateur				7		
Téléphone ou scan	0	3	1	5	8	1
Papiers	0	5	4		4	4
Autres	2	5	4	2	8	9

Au T2, une analyse fine effectuée sur les modes opératoires déployés pour manipuler les leviers corrobore ces explications. On observe la manipulation fréquente de plusieurs leviers en même temps pour effectuer des doubles manœuvres (Tableau 10). La manipulation conjointe des leviers 1 (action verticale du mât) et 2 (inclinaison du mât de l'avant vers l'arrière) est la plus élevée. En fait, le levier 2 est rarement manipulé seul. Le levier 3 est plus souvent utilisé seul (16 %) parce qu'il est plus excentré et doit être poussé vers la droite pour serrer ou ouvrir les pinces, action effectuée au début ou à la fin de la manœuvre uniquement.

Tableau 10 : Distribution du temps (%) consacré à la manipulation simultanée des leviers pour les caristes expérimentés et les novices du T2 (temps total = 6 h 53)

	Levier 1	Levier 2	Levier 3	Levier 1-2	Levier 1-2-3	Leviers total
Expérimenté 1	20	3	16	32	2	73
Expérimenté 2	8,5	0,5	11	57	8	85
Expérimenté 3	38	7	19	0,5	0,5	65
Novice 1	30	7	22	0	0	59
Novice 2	29	3	13	0	0	45

Les données recueillies montrent que les opérateurs expérimentés sont les seuls à utiliser simultanément plusieurs leviers. Les novices utilisent principalement le levier 1 et peuvent passer beaucoup de temps à manipuler chaque levier durant les manœuvres. Les observations montrent que *les modes opératoires des novices engendrent des manœuvres plus saccadées*. Moins les opérateurs ont d'expérience, plus la durée où la main droite est posée sur le corps ou en position autre est élevée, car ils ne manipulent pas les leviers en même temps que la conduite. *Les caristes expérimentés expliquent que ces modes opératoires leur permettent de gagner du temps*

en multipliant les actions et assure la fluidité des mouvements qu'ils recherchent pour gérer la stabilité des charges et aussi pour atténuer les secousses ressenties sur tout le corps, puisque les chariots ne sont habituellement pas équipés de suspension.

4.1.3.4 La gestion de la stabilité

La gestion de la stabilité des charges est un autre déterminant sollicitant du travail des caristes. Elle survient à deux moments clés : lors du gerbage/dégerbage et au cours des déplacements. En ce qui concerne le gerbage/dégerbage, les caristes doivent composer avec des piles plus ou moins stables et la précision des manœuvres est décisive pour maintenir la stabilité de la pile et éviter la chute de marchandise (Figure 10 et Figure 11). À titre d'exemple, les caristes du T2 indiquent que l'empilement des rouleaux doit se faire de façon très précise pour ne pas les endommager ou endommager le mandrin (Figure 12). Ces manipulations impliquent l'utilisation de modes opératoires fins, notamment parce que le chariot n'est pas équipé d'un « side shift » et que l'empilement doit se faire parfois à plus de 6 mètres de haut. Outre le positionnement de la charge, les caristes doivent également évaluer la pression de serrage à donner à la pince pour serrer suffisamment le rouleau pour le manipuler en toute sécurité, sans trop le serrer pour ne pas l'écraser (Figure 13). *La simple manipulation d'une charge fait appel à une variété de paramètres qui font partie du travail perceptivo-moteur du cariste et caractérise sa compétence. L'évaluation de la capacité ou non de gerber une ou plusieurs charge(s) au cours du déchargement d'une remorque est aussi un savoir-faire que le cariste doit se construire.*



Figure 10 : Stabilité des charges (panneaux non attachés)



Figure 11 : Stabilité des charges (pile instable)

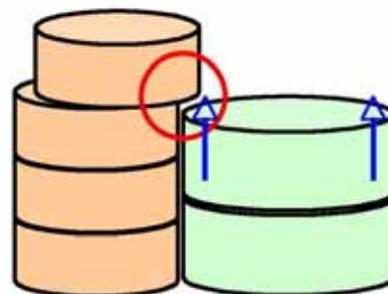


Figure 12 : Stabilité des charges (Placer le rouleau avec précision)

En ce qui concerne les déplacements, la nature des charges et leur variabilité obligent le cariste à évaluer leur stabilité selon une grande variété de critères liés à la charge (fragilité, volume, poids, friabilité, texture glissante, non attachée, etc.), aux déplacements (vitesse, freinage, accélération, hauteur des fourches, etc.), et à l'environnement dans lequel les déplacements sont effectués (largeur des voies, obstacles, états des surfaces de roulement, etc.). Pour évaluer la stabilité de leurs charges pendant les déplacements, les caristes disposent de peu de moyens, sinon l'expérience et la connaissance de leurs propriétés. Par exemple, les caristes du T3 ont appris d'expérience que les panneaux d'aggloméré glissent facilement (Figure 10).

La principale conséquence associée à un manque de contrôle de la charge est souvent le bris de marchandise. *Les bris sont coûteux pour l'entreprise sur le plan financier en terme de perte de marchandise et sont aussi très coûteux pour le cariste sur le plan temporel.* Les observations montrent que la reconstitution de quatre palettes de briques a nécessité 8 heures de travail à deux opérateurs (Figure 14). La reconstitution d'un lot de planche a également nécessité plus d'une heure de perte de temps pour reconstituer la palette (Figure 15). L'incident est survenu au moment où le cariste qui manipulait une charge non attachée est passé dans une roulière. La gestion de la stabilité au cours des déplacements est grandement tributaire des surfaces de roulement.



Figure 13 : Bris lié à un mauvais contrôle de la charge



Figure 14 : Quatre palettes de briques renversées



Figure 15 : Palette de bois renversée

4.1.3.5 Les surfaces de roulement et les éléments accidentogènes

Les observations montrent que l'état des surfaces est très variable, voire dégradé dans certaines circonstances, et que les caristes doivent contourner plusieurs obstacles pendant qu'ils conduisent. Parmi les caractéristiques à considérer, nous avons entre autres répertorié sur les trajectoires des chariots des nids de poule, des crevasses, des ornières, des pentes, des débris, de l'eau, de la glace, des trous, des éléments de structures, des dénivelés, des seuils de porte, des colonnes, des rails, des substances poussiéreuses, des revêtements lisses et glissants comme des planchers vernis, des plaques d'acier, etc. L'Annexe IX illustre certains de ces éléments répertoriés dans les différents terrains. Un portrait plus détaillé est également présenté dans le document « *Caractérisation des postures et de l'environnement des caristes pour mieux simuler leur activité* ». Ces éléments ont été retrouvés parfois à l'intérieur, parfois à l'extérieur. Toutefois, les conditions sont plus dégradées dans la cour à bois globalement composée d'asphalte à l'extérieur et de béton à l'intérieur des hangars. Les caristes qui évoluent dans cet environnement doivent tenir compte de ces dégradations et obstacles, car ils ont un impact direct sur les réactions du chariot et, par extension, sur la stabilité de la marchandise transportée. Au T1, un cariste a frappé un trou inhabituel entre deux plaques de béton, sur la trajectoire de la roue gauche. Il était en marche avant avec une charge. Après l'avoir frappé, il a modifié sa trajectoire pour l'éviter les fois suivantes. Ce comportement de prudence est positif, mais le fait que le cariste ne l'a pas détecté lors de son premier passage montre que parfois, ils ne sont pas en mesure de le faire, ce qui accroît les risques de renversement. *De plus, les observations montrent que les caristes ne peuvent pas systématiquement tout éviter, car la présence d'autres véhicules*

ou l'endroit où est stationnée la remorque leur impose ces trajectoires parfois dégradées. Par exemple, au T3, le chargement des remorques devait être effectué sur un sol mélangé d'asphalte et de gravier, ce qui faisait osciller la charge (Figure 16).

Les caristes rapportent que l'eau engendre aussi des risques de collisions et de renversements. Sur le quai, la pluie, le froid, le gel et la poussière s'infiltrent le long des portes et par les interstices de la rampe d'accès. L'eau qui coule sur la plateforme de déchargement est transportée par les pneus et ainsi toute la zone humide devient très glissante. Il est de même l'hiver, la plateforme peut geler et plusieurs caristes ont mentionné avoir déjà glissé avec le chariot en entrant dans la remorque. *L'accumulation d'eau au sol à l'extérieur est très dangereuse pour les renversements et les collisions*, car les caristes rapportent qu'après avoir passé dans une mare d'eau, les freins du chariot ne réagissent plus, puis une fois secs, freinent brusquement. Les caristes préfèrent les éviter (Figure 17).

Au T2, l'inclinaison des pentes abruptes du quai posaient certains problèmes lorsque la remorque était trop basse. Pour sortir de la remorque, les caristes expliquaient qu'ils devaient monter la charge pour ne pas la frotter contre le sol, mais cette manœuvre faisait basculer le chariot vers l'avant au moment de franchir la pente du quai endommageant alors le rouleau lorsqu'il frottait contre le sol ou lorsqu'il était heurté contre le haut de la porte du quai lorsque trop élevé.

Autre cas répertorié : le passage sur des rails (Figure 18). Les observations montrent que les déplacements sur des rails provoquaient un décollement des roues du sol et par extension des chocs, vibrations de grandes amplitudes dangereuses pour les renversements et la colonne vertébrale [12][51]. De plus, selon les caristes, le passage répété sur les rails endommage prématurément les pneus. *L'état dégradé des surfaces de roulement engendrent de la pénibilité dans le travail et des risques accrus de renversement, de collision et de bris de marchandise.*



Figure 16 : Gravier dans l'aire de déchargement faisant osciller la charge



Figure 17 : Mare d'eau influençant le freinage



Figure 18 : Passage sur rail faisant lever les roues

4.1.4 Le chargement des remorques : de nombreux critères à prendre en compte

Les observations et entretiens avec les caristes et les chauffeurs de camions montrent que les critères de chargement de la remorque font partie des déterminants qui modulent le travail des caristes dans la mesure où ils influencent la stabilité du chargement pendant le transport.

Dans plusieurs entreprises, les coûts de la marchandise endommagée pendant le transport sont assumés par l'entreprise qui a chargé la remorque. Il s'agit également d'un gage de reconnaissance de compétence. Les chauffeurs demandent souvent de bien répartir, « équilibrer » la marchandise. Ultimement, le chauffeur peut revenir au quai et exiger de reprendre une remorque déséquilibrée, ce qui est très coûteux en temps. Les camions sont souvent équipés d'indicateurs de répartition de la charge. Les principaux critères pour qu'une remorque soit bien chargée sont la répartition du poids, l'équilibrage de la marchandise et que les charges soient bien entassées. Au T3, les palettes devaient être bien entassées pour éviter qu'elles se déplacent pendant le transport, car le mouvement des charges pouvait desserrer les courroies. D'autres facteurs interviennent comme la longueur de la remorque, la destination (le poids maximal permis diffère selon les états américains et la quantité de carburant contribue à alourdir le fardier), la saison (moins lourde en période de dégel), l'ordonnancement des commandes et la variabilité des charges (selon l'ordre de livraison, la fragilité, les dimensions et le poids). Pour charger une remorque, les caristes prennent d'abord le bon de commande et se font une représentation de la remorque selon sa capacité (poids, longueur) et le nombre de palettes à charger. Dans le T1 et T3, cette préparation (image mentale de la remorque) a nécessité jusqu'à 20 minutes de travail d'organisation au préalable. Les critères de chargement des remorques impliquent des coûts cognitifs et temporels élevés.

4.1.5 Conclusion : le cariste comme agent de gestion de la marchandise et de la sécurité

Dans cette section, nous avons montré que la conduite du chariot n'est qu'une composante de la tâche des caristes. Ils sont en premier lieu ce que nous appelons des « agents de gestion de la marchandise ». Au cours de leur travail, ils planifient, organisent, gèrent la grande variabilité des situations à laquelle ils sont confrontés. La manipulation répétitive de marchandise impose au cariste une parfaite connaissance de cette variabilité dans le but d'éviter des bris, coûteux en temps (remonter la palette) et financièrement pour l'entreprise. Pour cela, la précision avec laquelle le cariste manipule les charges est parfois très impressionnante sachant qu'il doit faire attention à la place que prend la charge dans l'espace, espace parfois restreint, mais également au poids qu'impose la charge au chariot. Ils adaptent leurs modes opératoires en fonction de l'empatement, de la visibilité, du type de commande des différents modèles de chariot qu'ils utiliseront au cours du quart de travail. Ils doivent adapter leur conduite et se construire des repères selon la présence ou non, la dimension et la hauteur de la charge, l'état des lieux et les contraintes temporelles. Ils adaptent leur travail de chargement selon une variété de critères centrés sur la stabilité de la remorque.

Nous avons montré au chapitre 2 que les caristes sont parfois victimes d'accidents et que ces accidents peuvent être très graves, voire mortels. On a également vu dans cette section, qu'ils sont parfois victimes d'incidents. Toutefois, l'analyse de l'activité a mis en évidence que dans la majorité des cas, ils arrivent à gérer la situation et à effectuer leur travail avec efficacité, malgré les surfaces de roulement dégradées et de fortes pressions temporelles. *Les caristes expérimentés mettent en place des stratégies d'anticipation, des savoir-faire, des modes opératoires spécifiques pour arriver à faire leur travail efficacement, en toute sécurité.* La majorité des caristes rencontrés dans l'étude n'ont jamais eu d'accidents sérieux. Pour arriver à contrôler cette

variabilité avec tant de finesse, des informations sont constamment prélevées, informations qui touchent principalement la vision, l'audition et la proprioception.

4.2. La prise d'information chez les caristes : à la fois visuelle, auditive et proprioceptive

L'ensemble des analyses montre que les caristes prélèvent constamment des informations au moyen de la vision, de l'audition et de la proprioception. Nous allons maintenant voir comment participent ces différents sens dans le travail des caristes et leur contribution à la gestion des risques.

4.2.1 La prise d'information visuelle chez les caristes

L'analyse du déplacement du point de regard (PDR) effectuée avec l'oculomètre nous permet de distinguer au moins trois groupes de comportements visuels, auxquels il faut ajouter une manifestation visuelle de la conscience de l'environnement.

Au cours des analyses pour le T1, les enregistrements oculométriques témoignent de l'activité visuelle au cours de 129 cycles de chargement ou de déplacement de palettes. Les caristes sont passés, au total, 131 fois à diverses intersections, ont été en interaction de près ou de loin 182 fois avec un ou plusieurs autres chariots élévateurs et ont effectué 352 manœuvres de recul. Pour l'ensemble de ce groupe, 24,8 % du temps de travail avec l'oculomètre est effectué en marche arrière.

4.2.1.1 Des cibles significatives liées à la tâche et à la sécurité

Rappelons ici que comme pour toute étude utilisant l'oculométrie, le postulat de base veut que l'attention visuelle soit liée à la direction fovéale du regard, tout en admettant que d'autres mécanismes pourraient être en cause comme la vision périphérique. Il est bien aussi de préciser que nous ne faisons aucune inférence quant aux mécanismes mentaux sous-jacents à l'exécution de la tâche. Nous nous en tenons, pour cette étude, à l'identification de cibles visuelles pertinentes pour le travail des caristes, cibles que ceux-ci ont pu valider et pondérer lors d'entrevues. L'importance de certaines cibles pour la réalisation du travail peut aussi être jugée par les postures que les caristes sont prêts à adopter pour y avoir accès (voir à ce sujet la section 4.1.3.2).

4.2.1.2 Le guidage et le contrôle de la charge, la recherche de matériel et le travail de précision : trois tâches exigeantes du point de vue de l'attention visuelle du cariste

Une prise d'information visuelle intimement liée à la tâche. Comme on l'a vu dans les sections précédentes, la tâche essentielle du cariste consiste à repérer une charge selon un ordre prédéterminé, à la saisir avec le chariot et à aller la déposer à un autre endroit, lequel est également prédéterminé. Un des comportements visuels principaux est intimement lié à cette tâche principale. L'examen détaillé d'une séquence de chargement, et l'analyse qualitative des autres séquences, montrent que la position du PDR précède de peu le geste. Ainsi, d'une façon

générale, on peut voir le PDR se déplacer depuis l'écran de l'ordinateur de logistique ou d'un bon de commande vers le produit en question, lequel est identifié, par exemple, par des éléments visuels comme la couleur ou la taille de l'inscription. Dans la plupart des cas, le PDR se pose ensuite sur la pointe des fourches (ou un autre accessoire de manutention), puis sur l'endroit où ces fourches devront pénétrer pour soulever la charge. Nous observons cependant que dans plusieurs cas, le PDR se pose sur la charge seulement, car un cariste chevronné peut réaliser cette manœuvre à l'aide d'une connaissance acquise des dimensions des fourches et une connaissance anticipée de la position de la charge au sol. Après la levée de la charge, le PDR se pose sur le lieu, dans l'ergorama, où l'ensemble chariot-charge va se diriger. Au cours de ce déplacement en ligne droite, on retrouve le PDR à la limite de l'arête horizontale constituée par la partie antérieure de la charge (quand il s'agit de produits palettisés) et de l'horizon. Hors charge, le PDR peut alternativement balayer le sol à une distance de quelques mètres en avant du chariot et l'horizon (qui peut aussi correspondre à l'endroit que le chariot doit atteindre), de même que l'apex du virage, au sol, s'il y en a un à effectuer au cours du déplacement.

Dans certaines circonstances, la saisie et le dépôt de la charge doivent pouvoir se faire sans heurter une autre charge empilée, soit avec la charge transportée ou le chariot lui-même, ou sans heurter la paroi d'une remorque ou d'une boîte de camion. Dans d'autres cas, pour le T3 en particulier, il est essentiel de bien caler une charge avec une autre dans la remorque afin qu'elles ne puissent se déplacer pendant le transport. On peut observer, dans ces situations, plusieurs allers-retours du PDR entre l'objet immobile (paroi, autre charge) et la charge transportée. Il est permis de penser que cette observation représente la manifestation du travail du système visuel humain lorsqu'il procède en continu à l'évaluation de la distance à parcourir entre un mobile et une cible. Le cariste anticiperait les propriétés de la trajectoire en les comparant constamment à un modèle interne qu'il s'est construit. Berthoz [10] abonde en ce sens lorsqu'il écrit que le modèle interne lié à l'expérience, permet au cerveau de faire des comparaisons entre un état attendu et un état réel (en voie de réalisation) et de corriger les erreurs beaucoup plus rapidement. L'anticipation fournit un gros avantage pour la performance dans presque toutes les habiletés.

Enfin, il est important de constater qu'une portion non négligeable du travail visuel du cariste se manifeste lors de la recherche et du contrôle du matériel dans l'usine ou l'entrepôt, et non seulement lors du contrôle visuo-moteur de la charge et du déplacement du chariot. Le Tableau 11 montre la proportion du temps de tâche consacrée à la recherche de matériel et à l'utilisation du système de logistique, accompagné du temps médian pour chaque utilisation, pour 5 des 6 caristes du T1. Il s'agit du pourcentage du temps de l'enregistrement oculométrique, et non de la période totale d'observation sur ce terrain. Pour cette dernière situation, les éléments observables sur lesquels le PDR se pose sont principalement soit l'affichage et le clavier de l'ordinateur de logistique installé sur le chariot élévateur, la feuille de chargement de la remorque et l'étiquette arborant le code à barres du produit à scanner, étiquette qui comprend également des informations en clair sur la nature du produit.

On remarque dans ce tableau que le temps de recherche de matériel est à peu près égal ou inférieur à 10 % du temps total. La variation du temps médian de recherche témoigne d'une dysfonction (43,3 sec de temps de recherche) qui correspond au repérage laborieux d'un type particulier de produit, et ce, malgré l'informatisation de l'inventaire. *D'autre part, il faut constater que l'utilisation même du système de logistique génère un coût visuel.* En effet, le

temps passé à scanner des étiquettes et à utiliser l'ordinateur monté atteint 24,2 % du temps total dans un cas ; le temps médian de chaque utilisation oscille entre 6 et 7 secondes.

Tableau 11 : Proportion du temps de tâche consacrée à la recherche de matériel et à l'utilisation du système de logistique et temps médian pour chaque utilisation (T1)

Cariste	Recherche de matériel	Durée	Utilisation scanner et ordinateur	Durée
	% du temps total	Temps médian	% du temps total	Temps médian
T1-S04	3,6 %	12,4 sec	24,2 %	7,4 sec
T1-S05	3,2 %	43,3 sec	9,2 %	6,9 sec
T1-S06	10,9 %	8,8 sec	13,3 %	5,5 sec
T1-S07	8,7 %	6,4 sec	14,8 %	5,9 sec
T1-S08	7,1 %	6,7 sec	10,1 %	7,5 sec

En résumé, pour cette portion motrice de l'activité bien acquise et maîtrisée par notre échantillon de cariste, le nombre de cibles se limite à la prise d'informations directement liées à l'exécution de la tâche, et même de la sous-tâche. À titre indicatif, basé sur l'analyse détaillée d'un cycle complet de chargement d'une durée d'une minute et deux secondes, on retrouve le PDR réparti comme suit sur le Tableau 12.

Tableau 12 : Liste des éléments de l'environnement sur lesquels le PDR s'est posé lors d'un cycle de chargement d'une durée de 62 secondes

Élément sur lequel le PDR se pose	% du temps total de la séquence	Médiane de la durée des fixations
Charge transportée	10,4 %	00:00,180
Destination	9,5 %	00:00,220
Dégagement	8,9 %	00:00,240
Scanneur et ordi.	8,4 %	00:02,779
Cible (eg palette)	4,2 %	00:00,200
Chariot, partie de	3,3 %	00:02,200
Regard à droite	14,0 %	00:00,480
Regard à gauche	4,5 %	00:00,480
En saccade	20,7 %	00:00,200
Pas de PDR visible	8,1 %	

Le système visuel humain n'acquiert de l'information que pendant les fixations : il n'y a donc aucune information de recueillie durant les saccades. Cependant, la forte proportion du temps où l'œil est dans cette condition témoigne des nombreux déplacements nécessaires à l'accomplissement de cette tâche. Les observables « Regard à droite » et « Regard à gauche » correspondent en fait à des mouvements rapides de la tête à droite et à gauche pendant lesquels le PDR n'est pas présent, ou qu'il est posé sur un élément indéfini. La durée de fixation est la plus longue pour les tâches de logistique, qui impliquent la lecture de documents et l'utilisation de l'ordinateur.

Des tâches visuellement intensives. Si l'utilisation du système logistique observé dans le T1 monopolise un pourcentage non négligeable de l'attention visuelle, il faut mentionner que le chariot est alors immobile, y compris les fourches. Dans certaines situations, *l'attention visuelle du cariste a été monopolisée pour des périodes de temps importantes, et ce dans des circonstances où le chariot était en mouvement.* Trop peu de ces situations ont été observées pour permettre de présenter des tableaux ou des statistiques, mais le dénominateur commun de ces situations est la résolution d'un problème, entre autres la recherche d'un produit particulier dans un entrepôt, ou encore la réalisation d'une opération demandant de la précision, tel l'empilement de rouleaux de papier à plus de 3 m de haut ou encore, le chargement de matériaux de construction hétéroclites sur la plate-forme d'une remorque. Pour ces situations, l'attention visuelle pouvait être centrée sur l'opération à accomplir durant plusieurs secondes consécutives, sans que le PDR ne se pose sur des éléments autres que l'opération en cours. Lors du transport et du chargement de matériaux de construction, dont la largeur pouvait varier de 2,4 m à 16 m, le PDR alternait entre les extrémités de la charge, ou entre les espaceurs prévus pour laisser un jour entre les charges. Cette activité visuelle était supportée par des mouvements de la tête et du cou conséquents. Typiquement, le PDR pouvait demeurer entre huit et dix secondes fixé à la base d'un rouleau de papier lors du gerbage, et jusqu'à 30 secondes sur un paquet de bois en train d'être déposé sur une remorque.

Intersections, rencontres et marche arrière. En situation idéale, le cariste serait seul sur le plancher pour faire son travail, ce qui éliminerait les risques de collision avec des piétons ou d'autres chariots élévateurs. Dans la réalité, il doit gérer des interactions avec d'autres caristes, ainsi que des piétons, lors des passages aux intersections, lors de périodes de coactivités ou lors de déplacements en marche arrière. L'examen détaillé de la position du PDR a été réalisé sur l'enregistrement oculométrique d'un cariste qui circule en empruntant huit intersections différentes au cours de 10 cycles de déplacement de matériel dans l'entrepôt du T1. Le Tableau 13 montre la distribution des éléments de l'environnement sur lequel le PDR s'est posé.

Tableau 13 : Distribution des éléments de l'environnement sur lesquels le PDR s'est posé lors du déplacement dans les intersections

Élément sur lequel le PDR se pose	Fréquence observée
Sol intersection, à droite	11
Élément à 60 cm du sol	8
Piéton	7
Sol au centre de l'intersection	7
Sol intersection, à gauche	6
Au travers du palettier	5
Non identifiable	5
Élément à hauteur d'une palette	4
Autre chariot élévateur	3
Point de fuite à l'horizon	3
Panneau de signalisation	3
Une partie de son chariot	2
Miroir d'intersection	1
Sol nca	0

Ce tableau doit être vu en tenant compte que les intersections n'ont pas toutes la même configuration et n'ont pas toutes la même affluence, ce qui peut expliquer l'usage minimal des panneaux de signalisation ou les regards sur les autres activités. La constante qui se dégage, cependant, est que *les PDR se portent avant tout au sol, soit à gauche, à droite ou au centre de l'intersection, ou sur des éléments ne dépassant pas 60 cm du sol*. En entrevue, un cariste rapporte qu'aux intersections, on essaie de voir si une paire de fourches ou une charge ne va pas surgir dans la voie transversale. Malgré la présence de nombreux miroirs sphériques suspendus en haut de plusieurs intersections, leur utilisation semble davantage être liée au choix personnel du cariste qu'à la situation. Le temps de passage aux intersections, pour cette séquence oculométrique, variait de 2,5 sec à 7,8 sec, les durées les plus longues impliquant un arrêt du chariot et un redémarrage. Enfin, il est bon de souligner qu'à ces 65 PDR sont associés des mouvements de la tête, ce qui donne une moyenne de $2,9 \pm 2,1$ changements de direction de regard pour chaque passage d'intersection.

Un exercice similaire a été réalisé avec le même cariste dont le travail se résume à 10 cycles de déplacement de palettes dans un entrepôt, ce qui a nécessité 22 déplacements en marche arrière (Tableau 14). Rappelons que les segments en marche arrière de très courte durée ont été exclus du décompte.

