

**UNIVERSITÉ DU QUÉBEC**

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ À  
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES**

**COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN GÉNIE INDUSTRIEL  
(CONCENTRATION EN PRODUCTIQUE)**

**PAR  
YAHYA MOHAMMEDI**

**ÉTUDE PRÉLIMINAIRE D'IMPLÉMENTATION D'UN  
CAPTEUR ULTRASON SUR CHARIOT ÉLEVATEUR POUR  
LA DÉTECTION DES OBSTACLES**

**Juillet 2008**

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

## SOMMAIRE

Les chariots élévateurs sont parmi les engins les plus utilisés dans l'industrie. Par conséquent, ils présentent un danger réel pour la vie des travailleurs et pour l'ensemble des intervenants en milieu industriel. Chaque année, il y a un nombre important d'accidents avec des blessures graves et qui peuvent aller jusqu'au décès. Parmi les facteurs mis en cause, on trouve le manque de visibilité. Pour éviter ces drames, ou bien les diminuer, les chariots élévateurs sont équipés d'un avertisseur sonore qui s'active lors de la marche arrière afin d'informer les personnes autour de sa présence. Malheureusement, la présence de ce dispositif n'a pu donner une amélioration significative, et son efficacité est mise en cause. Car dans un milieu bruyant, le signal sonore est masqué, ce qui le rend difficilement audible. Ajoutons à cela aussi les collisions avec des objets oubliés dans les corridors, la présence de machines ou de convoyeurs occasionnellement utilisés pour des travaux de maintenance. Dans ce cas, l'utilisation d'un système de détection s'avère nécessaire pour prévenir le cariste.

Ces problématiques ont incité à chercher d'autres moyens pour améliorer la sécurité. D'où ce projet, qui est une recherche sur la pertinence d'utilisation de capteurs ultrasonores, pour la détection des obstacles, afin de diminuer le nombre d'accidents dus au manque de visibilité du conducteur. La visibilité est réduite à cause des charges ou lors des manœuvres de recul.

Dans ce travail, les objectifs sont atteints. Les résultats obtenus dans le laboratoire, avec un chariot motorisé à conducteur accompagnant ou transpalette, démontrent la

faisabilité, la fiabilité et la précision de ce système de détection. Il va contribuer grandement à l'amélioration du niveau de sécurité des chariots élévateurs. Il reste à faire des essais approfondis sur des chariots élévateurs à conducteurs assis munis de quatre roues, à fourche ou à pinces qui sont de tailles plus grandes et très utilisés dans le milieu industriel.

## REMERCIEMENTS

Toute ma gratitude va à mon directeur de recherche Mr Yves DUBÉ pour ses conseils toujours judicieux, ses encouragements et sa confiance. Je tiens à souligner aussi sa grande disponibilité et sa patience durant tout le travail.

J'adresse également mes plus vifs remerciements à Mr Pierre DESSUREAULT et Mr Ahmed CHÉRITI pour avoir accepté d'examiner ce mémoire et leurs suggestions pertinentes.

Je n'oublie pas l'aide précieuse de Mr Yves GABIAS, directeur du service de l'équipement à l'UQTR, qui nous a octroyé l'équipement nécessaire à la réalisation de cette étude.

Je ne serais bien entendu oublier dans mes remerciements toutes celles et tous ceux avec qui j'ai eu de très nombreux et fructueux échanges.

Finalement, je dois une reconnaissance profonde à tous mes ami(e)s, pour leurs supports.

*À celle qui m'a comblé et qui me comble toujours d'amour et  
qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation...*

*À ma Mère.*

*À celui qui est toujours un exemple pour moi, et qui m'a  
indiqué la bonne voie en me rappelant que la volonté fait  
toujours les grands hommes...*

*À mon Père.*

*À tous mes frères et sœurs que j'aime tant.*

## TABLE DES MATIÈRES

<b>SOMMAIRE .....</b>	<b>ii</b>
<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>iv</b>
<b>TABLE DES MATIÈRES .....</b>	<b>vi</b>
<b>Liste des figures .....</b>	<b>ix</b>
<b>Liste des tableaux .....</b>	<b>xi</b>
<b>Liste des abréviations et lexique des termes utilisés .....</b>	<b>xii</b>
<b>CHAPITRE 1 : INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
1.1 Préface.....	1
1.2 Problématique .....	2
1.3 Objectif.....	3
1.4 Méthodologie .....	4
1.5 Organisation du mémoire.....	5
<b>CHAPITRE 2 : DISPOSITIFS DE DÉTECTION ET SYSTÈMES D'AIDE À LA CONDUITE .....</b>	<b>6</b>
2.1 Introduction .....	6
2.2 Dispositifs de détection .....	6
2.2.1 Détecteurs à ultrason .....	6
2.2.2 Détecteurs au laser .....	8
2.2.3 Détecteurs à micro-onde (RADAR).....	9
2.2.4 Détecteurs à infrarouge .....	10
2.3 Systèmes d'aide à la conduite .....	12
2.3.1 Système propre au chariot élévateur .....	12
2.3.2 Système pour camions .....	13
2.3.3 Système pour autobus scolaire .....	16
2.4 Pourquoi le choix des capteurs à ultrason .....	18
2.5 Conclusion .....	19
<b>CHAPITRE 3 : NORMES ET STATISTIQUES SUR LES CHARIOTS ÉLÉVATEURS.....</b>	<b>20</b>