Tableau 14 : Liste des éléments de l'environnement sur lesquels le PDR s'est posé lors du déplacement de palettes dans un entrepôt

Élément sur lequel le PDR se pose	Fréquence observée
Sol nca	15
Rampe du quai voisin	13
Stock au sol, sur palette	6
Autre chariot élévateur	5
Empilement de palettes	5
Charge transportée	4
Non identifié	4
Une partie de son chariot (fourches)	2
Obstacle au sol	2
Ordinateur de logistique	1
Lampe de quai	1
Piéton	0

Ces 58 PDR résultent en fait de 73 mouvements de la tête, soit $3,3 \pm 1,4$ changements de direction de regard par manœuvre de recul. La présence de mouvements rapides de la tête lors des manœuvres de recul résulte en plusieurs changements de direction du regard où le PDR est absent, soit que la pause à la fin du mouvement n'est pas assez longue pour permettre au marqueur de se stabiliser, soit que le marqueur est à l'extérieur du champ de la caméra « scène » ou soit, finalement, que le mouvement de la caméra vidéo rend l'interprétation de l'image impossible. *Il semblerait que l'activité du système visuel dans cette situation vise à repérer et à identifier tout objet qui pourrait nuire à la manœuvre de recul, ou encore qui pourrait venir en contact avec le chariot élévateur. Les autres chariots présents, le matériel et les palettes entreposés sur le sol sont visés et identifiés.*

L'élément regardé le plus fréquemment demeure cependant une partie indéfinie du sol. Une explication partielle de ce phénomène a été donnée lors des entrevues d'autoconfrontation. Sachant qu'un autre chariot procédait en même temps au chargement d'un camion sur un quai voisin, le cariste regardait toujours dans cette direction lorsqu'il sortait de la remorque en marche arrière. Il s'est avéré que le PDR se pose précisément sur cet autre chariot lors d'une manœuvre, mais en l'absence de ce chariot lors des manœuvres suivantes, le PDR se trouve posé à un endroit non significatif du sol, mais qui correspond à l'endroit où un risque potentiel aurait pu se trouver. Il semble donc que l'échantillon de cariste dans le T1 connaisse bien les endroits à risque de leur milieu et il serait intéressant, éventuellement, de valider cette hypothèse dans les autres enregistrements. Pour conclure, *la prise d'information visuelle lors de manœuvre de recul est accompagnée de nombreux mouvements de la tête, sans utilisation du rétroviseur. Le PDR se pose sur des obstacles réels, mais aussi potentiels, dans l'environnement immédiat du chariot.*

Enfin, un exercice similaire a été fait lors de rencontres et de croisements avec un ou plusieurs autres chariots élévateurs. Dans au delà de 90 % des 182 situations répertoriées dans les séquences réalisées sur le T1, le PDR se pose sur l'autre chariot élévateur. Dans au moins trois de ces situations, le PDR se pose non pas sur l'autre chariot, mais sur son conducteur. Nous formulons l'hypothèse que lorsque le cariste ne peut prévoir l'action ou la direction d'un autre chariot suffisamment près pour faire contact, le cariste recherche un contact visuel avec la figure de l'autre cariste en attente d'un signe ou d'un message verbal.

L'analyse quantitative réalisée sur ces situations particulières, mais typiques de l'activité générale, a été validée sur les enregistrements réalisés avec les autres caristes. Il y a certes des différences et des variations dues à la nature de la tâche ou au type de matériel transporté, mais l'essentiel de ces comportements visuels s'y retrouve.

Une « conscience sécuritaire » omniprésente. Au cours des 6 heures et 32 minutes d'enregistrements oculométriques réalisés dans le cadre de cette étude, les caristes ont rencontré, croisé ou côtoyé de nombreux autres chariots élévateurs, collègues de travail et membres de l'équipe de recherche.

D'une part, on observe que le PDR s'est posé sur tout véhicule ou toute personne en mouvement dans le champ visuel du cariste. Il faut conclure ici à la manifestation du travail du système visuel périphérique, dont le rôle est justement et principalement de détecter des objets en mouvements à la périphérie du champ visuel, activité de détection qui résulte le plus souvent par une identification lorsque le système visuel y déplace la fovéa ; le PDR y est alors superposé.

D'autre part, *certaines éléments de l'environnement sont recherchés et évalués en fonction de la signification qu'ils apportent pour la sécurité.* Ainsi, lorsqu'un chariot déplace une charge dans une remorque, le PDR se trouve posé soit à la jonction latérale de la porte du quai avec la boîte du camion, soit au sol au niveau de l'appui de la lèvre du quai sur le plancher du camion (

Figure 19). Ce phénomène a été amené lors des entrevues d'autoconfrontation. L'explication veut que les caristes regardent spécifiquement cet endroit lorsqu'ils déplacent les premières palettes dans une remorque vide. Il peut arriver que celle-ci ne soit pas stable parce que sa suspension pneumatique n'est pas complètement saignée, ou que le système d'arrimage au

quai laisse un jeu. Le déplacement intempestif de la remorque lors de l'entrée d'un chariot peut avoir des conséquences graves : le chariot peut en effet se caler dans l'interstice entre la remorque et le quai, ou tout simplement tomber au sol. Un cariste prudent vérifie toujours s'il voit du jour au niveau de cet interstice ; lors du travail de nuit, on vérifie si on voit la lumière de l'éclairage extérieur. Un autre comportement de ce type observé est l'activité d'autres chariots élévateurs. Le PDR se porte sur les autres chariots même s'ils sont immobilisés. Dans au moins une circonstance observée, le PDR s'est porté sur un autre chariot en déplacement au loin, puis de nouveau sur le même chariot alors que celui-ci manœuvrait à proximité. En entrevue, les caristes sur ce terrain affirment connaître le travail de leurs coéquipiers, ce qui permet de mettre en œuvre une stratégie de prévention par anticipation.



**Figure 19 : Point de regard du cariste superposé sur la jonction entre le quai et le camion .
La tête du cariste est ici penchée vers la gauche**

4.2.1.3 Les obstructions visuelles liées à l'environnement et au chariot élévateur masquent des informations nécessaires pour prévenir les risques de collisions

Comme en conduite automobile, il y a plusieurs angles morts sur un chariot élévateur. On les retrouve de chaque côté du véhicule, derrière le champ de vision du cariste, au pied des roues de chaque côté et à l'arrière du contrepoids. La Figure 21 et la Figure 22 illustrent une simulation effectuée avec une projection du point de regard vers le sol d'un petit cariste masculin (1^{er} centile) dont les yeux seraient à 72 cm du siège et qui tournerait légèrement la tête sur le côté et vers l'arrière. Les mesures recueillies montrent que la distance minimale, à partir du chariot, où l'information au sol devient visible au cariste à l'arrière est de 0,5 m, alors que sur le côté, elle est de 0,25 m à gauche et 0,5 m à droite du véhicule. Les différences entre le côté gauche et droit sont liées au siège décentré sur la gauche. *Ces angles morts aux pieds des roues posent des problèmes dans la mesure où les déplacements du chariot impliquent de passer très près des structures et obstacles dans l'environnement.*

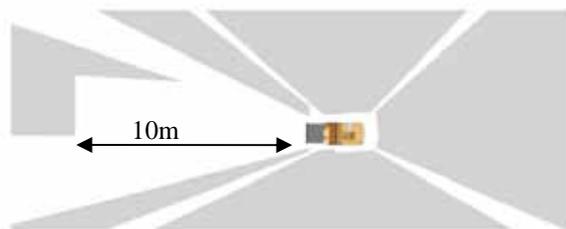


Figure 20 : Zones non visibles (blanc) au sol autour d'un chariot avec charge

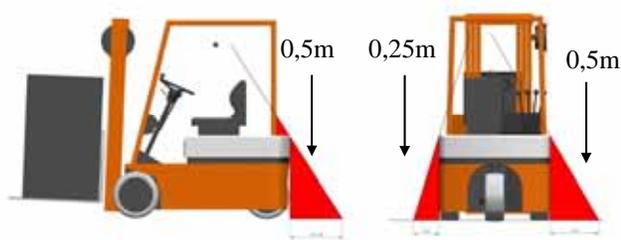


Figure 21 : Distance arrière, à partir du chariot, où l'information devient visible

Figure 22 : Distance de chaque côté du chariot, où l'information devient visible

Les avaries constatées aux éléments de structure, notamment les colonnes (Figure 23), les chariots eux-mêmes (Figure 24) et les cornières de protection (Figure 25) montrent que les collisions ou des frottements sont fréquents.



Figure 23 : Le bas de la colonne est déformé



Figure 24 : L'usure évoque de nombreux frottements ou collisions



Figure 25 : Cornière de protection du palettier tordue

L'autre problème d'obstructions visuelles pénalisant pour les caristes est associé aux structures de levage, aux montants du toit et à la charge. À partir de simulation du PDR vers l'avant (Figure 19) d'un petit cariste masculin (1^{er} centile) dont les yeux seraient à 72 cm du siège, on constate que la zone non visibles au sol (blanc) peut s'étendre à plus de 10 m. Ainsi, en marche avant, les dénivellations ou débris laissés sur le sol dans la trajectoire du chariot sont alors plus difficilement détectables et peuvent représenter un danger de renversement s'ils sont importants. Pour pallier les obstructions visuelles, le cariste penche la tête de chaque côté pour déplacer les zones non visibles. C'est ce qui explique en partie les postures de flexion et torsion observées (cf. section 4.1.3.2). Ce problème de masquage visuel pose également un problème pour la détection de piétons et les risques de collision (Figure 26).

4.2.1.4 La détection des personnes accroupies

Dans sa formation offerte aux caristes, l'Association sectorielle de fabrication d'équipement de transport et de machines (ASFETM) recommande de rouler en marche arrière si la charge empêche de voir une personne accroupie à moins de 5 mètres de distance. Des essais sur le terrain ont permis de trouver une correspondance entre cette mesure de 5 mètres et la partie la plus haute d'une charge portée sur les fourches obstruant la vue du cariste. Le Tableau 15 présente les résultats obtenus en soulevant une charge à différentes hauteurs. *On constate qu'à partir de 1 m 43, distance verticale entre le sol et la partie la plus haute de la charge, la distance minimale de détection d'une personne accroupie est de 5 m 15.* Ces résultats corroborent une simulation 2D que nous avons effectuée avec un mannequin anthropométrique (Figure 27). La personne accroupie mesure 1 m à partir du sol et la hauteur des yeux du cariste est à 72 cm du siège, ce qui correspond au 1 centile homme. Le choix d'un petit homme pour réaliser cette simulation est justifié par le fait que plus la personne est grande, plus elle détectera un individu accroupi rapidement pour une charge à la même hauteur. À partir de 1 m 43, la distance de détection d'une personne accroupie est de 5 m 15. Cette hauteur correspond approximativement à la hauteur du volant. Il serait donc recommandé de circuler en marche arrière à partir du moment où la charge est à 1 m 43 du sol.

Tableau 15 : Hauteurs de charge pour lesquelles un sujet accroupi n'est PAS visible à des distances de moins de 5 m (zone grise)

Hauteur de la charge:	Sujet visible à:
1 m 10	Partout
1 m 14	2 m 70 et +
1 m 26	3 m 60 et +
1 m 43	5 m 15 et +
1 m 64	11m 50 et +
1 m 70	17m 60 et +



Figure 26 : Détection d'un travailleur accroupi

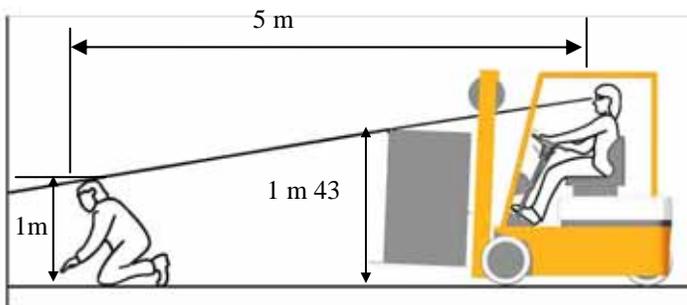


Figure 27 : Distance minimum de détection d'une personne accroupie par le cariste transportant une charge

4.2.1.5 La prise d'information visuelle lors de la conduite en marche arrière

À l'instar de la norme ASME B56.1, la plupart des programmes de formation que nous avons consultés proposent au cariste de conduire le chariot en marche arrière lorsque la charge lui masque la vision à l'avant du véhicule. Les données issues de l'instrumentation montrent que les

manœuvres en marche arrière ont été nombreuses et représentent entre 30 % et 48 % du temps de conduite ; 48 % au T2 où les charges obstruaient davantage la vue (cf. section 4.1.3). Cependant, les observations montrent que les mouvements de recul ne sont pas uniquement réalisés lorsque la charge est haute, mais aussi dans d'autres situations et que les modes opératoires pour effectuer la manœuvre en marche arrière sont variés, notamment :

Se tourner la tête de 90° uniquement à droite :

- Sortie d'un camion sans charge
- Sortie d'une allée avec ou sans charge

Regards alternés, se tourner la tête de 90° à droite et rétroviseur :

- Sortie d'un camion sans charge
- Sortie d'une allée avec ou sans charge

Regards alternés et se tourner à gauche et à droite de 90°

- Sortie d'une allée avec ou sans charge

Se tourner le dos et la tête d'environ 125° à droite

- Déplacements dans l'entrepôt avec charge

Les observations et les entretiens montrent que les caristes peuvent conduire en marche arrière lorsqu'ils ne voient pas vers l'avant, pour sortir des remorques, lorsqu'ils cherchent une palette (alternance de marche avant et arrière), au cours des manœuvres pour libérer les fourches ou mieux se positionner, lorsqu'ils sont dans un cul-de-sac, etc. Le cours d'action semble également influencer le choix de conduire ou non en marche arrière. Par exemple, au T1, un cariste qui sortait d'une remorque (sans charge) a parcouru tout le quai en marche arrière alors qu'il avait l'habitude de faire un virage en « J » à la sortie pour repartir vers l'avant. Interrogé sur ce mode opératoire, il explique qu'il trouve moins contraignant d'un point de vue posturale de rouler vers l'avant lorsque les déplacements sont longs. Dans ce cas-ci, il s'attendait à trouver la charge près du quai, il estimait plus rapide de continuer en marche arrière. Une fois engagé dans cette action, il a poursuivi la manœuvre jusqu'à ce qu'il trouve la palette qui était de l'autre côté du quai. Lors des déplacements prolongés en marche arrière, il y a un problème de visibilité et un problème de confort. Le véhicule est conçu pour circuler vers l'avant car le siège, les pédales et le volant sont fixes et maintiennent le corps en position de conduite avant. Pour conduire en marche arrière, le cariste ne peut que tourner la tête et le haut du dos vers l'arrière et l'amplitude du mouvement de rotation du cou aura ultimement un impact sur la visibilité.

Regards alternés, se tourner à gauche et à droite de 90°. Lorsque le cariste tourne rapidement la tête d'un côté à l'autre, il oriente son champ de vision de manière à couvrir l'ensemble de l'ergorama, soit l'équivalent de 360°. Théoriquement, si la vitesse du chariot est faible, cette stratégie est la meilleure pour la détection d'obstacles à l'arrière. *Toutefois, ces mouvements très rapides du cou sont difficiles à répéter sur le plan musculo-squelettique. Si la vitesse du chariot est élevée, cette stratégie n'est pas appropriée, car durant le mouvement du cou, le cariste ne regarde plus vers l'arrière.*

Se tourner le dos et la tête d'environ 125° à droite. Les caristes vont adopter cette posture lors des longs déplacements. Il s'agit de la posture où le cariste est le plus tourné vers l'arrière. La Figure 27, la Figure 29 et la Figure 30 montrent la posture adoptée et un aperçu

partiel¹⁷ de ce que voit le cariste à partir de l'oculomètre. À partir de la Figure 29 issue du T2, nous avons simulé le champ visuel (regard binoculaire) d'un cariste de 1 m 75 assis dans un chariot électrique au moment de la conduite. Le champ visuel est caractérisé par le demi-cercle jaune (Figure 30).



Figure 28 : Posture du cariste, la tête tournée vers sa droite à environ 125°



Figure 29 : Aperçu de la vue (partielle) du cariste lorsque sa tête est tournée vers la droite à environ 125°

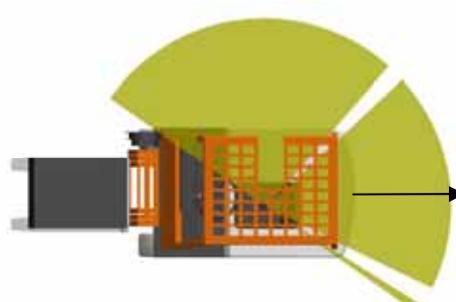


Figure 30 : Champ de vision estimé du cariste avec la tête fortement tournée vers l'arrière

Durant ces déplacements, le cariste est en mesure d'orienter son véhicule dans l'allée et d'apercevoir tout obstacle pouvant se situer dans la trajectoire du chariot. Toutefois, *cette posture de conduite n'est pas favorable à la détection soudaine d'un piéton ou d'un chariot arrivant du côté arrière gauche*. De plus, ce champ de vision est rendu possible uniquement en tournant la tête de façon très prononcée (rotation prononcée du rachis cervical). Cette posture est inconfortable à maintenir pendant plusieurs secondes [24].

4.2.1.6 Des étiquettes et des accessoires pour aider la prise d'information visuelle

Plusieurs composantes sont mises à la disposition des caristes pour favoriser une prise d'information visuelle efficace et rapide. L'étiquetage des charges est plus important pour favoriser le repérage de la marchandise, alors que les accessoires comme les rétroviseurs, les miroirs paraboliques et les feux de position aident principalement à la détection visuelle d'autres chariots ou d'autres piétons. Quelle est cependant leur efficacité dans différentes situations ?

L'étiquetage pour favoriser le repérage de la marchandise. Les inscriptions sur la marchandise donnent des informations utiles aux caristes. Elles permettent le repérage et l'identification de cette marchandise. Toutefois, les caristes mentionnent que *le design de l'étiquette, en lien également avec les éclairages, a un impact sur la facilité de repérage et de lecture des données inscrites*. Ils rapportent que la dimension du lettrage pour certaines informations tels le numéro de lot, le client, le nom de la marchandise doit être suffisamment grande pour être lisible à grande distance ; parfois plus de 8 m pour les palettes empilées sur trois étages.

L'emplacement des étiquettes pose aussi des problèmes. Dans tous les terrains, nous avons remarqué plusieurs étiquettes endommagées en raison du frottement avec les autres

¹⁷ L'aperçu est partiel dans la mesure où la caméra de l'oculomètre génère une image issue d'un champ monoculaire et n'enregistre qu'une portion de ce que voit l'oeil humain (oculomètre = 45° ; oeil humain = 180°).

palettes. Les observations montrent que les contraintes liées au « scan » des palettes sont directement associées à leur position sur la charge et aux possibilités d'atteindre le code à barres. Pour pallier cette contrainte, les caristes utilisent différentes stratégies comme tourner autour de la charge avant de la prendre pour mieux se positionner par rapport au code à barres, descendre du véhicule ou monter la charge à la hauteur des yeux lorsque l'étiquette est trop basse. La dernière stratégie impliquait des doubles manœuvres risquées pour les renversements. La position de l'étiquette posait également des problèmes lors de la recherche de marchandise dans les entrepôts, car elle était souvent derrière la charge. Pour s'assurer qu'il s'agissait de la bonne charge à transporter, le cariste devait alors descendre du véhicule et tourner autour de la charge, ce qui allongeait le temps de recherche.

L'utilisation des rétroviseurs pour faciliter la détection d'information visuelle. Les séquences vidéo d'oculométrie et les entretiens montrent que les rétroviseurs sont parfois regardés, jugés utiles et appréciés pour la détection visuelle (Figure 31). *Ils ne sont pas spécialement utilisés pour reculer, mais plutôt pour prélever de l'information derrière le véhicule de temps à autre.* Toutefois, plusieurs caristes ont indiqué que selon la taille et la position du rétroviseur, celui-ci peut masquer une portion du champ visuel avant.



Figure 31 : Point de regard porté sur le rétroviseur

La détection des piétons et véhicules avec les miroirs paraboliques : une efficacité mitigée. Les séquences vidéo d'oculométrie ont permis de vérifier que les miroirs paraboliques sont également regardés. Cependant, comme les rétroviseurs, ils ne sont pas regardés systématiquement à toutes les occasions. Sont-ils efficaces ? Pour être efficace, l'information regardée dans le miroir parabolique doit remplir trois conditions, c'est-à-dire que le cariste doit pouvoir la **détecter** (*l'œil détecte la présence d'un gyrophare*), **l'identifier** (*s'agit-il du chariot de M. X, d'un autre véhicule ?*) et **l'interpréter** (*si M. X amorce sa manœuvre de gerbage, j'ai le temps de passer avant de lui nuire*). En voyant les images en autoconfrontation, les caristes ont mentionné les raisons qui motivent l'utilisation des miroirs paraboliques ainsi que les limites de cet accessoire. *Les miroirs paraboliques sont utiles dans les carrefours pour détecter la présence d'autres véhicules et c'est ce qu'ils recherchent.* Si ce chariot possède un gyrophare, la détection sera facilitée.

Toutefois, le chariot, de par la conception du mât et du toit, masque la vision du miroir parabolique lorsque le chariot est éloigné. Pour voir le miroir, le cariste doit approcher sensiblement son chariot du carrefour. La Figure 32 montre une simulation de ce moment en

particulier, le bout des fourches est à 2,9 m du miroir. Au moment où le cariste peut enfin apercevoir le miroir (Figure 33), les fourches sont déjà engagées dans le carrefour. La détection d'un autre chariot dans ce miroir est trop tardive.

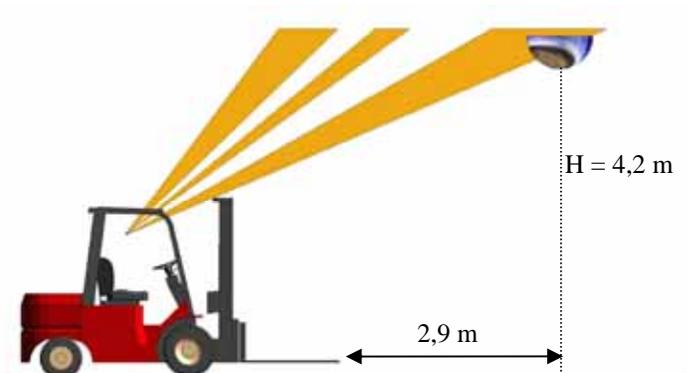


Figure 32 : Les triangles foncés montrent les zones visibles



Figure 33 : Point de regard fixé sur le miroir parabolique

Force est de constater que les miroirs observés dans les terrains d'études permettent la détection de point lumineux ou de masse (chariot), mais ne permettent pas nécessairement d'identifier les images regardées et encore moins de les interpréter. Ainsi, les caristes mentionnent que la déformation de l'image liée à sa forme sphérique ne permet pas de détecter les éléments de petite taille ou immobiles comme un piéton (problème de détection). L'étroitesse de l'espace visible entre le mât et le toit nécessite un coup d'œil extrêmement rapide qui limite la possibilité d'identifier l'image que l'on voit ou de savoir de quel modèle de chariot il s'agit et encore moins d'interpréter dans quelle direction il s'en va (problème d'identification). La petitesse de la taille de l'image associée aux dimensions et la distance à laquelle le miroir se trouve ainsi que la présence de « bruit¹⁸ » dans l'image comme la réflexion de lumière ou de nombreux items (palettes) autour de l'intersection sont d'autres éléments qui empêchent les caristes d'identifier ce qu'ils voient (problème d'identification). De plus, leur disposition dans l'espace est aussi un problème. Comme l'illustre la Figure 33, le miroir se trouve devant un luminaire ce qui limite son efficacité en raison des éblouissements possibles.

L'intérêt des feux de position et autres lumières pour détecter la présence des autres. Dans le cas des automobiles et de plusieurs véhicules industriels, les feux de position, les feux de recul, les gyrophares, les clignotants et les lumières stroboscopiques sont des signaux visuels standards et uniformisés qui permettent de détecter, d'identifier et d'interpréter et/ou signaler l'intention d'un conducteur. Les chariots élévateurs observés, dans plusieurs cas, n'étaient pas équipés de lumière de recul ni de feu de position. Seuls les modèles plus récents les avaient. *Les caristes interrogés mentionnent qu'il leur est parfois difficile de comprendre les intentions du cariste en distinguant les mouvements du chariot, ce qui engendre de l'incertitude. Plus le chariot est éloigné, plus les mouvements fins sont difficilement perceptibles. Il est alors difficile de prévoir et d'anticiper les manœuvres en cours. De plus, uniquement sur le plan de la détection, les*

¹⁸ Le mot « bruit » est utilisé selon la théorie de l'information qui le caractérise comme étant une information parasite qui nuit au signal.

caristes mentionnent que le reflet des gyrophares dans l'environnement (sur les murs ou les pellicules plastiques sur les palettes) et leur couleur ou leur fréquence de clignotement différenciée entre les modèles de chariot sont autant d'informations utiles qui permettent aux caristes de savoir qui travaille à proximité.

4.2.2 La prise d'information auditive chez les caristes

Les bruits provenant de l'environnement et des autres chariots sont fortement pris en considération par les caristes. Lors des entretiens d'autoconfrontation, les caristes ont décrit de quelle manière les sons provenant des autres véhicules pouvaient les aider à les identifier et les situer dans l'espace. Cette activité sensorielle les aide à prévenir les collisions en facilitant le repérage instantané des autres.

4.2.2.1 Les bruits utiles pour les caristes

Le bruit du moteur, le klaxon, les sons engendrés par le contact des fourches au sol, les chaînes qui claquent et la vibration des composantes sur le véhicule sont tous des sons utiles pour le cariste. Ces bruits, lorsqu'ils sont perçus, informent sur la présence d'un autre chariot à proximité. Ils peuvent donc contribuer à la détection au même titre que les miroirs paraboliques, par exemple. Lorsqu'il y a plusieurs chariots simultanément, le son des autres contribue avantageusement à leur détection et améliore la sécurité. Dans le cas des chariots électriques, un son beaucoup plus faible et aigu est émis par le moteur. Ces « signatures sonores », même si elles sont moins puissantes que celui d'un chariot à moteur, sont perceptibles dans un environnement non bruyant, permettent de discriminer quel opérateur s'en vient et, sachant quel genre de travail il fait, d'anticiper sa trajectoire. Au T1, comme stratégie de prudence, le responsable de l'expédition interdisait la circulation des chariots à contrepoids électriques « insonores » dans les palettiers, car il y avait une forte coactivité avec des piétons. Les vibrations du chariot muni de roues dures sont aussi perceptibles et informent sur la présence d'un autre chariot. La moindre imperfection au sol se fait ressentir en terme de vibration et cela produit un bruit. Ces sons involontaires peuvent être plus ou moins bien perceptibles selon le niveau de bruit ambiant. Le bruit ambiant peut donc masquer des sons utiles. Au T2, le son ambiant mesuré provenant des machines était de 90 dB(A). Les caristes circulant dans ce secteur avaient la consigne de porter des coquilles de protection. Ces caristes déploraient cette consigne, car les protecteurs auditifs coupaient du bruit provenant des autres chariots et privaient les caristes en informations utiles à la prévention des collisions. Les coquilles étaient donc trop performantes et gênantes.

4.2.2.2 L'utilisation du klaxon et les situations d'urgence

Le cariste peut aussi provoquer des sons volontairement pour signaler sa présence. Évidemment, chaque chariot est sensé être équipé d'un klaxon. La commande est située sur le volant, comme celui d'une voiture. Les caristes nous ont mentionné que cette position pose un problème car leur main droite demeure le plus souvent sur les leviers (cf. section 4.1.3.3). Dans des circonstances où le cariste doit klaxonner prestement, le déplacement du bras des leviers vers le klaxon fait perdre quelques fractions de seconde. Pour éviter cette situation, plusieurs caristes préfèrent claquer leurs fourches au sol, ce qui génère le même effet, soit provoquer un son signalant la présence du chariot. Selon eux, ce bruit des fourches frappant le sol permet l'émission d'un son plus rapidement que le klaxon car la main du cariste est déjà placée sur les

commandes. Également, une défektivité soudaine du klaxon au T2 a permis de constater que les caristes ont intégré leur utilisation dans la conduite, car ils ont rapidement senti le besoin d'en mettre un temporaire (flûte à vélo) le temps que l'équipe d'entretien puisse se libérer pour faire la réparation. Au T3, au contraire, une politique de non klaxon était imposée par les contremaîtres, car la cour était située dans un secteur résidentiel. En entretien, les caristes n'étaient pas en mesure de préciser si c'était pénalisant pour la prise d'information, l'anticipation et la sécurité.

4.2.2.3 Le piéton insonore : un danger potentiel

Les caristes ont mentionné lors d'entretiens d'autoconfrontation les dangers potentiels pour le piéton dans les aires de circulation des chariots. Les piétons, contrairement aux chariots ne produisent pas de bruit. Leur détection est donc plus difficile car la détection, visuelle uniquement, peut être mise en échec par le masquage de la charge, du chariot ou de la marchandise empilée. Les caristes du T1 et T2 et du secteur du textile (prétude) ont rapporté avoir sursauté à quelques reprises après avoir été interpellés par des piétons qui venaient à proximité du véhicule et qu'ils n'avaient pas vu arriver. Même si la consigne de priorité aux chariots est claire dans ces entreprises, les caristes refusent de faire abstraction de la présence éventuelle des piétons, car les conséquences d'une collision pour le piéton sont plutôt dramatiques. Pour ces raisons, *les piétons représentent une source d'inquiétude car leur présence est souvent inusitée ou imprévisible.*

4.2.3 La prise d'information proprioceptive pour évaluer la stabilité de la charge et du chariot

Nous avons observé sur tous les terrains des stratégies de manutention similaires en ce qui a trait à la stabilité du véhicule. Curieusement, l'oscillation du chariot, perçue comme un point de non retour vers un renversement dangereux, devient aussi un indice utile aux caristes afin de manipuler des charges lourdes de manière sécuritaire.

4.2.3.1 Des stratégies particulières pour prélever de l'information et prévenir les renversements frontaux

Dans les trois terrains, le poids des charges, bien que parfois indiqué sur les étiquettes, comportait des variations difficilement prévisibles (cf. section 4.1.1). Par exemple, une palette de bois de structure comportant toujours le même nombre de pièces, peut voir son poids varier considérablement selon le taux d'évaporation de l'humidité contenue dans le bois. Cette variation est complètement imprévisible mais peut mener à la manipulation d'une ou deux palettes à la fois, selon le cas. Pour savoir si le chariot est en mesure de circuler avec une ou deux palettes, le cariste expérimenté va soulever deux palettes et vérifier si les roues arrière lèvent du sol. Le temps que mettent les roues à redescendre indiquera au cariste s'il peut ou non partir avec la charge. Il est à noter que dans certaines circonstances, comme un client en attente, la différence en terme de gain de temps entre le transport d'une palette ou deux simultanément est significative. Ce test de soulèvement relève de la proprioception du cariste qui elle-même dépend de l'évaluation faite par le cariste en fonction de son expérience. Il est très dangereux et devrait certainement être effectué autrement. Selon les entrevues effectuées avec les caristes et les formateurs, ces repères prennent du temps à se construire. Or, dans les entreprises comme au T3

où l'on retrouve un roulement élevé de personnel, les novices n'ont pas suffisamment de temps pour se construire de tels repères, ce qui pourrait accroître les risques de renversement si, par mimétisme, ils décidaient d'adopter des stratégies de conduite similaires.

4.2.3.2 Des dispositifs actifs de prévention des renversements à l'efficacité douteuse

Les dispositifs actifs SAS de blocage de l'angle du mât (renversement frontal) et de l'essieu (renversement latéral) offerts sur les modèles Toyota, permettent de stopper le mouvement de ces composantes au moment où le chariot risque de se renverser. Lorsque ce dispositif actif est déclenché, un voyant lumineux rouge dans le tableau de bord s'allume. Les caristes utilisant ces chariots dans le projet ont tous mentionné n'avoir jamais eu l'occasion de voir ce voyant s'allumer. La durée d'apparition du voyant semble trop rapide (quelques fractions de secondes). Cette non détection du voyant lumineux leur porte à croire que le dispositif ne fonctionne pas ou n'a jamais été activé alors que plusieurs rapportent avoir déjà senti les roues lever (renversement latéral). Ceci pose un problème sur le plan de l'interprétation du niveau de dangerosité d'une manœuvre spécifique. En effet, en croyant que le dispositif ne s'active pas, les caristes peuvent en déduire que les manœuvres effectuées sont toujours exemptes de risque. Or, ceci n'est pas nécessairement le cas. Ils exécutent peut-être systématiquement des manœuvres à la limite de la capacité du chariot sans le savoir.

4.3. La coactivité et les risques de collisions

Une attention particulière a été portée sur l'analyse de la coactivité pour évaluer les risques de collisions chariot-chariot et chariot-piétons. Une quantification du nombre de passages a été effectuée à des endroits stratégiques tels que des carrefours où l'attention se porte sur un éventuel changement de direction, des voies de circulation très utilisées où les croisements sont très importants et attendus et des voies de circulation dites peu fréquentées et/ou la réglementation en vigueur dans l'entreprise semble interdire la présence de piétons.

4.3.1 L'importance de la coactivité (ou « coprésence ») dans les voies de circulation

L'ensemble des responsables rencontrés étaient sensibilisés aux risques de collisions liés à la présence de plusieurs travailleurs oeuvrant dans un même espace, ce que nous avons appelé la coactivité. Certaines entreprises ont mis en place des règles de prudence visant à atténuer les risques, par exemple, en interdisant aux piétons d'accéder aux quais ou aux entrepôts, en sécurisant les lieux avec des portes grillagées et des aires d'attente pour les chauffeurs, en peignant des couloirs pour départager les voies de circulation, en créant des secteurs dédiés comme en réservant l'accès au quai uniquement aux caristes responsables du chargement des remorques, etc. Malgré ces efforts, les observations montrent que la coactivité chariot-piétons, chariot-chariot et chariot-autres véhicules demeure importante dans tous les terrains. Au T1, les espaces de circulation sont surtout partagés entre les caristes (à pied ou en chariot), l'adresseur, le contremaître, et occasionnellement, des travailleurs d'autres départements. Au T2, le partage des espaces s'effectue entre les caristes de l'équipe, les caristes d'autres départements, les opérateurs des machines, le contremaître, le responsable de la production, et occasionnellement, des

travailleurs d'autres départements. Au T3, le partage des espaces est effectué entre les caristes, les contremaîtres, les clients (à pied ou en voiture), les chauffeurs (de l'entreprise et des fournisseurs) et des travailleurs d'autres départements. Les caristes et les contremaîtres interviewés ont rapporté que les carrefours étaient les plus risqués pour les collisions. Les observations effectuées au niveau des carrefours¹⁹ montrent trois facteurs de risques de collisions :

- Ils ne sont pas que des zones de transition et ont d'autres fonctions ;
- Ils représentent l'endroit où la coactivité est la plus importante ;
- Ils représentent l'endroit où les pics de vitesse sont atteints.

4.3.2 Les carrefours : zone de passage ou de manœuvre ?

Le carrefour n'est pas un simple lieu de passage ou de transition, mais regroupe plusieurs fonctions. Il est aussi un lieu *de manœuvre, de prise d'information, de négociation de trajectoire, d'attente ou de stationnement*. Ces fonctions occupent un espace temps différent que nous avons découpé selon trois plages : lorsqu'il est utilisé comme zone de **circulation** (*déplacement inférieur à 7 secondes*), zone de **manœuvres** en utilisant les palettiers (*manœuvres entre 7 et 45 secondes*) et zone **d'attente ou de stationnement** en utilisant l'emballeuse, en stationnant le chariot ou en arrêtant le véhicule pour vérifier une commande, etc. (*supérieur à 45 secondes*). Le Tableau 16 montre le nombre de passages effectués par les caristes et les piétons au carrefour X1 du T1 selon ce découpage. Sur une période d'observation de 11 h 17, les caristes et les piétons ont utilisé le carrefour à plus de 1000 reprises. Le plus souvent (n= 744), ils ne faisaient que passer. Toutefois, il y a eu 173 chariots en manœuvres et plus de 561 piétons dans un secteur dit contrôlé²⁰. À 197 reprises, les piétons se sont arrêtés un moment dans le carrefour. Les pics de coactivité étaient entre 15 et 17 heures, ce qui correspond au moment où il y avait le plus d'opérateurs.

Tableau 16 : Nombre de passages dans le carrefour X1 du T1 selon trois plages de temps

	< 7 sec	7<t<45 sec	> 45 sec	Total
Chariots à contrepoids et debout « Raymond »	380	173	42	595
Piétons	364	197		561*
				1156

* 30 % de ce chiffre est alloué à la présence des chercheurs.

Au T2, en 4 jours (8 quarts), il y a eu plus de 86 croisements piéton-chariot dans la voie X8, alors que la présence de piétons dans cette voie est strictement interdite et clairement identifiée par un affichage. *Dans ces endroits à circulation restreinte, les caristes rapportent que les risques de collisions sont plus élevés, car ils ne s'attendent pas à croiser quelqu'un et leur attention est alors moins centrée sur la détection d'autrui.* Au T3, dans le même ordre d'idée, les caristes mentionnent que les risques sont également présents quand la coactivité est moindre,

¹⁹ Par carrefour, nous entendons un lieu relativement large où se rencontrent plusieurs voies de circulation.

²⁰ Au T1, les piétons étaient interdits et une cage de sécurité empêchait les chauffeurs d'avoir accès au carrefour.

comme le soir après la fermeture du magasin, moment où ils ne s'attendent pas à croiser quelqu'un.

Au T3, le carrefour à l'entrée de la cour montre également une coactivité très importante. La particularité de cette coactivité est la présence de nombreux clients qui, selon les caristes, veulent être servis rapidement et sont peu sensibilisés aux risques de collision. Sans avoir pu le vérifier, les responsables de l'entreprise avançaient les chiffres d'une à deux collisions par mois entre un chariot et une voiture de client. Comme l'illustre le Tableau 17, lors d'observation de 15 heures (2 quarts) par jour, on recense plus de 1600 passages par jour (15 heures – 2 quarts) de véhicules (chariots, remorques, voitures de clients) et de piétons (caristes, contremaîtres, chauffeurs, clients). Le vendredi, on recense plus de 2100 passages, notamment parce que le nombre de déchargements de remorques (fournisseurs) était plus élevé le vendredi et que le déchargement était effectué dans une partie de ce carrefour. *Les risques de collisions sont ici très importants car chaque opérateur et/ou personne poursuit des objectifs de travail différents et n'est pas toujours en mesure de détecter une présence, même si cette coactivité est habituelle pour les opérateurs.* La diversité des actions qui peuvent s'effectuer dans un carrefour caractérise le risque de collisions. Un cariste qui manœuvre dans le carrefour pour gerber en hauteur ou décharger une remorque a toute son attention mobilisée sur cette tâche de précision et n'est pas forcément en mesure de détecter du mouvement autour de son chariot (cf. section 4.3.3). De plus, le caractère dangereux d'un carrefour est aussi lié au fait qu'il implique un éventuel changement de direction, inspire un doute quant à la direction d'autrui et un moment d'hésitation, et ce d'autant plus que les chariots ne sont pas équipés de clignotants.

Tableau 17 : Nombre de passages par jour à l'entrée de la cour à bois T3 selon les véhicules et les piétons

	Chariots	Véhicules clients	Opérateurs à pied	Clients à pied	Nombre total de passage
Jour 1	761	256	494	27	1679
Jour 2	674	206	538	16	1648
Jour 3	800	236	509	8	1694
Jour 4	826	252	731	54	2095
Jour 5	924	211	845	16	2166

4.3.3 Les risques liés à la coactivité et aux tâches visuelles exigeantes

L'analyse fine de l'activité a montré que la précision des manœuvres lors du gerbage / dégerbage, la gestion d'incidents et l'utilisation de certains équipements, impliquaient une attention visuelle soutenue tout au long de la manœuvre. Or, nous avons observé à plusieurs reprises d'autres travailleurs en coactivité qui s'approchaient du chariot au cours de ces manœuvres. À titre d'exemple, en préétude, un cariste gerbait un liquide qui oscillait dans un bidon pendant qu'un autre opérateur en coactivité passait pour aller régler une alarme (Figure 34). Les observations des yeux du cariste montrent qu'il n'a jamais regardé le travailleur qui arrivait par-derrière. Sa tâche visuelle l'a plongé dans une sorte de « bulle », un « tunnel cognitif » [57]. Le même phénomène a été observé dans T3 (Figure 35). Contrairement au secteur des pâtes et papiers où l'accès aux piétons et aux chauffeurs était interdit dans l'espace de

chargement, plusieurs personnes (clients, chauffeurs, contremaîtres, caristes) pouvaient se promener dans l'espace de chargement du T3. Compte tenu des exigences de la tâche et de la proximité du piéton par rapport au chariot, les risques de collisions en pareilles circonstances sont très élevés. Ces risques sont sous-estimés et aussi associés à des codes de priorité flous en coactivité.



Figure 34 : Attention visuelle focalisée sur la charge lors du gerbage et coactivité à risque de collisions

Figure 35 : Coactivité risquée lors d'une manœuvre de gerbage

4.3.4 Les vitesses élevées dans les carrefours

Globalement, les caristes roulent à des vitesses moyennes variant selon les terrains entre 3,3 et 4,2 km/h en marche avant et entre 1,8 et 3,2 km/h en marche arrière (Tableau 18). La moyenne prend en compte les vitesses en manœuvre et lors des déplacements. L'analyse montre que les pics de vitesse ont été obtenus lors des déplacements et se chiffrent selon les terrains entre 11,1 et 19,4 km/h en marche avant et 10,1 et 18,6 km/h en marche arrière. *Ainsi, on constate une faible différence entre la marche avant et arrière.* Une analyse fine effectuée au T2 visant à localiser les endroits où les caristes étaient lorsqu'ils atteignaient des vitesses supérieures à 15 km/h a montré qu'en marche avant, 12 fois sur 36, ils étaient dans un carrefour et 19 fois sur 36, au quai de réception, alors qu'en marche arrière, 15 fois sur 20, ils étaient dans un carrefour. Ceci s'explique par le fait que les carrefours et le quai étaient localisés au bout d'un long couloir. En conjuguant ces vitesses élevées à la coactivité et aux contraintes d'obstructions visuelles présentées à la section 4.2.1, l'analyse montre qu'il y a risque de collisions.

Tableau 18 : Vitesses moyennes et maximales (km/h) marche avant et arrière pour les trois terrains

	T1	T2	T3
Vmoy (km/h)			
Avant	3,7	3,3	4,2
Arrière	2,6	3,2	1,8
Vmax (km/h)			
Avant	11,1	19,4	18,6
Arrière	10,1	18,6	10,9

4.3.5 Des règles de priorité incohérentes, floues et non partagées

L'environnement des caristes est partagé par plusieurs personnes. On l'a dit précédemment, la coactivité est très importante et les personnes qui cohabitent n'ont pas toutes les mêmes objectifs. Malgré certaines initiatives faisant en sorte de cantonner les chauffeurs à l'intérieur des zones de sécurité ou d'interdire la présence de piétons dans certaines zones, la coactivité demeure toujours importante dans les carrefours. Les entretiens effectués avec les caristes ont permis de mettre en évidence certaines règles de priorité dites « implicites » qu'ils se sont construites, c'est-à-dire qu'elles ne font pas nécessairement partie d'un code de conduite sécuritaire et ne sont pas nécessairement transmises entre les travailleurs. Curieusement, ces règles concernent plus particulièrement les risques de collision et la coactivité. Peu de règles touchent la problématique des renversements. Voici une liste des plus importantes pour prévenir les collisions :

- Celui qui a la charge ou la moins bonne visibilité a priorité
- Le chariot qui gerbe a priorité
- Les caristes élaborent des circuits pour ne pas se croiser ou pour dégager l'accès
- Sens de la circulation classique (quand c'est possible!)
- Les axes les plus affluents ont la priorité sur les axes moins affluents
- Les piétons n'ont pas la priorité
- Les novices n'ont pas la priorité
- Les caristes déterminent la priorité en fonction de la manœuvre, son état d'avancement et le niveau de concentration qu'elle exige
- Maintenir la fluidité des mouvements (efficacité)

En présence de coactivité (piéton), les caristes préfèrent gérer seul leur sécurité et celle des autres. L'autoconfrontation effectuée après avoir utilisé l'oculomètre a mis en évidence deux stratégies de prudence : i) « voir et être vu », c'est-à-dire que les caristes prélèvent constamment de l'information pour anticiper les déplacements des autres et se rendent prévisibles en utilisant toujours les mêmes parcours, en empruntant le centre des voies de circulation et en se positionnant dans la partie extérieure d'un virage, et ii) prendre de l'information auditive pour prévoir les déplacements des autres. Ils cherchent constamment à connaître le travail des autres et s'échangent de l'information. Toutefois, certains codes de priorité posent des problèmes, notamment parce qu'ils sont implicites, non partagés et pas du tout clairs, voire incohérents.

Par exemple, les expérimentés mentionnent que les novices n'ont pas la priorité parce qu'ils brisent la fluidité des mouvements. Or, pour le novice en situation de gerbage, cette règle implicite est conflictuelle avec la règle voulant que le chariot qui gerbe a la priorité et ce novice pourrait croire qu'il a priorité sur l'expérimenté ; ce qui n'est pas le cas. Le problème est lié au fait que le novice apprendra la règle lorsqu'il l'enfreindra puisqu'elle est implicite, ce qui est dangereux pour les collisions.

Un autre exemple est le panneau d'arrêt et la recherche de la fluidité des mouvements. *Pour l'ensemble des caristes, la fluidité des mouvements est primordiale pour gérer la stabilité des charges. Dans ces circonstances, on se rend compte que le panneau d'arrêt correspond davantage à un « ralentissez » qu'à un arrêt obligatoire, même si les caristes jugent nécessaire la*

présence de ce panneau. Pour pallier cette règle floue et implicite, les caristes du T1 se sont déterminés des priorités sur certaines voies, mais elles ne sont pas partagées par tous et sont liées à une logique de production connue seulement des caristes en poste. Un autre exemple touche les piétons. Dans la réglementation, le piéton est censé avoir priorité. Or, ceci est tout à fait contradictoire avec les règles que se sont fixés les caristes et qui semblent faire consensus. Un des problèmes de ces incohérences est attribuable au fait qu'il n'y avait pratiquement pas de support ou de lieu d'échange dans les entreprises observées pour élaborer ou valoriser un code de priorité qui touche l'ensemble des travailleurs en coactivité. Le code de la sécurité routière pourrait être une source d'inspiration pertinente pour éclaircir certaines règles de circulation de chariots et pour les rendre uniformes. Ce code, bien connu de tous, ne nécessite pas de formation ou d'apprentissage particulier. C'est donc un avantage, mais des adaptations doivent être faites pour tenir compte des particularités du travail des caristes.

4.4. L'aménagement des aires d'entreposage et des voies de circulation : des espaces encombrés qui augmentent les risques

4.4.1 Les différentes formes d'encombrement

L'encombrement de l'espace se retrouve dans tous les terrains étudiés. Par encombrement, on entend : « toute affluence de personnes, de voitures, d'amas de matériaux, d'objets qui obstruent, de volume pris par un objet, d'embouteillage » [43] ; c'est ce qui nuit à la fluidité des mouvements, à la circulation et aux manœuvres. Nous avons catégorisé trois formes d'encombrement : par la marchandise, les véhicules et les équipements. *L'encombrement des espaces génère des activités de déterrage et de la double manœuvre qui engendrent des risques de collisions et de renversements.*

4.4.2 Le problème de l'utilisation des aires de chargement comme espace d'entreposage temporaire

Les observations montrent que les entreprises n'ont pas anticipé leur croissance économique et que les espaces de stockage disponibles ne correspondent pas à la quantité de produits à stocker. Dans les périodes de rush, on constate que les aires de déchargement sont « squattées » par la production et utilisées comme aire de stockage temporaire. Cette pratique engendre un manque d'espace pour les activités de chargement et oblige les caristes à entasser la marchandise. Cet entassement engendre à son tour des activités de déterrage coûteuses en temps, en manipulations supplémentaires et dangereuses pour les collisions puisqu'il encombre les voies de circulation ; seuls espaces disponibles (Figure 36). Les activités de déterrage sont à la fois des indices et des facteurs d'encombrement. Les manipulations supplémentaires et les activités de déterrage transforment l'entrepôt et enterrent des palettes. Pour éviter de se faire enterrer des charges qui devront être utilisées incessamment, les caristes se créent un stock tampon qui à son tour, devient facteur d'encombrement qui augmente les risques de collisions, car les palettes sont souvent placées dans des voies de circulation (Figure 37). *L'encombrement des voies de circulation provoque une perte de visibilité et ainsi, une difficulté d'anticipation, puis déplace les trajectoires plus sécuritaires comme le centre des allées habituellement empruntées par les*

caristes. La figure du quai d'expédition en Annexe III issue du T1 schématise l'ensemble du processus ci-dessus.

Toutefois, le T2 montre que *lorsque des espaces de stock tampon sont judicieusement placés, ils peuvent aider grandement les caristes*. En faisant des stocks tampon, ils s'arrangent pour que les rouleaux suivants à couper soient le plus à proximité des machines, dans les zones de stockage (Figure 38). Les caristes vont également apporter suffisamment de rouleaux pour s'assurer que l'opérateur est en mesure d'alimenter la machine de coupe pendant au moins deux cycles. Ces stratégies d'anticipation et la création de stock tampon permettent aux caristes de faire « des trous », de la place dans les zones de stockage pour pouvoir vider les remorques.



Figure 36 : Stock tampon bien délimité

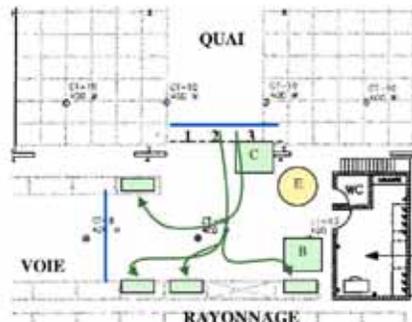


Figure 37 : Stock tampon (B, C) engendrant de l'encombrement



Figure 38 : Le déterrage encombre les voies de circulation

Dans le cas du T3, l'utilisation de stockage temporairement à proximité des remorques dans le secteur de la préparation des commandes (chargement) a engendré des contraintes lors du déplacement d'une charge volumineuse (poutrelles) obligeant l'opérateur à la déplacer en hauteur et imposant des doubles manœuvres (risques de renversement) tout en mobilisant l'attention visuelle du cariste (risques de collisions).

4.4.3 L'exiguïté des espaces et la double manœuvre dangereuse

Les observations montrent que *l'exiguïté des espaces de manœuvres, des voies de circulation et des aires de chargement engendre des doubles manœuvres risquées pour les renversements*. La Figure 39 et la Figure 40 montrent l'exemple de deux entrepôts où l'espace



Figure 39 : Double manœuvre liée à l'exiguïté de l'entrepôt (T3)



Figure 40 : Double manœuvre liée à une surcharge de l'espace d'entreposage (prétude)



Figure 41 : Double manœuvre liée à l'encombrement par des véhicules (T3)

devant la pile de marchandise est trop étroit pour manœuvrer avec le chariot. Pour arriver à positionner ses charges, le cariste doit soulever sa charge par-dessus la pile et effectuer son braquage avec la charge complètement en hauteur ; double manœuvre proscrite dans les programmes de formation. Le poids de la charge est de plus de 2,5 T.

L'encombrement de l'espace de chargement par un véhicule stationné a amené le cariste à porter une charge lourde en hauteur avec les risques de renversement que cette manœuvre aurait pu provoquer (Figure 41). De plus, le risque a été amplifié par l'ajout de la vitesse du chariot. Dans cet exemple, le chariot lève une charge à 242 centimètres du sol et roule à une vitesse de 1 km/h. À cette hauteur, le cariste régule le risque en allant très lentement. Le graphe d'activité illustré à la Figure 42 montre les données recueillies avec les capteurs. Le « R » indique lorsque l'opérateur prend la marchandise dans la remorque et le « S » lorsqu'il pose la marchandise dans les stocks. On retrouve en noir la courbe des vitesses et en vert la courbe de la hauteur des fourches. La ligne horizontale représente un seuil de vitesse de 5 km/h. Ainsi, lorsque le mât atteint la hauteur maximale dans ce cas, la vitesse est presque nulle. Toutefois, le risque de renversement s'accroît de façon notable lorsqu'il redescend sa charge. À 189 centimètres, le cariste roule déjà à 6,39 km/h et amorce un virage vers la gauche. Les cercles rouges représentent différents moments où la hauteur des fourches était supérieure à 180 cm et où la vitesse était supérieure à 5 km/h. Cette situation n'est donc pas un cas isolé. Confrontés à ces images, les caristes ont confirmé que la situation était très représentative de leur réalité. Or, des essais effectués avec l'INRS en France ont montré qu'un chariot équipé de béquille amorçant un virage serré arrivait à lever les roues lorsque le mat était à 180 cm de hauteur.

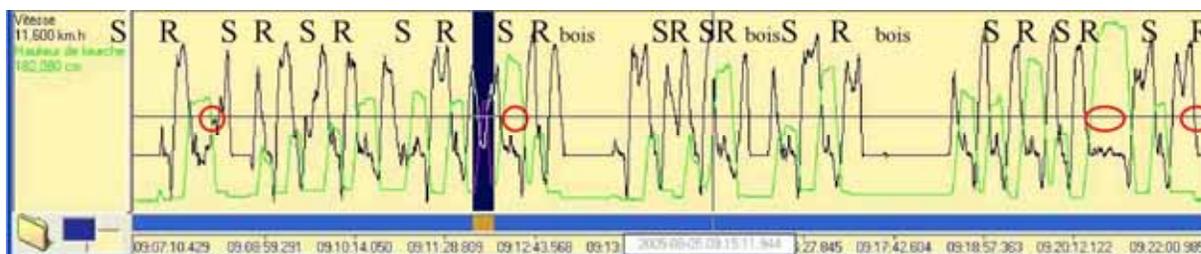


Figure 42 : Graphique d'activité du déplacement de charges en hauteur (180 cm) avec vitesse (>5km/h) [Double manoeuvre]

4.5. Les chariots élévateurs existants : la nécessité de poursuivre le travail de reconception pour favoriser la sécurité

Outre l'analyse des fiches techniques des catalogues de fabricants effectuée en début de projet, les observations réalisées dans l'ensemble des terrains a permis de comparer plus de 25 chariots élévateurs différents en terme de modèle, de marque, de capacité, de confort, etc., et de les voir évoluer dans leur contexte. Plusieurs problèmes liés à la conception de ces engins et de leurs accessoires ont été constatés ou mis en évidence par les caristes eux-mêmes. Le problème le plus pénalisant est certainement celui des obstructions visuelles associées aux structures du chariot et du mât (cf. section 4.5.1). Afin d'alléger le texte, nous avons choisi de mettre l'accent sur des structures comme le mât et le toit, les appareils de préhension, le confort de l'habitacle et les postures de conduite, l'utilisation des pneus, certains accessoires et l'éclairage d'appoint.

Nous n'aborderons pas, par exemple, les problèmes de verrouillage des batteries sur certains modèles anciens, de planchers métalliques froids et glissants, d'accès difficiles pour monter ou descendre, etc., car ces problèmes ne touchent pas directement les risques de collisions ou de renversements.

4.5.1 Les structures qui créent de l'obstruction

Nous en avons parlé considérablement dans l'ensemble du document, mais les observations montrent que le châssis du véhicule, de par sa forme orthogonale, masque des zones importantes du plancher, au pied des roues. Lorsque le chariot frôle des aspérités du sol (trou, structure, matériel), le cariste ne les voit plus. La distance de contournement est alors estimée en fonction de l'expérience du cariste avec son propre chariot et de ses dimensions hors tout. *De plus, les mâts, vérins centraux, flexibles et enrôleurs, sont volumineux et créent aussi des phénomènes de masquage visuel.* Ce masquage est exacerbé lorsqu'une charge est transportée. Le problème principal provient de l'épaisseur des structures qui obstrue de larges sections du champ de vision. Plus les structures sont larges et opaques, plus le cariste devra bouger la tête avec amplitude. Le toit du chariot crée aussi de l'obstruction visuelle au moment de gerber / dégerber en hauteur. Compte tenu de la précision exigée pour ces manœuvres en hauteur, le masquage visuel provoqué par le toit n'est pas souhaitable. Les miroirs paraboliques situés en hauteur sont aussi masqués par cette structure. Des observations ont été effectuées au T1 avec des chariots à conduite debout « Raymond » qui avaient la particularité d'offrir des poutres de plafond orientées en fonction du cône de visibilité d'un cariste « moyen ». Ces observations libres ont permis de constater de façon qualitative les gains effectués sur le plan de la visibilité vers le haut.