3.1 Introduction.....	20
3.2 Normes de sécurité.....	20
3.2.1 Formation obligatoire pour la conduite des chariots élévateurs.....	20
3.2.2 Normes portant sur les alarmes de recul et les systèmes de détection .....	21
3.3 Statistiques des accidents .....	22
3.3.1 Accidents au Québec.....	22
3.3.2 Accidents aux États-Unis .....	24
3.3.3 Accidents en Australie .....	26
3.3.4 Accidents en Mauricie (Trois-Rivières).....	28
3.4 Facteurs contribuant aux accidents .....	30
3.5 Coûts reliés aux accidents .....	32
3.6 Conclusion .....	33
<b>CHAPITRE 4 : MESURE DE PRÉVENTION ET DESCRIPTION DU SYSTÈME</b>	
<b>DE DÉTECTION .....</b>	<b>34</b>
4.1 Introduction.....	34
4.2 Description du système de détection.....	34
4.2.1 Principe de détection .....	34
4.2.2 Bloc alimentation .....	36
4.2.3 Le capteur polaroid 6500 .....	38
4.2.4 Bloc émetteur-récepteur .....	39
4.2.5 Bloc alarme/affichage .....	40
4.3 Schéma global du système de détection.....	43
4.4 Calcul de la distance d'arrêt.....	45
4.5 Mesure pour une prévention pratique des accidents .....	47
4.6 Conclusion .....	45
<b>CHAPITRE 5 : ESSAIS EXPÉRIMENTAUX ET RÉSULTATS OBTENUS .....</b>	<b>50</b>
5.1 Introduction.....	50
5.2 Principe de mesure .....	50
5.2.1 L'effet de l'humidité et de la température sur les mesures .....	52
5.2.2 Essais effectués au laboratoire .....	53



5.3 Déroulement des essais .....	56
5. 3.1 Implantation des capteurs.....	57
5. 3.2 Manœuvre de recul et situation à risque .....	58
5.4 Mesures expérimentales (essais effectués au sous –sol) .....	61
5. 4.1 Mise en situation .....	61
5.4.2 Test de fiabilité en présence de plusieurs colonnes .....	61
5.4.3 Détection d’objets de natures et de hauteurs différentes.....	62
5.4.4 Détection d’une personne en mouvement .....	63
5.4.5 Simulation d’un exemple d’accident, cas de collision avec une colonne .....	65
5.5 Temps de réponse du cariste et distance d’arrêt.....	68
5.6 Interprétation des résultats .....	76
5.7 Perspective pour des tests sur des chariots élévateurs réels .....	78
<b>Chapitre 6 : Conclusion générale .....</b>	<b>79</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>81</b>
ANNEXE A .....	84
ANNEXE B.....	90

## Liste des figures

Figure 2. 1: Principe de fonctionnement du détecteur ultrasonore .....	7
Figure 2. 2: Principe de fonctionnement du télémètre Laser .....	9
Figure 2. 3: Principe d'un capteur infrarouge .....	11
Figure 4. 1: Représentation de l'onde ultrasonore en fonction du temps .....	35
Figure 4. 2: Schéma électronique du régulateur de tension 78L05 .....	36
Figure 4. 3: Régulateur de tension .....	37
Figure 4. 4: Le module électronique du polaroid 6500 .....	38
Figure 4. 5: Modèle typique de faisceau à 50 kilohertz du transducteur .....	39
Figure 4. 6: Schéma électronique du sonar polaroid 6500 .....	39
Figure 4. 7: Schéma électronique du 'dsPIC30F2010' .....	41
Figure 4. 8: Schéma de principe pour le calcul de la distance d'arrêt .....	42
Figure 4. 9: Bloc Affichage / Alarme .....	43
Figure 4. 10: Schéma global du système de détection .....	44
Figure 4. 11: Capacité de freinage requise-frein de service [4] .....	46
Figure 5. 1: Différentes zones de détection .....	51
Figure 5. 2: Mesure de la distance réelle versus distance affichée .....	53
Figure 5. 3: Forme de l'onde ultrasonore d'un capteur .....	54
Figure 5. 4: Mesure de la période pour différentes distances .....	55
Figure 5. 5: Nature des obstacles utilisés pour les tests .....	56
Figure 5. 6: Chariot motorisé à conducteur accompagnant .....	57
Figure 5. 7: Chariot effectuant une manœuvre de recul .....	58
Figure 5. 8: Détection d'un obstacle (boîte en carton) au niveau du corridor .....	60
Figure 5. 9: Chariot effectuant une manœuvre de recul .....	62
Figure 5. 10: Détection d'objets de natures et de hauteurs différentes .....	63
Figure 5. 11: Test de détection d'une personne en mouvement .....	64
Figure 5. 12: Colonne non détectée par un capteur .....	66
Figure 5. 13: Nouvelle configuration des capteurs .....	67
Figure 5. 14: Temps de réaction du conducteur à l'alarme .....	71