4.5.2 Un habitacle inconfortable

Les analyses posturales montrent que les caristes adoptent de nombreuses postures difficiles à maintenir, principalement pour le rachis. La marche arrière représente une activité exigeante pour le dos. L'habitacle des chariots n'est pas conçu pour la marche arrière. Les commandes aux pieds, le volant et les commandes à droite figent la posture vers l'avant. Pour aller vers l'arrière, les caristes doivent lâcher les commandes de droite mais pas les autres (pédales et volant). Les observations montrent également que certaines cabines ne sont pas adaptées aux dimensions corporelles des caristes. Au T1, un cariste ne pouvait utiliser qu'un seul modèle de chariot, sinon il avait la tête collée au plafond. Dans cette position, la structure du toit lui masquait davantage la vue vers l'avant et chaque fois qu'il prenait une aspérité au sol, il se cognait la tête au plafond. Soulignons que la mesure de référence pour déterminer la hauteur de la cabine était la hauteur des cadres de porte et des remorques. Dans ce cas-ci, l'épaisseur du siège et ses composantes généraient le problème ; il était impossible de descendre davantage l'assise.

Au T3, pour pallier les contraintes climatiques, plusieurs chariots ont été équipés de toits amovibles ou fixes, de portes et de panneaux de protection fabriqués à partir de matériaux trouvés sur place, notamment du contreplaqué et de l'acrylique transparent. Certains de ces rajouts étaient bien conçus, alors que certains autres comme les toits fixes ou les panneaux latéraux étaient mal conçus, engendraient de nouveaux angles morts et obstruaient davantage la vue. De plus, le choix des matériaux pouvait être douteux dans certains cas, car ils s'usaient très

rapidement. Quoi qu'il en soit, ces artefacts témoignent des contraintes climatiques et de la pénibilité du travail.

4.5.3 L'utilisation des pneus

Trois types de pneus sont offerts sur le marché : les pneus gonflés, les pneus intermédiaires pleins mais résilients, et les pneus pleins et rigides. Les pneus gonflés sont vendus principalement pour les environnements extérieurs. Ils sont peu coûteux mais plus fragiles que les autres. Les crevaisons sont suffisamment fréquentes pour en décourager l'utilisation selon les contremaîtres du T3. Les pneus intermédiaires offrent une alternative aux pneus gonflés car ils sont beaucoup plus résistants et offrent une bonne tenue à l'extérieur. Cependant, leur prix est beaucoup plus élevé. Un revendeur nous mentionne qu'en raison du prix, ces pneus sont moins populaires que les autres. Les pneus rigides sont de loin les plus répandus. Ces derniers ne sont pas recommandés pour les environnements extérieurs mais ils sont exceptionnellement durables.

Outre les vibrations ressenties davantage avec les pneus rigides, d'autres problèmes se posent en terme de proprioception. Les tests de stabilité réalisés par les caristes expérimentés pour jauger leur charge (cf. section 4.2.3.1) ne provoquent aucune déformation des pneus perceptible par le cariste. À l'image de la conduite automobile, la compression des amortisseurs informe sur la vitesse à adopter pour négocier une courbe par exemple. Selon le taux de compression, le conducteur comprend qu'il s'approche de la limite du véhicule et réduira sa vitesse pour éviter de sous-virer. Bien qu'ils soient intrinsèquement plus stables, sur pneus rigides, les caristes doivent se rendre à la limite du renversement pour sentir un changement d'état de stabilité du véhicule. Ils n'apprennent qu'au dernier moment qu'ils sont à la limite de stabilité du chariot. À ce moment, la situation est très dangereuse.

4.5.4 Les accessoires et la sécurité

4.5.4.1 Les rétroviseurs

Les rétroviseurs avant sont utilisés sporadiquement par les caristes. Plusieurs caristes déploieraient le fait que le rétroviseur n'offrait pas une vision très large de l'arrière et qu'en plus, il crée un masquage important vers l'avant. Il y a donc un intérêt d'optimiser leur design pour qu'ils puissent être utilisés plus systématiquement sans nuire à la vision avant.

4.5.4.2 Les gyrophares et les feux stroboscopiques

Les gyrophares installés sur les chariots observés étaient majoritairement hors d'usage. Ces gyrophares sont utiles en terme de détection visuelle. En plus de faciliter le repérage dans les miroirs paraboliques, les gyrophares projettent une lumière sur les murs. Le chariot est alors visible de plus loin, ce qui est très avantageux à l'amorce d'un virage. Les observations montrent que la position actuelle des gyrophares n'est pas toujours adéquate dans la mesure où ils sont attachés au montant du toit à l'arrière et ne favorisent pas l'éclairage du gyrophare vers l'avant. Certains caristes avaient volontairement débranché les gyrophares ou les feux stroboscopiques, car positionnés trop bas, le flash reflétait dans le rétroviseur et causait de l'éblouissement. Au

T1, les deux chariots avaient des feux stroboscopiques différents et les caristes ont indiqué qu'il s'agissait d'un avantage pour distinguer quel chariot travaillait à proximité.

4.5.4.3 Les feux de position et les lumières de recul

Les feux de position et les lumières de recul sont aussi absents sur plusieurs chariots observés, surtout les plus anciens. Ces feux informent les autres caristes et piétons non seulement de la présence du chariot, mais de sa direction et de ses intentions. Leur présence est requise pour améliorer la sécurité et la fluidité des manœuvres. Les caristes ont indiqué qu'il était préférable de les mettre au niveau de la structure du toit pour éviter de masquer davantage la visibilité.

4.5.4.4 L'éclairage d'appoint

Les observations avec l'oculomètre effectuées à la pénombre dans la cour du T3 ont mis en évidence certaines contraintes avec les phares. Comme ils sont accrochés à la structure des montants du toit, ils éclairent davantage le mât que l'ergorama générant des contrastes éblouissants. Par exemple, lors du gerbage d'une charge de planches d'épinette de 16 pi (488 mm), l'œil doit s'adapter (ouvrir la pupille) à la pénombre pour positionner adéquatement la charge qui ne bénéficie plus du faisceau lumineux, alors qu'il reçoit en même temps le reflet de la lumière sur le mât. Les caristes sont également éblouis par le reflet de la lumière intense sur les charges, notamment celles entourées d'une pellicule plastique blanche. De plus, les phares ne suivent pas la charge, alors en gerbage en hauteur, l'éclairage n'est pas efficace. Ils ne sont d'aucune utilité pour le repérage ou la recherche de marchandise qui s'effectue de chaque côté du chariot et non vers l'avant.

Sur le plan de l'éclairage d'appoint à l'intérieur de la cabine, aucun chariot n'était équipé de plafonnier pour lire les bons de commandes. Les caristes se garaient à proximité d'un lampadaire.

4.5.5 Les leviers de commandes

Les leviers de commandes sont déterminants dans la recherche de la fluidité des mouvements. L'analyse montre que les caristes tentent de s'approprier « leur » chariot, car ils ont adapté leurs modes opératoires selon la réponse mécanique du chariot. Lorsqu'ils changent de modèle, ils perdent leurs repères et ne sont plus aussi efficaces. À titre d'exemple, au T2, nous avons mobilisé le chariot habituel du cariste pour l'instrumenter. Après avoir utilisé le « mulet » pendant environ 90 minutes où la commande d'embrayage était sous le volant, le cariste a récupéré son chariot habituel avec une commande au pied et a eu besoin d'environ une heure de travail pour se réhabituer aux « nouvelles » commandes. Il a essayé à 14 reprises d'actionner par erreur la commande sous le volant. Au T1, certains caristes qui travaillent avec des chariots debout « Raymond » munis d'un joystick, ont indiqué que le joystick était plus facile à contrôler en terme de confort postural et était très efficace en terme de réponse mécanique. Finalement, comme les caristes gardent la main droite le plus souvent sur les leviers, le klaxon sur le volant semble mal positionné.

4.5.6 Les appareils de préhension

Les appareils de préhension observés dans les trois terrains étaient très variables pour s'adapter à la nature des charges manutentionnées. Certains de ces appareils comportaient des risques et mériteraient d'être optimisés sur le plan de leur conception. À titre d'exemple, un modèle de fourches, plus minces et allongées, était utilisé pour les insérer plus facilement entre deux charges sans palettes et où l'espace était retreint. Ces fourches endommageaient moins la marchandise, mais étaient qualifiées de plus dangereuses par les caristes en raison de leur flexibilité qui faisait osciller et glisser plus facilement la charge vers l'avant.

Lors de la manipulation des rouleaux, la pression des pinces utilisées pour soulever les charges dont le poids varie d'une fois à l'autre devait être ajustée pour éviter, soit d'écraser la charge quand la pression de la pince est trop élevée, soit d'échapper la charge lorsque la pression est insuffisante. Or, en situation de fortes contraintes temporelles ou lors de récupération d'incidents, les caristes ont parfois oublié d'ajuster la pression risquant d'échapper le rouleau. De plus, au moment de descendre la charge, le système de préhension provoquait une secousse soudaine qui avait pour effet de soulever les roues arrière lorsque la charge était très lourde.

La longueur des fourches est une autre caractéristique qui favorise des manipulations à risque. Lorsque les caristes doivent gerber des charges en hauteur, les observations montrent qu'ils mettent parfois la palette à bout de fourche — les fourches étant plus longues que la palette — pour soulever la charge et éviter d'endommager la marchandise derrière. Ce mode opératoire est risqué dans la mesure où la charge est instable et modifie la stabilité du véhicule. Dans les endroits encombrés, le risque est plus élevé, car les caristes doivent manœuvrer en hauteur, voire effectuer des virages, dans ces conditions. L'analyse des accidents dans la banque de la CSST attribue la cause de certains accidents mortels au fait que la charge n'était pas appuyée au système de fourche.

Ces trois exemples illustrent les difficultés liées à la manipulation de charges variables en terme de forme et de poids. Les équipements de préhension peuvent être développés sur mesure pour un type de charge ou un autre. Toutefois, si les charges varient, les observations montrent qu'il se peut que l'appareil de préhension du chariot ne soit pas toujours approprié. Les cas observés suggèrent qu'une mauvaise adéquation entre l'appareil de préhension et la charge peut avoir des conséquences négatives en terme de bris de marchandises et de sécurité si des charges sont échappées.

4.5.7 Le choix de chariot

Les entrevues effectuées avec les responsables des achats, de la production, les formateurs et les caristes montrent qu'ils ont peu de critères pour choisir un chariot. Les principaux critères évoqués sont le budget, la motorisation (thermique et électrique selon le parc existant), la capacité et la dimension des espaces disponibles. Il semble également que les acheteurs choisissent un chariot polyvalent, c'est-à-dire qu'il pourra réaliser plusieurs tâches. Les observations montrent dans certains cas que les chariots ne sont pas adaptés à la tâche comme au T3 où les caristes devaient manipuler des poutrelles de grande dimension en hauteur alors qu'il existe des chariots à prise latérale mieux adaptés à ce type de manipulation. Les

caristes mentionnent qu'ils ne sont que très rarement impliqués dans le processus d'achat pour déterminer à l'avance les critères recherchés. Au T1 et T2, le responsable de la production repérait un chariot, souvent usagé, et allait le voir avec un des caristes du département concerné. Au T3, le contremaître fonctionnait avec un fabricant en particulier et les critères étaient d'uniformiser petit à petit la flotte et comme autres critères, il se référait à un des représentants du fabricant qui faisait une analyse des besoins et lui conseillait un modèle.

4.6. La formation

Notre étude a permis de voir deux cas types sur le plan de la formation. Dans le premier cas, le novice est mis en relation avec un cariste expérimenté en compagnonnage qui le suit durant une journée pour lui apprendre le métier, puis il est laissé autonome dans la cour. Ce transfert de connaissances est positif, mais les « formateurs » n'ont jamais reçu de formation. Une formation administrée par une mutuelle de prévention était prévue dans l'année suivant l'embauche du cariste, mais l'importante rotation des effectifs faisait en sorte que plusieurs d'entre eux avaient déjà quitté leur emploi avant de recevoir leur formation.

Le deuxième cas est une entreprise qui donne une formation corporative théorique et pratique qui dure deux semaines. L'objectif de cette formation est de « *développer les connaissances et les habiletés nécessaires pour inspecter et opérer un chariot élévateur de façon méthodique et sécuritaire* ». La formation théorique dans le secteur des pâtes et papiers est très pertinente et rigoureuse. Toutefois, certaines lacunes méritent d'être mises en évidence sur le plan pratique. Le novice est associé à un cariste expérimenté, mais ce dernier n'était pas toujours prévenu à l'avance de la présence d'un nouveau dans son quart de travail. L'expérimenté devait assumer une charge de travail importante en plus de suivre le novice. Le contexte de formation n'était pas propice aux apprentissages, puisque la nature des enjeux était clair aux yeux du compagnon : « *s'il est trop nerveux, je ne lui laisse pas de chariot, je lui donne un balai* ». Dans les trois terrains, les caristes expérimentés affirment que 3 mois de pratique sont nécessaires pour être opérationnel du point de vue de l'activité. Le plus difficile dans l'apprentissage, c'est d'apprendre à devenir un « agent de gestion de la marchandise ».

4.7. La nécessité de poursuivre le travail de prévention

4.7.1 La prise de risques « évidents »

L'étude avait pour principal objectif de documenter les risques de renversement et de collision. Toutefois, les observations sur le terrain ont permis de montrer que le travail de prévention doit également se poursuivre pour sensibiliser les caristes sur les risques associés aux pratiques suivantes :

- Le *frein à main* a été oublié au moins une fois par tous les caristes qui ont utilisé le chariot instrumenté. Plusieurs accidents graves impliquant l'oubli du frein à main sont répertoriés dans la base de données VREN. Le scénario type d'accident se décrit comme suit : le chariot dans une pente se met à avancer ou reculer et écrase le cariste ou l'opérateur qui, absorbé par son travail, ne l'a pas vu arriver.

- Il nous est arrivé à plusieurs reprises de voir des *opérateurs monter directement sur une palette* pour se faire soulever ou pour aller chercher une charge en hauteur. L'accessibilité de certaines marchandises est telle que les caristes doivent escalader des charges pour y accéder. Les opérateurs montent sur les remorques pour vérifier le contenu de la commande ou placer correctement de la marchandise instable. De plus, les opérateurs se mettent sur les fourches pour tenir les marchandises non adaptées comme les panneaux de portes. Les accidents survenus lorsqu'un travailleur est porté sont notables, 11 % des accidents graves et mortels au Québec entre 1974 et 2002.
- L'autre risque qui a aussi été observé fréquemment est associé au *travail effectué à proximité des charges manipulées en hauteur*. Les personnes en coactivité sont très près de la charge manipulée pour donner des indications au cariste ou passent sous les charges pendant les manœuvres. Dans les entrepôts où il se fait du « picking », l'aide manutentionnaire se place directement sous la charge et consulte le système logistique pour connaître la prochaine commande pendant que le cariste dégerbe une charge au-dessus de sa tête. Vingt-deux pour cent des statistiques d'accidents de la VREN sont liés à l'événement « écrasé par une charge », ce qui démontre bien que le travail à proximité d'une charge transportée en hauteur est à éviter.

4.7.2 L'utilité de l'analyse des risques comme démarche de sensibilisation et comme moyen pour choisir les actions de prévention appropriées

Les premières analyses de l'activité des caristes ont mis en évidence le fait que cette activité dépasse de beaucoup la simple conduite d'un chariot élévateur. Pour en saisir toute la complexité, il faut plutôt la considérer comme des activités de gestion de la manutention et de la circulation des matières premières et des produits à l'intérieur d'une entreprise. De la même façon, la gestion des risques associés aux opérations impliquant un chariot élévateur nécessite beaucoup plus que le respect des nombreuses règles générales qui constituent le référentiel de conduite sécuritaire et qui sont consignées dans les normes et les documents de formation. Elle implique toute une multitude de stratégies, de savoir-faire de prudence, de règles implicites qui s'élaborent graduellement au sein du collectif de travail et qui sont généralement très peu formalisés. Il ne suffirait qu'un cariste (moins expérimenté que les autres) ou qu'un piéton ignore ou transgresse une de ces règles implicites pour que se produise l'accident. De plus, il reste des risques qui semblent mal évalués par les caristes et qui sont tolérés ou ignorés par les entreprises. L'analyse de risque semble donc une démarche indiquée pour permettre aux entreprises de faire le point sur leurs pratiques et pour identifier les moyens de prévention adaptés à leurs situations de travail.

Une démarche d'analyse de risque comportant six étapes principales a alors été développée au cours de l'étude pour initier les réflexions des caristes et des différents acteurs de l'entreprise quant aux risques de collisions et de renversements. Cette démarche se termine par un plan d'action visant l'application de moyens de prévention adaptés au contexte de l'entreprise. Cette démarche s'appuie sur le leadership d'un spécialiste en prévention, sur la participation active d'un groupe de travail composé du personnel de l'entreprise et sur l'engagement de la

direction et des représentants des travailleurs. Cette démarche, systématique et structurée, propose une analyse par tâche et par zone et compte sur l'utilisation de plans sur lesquels les facteurs de risque sont représentés. Cette ébauche très prometteuse n'a toutefois pas pu être validée plus largement pour évaluer son potentiel de généralisation.. Une publication en présente cependant les principaux concepts²¹.

²¹ Beaugrand, S., Richard, J.G., Hastey, P., Vezeau, S., Giguère, D., (2006). *L'analyse des risques de collisions avec piétons et de renversements des chariots élévateurs en entreprise – proposition d'une démarche*. In : Actes du 28e Congrès de l'Association québécoise pour l'hygiène, la santé et la sécurité du travail / AQHSST : La prévention un éternel recommencement ou une amélioration continue, mai 2006, Québec, Canada.

5. DISCUSSION

L'objectif principal du projet visait à étudier le travail des caristes pour identifier les déterminants (environnement, formation, chariot, charge, organisation du travail, contraintes temporelles, ...) qui posaient des problèmes de collisions et de renversements et comprendre comment les transformer pour améliorer la conception des situations de travail. Les trois terrains choisis ont permis de bien documenter les modes opératoires associés à la conduite des chariots élévateurs et les déterminants qui engendrent les situations à risque. Les risques de collisions et de renversements sont notamment générés par des contraintes d'organisation du travail (contraintes temporelles élevées, période de travail intensif, changement de commande, etc.), par des problèmes d'aménagement (encombrement des espaces, voies de circulation obstruées, absence d'espace tampon, etc.) et par des contraintes de conception du véhicule (obstructions visuelles, angles morts, éclairage, confort de l'habitacle, etc.). La Figure 43 synthétise les principaux déterminants ayant des conséquences sur la santé et l'efficacité des caristes. Ces déterminants observés dans l'ensemble des terrains d'études peuvent être coûteux pour les entreprises en terme de bris de marchandises ou d'équipements, de perte de temps et de retards de livraison.

Malgré la spécificité des différents contextes de travail analysés dans les terrains d'études, la recherche permet de dégager plusieurs similitudes quant aux déterminants qui génèrent les situations à risque. Le nombre élevé de situations analysées, de caristes interrogés et d'entreprises observées, permettent de croire que les résultats sont représentatifs du travail des caristes pour une grande variété d'entreprises. Les contraintes de manque d'espace, d'absence de signalisation, de règles de priorité non partagées, de manque de temps, de changements de commande, etc., sont omniprésentes dans la majorité des entreprises. La présentation des résultats aux caristes, aux dirigeants des entreprises et aux membres du comité de suivi a permis de constater leurs cohérence, mais aussi leur généralisation dans d'autres entreprises. Plusieurs résultats vont également dans le même sens que ceux obtenus par nos collègues de l'INRS, en France, utilisant une méthode similaire et qui ont observé des terrains très différents. Cependant, compte tenu de la complexité des situations de travail et des déterminants en jeu, il faut demeurer prudent sur une éventuelle généralisation de l'ensemble des constats et les analyser en fonction du contexte et de l'activité dans lesquels ils s'inscrivent.

5.1. Un nouveau point de vue : prendre en compte l'activité des caristes pour mieux les aider à gérer leur sécurité

Sur le plan des apports théoriques et pratiques, l'étude a permis de montrer que le métier de cariste ne consistait pas seulement à conduire un véhicule, mais à mettre à profit des savoir-faire qui permettent d'assurer la fluidité des mouvements pour gérer avec efficacité la stabilité des charges et les collisions. Pour y arriver, les caristes mettent en œuvre des stratégies de régulation et d'anticipation, mais les contraintes organisationnelles et de production, notamment les modifications de commandes, mettent certaines de ces stratégies en échec et leur récupération est coûteuse pour les caristes sur le plan temporel. Bien que les terrains impliquaient des manipulations de charge fort différentes, des stratégies de régulation et d'anticipation ont été

observées dans chaque situation et dans chaque entreprise, de même que des situations de récupération coûteuse suite à un changement dans la séquence de chargement. De plus, les règles de circulation et de priorité étaient floues et non partagées entre les caristes et par l'entreprise, ce qui augmentait les risques de collision, notamment dans les carrefours, espace de croisement et de manœuvres, où les vitesses étaient plus élevées et où la coactivité était plus importante.

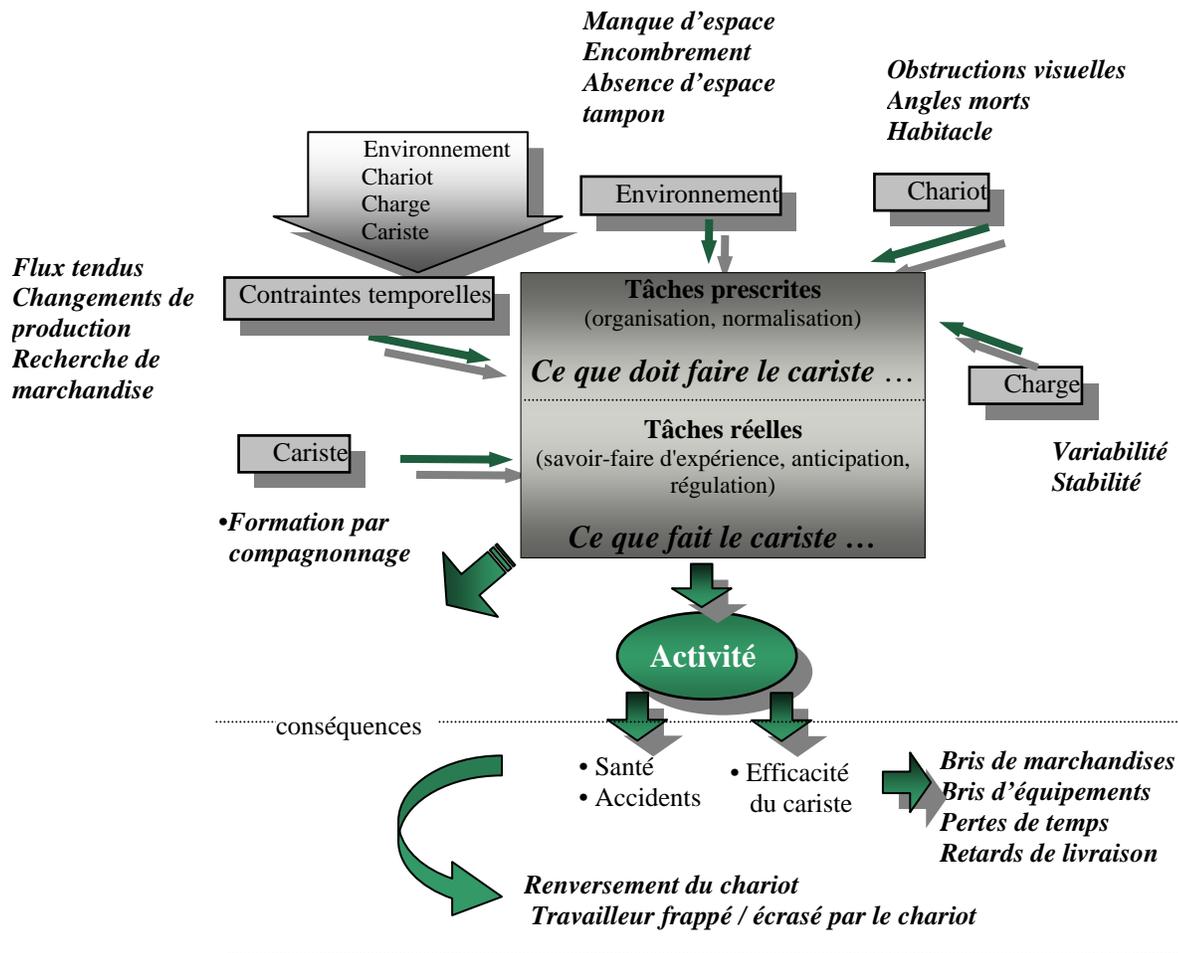


Figure 43 : Principaux déterminants ayant des conséquences sur la santé et l'efficacité des caristes

L'étude a également permis de montrer que la variabilité des situations et la gestion de la stabilité des charges est coûteuse pour l'entreprise en terme de bris de marchandises, d'équipements et occasionnent des pertes de temps notables. Toutefois, elle n'a pas permis de rencontrer l'objectif qui visait à identifier, d'un point de vue systématique et fiable, l'ensemble des situations où les caristes étaient à risque de renverser. Les facteurs contribuant à un risque de renversement sont trop nombreux (hauteur de la charge, centre de masse, empattement du véhicule, capacité du chariot, rayon de braquage, vitesse, inclinaison du sol, type de pneumatique, etc.). Compte tenu de l'ensemble des informations requises pour mener de telles analyses, les travaux doivent être poursuivis. Néanmoins, même si l'analyse n'a pas permis de déterminer l'ensemble des situations où le cariste était près de renverser, elle nous a permis de détecter ou

représenter certaines situations à risque de renversements et, couplée à des entrevues d'autoconfrontation, de mettre en évidence certaines stratégies de gestion des risques utilisées par les caristes expérimentés. L'instrumentation utilisée a permis de développer un outil méthodologique fort pertinent pour identifier ces situations à risque. Nous y revenons plus loin (5.2.3). L'étude met néanmoins en évidence les difficultés associées à l'analyse et la gestion de la stabilité et la grande variété de paramètres à considérer pour évaluer et assurer la stabilité en tout temps. Cette contrainte est d'autant plus pénalisante pour les novices qui ne disposent pas des repères visuels, proprioceptifs et cognitifs que se sont construits les caristes chevronnés. Ceci montre la pertinence — sur la base des repères construits par les expérimentés — de développer des outils (interfaces) aidant les caristes à mieux évaluer la stabilité des chariots comme un indicateur de stabilité (Axe I) et à faciliter la construction de tels repères pour les aider à prévenir les risques de renversements.

Un apport important de la recherche a été de démontrer de manière quantitative que le guidage et le contrôle de la charge, la recherche de matériel et le travail de précision sont exigeants du point de vue de l'attention visuelle et que les obstructions visuelles liées à l'environnement et au design des chariots élévateurs exacerbent cette contrainte en masquant des informations nécessaires pour prévenir les risques de collisions et de renversements. Elles induisent des postures contraignantes dont des flexions et rotations prononcées du tronc qui pourraient interférer avec d'éventuels dispositifs de retenue. Comme les problèmes d'obstruction visuelle, les difficultés à gérer la stabilité des charges et l'état dégradé des sols amènent à penser qu'il subsistera toujours un certain risque de renversement et qu'il est alors nécessaire de protéger adéquatement les caristes avec des dispositifs de retenue. L'efficacité de ces dispositifs doit donc être évaluée en regard de leurs activités et de leurs modes opératoires, notamment la PIV. Ceci confirme la pertinence d'élaborer une méthode d'évaluation des dispositifs intégrant à la fois un volet ergonomie et modélisation (Axe III). Les obstructions visuelles et les contraintes posturales ont aussi été observées dans d'autres modèles de chariot comme les chariots à conduite debout « Raymond ».

Un autre objectif de l'étude visait à fournir des repères de conception pour aménager la conduite en marche arrière. L'étude confirme que les postures de travail en conduite en marche arrière, notamment les rotations du tronc, sont contraignantes, diminuent la prise d'information visuelle (PIV) et que certaines zones de l'environnement de travail sont masquées. Toutefois, compte tenu de la variété des raisons qui amènent les caristes à circuler en marche arrière, de la nécessité de contrôler la stabilité des charges par la PIV, de l'absence d'observation de caristes utilisant des sièges pivotants, il n'a pas été possible d'aller plus loin sur ce point.

Les études terrains ont également contribué à l'identification de certains besoins des différents acteurs (gestionnaires, préventionnistes, acheteurs, formateurs, législateurs, caristes, concepteurs, etc.). Parmi ceux qui retiennent notre attention, précisons que plusieurs décideurs n'ont pas d'outils, de grille de critères ou de méthodes pour choisir ou concevoir un chariot mieux adapté à l'activité des caristes, que les formateurs ne disposent pas de formation intégrant des stratégies de prudence spécifiques liées à la gestion de la marchandise utilisée par les caristes expérimentés et que les préventeurs ont peu d'outil pour évaluer les risques. Cette étude a permis de développer une démarche d'analyse et d'appréciation des risques de renversements et de collisions et des outils d'évaluation de ces risques sous forme de fiches.

L'analyse de l'activité a permis de répondre aux objectifs spécifiques visant à caractériser les postures et les principaux éléments accidentogènes présents dans l'environnement (inégalités du sol, rampe, poteaux, obstacles sur le sol, etc.) et à dresser une liste de scénarios types d'activité et de variables à prendre en compte lors d'une éventuelle évaluation ergonomique de dispositifs de sécurité. Ces paramètres pourront enrichir les outils de simulation numérique développés par l'Université de Sherbrooke en présentant des scénarios de simulation plus « réalistes », plus proche des modes opératoires déployés pendant la conduite.

Finalement, on constate que le travail des caristes ne consiste pas seulement à conduire un véhicule, mais à gérer avec efficacité la marchandise et la sécurité, c'est-à-dire déployer des stratégies de régulation et d'anticipation pour atteindre les objectifs de production, tout en gérant les risques. *Pour améliorer la conception des situations de travail impliquant l'utilisation d'un chariot élévateur et aider les caristes à mieux gérer leur sécurité, il importe d'adopter un nouveau point de vue, c'est-à-dire de s'affranchir progressivement de l'approche de prévention basée simplement sur le comportement de l'opérateur (approche individuelle du risque) pour mettre en œuvre une approche centrée sur des choix d'organisation du travail en amont et la conception d'espaces de travail et d'équipements mieux adaptés au travail des caristes.*

5.2. Les apports et limites méthodologiques

D'un point de vue méthodologique, une des limites de l'étude est associée aux problèmes d'instrumentation rencontrés dans chacun des terrains d'études. Compte tenu de la variabilité des situations et des chariots, l'instrumentation a dû être adaptée à chacun des terrains, ce qui a causé certains problèmes d'homogénéisation des bases de données. De plus, le contexte industriel a fait la vie dure à l'instrumentation et certains équipements comme des potentiomètres, des caméras, etc., ont brisé en cours de route. Il a donc été impossible d'avoir une base de données ayant l'ensemble des variables pour tous les terrains, ce qui a compliqué notre analyse transversale. De plus, l'ampleur de la tâche d'analyse associée à la quantité de données recueillies et traitées nous a contraints à alléger le protocole en sélectionnant dans chaque terrain certains moments d'observation. Ainsi, même si au T1 nous avons fait cinq jours d'observation, seulement deux jours (4 quarts) ont été analysés finement. Quoi qu'il en soit, nous avons fait attention de choisir des moments représentatifs de l'ensemble du travail des caristes.

Parmi les apports méthodologiques, l'étude a permis de développer des instruments performants pour analyser l'activité d'opérateurs utilisant des véhicules industriels motorisés (VIM). Elle a aussi permis de confirmer la pertinence de l'oculomètre comme outil d'analyse du travail sur VIM, de développer un outil d'aide à l'observation et un outil d'évaluation des risques de renversements.

5.2.1 L'oculomètre : un outil efficace pour l'analyse du travail sur les VIM

Malgré les difficultés inhérentes à l'utilisation de l'oculométrie sur le terrain, nous avons pu bénéficier de 6 heures et 32 minutes d'enregistrements de qualité variée en mettant en œuvre différentes techniques de contrôle de la qualité sur le terrain. La durée des enregistrements

utilisables représente 67 % du total des enregistrements réalisés. Des 17 enregistrements réalisés avec les 15 caristes participants, 14 ont pu être utilisés.

Les principaux problèmes rencontrés furent de nature technique (connecteur desserré, pile agonisante et parallaxe de la caméra « scène »), environnementale (interférence des rayons infrarouges du soleil, secousses et vibrations), et accessoire (point de calibrage non visible, déplacement du serre-tête et fin prématurée de l'enregistrement). S'ajoutent les mouvements des yeux au-delà des spécifications de l'appareil, et le flou vidéo lors des mouvements rapides de la tête. Le port de l'instrument a généralement été bien accepté par les caristes participants. Ils avaient tous reçu la consigne qu'ils pouvaient se retirer de l'étude à tout moment s'ils ressentaient de l'inconfort et de l'insécurité. Un seul cariste demanda d'arrêter après 20 minutes car il trouvait le serre-tête inconfortable. Les participants nous ont rapporté d'autres problèmes, mais aucun n'a justifié un arrêt des enregistrements. Entre autres, le petit miroir placé devant l'oeil gauche de l'oculomètre pouvait venir en contact avec les lunettes du cariste si celui-ci en portait, et le filtre infrarouge se pliait sous l'action du vent lors de déplacements à vitesse élevée. Également, la visière de l'instrument pouvait bloquer une partie du champ de visibilité vers le haut lors de tâche de gerbage, ce qui obligeait le cariste à une flexion arrière momentanée du cou plus importante, mais rappelons que le but de l'étude était l'étude des stratégies de conduite, et non le gerbage. Enfin, aucun cariste n'a rapporté de difficulté à voir au travers du miroir du système optique, élément qui nous était apparu comme potentiellement problématique lors de la rédaction du protocole. Les commentaires et le comportement des caristes participants laissent croire que l'exécution de la tâche nécessitait la plus grande partie de leur attention, et que le port de l'oculomètre pouvait alors être considéré comme une double tâche négligeable.

L'utilisation de l'oculométrie dans cette étude a permis de contraster certaines sous-tâches qui sont visuellement intensives, une situation difficile à appréhender par observation simple, et qui est rarement abordée lors des entrevues. Certaines de ces sous-tâches pourraient potentiellement se transformer en tunnel cognitif et être à la source d'un accident. De nombreux comportements de sécurité, de la part des caristes, ont aussi pu être mis en évidence.

L'analyse de séquences vidéo montrant le point de regard (PDR) se déplaçant sur l'ergorama nous a permis de nous rendre compte du « point de vue » du cariste, une autre situation rarement disponible en ergonomie. Paradoxalement, l'intérêt pour la prise d'information visuelle dans cette étude nous a fait réaliser l'importance de l'audition et de la proprioception lors de l'exécution du travail des caristes pour pallier aux obstructions visuelles induites par le design du chariot ou par la topographie des lieux.

Enfin, on peut considérer que le succès des entrevues d'autoconfrontation avec les caristes, en utilisant les vidéos montrant le déplacement de leur PDR, est mitigé. Pour certaines situations, l'apport à la compréhension de la dimension cognitive de leur travail a été extrêmement riche alors que pour d'autres situations, les caristes questionnaient eux-mêmes la « façon qu'ils regardaient ». La réflexion sur cet aspect méthodologique doit donc se poursuivre, mais nous n'en gardons pas moins les informations recueillies.

Les quelques 6 heures et 32 minutes d'enregistrements oculométriques sont bien peu comparées au temps d'observation total réalisé au cours de cette étude, mais les tâches ciblées

étaient représentatives de leur travail (il y a de nombreuses autres heures d'observation pour le confirmer). L'utilisation de l'oculométrie a contribué à comprendre l'important volet cognitif du travail des caristes et à nous en donner un point de vue original. En ce sens, elle permet de proposer des recommandations qui sont près des préoccupations sécuritaires pour la conception des véhicules, des tâches et des espaces de travail.

5.2.2 La caméra immersive : un outil d'aide à l'observation des VIM

Au cours du projet, un travail important a été effectué avec l'entreprise Immervision pour développer un outil d'aide à l'observation très intéressant en ergonomie, car il permet d'analyser simultanément quatre variables issues d'images vidéo : i) la posture du cariste durant la conduite, ii) la position de ses mains sur les manettes, iii) ce qui se passe en avant du véhicule et, iv) ce qui se passe en arrière. Cet outil, très petit (5 cm³), permet d'interpréter une image équivalant à une demi-sphère (180°) recueillie à partir d'une seule caméra munie d'une lentille « fish-eye ». Avec deux caméras, on peut également observer tout ce qui se passe sur une image équivalant à une sphère complète. La Figure 44 illustre l'image recueillie avec un fish-eye, puis déployée dans l'interface de visualisation développée par la société Immervision. Au cours de l'étude, des démarches ont permis d'intégrer cet outil au système d'acquisition de données CAPTIV de TEAERGO. L'instrumentation requise étant petite, elle évite d'obstruer le champ de vision de l'opérateur dans le véhicule et permet de faire oublier aux participants qu'ils sont filmés. Différents essais ont été effectués avec une interface de quatre images qui permet d'ajouter plusieurs autres observables (images). Toutefois, des améliorations s'imposent pour en faire un outil convivial pour les ergonomes, notamment la qualité des caméras et des optiques, la lenteur du système liée à la taille des fichiers vidéo, le temps élevé de dépouillement et la calibration du fish-eye qui doit être faite chaque fois qu'on change de caméra.

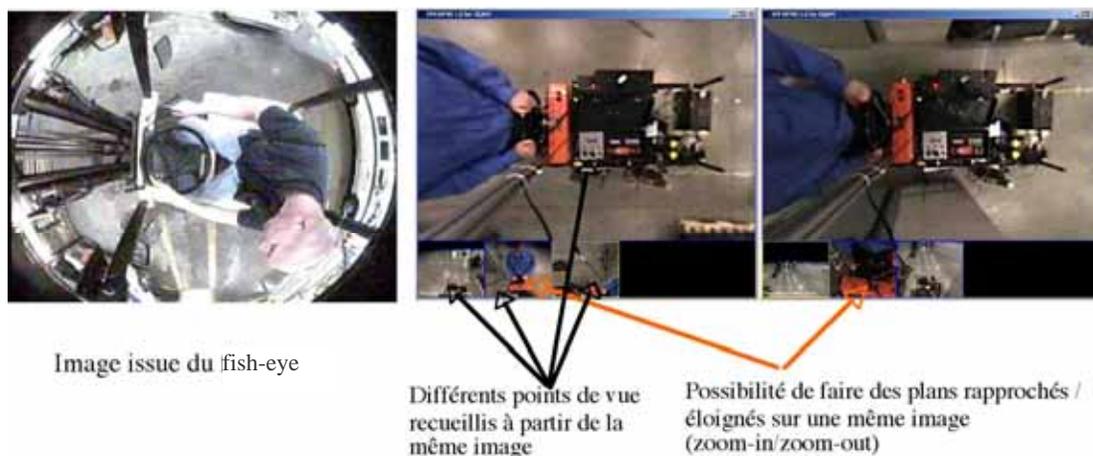


Figure 44 : Image recueillie avec un « fish-eye », puis déployée dans l'interface de visualisation développée par la société Immervision

5.2.3 L'utilisation de l'odométrie et d'un accéléromètre triaxial pour déterminer les risques de renversements d'un chariot élévateur

Un autre apport méthodologique de l'étude est lié à l'utilisation de l'odométrie et d'un accéléromètre lors de l'instrumentation du chariot. Dans le but de mieux comprendre les situations à risque de renversements, de générer des repères pour l'analyse des niveaux de risques et ainsi fournir aux formateurs et préventionnistes des outils pédagogiques, une technique d'odométrie jumelée à l'utilisation d'un accéléromètre triaxial a été utilisée pour analyser les risques de renversements d'un chariot. En combinant cette approche avec la position mesurée de la charge, il a été possible de représenter visuellement le comportement du vecteur des forces agissant sur le centre de masse du chariot pour différents types de charges et de créer une représentation dynamique de la projection de ce vecteur sur le triangle de stabilité. Après synchronisation avec les séquences vidéo de la tâche réalisée dans une situation réelle de travail, cette représentation animée peut être analysée et codée par des ergonomes dans le logiciel OBSERVER® (ou Captiv©), des logiciels d'analyse d'événements. Ils peuvent ainsi disposer d'informations sur le niveau de stabilité du chariot, lors de la réalisation de tâches réelles, telles les forces verticales présentes entre les roues et le sol, ce qui leur permet de mieux comprendre les stratégies de conduite et de gestion des risques de renversements utilisées par les caristes.

L'odométrie, une méthode utilisée en robotique, est une technique permettant de reproduire la trajectoire du véhicule. Elle nous permet d'estimer la cinématique du chariot soit les vitesses, les accélérations ainsi que les rayons de braquages du véhicule à partir, dans notre cas, des données recueillies par les encodeurs. Ces données permettent de mesurer le déplacement de chacune des roues selon des formules mathématiques, puis de calculer les forces agissant sur les roues avec un modèle simple qui comprend plusieurs approximations [58]. En plus de fournir des informations sur les accélérations, l'accéléromètre joue aussi un rôle d'inclinomètre. L'approche développée a permis de reconstruire la trajectoire enregistrée sur une piste d'essai avec une précision très acceptable par rapport aux données recueillies avec une balise GPS bi-référencée.

Les résultats sont probants et très prometteurs pour l'analyse du niveau de stabilité d'un chariot en situation réelle d'opération²². Bien que la méthode utilisée soit moins précise pour reproduire fidèlement la trajectoire du chariot lorsqu'il y a glissement des pneus, les trajectoires mesurées semblent satisfaisantes pour le type d'analyse que font les ergonomes. La technique ici développée s'est avérée efficace pour détecter ou représenter certaines situations à risque de renversements et, couplée à des entrevues d'autoconfrontation, pour mettre en évidence certaines stratégies de gestion des risques utilisées par les caristes expérimentés. Des développements se poursuivent pour utiliser les données recueillies par les accéléromètres et ainsi déterminer l'impact des pentes du terrain sur la stabilité du véhicule. Les ergonomes poursuivent leur réflexion sur la meilleure façon de transmettre ces informations aux caristes.

²² Pour plus amples informations, le lecteur est invité à consulter Larue & al., (2007). *De la mesure odométrique d'un chariot élévateur à la formation des caristes: les risques de renversement*. In : 7e Congrès international de génie industriel / CIGI, 5-8 juin 07, Trois-Rivières, Canada.

5.3. Les recommandations

Ce chapitre présente les recommandations issues des analyses précédentes. Ces recommandations sont classées par déterminant, mais ne constituent pas en soi un ordre de priorité.

5.3.1 Design du chariot

- Le choix du chariot devrait être effectué en fonction des caractéristiques de la tâche, notamment les charges à manutentionner, en fonction de l'environnement dans lequel il évoluera et en fonction des caractéristiques des utilisateurs. Une fiche technique de critères en lien avec l'activité devrait être élaborée pour aider les décideurs.
- Compte tenu des nombreux paramètres à prendre en compte pour gérer la stabilité, il serait pertinent de concevoir un indicateur de stabilité pour aider le cariste, c'est-à-dire une interface composée de capteurs, d'un ordinateur, d'un affichage dynamique arborant l'état de stabilité du véhicule en temps réel. Comme le système SAS, un système actif pourrait être jumelé à l'interface et agir sur les commandes ou la mécanique du véhicule. Une interface passive uniquement serait vraisemblablement applicable au parc machine existant alors qu'une interface passive et active serait davantage applicable aux futures générations de chariots.
- Pour favoriser la prise d'information visuelle exigée par la tâche, il serait juste de concevoir un chariot « grande visibilité ». Des transformations sur les mâts, la mécanique de levage, le FOPS, le châssis et le tableau de bord devraient être effectuées pour accroître la visibilité au sol, à l'avant et sur les côtés. Les structures comme le mât, le dossier ou le FOPS devraient être orientées dans le sens du cône de visibilité du cariste formé à partir de ses yeux, donc pas nécessairement placées orthogonalement par rapport au véhicule.
- Compte tenu des contraintes posturales associées à la conduite en marche arrière, il serait pertinent d'analyser l'efficacité des sièges pivotants et d'évaluer leur impact sur l'activité, notamment l'utilisation des autres commandes et pédales.

5.3.2 Design des accessoires

- Compte tenu des risques élevés de renversement, des dispositifs de retenue ou de protection adéquats devraient être intégrés aux chariots. Ces dispositifs devraient cependant prendre en compte les besoins de mobilité des caristes et leurs postures de travail.
- Afin de s'assurer de l'adéquation des dispositifs de retenue (appuis latéraux, ceinture, portes) avec l'activité des caristes, notamment l'accès aux commandes, les postures de travail, la prise d'information et la mobilité, une étude devrait être effectuée pour les évaluer sur le plan ergonomique en situation réelle de travail.
- Compte tenu de l'émergence de coussins gonflables et de rideaux latéraux comme équipement de protection dans le domaine automobile et des besoins de mobilité du cariste, il serait judicieux d'évaluer les possibilités de développer un rideau gonflable pour protéger la tête du cariste en cas de renversement.

- Comme la main droite est le plus souvent positionnée sur les leviers, il serait judicieux, dans la mesure du possible, d'ajouter une seconde commande de klaxon près des leviers de commandes.
- Afin d'éviter de masquer d'importantes zones de vision vers l'avant, les rétroviseurs devraient être plus petits et positionnés judicieusement pour diminuer le masquage. La pertinence d'utiliser des rétroviseurs légèrement sphériques devrait être évaluée pour augmenter l'angle arrière, bien que ce type de rétroviseur peut induire en erreur quant à l'appréciation des distances réelles par rapport à un objet.
- Compte tenu qu'ils constituent une source d'information et de « discrimination » utile pour les caristes et les piétons, les gyrophares devraient être fonctionnels et positionnés de manière à assurer un rayonnement à 360° autour du chariot. La pertinence de remplacer les gyrophares par des lampes stroboscopiques blanches devrait être évaluée ainsi que la personnalisation du rythme d'allumage.
- Afin d'accroître le repérage et faciliter la compréhension des manœuvres effectuées par les caristes, des feux de positions et des lumières de recul supplémentaires devraient être installés sur tous les véhicules et de préférence au niveau du FOPS ou sur le haut de la structure.
- Pour faciliter la prise d'information visuelle et éviter l'ajout d'angles morts, il serait judicieux de s'assurer que les ajouts de cage de protection sur les chariots favorisent l'utilisation de panneau à charnière et/ou des panneaux transparents sur la plus grande surface possible et que l'entretien de ces surfaces soit fréquent pour assurer une visibilité optimale en tout temps.

5.3.3 Architecture

- Afin de favoriser la fluidité des déplacements des chariots et des autres véhicules et de diminuer les contraintes liées à l'encombrement véhicule-chariot, des plans de zonage et de circulation devraient être élaborés. Les astuces de la circulation routière pourraient servir d'inspiration pour la détermination des zones de circulation, d'entreposage, de service, de repos, etc. Par exemple, des voies à sens unique pourraient être définies avec une signalisation adéquate.
- Afin de faciliter l'anticipation des déplacements, les bâtiments neufs devraient être conçus avec le plus possible d'ouvertures dans les parois, notamment en créant des zones transparentes à 1 m 50 environ du sol ou à hauteur des yeux du cariste pour élargir le champ de vision et détecter plus vite les piétons ou chariots en approche dans l'autre axe. Toutefois, comme la prise d'information auditive est importante, les zones bruyantes devraient au contraire être isolées du reste.
- Afin d'éviter les problèmes d'encombrement, les plans devraient être dessinés de telle sorte que des agrandissements éventuels soit possibles. Les couloirs et les carrefours devraient être suffisamment larges pour effectuer des manœuvres et des déplacements simultanément.
- Pour favoriser l'identification des marchandises et la lecture des étiquettes, les niveaux d'éclairage des entrepôts devraient être suffisamment intenses et les luminaires judicieusement positionnés. Une attention devrait cependant être portée pour éviter le travail à contre-jour et les éblouissements lors du gerbage/dégerbage.

5.3.4 Aménagement

- Dans le but de standardiser les trajectoires des chariots et d'accentuer leur caractère prévisible, les palettières et les zones d'entreposage temporaire pourraient demeurer éloignés de plusieurs mètres des carrefours. La distance de dégagement des parois devrait être évaluée en fonction des trajectoires uniformisées des chariots.
- Afin d'atténuer les contraintes d'encombrement dans les carrefours, les équipements de service comme les emballeuses devraient être situés dans des zones exclusives, mais éloignées des carrefours.
- Compte tenu que les piétons sont insonores, il serait pertinent de dessiner des circuits piétonniers au sol en évitant de les chevaucher avec les trajectoires des caristes. De plus, les piétons devraient être équipés d'un système de gyrophares stroboscopiques comme on retrouve chez les cyclistes pour être plus facilement détectés.
- Compte tenu des obstructions visuelles, du temps consacré à surveiller la charge transportée et des positions imposées pour manoeuvrer, une attention devrait être portée pour maintenir les surfaces de roulement uniformes et en bon état. S'il est impossible de maintenir cette surface parfaitement lisse, surtout dans les environnements extérieurs ou dans les vieux bâtiments, l'achat de pneus résilients devrait être considéré.
- Pour éviter d'encombrer les voies de circulation, il serait souhaitable que les espaces d'entreposage puissent avoir des zones de déterrage « normales » et des espaces de stock tampon judicieusement positionnés. L'utilisation des palettières dans les aires de chargement où la marchandise est très disparate permettrait certainement d'atténuer les activités de déterrage.
- Dans les espaces de chargement, sachant qu'une charge de 4,9 mètres (16 pieds) nécessite un rayon d'action de 3 mètres, soit un espace minimal de 6 mètres entre les remorques lors du travail en binôme, l'aménagement des espaces entre les remorques pour le chargement de côté devrait être au minimum de 5 mètres et s'accroître selon la largeur des charges (cf. Annexe X).
- Compte tenu que les miroirs paraboliques situés au dessus des carrefours sont souvent trop hauts et que les caristes regardent vers l'horizon, il serait pertinent de faire une recherche pour réévaluer leur positionnement en fonction du champ visuel des caristes et vérifier la pertinence sur le plan de la détection d'utiliser des miroirs plats, légèrement convexe ou encore toroïdaux.

5.3.5 Organisation du travail

- Afin de faciliter la compréhension des règles de priorité par tous, il serait judicieux que les entreprises effectuent une démarche de formalisation des règles de métier. Ces règles devraient être définies par l'ensemble des acteurs en coactivité avec pour objectif de préserver la fluidité des manoeuvres, puis diffusées pour éviter les confusions et erreurs liées aux règles implicites.
- Sachant que les caristes organisent longtemps à l'avance leur séquence d'opérations, afin d'éviter d'accroître les pressions temporelles et favoriser les stratégies d'anticipation, il serait souhaitable d'éviter le plus possible les changements de commandes ou de production à la dernière minute.

5.3.6 Formation

- Pour optimiser la formation des novices et permettre aux caristes de porter leur attention au service de la formation, il serait souhaitable que les compagnons soient libérés pour le faire, c'est-à-dire qu'ils ne soient pas affectés à leurs tâches habituelles en plus de la formation et qu'ils soient prévenus suffisamment longtemps à l'avance pour avoir le temps de se préparer comme formateur.
- Compte tenu des difficultés associées à la gestion de la marchandise et de la nécessité d'adopter le point de vue du cariste comme « agent de gestion de la marchandise », il serait judicieux au-delà des prescriptions de sécurité, d'allonger le temps de formation pratique et d'encourager les compagnons à diffuser les règles de métier et les stratégies de prudence.
- Afin de sensibiliser les autres travailleurs en coactivité sur les dangers inhérents à la présence du chariot dans des circonstances particulièrement exigeantes du point de vue de l'attention du cariste comme le gerbage/dégerbage et les manipulations de charges instables, une formation particulière pourrait être préparée et administrée auprès des piétons pour les inciter à redoubler de prudence dans ces circonstances.

5.3.7 Codification des marchandises

- Pour faciliter le repérage et le « scannage » des palettes, les étiquettes pourraient être collées sur les faces verticales de la charge et suffisamment en hauteur pour être visibles à partir du chariot, même lorsque la charge est adossée au dossier. Il serait également souhaitable que la mise en forme des étiquettes soit élaborée avec les caristes en privilégiant les informations qui leur sont utiles et avec des tailles de caractères qui les rendent facilement lisibles de loin.

6. CONCLUSION

Lors de la conception d'une usine, les concepteurs élaborent les postes de travail en fonction de la tâche à effectuer. Le poste de travail des caristes est difficile à appréhender car très mobile. Dans l'esprit des responsables d'entreprise, il se résume en un véhicule et les utilisateurs ont peu de marge de manœuvre pour le modifier et l'adapter à la tâche. Règle générale, lorsqu'un poste de travail est mal adapté dans une entreprise, les intervenants en SST vont demander aux dirigeants de le transformer, de l'adapter pour favoriser la sécurité. Or, dans le cas des caristes, l'étude montre que *la gestion de la santé et la sécurité est toujours orientée en fonction de la tâche prescrite, ce qu'il doit faire, et la gestion de la santé et la sécurité relève de sa responsabilité*. Le métier de cariste ne consiste pas seulement à conduire un véhicule, mais à mettre à profit des savoir-faire qui permettent d'assurer la fluidité des mouvements pour gérer avec efficacité un système de production. Il consiste à gérer des flux de production, à préparer, planifier, repérer de la marchandise, à gérer des périodes de rush, des retards, l'annulation de commande, à prendre des décisions et agir à l'intérieur de contraintes temporelles souvent fortes.

Pour accroître la prévention et diminuer les risques de collisions et de renversements, il nous apparaît nécessaire d'apporter un nouveau point de vue et de considérer le « poste de cariste » comme un poste à part entière dans l'entreprise, poste de travail qui doit être réfléchi et conçu pour supporter le travail réellement effectué par les caristes, à l'échelle de l'usine et selon le système de production. Des efforts doivent être déployés pour que les dispositifs techniques suivent la croissance économique des entreprises. Pour manutentionner de la marchandise et se déplacer de façon sécuritaire – pour sa sécurité et celle des autres travailleurs en coactivité – le cariste a besoin de temps, d'espace de manœuvre et d'un véhicule performant qui favorise la prise d'information visuelle, auditive et proprioceptive requise par la tâche. Il a besoin d'espaces de manœuvre qui tiennent compte du détournement et des voies de circulation dégagées qui prennent en compte les croisements et aident l'anticipation. Le « poste de cariste » doit inclure des règles de circulation et de priorité cohérentes et partagées par l'ensemble des travailleurs en coactivité, règles supportées par des équipements d'appoint et une signalisation efficace qui favorisent la fluidité des mouvements, et par des lieux et moments d'échange qui encouragent la transmission des savoir-faire que s'est construit l'expert. Le « poste de cariste » doit prévoir des moyens techniques et organisationnels qui facilitent la recherche de marchandise. Pour aider la prévention et diminuer les renversements et les collisions, le « poste de cariste » doit s'inscrire dans une vision globale et relève de la responsabilité de tous les intervenants. L'analyse des accidents confirme la nécessité de poursuivre les efforts en ce sens.