Figure 5. 15: Variation de la distance de réaction , la distance de freinage et la distance d'arrêt en fonction de la vitesse Vitesse .....	75
Figure 5. 16: Variation de la distance de sécurité en fonction de la vitesse V.....	76
Figure 5. 17: Zones possibles de détection avec 8 capteurs à l'arrière du chariot.....	78

## Liste des tableaux

Tableau 3.1: Coûts des accidents causés par des chariots élévateurs (CSST-2005).....	23
Tableau 3.2: Répartition des accidents selon l'agent causal .....	24
Tableau 3.3: Répartition des accidents selon le type d'industrie .....	25
Tableau 3.4: Répartition des accidents selon l'agent causal .....	27
Tableau 3.5: Le pourcentage des accidents survenus selon l'agent causal.....	27
Tableau 3.6: Accidents impliquant les chariots élévateurs entre 2002-2006, .....	29
Tableau 5. 1: Mesure de la température et de l'humidité.....	52
Tableau 5. 2: Nature d'accident survenu (N=14).....	61
Tableau 5. 3: Détection d'obstacle à proximité du chariot .....	62
Tableau 5. 4: Détection et mesure de chaque capteur .....	64
Tableau 5. 5: Proportion d'évitement de collision .....	72
Tableau 5. 6: Influence du temps de réaction et de la vitesse sur la distance d'arrêt .....	73

## Liste des abréviations et lexique des termes utilisés

**CSST:** Commission de Santé et Sécurité au Travail.

**IRSST:** Institut de Recherche en Santé Sécurité de Travail.

**APSAM:** Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail, secteur des affaires municipales.

**OSHA:** Occupational Safety & Health Administration.

**NOH&S:** National Occupational Health & Safety.

**ITA:** Industrial Truck Association.

**ASME:** American Society of Mechanical Engineers.

**SAE:** Society of Automotive Engineers.

**RSST:** Règlement sur la santé et la sécurité du travail.

**ACL :** Affichage à cristaux liquides

**LED:** light-emitting diode ou diode électroluminescente.

**Cariste :** Opérateur de chariot élévateur.

Dans ce mémoire on utilise plusieurs appellations pour désigner un chariot élévateur :

Véhicule motorisé, engin.

## **CHAPITRE 1**

### **INTRODUCTION**

#### **1.1 Préface**

Au fil des années, la détection ultrasonore ne cesse d'évoluer. Depuis 1915, l'année où Paul Langevin a mis au point la détection des sous-marins au moyen des ultrasons, un champ d'application à ces vibrations non audibles s'est ouvert.

Le champ d'application des ultrasons est vaste, elles sont très utilisées en contrôle de fabrication des industries métallurgiques, mécaniques, nucléaires, aéronautiques, électroniques et en médecine. Cette technique de détection est présente aussi dans le domaine de santé sécurité.

Les chariots élévateurs, sont parmi les engins les plus utilisés dans l'industrie, dus à leur polyvalence en présence d'une forte densité de personnes. Les accidents impliquant ces engins sont habituellement attribués aux erreurs d'opérateurs, mais 25% de ces accidents sont provoqués par d'autres facteurs contrôlables [11]. Au Québec ils occasionnent chaque année près de 700 accidents, certains mortels, et des indemnités de 2,7 millions de dollars. La stabilité et la visibilité sont les principaux facteurs en cause (IRSST). Cette étude fait le point sur le volet visibilité.

Afin de mieux comprendre le sujet, il est préférable de définir ce qu'est un chariot élévateur. C'est un engin de manutention destiné au transfert de charges dans les usines ou les halls de stockage. Ses domaines d'activité sont principalement la reprise des produits

finis des chaînes de fabrication vers les lieux de stockage, le chargement ou déchargement des moyens de transport tels les wagons ou camions et l'aide au chargement ou déchargement dans les cales des navires. Sa grande souplesse lui permet beaucoup d'usages [31].