Compte tenu du contexte de travail dans lequel évoluent les caristes et des risques qu'ils encourent, l'étude confirme à nouveau la pertinence de développer et mettre à leur disposition des équipements de protection les protégeant en cas de renversement et par surcroît, d'évaluer leur efficacité au préalable. Toutefois, il faut améliorer la prise d'information visuelle à l'extérieur des chariots élévateurs pour favoriser l'utilisation des dispositifs de sécurité. Ces engins sont techniquement très performants et réduisent la pénibilité physique des tâches de manutention, mais leur conception actuelle est très déficiente, voire contraignante, pour l'activité des caristes sur le plan de la prise d'information visuelle et de la gestion de la stabilité.

7. RÉFÉRENCES

- [1] ACNOR, (1994), Formation des caristes : manutention des matériaux et logistiques, B335-94, ACNOR, 23p.
- [2] AFNOR, (1999), *Sécurité des chariots de manutention : chariots automoteurs de capacité n'excédant pas 10 000 kg et tracteurs dont l'effort au crochet est inférieur ou égal à 20 000 N. Partie 1, prescriptions générales*, AFNOR, 96p.
- [3] ASME et CSST (1996), *Norme de sécurité concernant les chariots élévateurs à petite levée et à grande levée : norme nationale américaine sur les chariots élévateurs motorisés et non motorisés ASME B56.1 (1993-A.-1995)*, 76p.
- [4] ASTE, Péventex, CSST, (1996) *Chariots élévateurs : cours destiné aux inspecteurs, inspectrices, spécialistes en prévention-inspection*.
- [5] Aubin, C.A., (1997) *Faisabilité d'un modèle biomécanique opérateur-chariot lors de renversement*, IRSST.
- [6] Aumas, M., Schemm, G. (1997) *Les chariots automoteurs de manutention: guide pour le choix et l'utilisation*, Institut national de recherche et de sécurité, 30 rue Olivier-Noyer, 75680 Paris Cedex 14, France, 1997. 100p. Illus.
- [7] Bastide, J.C., (1999) *Les infos : chiffres sur les chariots transporteurs, élévateurs ou gerbeurs*. Travail et Sécurité. Sept. 1999, n° 588, pp.27-37.
- [8] Bélanger, M., (1994) *États des connaissances et analyse des risques dans le contexte du problème de renversement*. IRSST.
- [9] Benoît, R., (1996) *Évaluation des méthodes d'essais des systèmes de protection associés aux risques de renversement*, IRSST.
- [10] Berthoz, A. (1997) *Le sens du mouvement*. Ed. Odile Jacob. Paris. 345p.
- [11] Boff, K.R., Lincoln, J.E., (1988). *Engineering Data Compendium : Human perception and performance*. Vol. 1, Section, 1.9 Eye Movements. Advance Aviation Medical Research Laboratory, Wright-Paterson AFB, Ohio. pp. 422 – 551
- [12] Boileau, P.E., (2002) *L'exposition à des vibrations globales du corps et son rôle dans l'étiologie des maux de dos*. Travail & Santé, Mars 2002, Vol. 18, n° 1. Pp.31-35.
- [13] Born, C.T., et al., (1996) *Patterns of injury and disability caused by forklift trucks*. Journal of Trauma Injury, n° 40, pp.636-639.
- [14] Bouliane, P., Lincourt, D., (1996), *Session à l'intention des formateurs sur la conduite préventive des chariots élévateurs*. ASTE et Préventex, pages multiples.
- [15] Chamagne, C., (2003) *Sécurité des chariots élévateurs au cours des opérations de chargement de camion*. Mémoire de Maîtrise d'ergonomie et psychologie du travail. Institut universitaire professionnalisé, Ingénierie de la santé, Université Henri Poincaré. 33p.
- [16] Champoux, D., (1995) *Les problèmes de sécurité liés à l'utilisation des chariots élévateurs : analyse de rapports d'enquête d'accidents graves et mortels*. Rapport interne, IRSST. 7p.
- [17] Collins, J.W., et al., (1999) *Injuries related to forklift and other powered industrial vehicle incidents*. Am. J. Ind. Med., n° 36, pp.522-531.
- [18] Collins et al. (1999) *Fatal occupational injuries associated with forklift, US, 1980-1994*. Am. J. Ind. Med., n° 36, pp.504-512.
- [19] Collins, J.W., Smith, G.S., Baker, S.P., Landsittel, D.P., Warner, M., (1999), *A Case-Control Study of Forklift and other Powered Industrial Vehicle Incidents*, *American Journal of Industrial Medicine*, 36, 522-531.

-
- [20] Duchowsky, A.T., (2000) *Proceedings of the Eye tracking research and applications Symposium 2000*. Association for Computing Machinery, New York, 148 pages.
- [21] Duquette, J., Benoit, R., (1998) *Les renversements latéraux de chariots élévateurs : Bilan des études sur les systèmes de protection de l'opérateur et recommandations pour une nouvelle approche*. Rapport de recherche. IRSST. 121 p.
- [22] Dias, A., (2001) *Analyse de l'activité de conduite de chariots élévateurs dans un service d'expédition*. Mémoire de DESS. Université Paris 8. France.
- [23] Douchka, M., (2002) *Analyse des stratégies mises en œuvre dans la conduite de chariots élévateurs*. Mémoire de DESS en ergonomie cognitive et psychologie du travail. Université Paris XIII. 43p.
- [24] Eklund, J., Odenrick, P., Zettergren S. et Johansson, H. (1994) : *Head posture measurements among work vehicle drivers and implication for work and workplace design*. Ergonomics, 37(4): 623 - 639.
- [25] Falzon, P., (1995) Les activités de conception : réflexions introductives. *Performances Humaines & Techniques*, n° 74, jan-fev. 1995, pp.6-11.
- [26] FMA. (2003) : CAPTIV-L2100 v. 2.00 Manuel d'utilisation. FMA Éditeur, Vandoeuvre (France), 69 pages.
- [27] Garrigou, A., (1992) *Les apports des confrontations d'orientations socio-cognitives au sein du processus de conception participatifs : le rôle de l'ergonomie*. Thèse de Doctorat en Ergonomie. Laboratoire d'Ergonomie du CNAM.
- [28] Gauthier, F., () *Développement d'outils d'évaluation des dispositifs d'ancrage de camions et remorques*, IRSST,
- [29] Giguère, D., Beaugrand S. et Larue, C. (2003) : *Utilisation de l'oculométrie dans le cadre d'études ergonomiques : essai du iScan ETL-500 sur le terrain*. Rapport interne, IRSST, 2003, 114 pages.
- [30] Gou, M., Aubin, C-É., Olteanu, M., Benoît, R. Koutchouk, M. (2001) *Modélisation d'un chariot élévateur et de son cariste pour améliorer la sécurité lors de renversements latéraux*, Rapport IRSST (à être publié)
- [31] Gou, M., (1995) *Étude documentaire de certains moyens de protection (renversement)*, IRSST
- [32] Gou, M., (1995) *Recherche et analyse des solutions pouvant diminuer les risques de blessures associées au renversement des chariots élévateurs*. Les Entreprises Track Test Inc.
- [33] Gou, M., (1990) *Étude du renversement latéral de chariots élévateurs à fourches*. Les entreprises Track Test Inc.
- [34] Guérin F., Laville A., Daniellou F., Durrafourg J., Kerguelen A. (1997) *Comprendre le travail pour le transformer : La pratique de l'ergonomie*. Collection outils et méthodes, ANACT, Lyon-Montrouge, 2^{ème} édition, 286p.
- [35] Hansson, J.E., (1983) *An Ergonomic Checklist for industrial trucks. Advice to buyers and manufacturers of industrial trucks*, Investigation report 1983-25, Stockholm, Suède : National Swedish Board of Occupational Safety and Health.
- [36] Hella, F., et al (1999) *Rapport d'étude d'instruction du projet thématique : conception et ergonomie des machines mobiles (CEMAMO)*. Rapport de recherche, INRS.
- [37] Hella, F., Schouller, J.-F., Tisserand, M. (1991), *Study of the visual exigencies in several driving situations using a fork-lift truck, Vision in vehicles*, vol. III, sous la direction de A.G. Gale et al., Editeur North-Holland, New York, 409-414.

- [38] Hella, F., Tisserand, M. et Schouller, J-F. (1988) : *Visibility requirements for the driver's stand of lift trucks - Experimental study of driver's lateral head movements. Applied Ergonomics* 19(3) :225-232
- [39] IASS (1985), *An examination of seat belt acceptance by forklift truck operators*, Niles, II. Institute for advanced safety studies. Allis-Chalmers, Industrial truck Division.
- [40] INRS, (1976), *Chariots élévateurs : étude ergonomique de vingt-deux postes de conduite, Les bancs d'essai de l'INRS, Travail et Sécurité*, juillet-août 1976, 379-385.
- [41] INRS, (1997), *Chariots automoteurs de manutention : manuel de conduite*, 2^e édition, INRS Paris, 35p.
- [42] Johnson, J., (1988) *Operator restraint development*, Engineering test report n° B-85-33, Hyster Company.
- [43] Larousse, (1990) *Dictionnaire Le petit Larousse illustré*. Paris. 1680p.
- [44] Larue, C., Vezeau, S., (2006). *L'utilisation de l'odométrie et d'un accéléromètre triaxial pour déterminer les risques de renversement d'un chariot élévateur*. 37e congrès annuel de l'Association canadienne d'ergonomie - Inspirer de grands horizons pour l'ergonomie. Banff, octobre 2006.
- [45] Lavoie, C., Lamontagne, A., Lamontagne, D. (1994), *Analyse générale du métier ou de la profession cariste toute industrie, Société québécoise de développement de la main-d'œuvre*, Québec, 144p
- [46] Lefebvre, I., (2005) *La manutention mécanisée dans la chaîne logistique : importance du collectif de travail dans la gestion et la prévention des risques*. Mémoire de DESS en psychologie du travail et nouvelles technologies. Université de Metz et Nancy 2. 56p.
- [47] Lievin, D., Krawsky, G., Tisserand, M., (1974) *Les chariots élévateurs. Méthode d'analyse des situations de travail*. Rapport INRS n° 78/RE, Sept. 74, 59p.
- [48] Miller, B.C., (1988) *Forklift safety by design*. Professional Safety, Sept. 1988, pp.18-21.
- [49] Östberg, O. et Svensson, G. (1973) : *Fork-lift trucks, drivers and safety at the warehouse : an analysis of critical incidents*. Göteborg Psychological Reports Vol.3, no. 1, p. 1 - 8.
- [50] Pâques, J.J., Bourbonnière, R., Daigle, R., (2005) *Formation sur l'appréciation du risque . Programme Sécurité-Ingénierie*, Formation interne, IRSST.
- [51] Saint-Ève, P., Donati, P., (1993) *Prévention des risques dorso-lombaires liés à la conduite de chariots élévateurs*. INRS, Dossier médico-technique n° DMT 54 TC 45. Pp.141-148.
- [52] Schmidt, R.A., (1993) *Apprentissage moteur et performance*. Ed. Vigot. Paris
- [53] Soghi, M., Reimer, B., Vastenburger, E., Kaars, R., Kirshenbaum, S. (2002). *On road driver eye movement tracking using head-mounted devices*. in. Proc. Eye Tracking Research and Application Symposium 2002, Duchowski, A. Ed, Association for Computing Machinery (ACM), pp 61 - 68
- [54] Tellier, C., (1995) *Analyse sommaire des accidents graves et mortels provenant de la banque VREN de la CSST de 1974 à 1995*. IRSST. Document interne non publié.
- [55] Vezeau, S., (2004) *Apports des utilisateurs et méthodes d'investigation de l'activité dans un processus de design d'outils manuels : de la parole au geste du plâtrier*. Thèse de Doctorat, EPHE, Paris. Dir. : Antoine Laville / Annie Weill-Fassinà. 336p.
- [56] Vigneault, S., (2002) *Recueil et synthèse d'information sur les activités, risques et différents moyens de prévention associés à l'utilisation d'un chariot élévateur*. Rapport IRSST-ASSPQ. 56p.
- [57] Wickens, C.D., (1992) *Engineering psychology and human performance*. 2nd Ed, HarperCollins, New York, 560p.

- [58] Hiemer, M. (2004). Model Based Detection and Reconstruction of Road Traffic Accidents, Dissertation, Universität Karlsruhe (TH), Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik.

8. ARTICLES PUBLIÉS DANS LE CONTEXTE DU PROJET

Giguère, D., Vezeau, S et Gagné, N. : « *Caractéristiques de la prise d'information visuelle par les caristes en relation avec leur travail et leur sécurité* ». In *Démystifier l'Ergonomie*. Congrès de l'Association canadienne d'ergonomie (ACE) [CD-ROM], (39, 2008, Gatineau, Canada), 6 – 8 octobre 2008. 6 pages. ISBN: 978-0-9732384-5-7

Hastey, P., Vezeau, S., Giguère, D. et Larue, C. « *Remettre en cause sa santé et sa sécurité pour compenser les lacunes de conception des chariots élévateurs : à quand la responsabilisation des fabricants?* ». In Congrès de l'ACRST/CARWH – RRSTQ (5, 2008, Montréal, Canada). *Congrès en santé et sécurité du travail / Occupational health and Safety Conference* [CD-ROM], Desmarais, L. [dir], [CARWH/ACRST](#), 2008. ISBN 978-2-921145-66-4

Larue C., Beaugrand S., Richard J.-G., Vezeau S., (2007). *De la mesure odométrique d'un chariot élévateur à la formation des caristes: les risques de renversement*. In : 7e Congrès international de génie industriel / CIGI, 5-8 juin 07, Trois-Rivières, Canada.

Larue C., Beaugrand S., Richard J.-G., Vezeau S., (2007). *Operator training based on odometry and tri-axial accelerometer measurements to prevent lift truck tip over* In : *Ergonomics in Contemporary Enterprise*, 11th International conference HAAMAHA 2007. pp389-400.

Wioland, L., Vezeau, S., Giguère, D., Hella, F., Hastey, P., Schouller, J.F., Gagné, N., Larue, C., (2006). *Analyse de l'activité de caristes dans des contextes nationaux différents : de fortes similitudes en termes de santé et sécurité*. In : Actes du 41e congrès de la SELF, Ergonomie et santé au travail - transformations du travail et perspectives pluridisciplinaires. Caen, France, septembre 2006.

Giguère, D., Gagné, N. and Vezeau, S. (2006). *Visual issues in lift truck operations*. In : *Vision in Vehicles - ViV-IX*. Dublin, Irlande, (à paraître).

Beaugrand, S., Richard, J.G., Hastey, P., Vezeau, S., Giguère, D., (2006). *L'analyse des risques de collisions avec piétons et de renversements des chariots élévateurs en entreprise – proposition d'une démarche*. In : Actes du 28e Congrès de l'Association québécoise pour l'hygiène, la santé et la sécurité du travail / AQHSST : La prévention un éternel recommencement ou une amélioration continue, mai 2006, Québec, Canada.

Giguère, D., Gagné, N. Vezeau, S. (2006) « *Use of eye tracking in ergonomics : a field study of lift truck operators' work activity* », In : *Eye-Tracking Research and Applications Symposium (ETRA)*, (4, 2006, San Diego Ca., USA) ETRA 2006 Eye Tracking Research and Applications Symposium 2006, Duchowski, A.T and Rähkä, K-J [dir.], New-York, ACM SIGGRAPH, avril 2006.

Larue, C., Vezeau, S., (2006). *L'utilisation de l'odométrie et d'un accéléromètre tri-axial pour déterminer les risques de renversement d'un chariot élévateur*. In : *Inspirer de grands horizons pour l'ergonomie : 37e congrès annuel de l'Association canadienne d'ergonomie / ACE*, 22-25 octobre, 2006, Banff, Canada.

ANNEXES DU RAPPORT

Annexe I : Images des instruments utilisés

Annexe II : Analyse des accidents graves et mortels impliquant un chariot élévateur survenus au Québec (1974-2002)

Annexe III : Emplacement de la marchandise sur le quai d'expédition (T1)

Annexe IV : Plan de l'entrepôt du poste de réception des rouleaux (T2)

Annexe V : Plan de la cour à bois (T3)

Annexe VI : Grille de questions pour les entretiens dirigés (Exemple du secteur du papier)

Annexe VII : Relevé de la variabilité de certaines charges manutentionnées dans la cour à bois (Terrain 3)

Annexe VIII : Nombre de fois où le cariste est descendu du chariot selon la nature de la tâche effectuée et les terrains

Annexe IX : Caractérisation des lieux et des éléments accidentogènes

Annexe X : Rayon de braquage et distance requise entre les remorques selon les caractéristiques des charges

ANNEXE I : IMAGES DES INSTRUMENTS UTILISES

**Figure I-1 : Système de synchronisation de données
CAPTIV**

Logiciel permettant de coupler des données de capteurs et vidéo issues de l'instrumentation, de faire différents traitements statistiques, de produire des tableaux de durées d'états et des graphes d'activité.

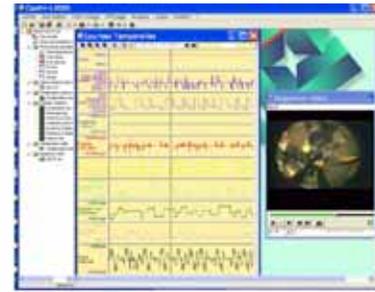


Figure I-2 : Instrumentation du chariot

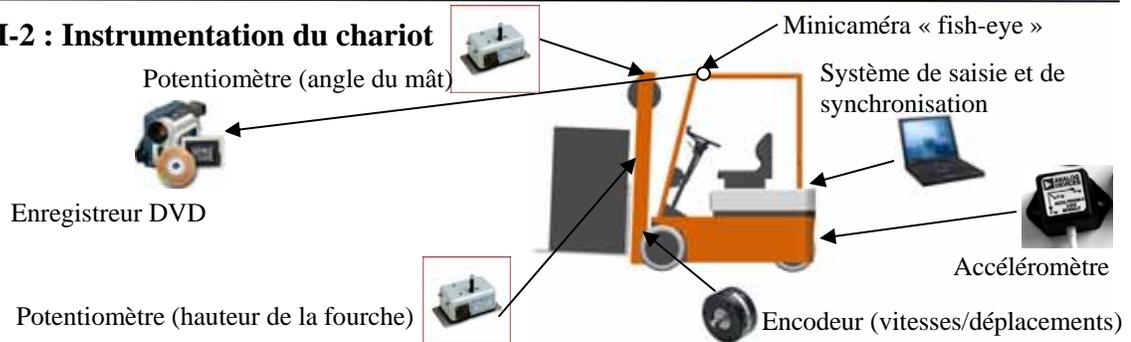
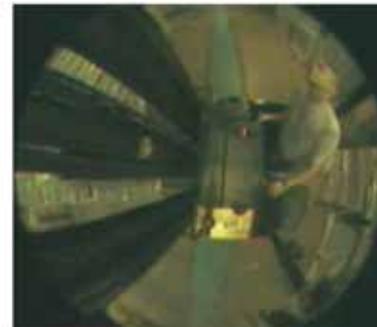


Figure I-3 : Image du fish-eye

Minicaméra embarquée sur la structure du toit du chariot, munie d'une lentille « fish-eye » produisant une image déformée qui sera déployée dans un logiciel Immersion. La minicaméra est reliée à une caméra DVD qui agitait comme un magnétoscope.



**Figure I-4: Un des chariots instrumentés avec
l'oculomètre**

Cariste portant l'oculomètre sur le chariot instrumenté. Les caméras de la visière de l'oculomètre sont reliées à deux « Watchman » de Sony qui enregistrent la scène et la pupille en simultané.



marqueur

Figure I-5 : Image issue de l'oculomètre

Image issue d'un enregistrement avec l'oculomètre. On remarque le marqueur (+) posé sur le travailleur accroupi. Le cariste regarde à travers le mât.



ANNEXE II : ANALYSE DES ACCIDENTS GRAVES ET MORTELS IMPLIQUANT UN CHARIOT ELEVATEUR SURVENUS AU QUEBEC (1974-2002)

Une analyse des accidents graves ou mortels (1974 à 2002) provenant de la banque VREN et du site ISST (CSST), a été effectuée pour enrichir la problématique. Elle a été effectuée en deux étapes, c'est-à-dire la période allant de 1974 à 1994, telle que découpée par Tellier [54] et la période allant de 1995 à 2002. Au total, 87 rapports d'enquête pertinents ont été analysés. L'objectif de cette analyse était d'abord de compléter l'étude de Tellier qui s'arrêtait en 1994, puis de comparer la nature des accidents de la période 1974-1994 à celle de 1994-2002 pour voir si les statistiques allaient dans le même sens. En ce qui concerne les lieux d'accidents, la majorité (51/87) surviennent à l'intérieur, et ce, à la fois dans les entrepôts, les postes de travail et les quais de déchargement (Fig. II-1). Dans plusieurs accidents (n= 38 rapports), les voies réservées étaient inexistantes, obstruées, non-protégées, non-utilisées, restreintes (encombrées) et utilisées à la fois par les piétons et les chariots. La figure II-2 illustre la nature du sol lors des accidents.

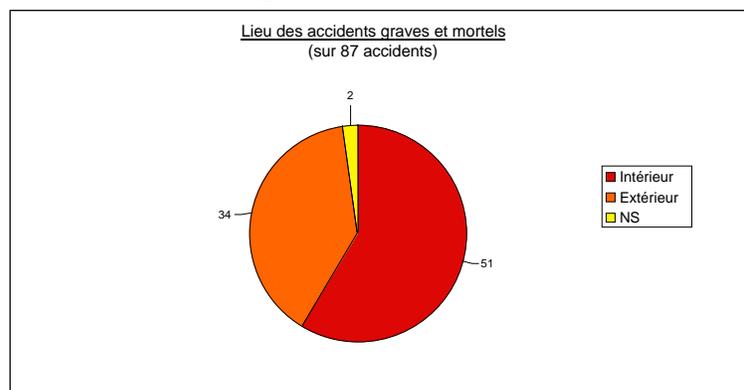


Figure II-1 : Lieux des accidents

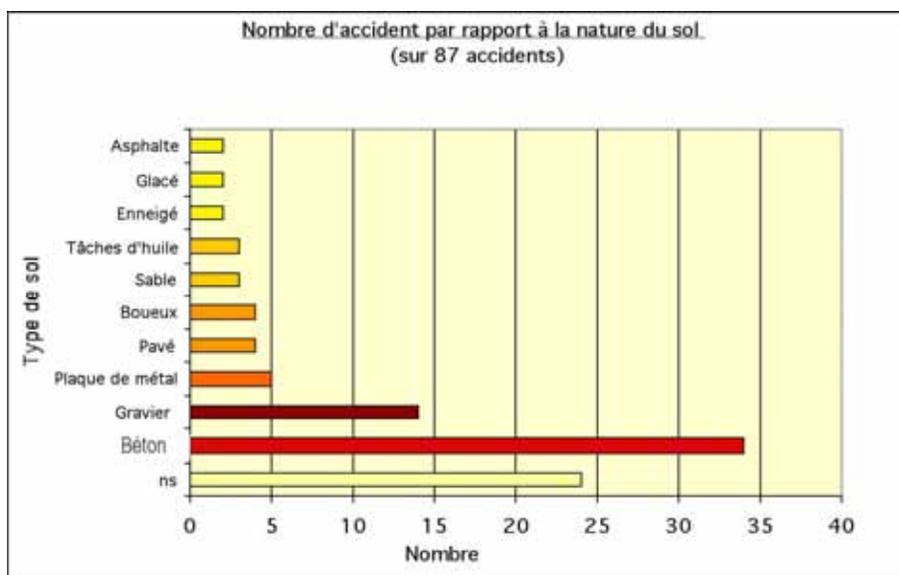


Figure II-2 : Nature du sol lors des accidents

En ce qui concerne les **modèles de chariots élévateurs**, Les compagnies Hyster et Caterpillar venaient en tête de liste, mais les choses ont changé depuis 1994 (Tab. II-1). Toutefois, il serait hasardeux de tirer quelque conclusion que ce soit sur ce plan, car le parc des chariots élévateurs au Québec est inconnu ; on ne peut évaluer si une marque est surreprésentée dans les accidents. Toutefois, alors qu'il y avait sept fois plus d'accidents avec des chariots au propane entre 1997 et 1994, on constate qu'il y a aujourd'hui le même nombre d'accidents de chariots électriques que de chariots au propane. De plus, le vieillissement du parc de véhicule ne semble pas causer davantage d'accidents. En effet, il y a autant d'accidents impliquant des chariots de moins de cinq ans d'usure (6 accidents) que des chariots de plus de 20 ans (6 accidents). Les rapports contenaient peu d'information sur les dispositifs de sécurité présents lors de l'accident. Néanmoins, il était plus fréquent d'avoir des renseignements à ce propos dans les rapports de 1994-2002 que ceux de 1974-1994.

Tableau II-1 : Modèles de chariots élévateurs impliqués dans les accidents :

Compagnie *	De 1974 à 1994	De 1994 à 2002	Total
Hyster	8	1	9
Caterpillar	7	1	8
Raymond	3	4	7
Mitsubishi	4	0	4
Yale	2	2	4
Toyota	1	2	3
Nissan	0	3	3
Komatsu	0	2	2
Et autres...	0	0	0

L'analyse des **charges transportées** lors de l'accident montre une grande diversité de types de charge (Tableau II-2). Les charges sont à l'origine des accidents dans 22 % des cas, notamment car elles sont tombées sur les victimes (Tab.II-2, en gras). Les causes de chutes de charges sont principalement les manipulations dangereuses et l'instabilité de la charge (Fig II-3).

**Tableau II-2 : Les différents types de charges transportées lors des accidents
(en gras : la charge est à l'origine de l'accident)**

-Goujons de 12'	-Ballot de contre-plaqué
-Palette de marchandise	-Palette de frite congelée
-Palette d'articles de sport	-Ballot de papier
-Rouleaux de papier	-Lames de charrue
-Cylindre de propane vide	-Panneaux de coffrage
-Classeur	-Ballots de fibre
-Gros caisson (2,2m x 2,2m x 2,4m)	-Planches de bois (formant des paquets)
-Panier de pneus	-Contrepoids (suspendu)
-Baril de solvant	-Barils de Whisky
-Paquet de laine minérale	-Produits chimiques

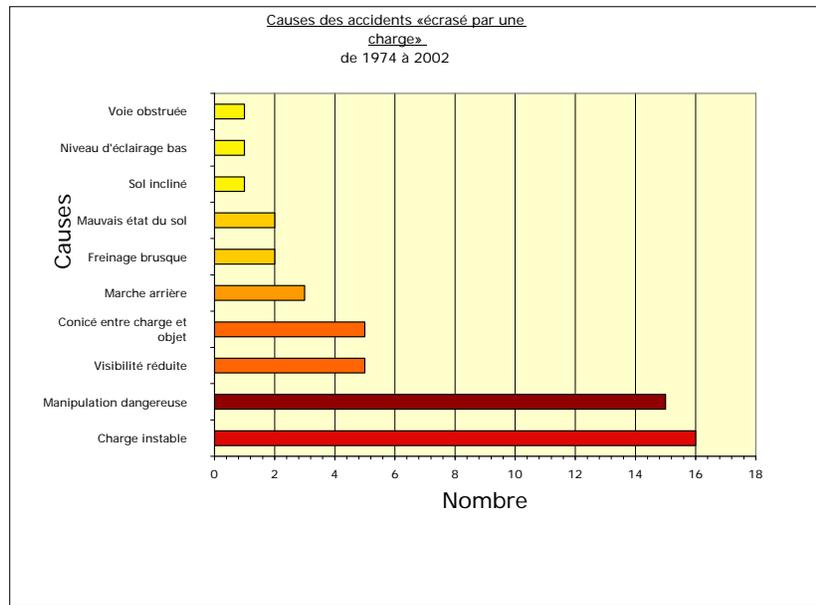


Figure II-3 : Causes des accidents liées à la charge

À titre d'exemple, un accident causé par une charge instable se décrivait comme suit : « en enlevant des madriers sous des panneaux de coffrage, un déséquilibre se produit et la charge tombe sur l'aide... ». Une manipulation dangereuse a été attiré à cet énoncé : « *un cariste gerbe en hauteur, mais n'appui pas la charge au système de fourche, ce qui crée un déséquilibre. Le cariste voyant un basculement saute à l'extérieur du chariot...* ».

Les deux tiers des rapports d'enquête renseignent sur le niveau de qualification des caristes lors de l'accident. Près de 12 % des caristes avaient suivi une formation spécifique alors que les autres (55 %) n'avaient jamais reçu de formation (Fig II-4). De plus, les caristes ayant reçu une formation sont plus nombreux dans les années 1994 à 2002 [6 caristes] qu'en 1974 à 1994 [4 caristes] ; l'effectif est toutefois restreint.

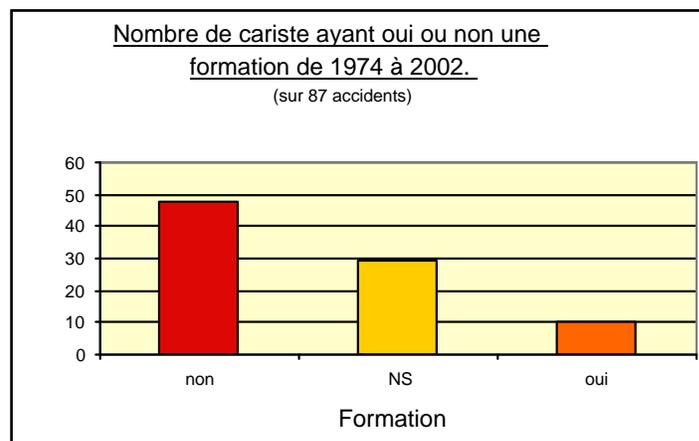


Figure II-4 : Nombre de cariste ayant reçu une formation lors de l'accident

Depuis 1974, les victimes sont en premier lieu les caristes en situation de conduite (38%), ensuite les aides (manœuvres) à 24% [21/87] et les travailleurs en coactivité (23 %). Toutefois, depuis 1994, les travailleurs en coactivité sont davantage victimes d'accidents que les caristes (Fig II-5). Les accidents surviennent un peu plus durant les déplacements (55 %) par rapport aux activités de gerbage/dégerbage et aux opérations manuelles. Ils surviennent également davantage en marche avant (62%) et ce, à la fois avec (49%) que sans charge (51%). Comme l'illustre la figure II-6, les accidents les plus fréquents sont «heurté par chariot élévateur» à 31% [27/87], les renversements à 28% [24/87] et «écrasé par une charge» à 22% [19/87].

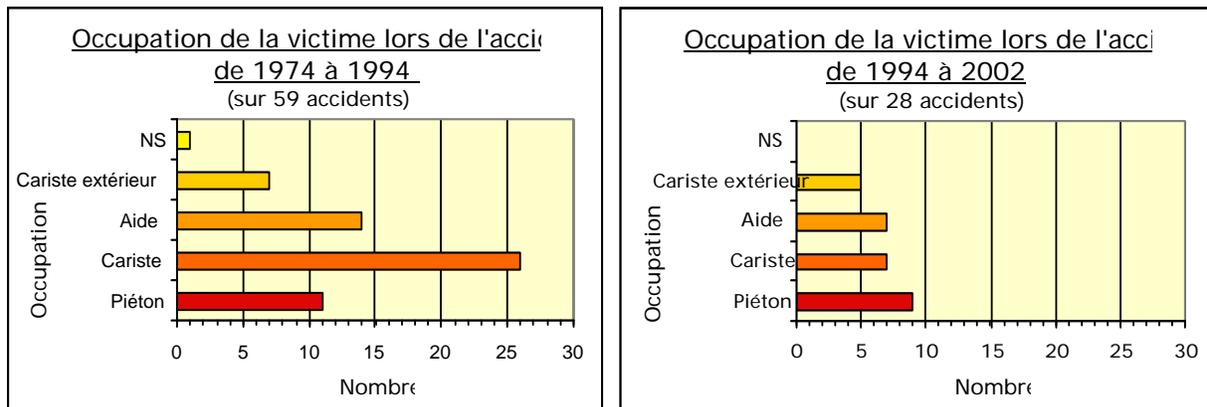


Figure II-5 : Transformation des victimes d'accidents : des caristes aux travailleurs en coactivité

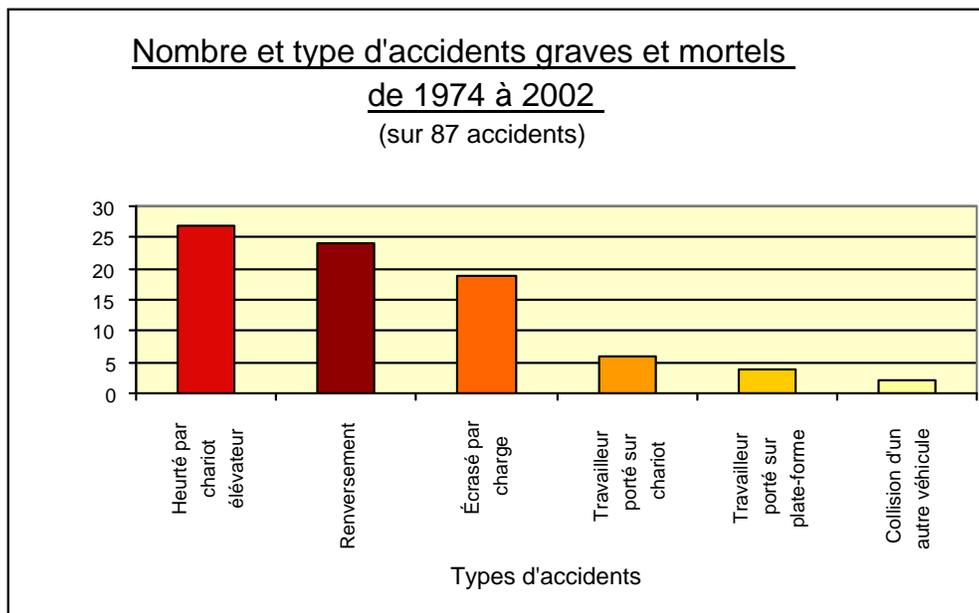


Figure II-6 : Type d'accidents les plus fréquents

Dans chaque type d'accidents, les causes peuvent être multiples. Les accidents où les victimes ont été heurtés par le chariot sont généralement causés par une manipulation dangereuse, la visibilité réduite ou une mauvaise communication (Fig II-7). Une manipulation dangereuse peut être, par exemple, de *conduire vers l'avant un chariot élévateur alors que la charge transportée obstrue la visibilité*. À titre d'autre exemple, un accident s'est produit lorsque *la victime est descendue de son chariot élévateur en laissant tourner le moteur. Elle était dos au chariot et ne s'est pas aperçu que le chariot avançait vers elle (dans une pente)*. La victime s'est fait frapper par le chariot.

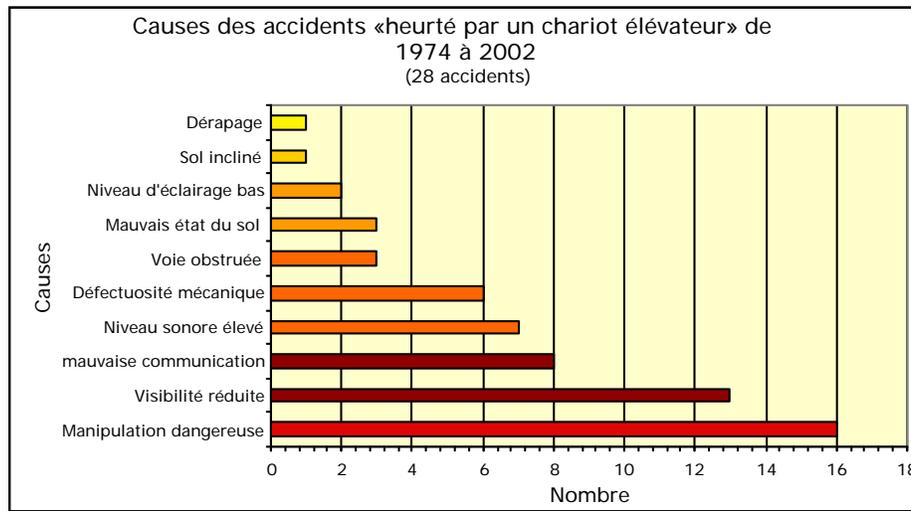


Figure II-7 : Principales causes d'accidents où la victime a été heurtée par le chariot

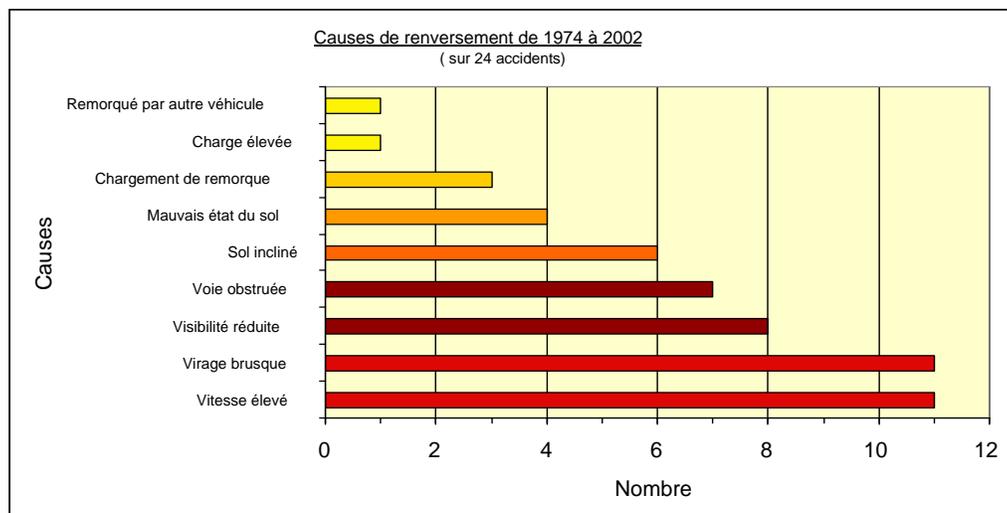


Figure II-8 : Principales causes d'accidents où le chariot s'est renversé

En ce qui concerne les renversements, les causes sont aussi multiples (Fig. II-8). Toutefois, il semble que la majorité des accidents implique un virage brusque conjuguée à une vitesse élevée. L'inclinaison du sol est également présente dans le tiers des renversements. Certains rapports d'enquêtes font état de pente variant de 10 % à 30 %. Or, les fiches techniques

des chariots font état de capacité limite parfois atteinte dans des pentes de 10 % (Tab. II-3). Évidemment, ces données ne font pas référence à la notion du triangle de stabilité, mais à la capacité du chariot. Néanmoins, elles sont un bon indicateur de situations limites dans lesquels les chariots sont parfois utilisés.

Tableau II-3 : Capacité limite de différents chariots dans une pente

Compagnie du chariot	Énergie (thermique ou électrique)	36 V./ 48 V.	Roue (pneumatique ou pleins)	Pente maximale Avec charge (%)	Pente maximale Sans charge (%)
Clark	thermique	/	plein	20,1 - 37	15,4 / 26,2
Clark	thermique	/	pneumatique	19,4 - 37,7	16,8 / 29,5
Toyota	thermique	/	plein	25 - 47	/
Toyota	électrique	36 V.	Pneumatique	16 - 22	/
Toyota	électrique	48 V.	pneumatique	20 - 25	/
Toyota	électrique	36/48	plein	17 - 25	/
TCM	thermique	/	plein	25 - 40	12,3/20
TCM	thermique	/	pneumatique	19 - 37	17/20
TCM	électrique	48 V.	pneumatique	10 -14,3	/

De plus, en accord avec la figure II-6 qui montre que les victimes sont désormais les travailleurs en coactivité, l'analyse comparative du type d'accidents survenus au cours des deux périodes montre qu'il y a eu une diminution importante du nombre de renversement depuis 1994 (Fig. . II-9)

Au total, les renversements (31%) viennent au deuxième rang des accidents graves et mortels. Toutefois, les rapports d'enquête ne font état que de 2 cas de renversements sur 28 accidents de 1994 à 2002 alors qu'on en recensait 22 sur 59 de 1974 à 1994. La principale cause étant la «visibilité réduite». Par exemple, *lorsqu'il recule à grande vitesse, le conducteur du chariot élévateur n'a pas vu la bordure de ciment qui longe le chemin. La roue a percuté cette bordure créant un déséquilibre du chariot ce qui amena au renversement.*

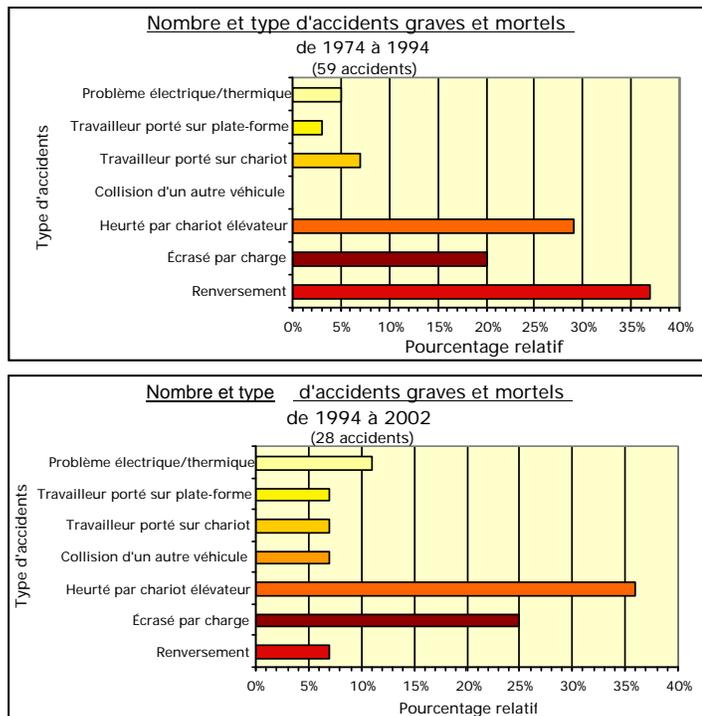
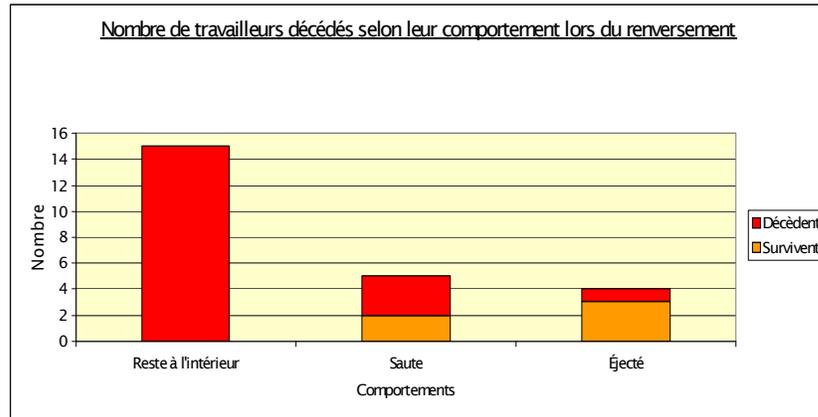


Figure II-9 : Analyse comparative du type d'accidents survenus entre 1974-1994 et 1995-2002

Lors du renversement, on observe trois types de comportement ou de situation, c'est-à-dire que le cariste est soit demeuré coincé à l'intérieur de la cabine, a sauté ou a été éjecté (Fig. II-10). Les caristes qui sont demeurés coincés dans la cabine sont décédés notamment parce qu'ils ont été écrasés par les structures (volant, siège), ont heurté le toit protecteur (en majorité : 55 %) ou leur tête a frappé le sol (Fig II-11). Les caristes décédés en sautant ou en étant éjectés ont notamment été écrasés par la structure comme le mat, le toit, les accumulateurs. Deux personnes sur cinq ont survécu en sautant et trois sur quatre en étant éjectées. Une mise en garde doit cependant être faite sur cette donnée. Il n'est pas certain que tous les renversements qui n'ont pas causé de blessures aient été répertoriés. L'analyse de l'activité effectuée dans le secteur du textile montre qu'au moins deux situations de renversement n'ont jamais été rapportées. Néanmoins, ces données montrent que la survie des caristes peut dépendre de la trajectoire du corps lors du renversement et qu'ils sont susceptibles de se faire écraser par le chariot ou une de ses composantes (Fig II-11).



Note des auteurs : Il ne faut en aucune manière conclure de ce graphe qu'il serait préférable de sauter ou d'être éjecté si l'on souhaite survivre à un renversement; bien au contraire. Lire le texte explicatif à la page précédente.

Figure II-10 : Nombre de caristes décédés selon leur comportement en situation de renversement

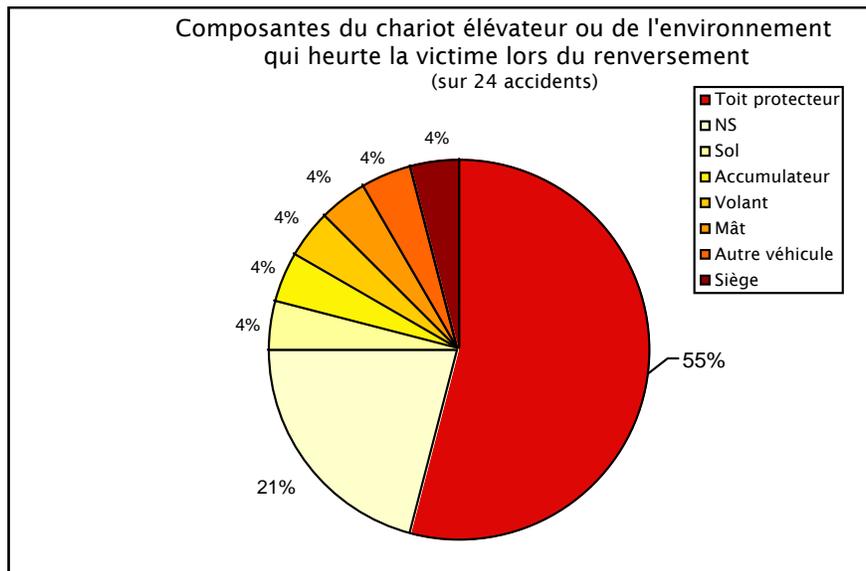


Figure II-11 : Composantes ayant heurtés l'opérateur lors du renversement

L'analyse comparative montre certaines différences dans la nature des déplacements effectués lors des accidents au cours des deux périodes. Ces différences concernent les déplacements avec et sans charge (Fig II-12) et les déplacements avant/arrière (Fig. II-13). Au cours des accidents recensés de 1974 à 1994, le déplacement se faisait en majorité sans charge [23 sur 37]. De 1994 à 2002, les accidents surviennent en grande partie avec charge [13 sur 18]. La diminution du nombre de renversement et l'augmentation du nombre de collisions piéton-chariot corroborent cette tendance. Dans la même mesure, les accidents survenaient

principalement en conduite en marche avant de 1974 à 1994, alors qu'en 1994 à 2002, il y avait autant d'accidents en marche avant qu'en marche arrière. Ceci n'est pas étranger au fait que les renversements se produisaient davantage en marche avant et les collisions piéton-chariot, en marche arrière.

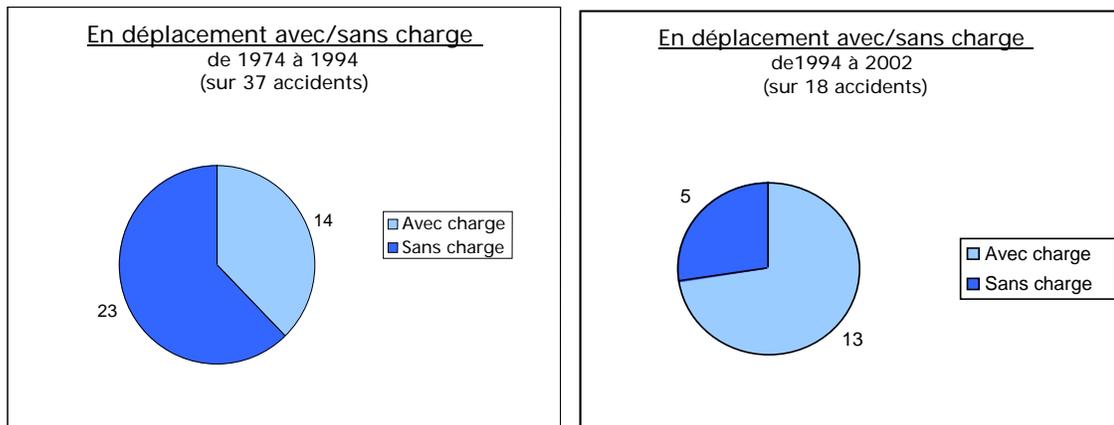


Figure II-12 : Nombre d'accidents survenus entre 1974-1994 et 1995-2002 en fonction des déplacements avec ou sans charge

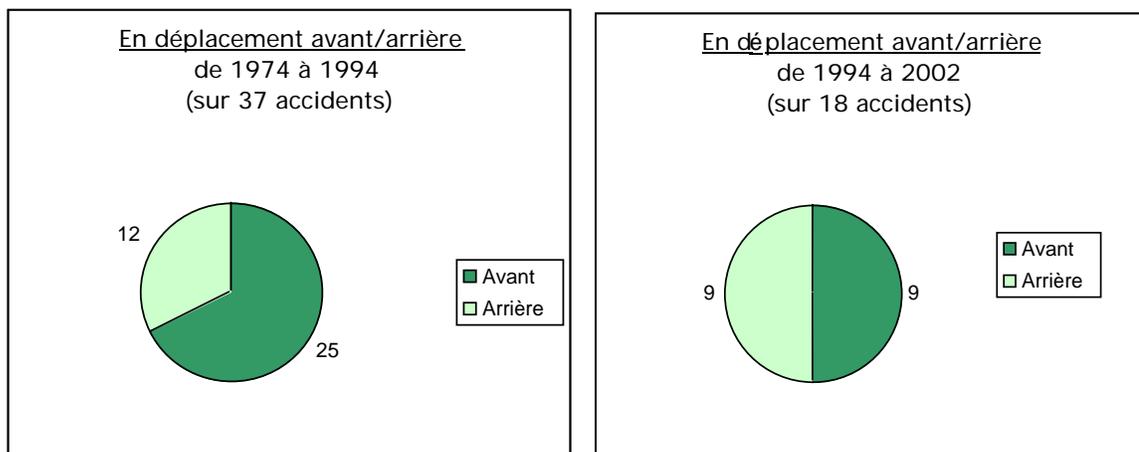


Figure II-13 : Nombre d'accidents survenus entre 1974-1994 et 1995-2002 en fonction des déplacements en conduite en marche avant ou en marche arrière

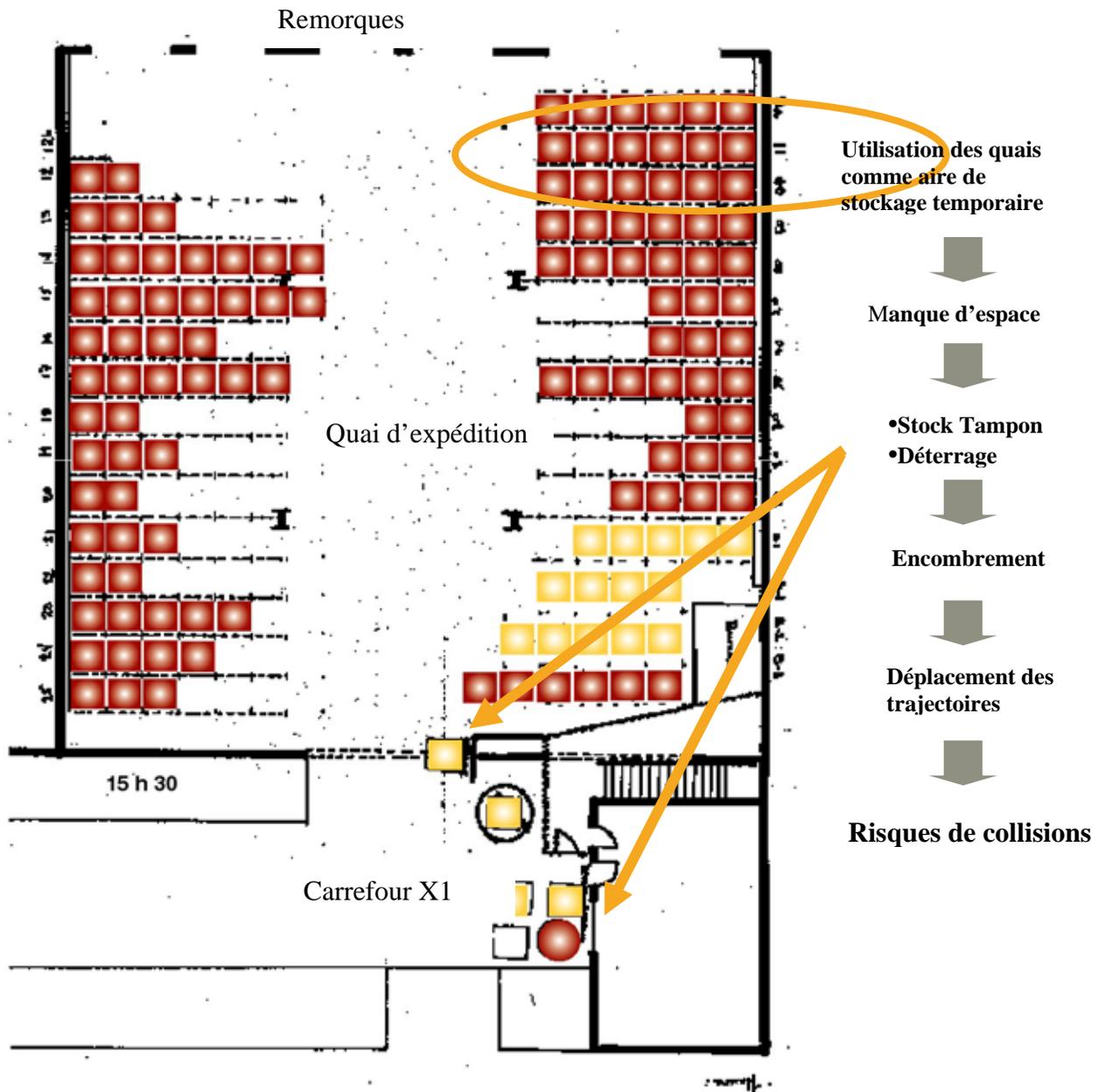
Tableau II-4 - Liste des rapports d'accident analysés

Numéro de Rapport/ Année	Descriptions
003334/2002	Alors qu'ils vident et écrasent des bonbonnes, un incendie éclate.
003355/2002	Travailleur porté sur une plate-forme et la charge du c.é. le fait basculer.
003130/2000	Un travailleur se fait heurté par un chariot qui recule. Pas de voie réservée.
003254/2000	Un travailleur est écrasé par un ballot qui tombe des fourches à 3,8m.
003243/2000	Un travailleur écrasé par c.é. qui reculait avec charge (angle mort).
003164/1999	Un laveur tombe avec la plate-forme lorsqu'il se déplace de côté.
003138/1999	Il se fait écrasé par un c.é. De reculons avec une charge.
003193/1999	Travailleur écrasé par charge lorsque le cariste freine brusquement.
003189/1999	Travailleur écrasé par charge qui est tombé des fourches.
003220/1999	Travailleur écrasé par c.é. en étant assis à un poste de travail.
003195/1999	Renversement suite à un virage brusque à grande vitesse et arrière.
003188/1999	En essayant de sortir un c.é. enlisé avec camion, crée un renversement.
003146/1998	En voulant démarrer un c.é. ds une fosse de prod. Inflammables explose.
003141/1998	Camionneur se fait heurté par c.é. avant + charge sur plan incliné.
003036/1997	Il se fait écrasé par une charge soutenu par une sangle qui glisse.
003038/1997	Lorsqu'il recule, il fonce dans des étagères derrière lui et accélère.
003035/1997	Travailleur porté sur le fourches tombe et se fait écrasé, car soubresaut.
003037/1997	Heurté par c.é. qui avance tout seul manque de données pour conclure.
002995/1995	Un camion recule et coince le cariste qui arrange les fourches du chariot.
002875/1995	En soulevant une charge trop lourde pour le c.é., celle-ci tombe sur aide.
002916/1995	Il se fait heurté par un c.é. En marche avant avec charge à l'extérieur.
002853/1995	En réparant un c.é. poste élevable, il force la valve de sécurité et ça tombe
002883/1995	Conduite arrière porté debout, il ne voit pas la corde jaune qui l'étrangle.
002866/1995	En descendant une pente, perd le contrôle, saute et se fait frappé par c.é.
002943/1995	Il est sur les fourches et descend entre mât et toit accroche commandes.
002832/1994	En remplaçant une planche de bois sous paquet, il bascule et écrase.
002863/1994	En reculant, il accroche une transpaletteuse qui accroche le rayonnage.
002823/ 1994	Écrasé par fourche du c. qui a avancé seul, victime tournait le dos.
002809/ 1994	Écrasé entre c.é. et pilier ayant la visibilité réduite (c. porté debout).
002763/ 1993	Écrasé entre un chariot à bois et c.é. Immobile; mauvaise communic.
002784/1993	Lors d'un remplissage de bonbonne de propane, celle-ci explose.
002784/ 1993	Lors d'un remplissage de bonbonne de propane une incendie se produit.
002709/ 1993	Coincé entre le mât et le cadre de porte. Il était porté sur la charge.
002732/ 1993	Porté sur les fourche tourné vers le conducteur, il a perdu pied.
002721/ 1993	Écrasé par c.é. qui a avancé seul en tournant la clé de contact.
002660/ 1992	Écrasé par charge instable sur fourche qu'ils essayaient de replacer.
002664/ 1992	Renversement extérieur causé par des rigoles sur la voie.
002669/ 1992	Renversement sur chantier en reculant vers une pente abrupte.
002498/ 1991	Renversement lors d'un chargement de remorque, malentendu.
002430/ 1990	Renversement par collision avec un camion en direction arrière.
002501/ 1990	Renversement extérieur suite à un virage de 180 degré.
002525/ 1990	Renversement dans une pente en position statique.
002426/ 1990	Renversement d'un jeune qui «s'amuse» à haute vitesse.
002469/ 1990	Écrasé par le contrepoids mal suspendu dans l'atelier de mécanique.
002425/ 1990	Écrasé entre c.é. et camion en voulant détacher la chaîne.
002576/ 1989	Renversement travailleur porté coincé et conducteur éjecté.

002549/ 1989	Coincé sous charge sur fourche en étant heurté par c. marche avant.
002580/ 1989	Renversement en se stationnant; il saute et se coince un pied.
002254/ 1988	Renversement extérieur suite à un virage brusque sans charge.
002252/ 1988	Renversement extérieur suite à un virage brusque sans charge.
002142/ 1988	Heurtée par c.é. dans voie du c., était dans l'angle mort avant du c.
002113/ 1988	Chute de 3,4m d'une plate-forme et la charge lui est tombé dessus.
002253/ 1988	Écrasé par pile de bois qui était en déséquilibre à ses côtés.
002156/ 1987	Il recule avec c. et fonce dans les étagères les produits chimiques tombent.
002162/ 1987	Travailleur se blesse aux yeux en démarrant le c. par explosion (batterie)
002212/ 1987	Écrasé par charge sur fourches le cariste descend la charge sur l'aide.
001903/ 1987	Heurté par c. de derrière qui roulant par l'avant avec charge.
002180/1987	Saute en perdant contrôle et se fait coincé la jambe entre pilier et c.
002109/ 1987	Renversement suite à un virage brusque (amas de pierre concassée).
002030/ 1986	Chute de 4m d'une plate-forme non fixée lorsqu'il se déplace de côté.
001879/ 1986	Écrasé par charge qui glisse des fourches (pas appuyé sur système).
001877/ 1986	Écrasé par c.é. qui reculait, la victime était ds l'angle mort du c.
001857/ 1986	Écrasé entre remorque et c.é. en remorquant le chariot.
001838/ 1986	Renversement sur une rampe de sable, cause: excès de vitesse.
001901/ 1986	Renversement lors d'un chargement de remorque, coincé.
001673/ 1985	Renversement du c. après que le cariste saute voyant charge instable.
002015/ 1985	Renversement causé par voie obstruée d'une rampe d'accès inclinée.
001728/ 1983	Écrasé par charge instable dans un wagon en remplaçant une courroie.
001278/ 1983	Écrasé par fourches au pied étant à l'extérieur du c. en manoeuvrant.
001165/ 1982	Écrasé par charge en retirant des madriers sous une pile de bois.
001035/ 1981	Renversement dans un entrepôt de magasin: chariot étroit.
001318/ 1981	Renversement sur convoyeur; buté sur pièce de bois (voie).
001100/ 1981	Renversement dans une pente trop incliné pour c. électrique.
001321/ 1981	Renversement causé par voie obstruée d'une barrière près du mur.
000979/ 1981	Écrasé par ballots de fibre qu'il a accroché en passant à côté.
001014/ 1981	Coincé au niveau de la main par charge instable et charge au sol.
000945/ 1981	Écrasé par charge qui glisse des fourches du c. après avoir sauté.
000500/ 1978	Élévation du mât qui perfore la tôle de la boîte électrique. Court circuit.
000490/ 1977	Écrasé par charge instable sur fourches étant l'aide du cariste.
000355/ 1976	Rampe d'accès cède après avoir accéléré dessus avec c. debout. Tombe.
000662/ 1975	Écrasé par c.é. en marche arrière ayant la visibilité réduite (cadres).
000663/ 1975	Coincé entre plaque de métal porté par c.é. et pile de métal.
000165/ 1975	Chute d'une charge lourde étant sur les fourche. Charge tombe dessus.
000614/ 1975	Coincé entre palette sur c.é. et boîte de camion (chariot bouge seul)
000061/ 1974	Coincé entre charge et l'arrière du c.é. la victime faisant dos au c.
000535/ 1974	Écrasé entre toit du c.é. et poutre de mezzanine dans un entrepôt.
000263/ 1974	Renversement dans cuve de métal en fusion; casse-croûte.
Total: 87 accidents graves ou mortels	

Note : 19 rapports de la base de données de la CSST n'ont pas été compilés, car ils n'avaient pas de lien avec les chariots élévateurs ou n'étaient pas disponibles (2).

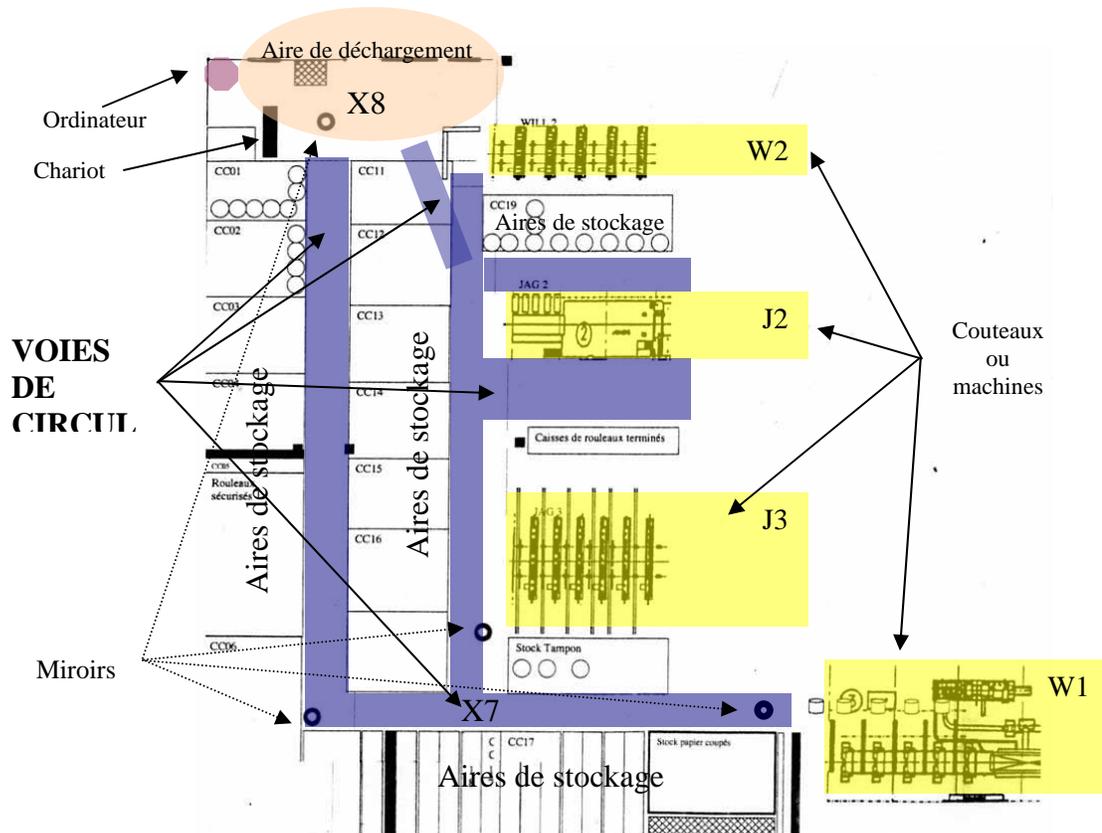
ANNEXE III : EMBLACEMENT DE LA MARCHANDISE SUR LE QUAI D'EXPÉDITION (T1)



Légende

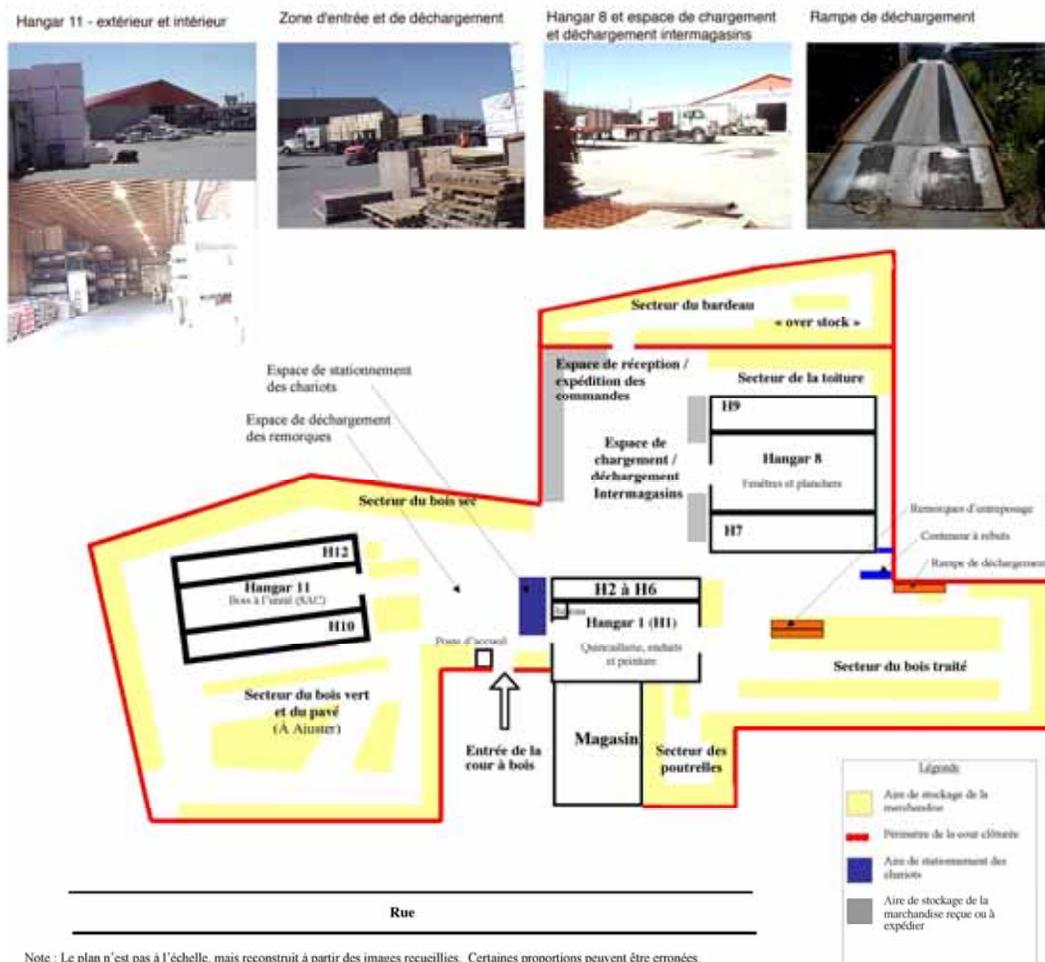
-  Charge sous la hauteur des yeux du cariste
-  Charge au-dessus des yeux du cariste

ANNEXE IV : PLAN DE L'ENTREPÔT DU POSTE DE RÉCEPTION DES ROULEAUX (T2)



<p>Figure IV-1 : Rangée à rouleaux uniques de CC17</p>	<p>Figure IV-2: Marque au sol de CC01</p>	<p>Figure IV-3 : Cage sécurisée pour éviter l'intrusion des chauffeurs de camion et autres</p>	<p>Figure IV-4: Quai de déchargement</p>

ANNEXE V : PLAN DE LA COUR À BOIS (T3)



Note : Le plan n'est pas à l'échelle, mais reconstruit à partir des images recueillies. Certaines proportions peuvent être erronées.



Figure V-1 : Chargement des remorques



Figure V-2 : Préparation des commandes



Figure V-3 : Entrée de la cour

ANNEXE VI : GRILLE DE QUESTIONS POUR LES ENTRETIENS DIRIGÉS (EXEMPLE DU SECTEUR DU PAPIER)

L'objectif est d'avoir un portrait réel du travail et d'expliquer les stratégies telles qu'elles sont déployées.

L'expérience :

Âge, ancienneté (dans l'usine et comme cariste), type de formation reçue (comment ils ont appris à opérer) ? Difficultés lors de l'apprentissage de la conduite, de la tâche. Comment ils composent avec la différence entre le prescrit et le réel (si différence il y a) ?

Stratégies de conduite et prudence

Quels sont les moments où il utilise le klaxon ?
Zones à risque dans l'usine ? Les situations les plus à risque ? Tâches les plus difficiles ?
Quels sont les parcours qu'il n'aime pas et pourquoi ?

Est-ce que les trajectoires sont identiques en marche avant et arrière, avec ou sans charge ?

Quels sont les endroits où il adopte une conduite en mode prudence ?
Qu'est-ce qu'une conduite en mode prudence ?
Pourquoi il se tourne la tête en conduite arrière et parfois ne le fait pas, dans quelles circonstances ?
Quels sont les endroits où la visibilité est la moins bonne ?

Incidents / accidents

Dresser une liste d'incidents possibles ?
A-t-il été impliqué dans un incident / accident quelconque ?

Véhicule

Différences et préférences pour différents chariots : équipement, comportement, contrôle, etc.
Période d'adaptation lorsqu'il passe d'un chariot à un autre ? Combien de temps ?
Sont-ils consultés pour le choix des chariots ? Est-ce que le chariot est adéquat pour la tâche ?
Bris d'équipements et de fourche ? Souvent ?
Lorsqu'il est assis sur le chariot, quels sont les endroits où la visibilité est la moins bonne ?
Perception qu'ils ont de la stabilité ou de l'instabilité du chariot ? Et de la charge ?
Les rétroviseurs ? Utilisés où et pourquoi ?
Comment ils évaluent la stabilité de la charge est instable ? Impact sur la conduite ? Est-ce qu'il arrive qu'il se trompe sur l'évaluation de la charge ?
Siège avec appuis latéraux aux épaules ? La ceinture de sécurité ?

Aménagement

Y'a-t-il une différence de stabilité d'un type de revêtement de sol à l'autre ?
Est-ce qu'ils vont modifier leur vitesse ou d'autres paramètres de conduite ?
Quelles sont les stratégies de conduite aux intersections ? Quelles sont les priorités ?
Utilisation des miroirs ou quels repères ?
Aux intersections, serait-il utile de faire des ouvertures dans les murs à la hauteur des yeux ?

La coactivité

Comment gère-t-il la coactivité ? Y'a-t-il des règles ?
Zonage : qui a la priorité dans différentes zones (Ex. Sur le quai, à X1, à X2 et à X5) (allée piétonne, transpalette et chariots, aire de travail, ailleurs)
Quand il n'a pas la priorité ou dans une zone partagée, comment conduit-il ?
Est-ce que la confiance envers les autres conducteurs limite le nombre de regard sur les autres chariots ?
Que se passe-t-il lorsqu'il y a un nouveau ?
Comment communique-t-il avec les autres travailleurs ?
Au carrefour X1, comment on pourrait diminuer la coactivité ? Qu'est-ce qu'ils font quand ils s'arrêtent et attendent (Zone 3) ?
Et l'emballeuse ? Les manœuvres dans le carrefour X1, qui a priorité ?

Utilité d'avoir une voie réservée au piéton sur la zone 1 ? Pour le coordonnateur ? Est-ce qu'ils les prends parfois par surprise ?

L'encombrement des lieux

Est-ce qu'il arrive souvent que l'entrepôt est utilisé comme lieu de stockage ? Quel impact sur les déplacements ? Sur la coactivité ? L'état actuel est-il « normal » ?

Qu'est-ce qui cause les activités de déterrage ? Est-ce évitable ? Y'a-t-il des moments où c'est pire ?

L'activité de recherche de palette : qu'est-ce qui les amène à chercher des palettes ?

Comment sont gérées les annulations de commande ? Ça arrive souvent ? Impact sur les retards ? Où sont posées les palettes ?

Les palettes devant le bureau, pourquoi ? À côté de la colonne (Zone 1) ?

L'utilisation de l'ordi et du scan.

On observe plusieurs fois où il y a plusieurs interactions avec le système logistique ? Qu'est-ce qui cause ses longueurs ?

Expliquer ce qu'ils font exactement ? Est-ce que ça engendre des retards ?

Est-ce que le scan fonctionne toujours bien ? Qu'est-ce qui fait qu'il a des ratés (étiquettes, pile, éclairage) ? Et le

positionnement des codes barres (racking et dans l'entrepôt) ? Ont-ils envisagé le mettre ailleurs ?

Tâche de déchargement et de vérification

La gestion des palettes et de la circulation dans l'entrepôt : comment l'entrepôt évolue-t-il ? Comment il se construit et se déconstruit ? Pourquoi prennent parfois les palettes d'un bord pour les mettre de l'autre bord ? La variabilité des charges ? Qu'est ce qui fait qu'ils ont parfois l'air en rush ?

L'arrivée des palettes semble se faire en accordéon, comment ils gèrent ces flux ? Comment anticiper ou récupérer les retards ?

Y'a-t-il une routine ? Une redondance de commande ?

Qu'est ce qui cause des retards, des contraintes temporelles ?

Qu'arrive-t-il lorsque la marchandise est endommagée ? Est-ce que ça arrive souvent ? Pour quels types de charges ?

Compte tenu que l'entrepôt varie, y'a-t-il des voies de circulation spécifique ? Sont-elles bien délimitées et identifiées ? Quels sont ses trajets favoris ? Stratégies d'anticipation en passant à des endroits spécifiques ?

Planchers glissants dans les remorques ? Impacts ? Comment récupérer ?

Durant les déplacements, comment ils ajustent leur vitesse ? Est-ce qu'il pourrait rouler plus lentement (impact sur l'activité)

Agent de gestion du chargement

Quels sont les critères qu'ils prennent en compte pour charger les remorques ? Si on dressait une liste ?

On dit que les jeunes ne le font pas aussi bien ?

Agent de gestion des départs de remorque ? Qu'est-ce qui fait qu'on charge une remorque plutôt qu'une autre ?

Les améliorations

Qu'est-ce qu'on pourrait améliorer ?

ANNEXE VII : RELEVÉ DE LA VARIABILITÉ DE CERTAINES CHARGES MANUTENTIONNÉES DANS LA COUR À BOIS (TERRAIN 3)

Variabilité et poids et dimensions de différents types de palettes

Marchandise	Nombre de pièces	N° PatMo	Dimensions			Poids (kg)
			largeur (mm)	longueur (mm)	hauteur (mm)	
Contrepalqué 1/2	60	P2EST12	1220	2440	765	950
Aggloméré 7/16	88		1220	2440	1010	1684
Contrepalqué 5/8	50		1220	2440	760	1019
Gypses 1/2 - 4x8	40		1220	2440	500	915
Épinette vert 2x4x10	280	EP020410	1275	3045	870	1770
Terre à jardin			1160	900	1400	869
Bardeaux d'asphalte			1200	1360	1220	2075
Conteneur bleu			1220	2485	960	251
Poche de crépi			1060	970	1100	1912
Isolant rigide 4x8-2po	24 (?)		1230	2440	1230	89
Épinette séché 2x6x12		EP020612KD	1280	3680	840	1788
Contrepalqué embouveté 5/8	50		1220	2440	760	986
Épinette vert 2x3x12	342	EP020312	1200	3660	800	1944
Épinette séché 2x6x 9 3/4	189	EP02069314KD	1260	2370	840	1225
Épinette vert 2x6x 9 3/4	189	EP02069315	1300	2370	870	1233
Talus universel "slop block"	96	BLORG8	1220	1240	900	2020
Pouterelle TJ1 400C 52 pi	23					2235
Pouterelle TJ1 400C 26 pi	23					1116
Bois traité 2x6x8	104	BT020608	1160	2440	590	688
Rouleaux de polythene			1320	1640	1420	1255
Panneau goudronné 4x9 - 7/16	110	SHEN049	1240	2740	1220	1306
Épinette vert 2x6x16		EP020616	1170	4880	770	2447
Poubelle avec déchets						381
Paillis de cèdre			1120	900	2000	331

ANNEXE VIII : NOMBRE DE FOIS OÙ LE CARISTE EST DESCENDU DU CHARIOT SELON LA NATURE DE LA TÂCHE EFFECTUÉE ET LES TERRAINS

Terrain 1 : Expédition

	Durée des observations (minutes)	Nombre de descentes	Nombre de descentes /min	1 sortie toutes les ...minutes	Raison 1 ^{ère}	Raison 2 ^{nde}
Chargement	321	35	0,11	9,2	Emballeuse	
Préparation	191	45	0,24	4,2	Emballeuse	Repérage
Déchargement	21	2	0,10	10,5	ND	ND
Total	533	82	0,15	6,5		

Terrain 2 : Manutention des rouleaux et ravitaillement des machines

	Durée des observations (minutes)	Nombre de descentes	Nombre de descentes /min	1 sortie toutes les ...minutes	Raison 1 ^{ère}	Raison 2 ^{nde}
Chargement	67	11	0,16	6,1	Ordinateur	Opérateur
Préparation	63	30	0,48	2,1	Repérage	Opérateur
Déchargement	60	16	0,27	3,8	Ordinateur	Scan
Total	190	57	0,30	3,3		

Terrain 3 : Manutention de matériaux de construction dans une cour extérieure

	Durée des observations (minutes)	Nombre de descentes	Nombre de descentes /min	1 sortie toutes les ...minutes	Raison 1 ^{ère}	Raison 2 ^{nde}
Chargement	258	78	0,30	3,3	Séparateurs	Charges
Préparation	160	90	0,56	1,8	Repérage	Charges
Déchargement	261	71	0,27	3,7	Séparateurs	Bureau
Total	679	239	0,35	2,8		

Bilan du nombre de descentes du cariste par minute pour l'ensemble des terrains

	T1 : Expédition	T2 : Manutention des rouleaux	T3 : Manutention dans une cour extérieure	Nombre moyen pour l'ensemble des terrains
Chargement	0,11	0,16	0,30	0,19
Préparation	0,24	0,48	0,56	0,42
Déchargement	0,10	0,27	0,27	0,21
Total	0,15	0,30	0,35	0,27

ANNEXE IX : CARACTÉRISATION DES LIEUX ET DES ÉLÉMENTS ACCIDENTOGÈNES



Sol glissant (plaque d'acier non striée)



Plaque trempée glissante à cause de l'eau qui coule le long des portes et pente abrupte



Dénivelé à l'entrée des hangars



Nids de poule



Substances poussiéreuses rendant le sol glissant



Poteaux et éléments de structure accrochés



Éléments de structures et sols dégradés



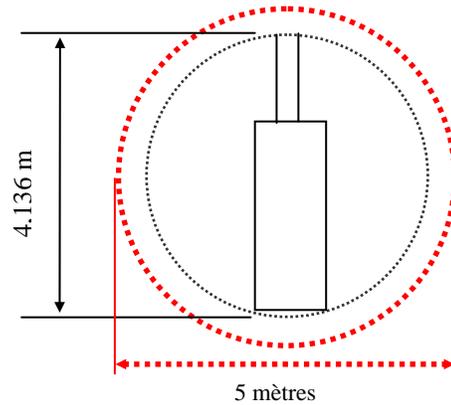
Pentes inégales et abruptes générant des manœuvres compliquées pour les caristes



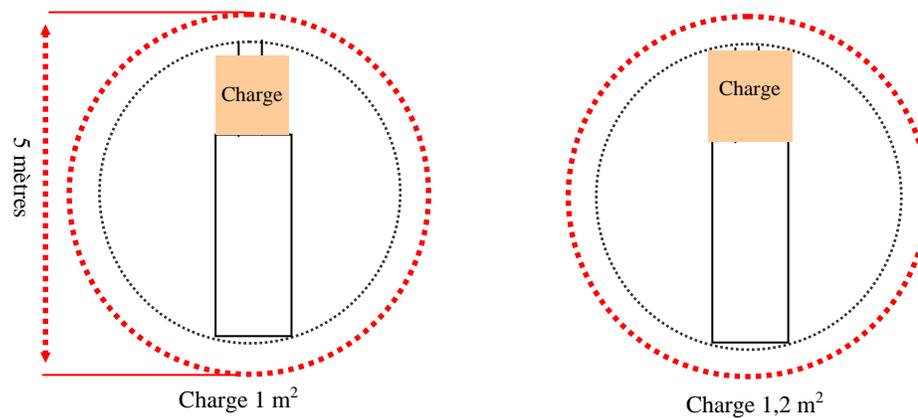
Caillebotis endommagé à cause de la pente. Surface glissante

ANNEXE X : RAYON DE BRAQUAGE ET DISTANCE REQUISE ENTRE LES REMORQUES SELON LES CARACTERISTIQUES DES CHARGES (sans charge et avec différentes charges)

Pour le chariot et les manœuvres inhérentes à l'activité du cariste, sans charge, prévoir un espace minimum de 5 mètres (16,4 pi).



Pour le chariot avec une charge de 1,0 et 1,2 mètre², prévoir un espace minimum de 5 mètres (16,4 pi)



Pour le chariot avec une charge de 4,9 mètres (16 pi), prévoir un espace minimum de 6 mètres (19,7pi)