## **1.2 Problématique**

La gestion de la santé et de la sécurité au travail (SST), dans les milieux industriels où il y a des dangers mortels, nécessite la mise en place des dispositifs de protection contre les collisions. À l'heure actuelle, les chariots élévateurs ne sont pas encore équipés de systèmes de détection pour assister le conducteur, le seul dispositif utilisé présentement est l'avertisseur sonore.

Les problèmes qui peuvent être rencontrés lors d'utilisation des avertisseurs sonores incluent : l'accoutumance du personnel au signal sonore, le bruit ambiant, la dépendance et la fatigue. L'accoutumance peut se produire quand l'opérateur ou les piétons s'habituent à entendre l'alarme et cessent de l'identifier comme signal d'alarme. Lors des reculs, l'opérateur devrait toujours regarder en arrière le long de son trajet avec des torsions latérales du dos très prononcées pour s'assurer que son champ de travail est libre de tout obstacle, parfois sur une longue distance. Ce qui engendre des maux au niveau du cou, du dos et de la fatigue. De ce fait, le cariste va se retourner des moments pour se relaxer, toujours en faisant marche arrière. Cette pratique est très dangereuse et peut produire un accident grave. Le bruit ambiant et le niveau de bruit de l'environnement et du fonctionnement sont aussi des facteurs importants. Si le bruit ambiant est très élevé, en

particulier sur les sites regroupant un grand nombre d'engins bruyants, il pourrait masquer le bruit de l'avertisseur sonore. Aussi, on note la perte d'acuité sonore du personnel attribuable à une longue exposition au bruit et au port d'équipement ou de vêtements gênant à la perception sonore.

L'accoutumance, la dépendance et la fatigue sont une recette pour le désastre. La fatigue affecte la réponse de l'opérateur à un signal d'alarme. Elle peut mener à une augmentation de la distance d'arrêt réelle, due à une augmentation du temps de perception humain et du temps de réaction.

Cette inefficacité, des dispositifs d'avertisseurs sonores à prévenir un travailleur de la présence d'un véhicule à proximité, a incité à chercher d'autres moyens afin d'améliorer la sécurité.

### **1.3 Objectif**

L'objectif principal de ce travail est de proposer un système de détection d'obstacles fiable basé sur un capteur ultrasonore. Il permettra de prévenir le conducteur de l'engin, de la présence d'une personne ou d'un objet à proximité de son champ de travail, à l'aide d'une alarme visuelle et en affichant la distance qui le sépare de l'objet détecté, sur un écran ACL.

Cette étude inclut aussi la détermination de la zone de détection et la distance d'arrêt sécuritaire pour empêcher la collision. Le chariot utilisé est un chariot motorisé électrique à conducteur accompagnateur ou transpalette. Ce dernier a une vitesse maximale très réduite, adaptée pour opérer en toute sécurité dans les corridors de l'UQTR.



La mise en place d'un tel dispositif va contribuer à l'évolution du niveau de sécurité dans les milieux industriels, en préconisant une solution pour assister le cariste dans la conduite de chariot élévateur. Aussi, d'un coté économique, le coût d'un tel appareil de détection n'est pas très élevé, sachant que le prix d'un capteur ultrasonore est d'environ 42.50 \$, le prix d'un système avec 4 capteurs sera d'environ de 500 \$.

## **1.4 Méthodologie**

Les principales étapes de ce projet sont les suivantes :

- a. Étude bibliographique et collecte des données. Pour cette étude, la collecte a été faite à plusieurs niveaux, en contactant plusieurs institutions et organismes spécialisés dans le domaine de santé sécurité :
  - Commission de la Santé & de la Sécurité du Travail (CSST), Trois-Rivières;
  - Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST);
  - l'Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail, APSAM;
  - Transport Québec;
- b. Dans le domaine industriel, une visite à l'usine Kruger Wayagamack à Trois-Rivières est faite pour voir de près cette problématique et faire une collecte de donnée spécifique à une tâche déterminée.
- c. La conception d'un système de détection ultrasonore.
- d. En dernier, vient la partie des mesures et des essais expérimentaux dans le laboratoire d'électronique en utilisant un transpalette motorisé.

## **1.5 Organisation du mémoire**

On trouve dans le premier chapitre, la mise en contexte, la problématique et l'objectif formant ainsi une introduction de la présente étude. Le deuxième chapitre donne une description générale des systèmes de détection les plus populaires déjà existants avec une brève explication des principes de détection d'obstacles et une présentation des études les plus pertinentes en relation avec le sujet. Dans le troisième chapitre, on trouve tout ce qui a trait aux chariots élévateurs : normes, statistiques, exemples d'accidents, les systèmes d'aide à la conduite. Le quatrième chapitre est important pour la compréhension de la partie électronique de ce projet. En effet, dans cette partie, on parle du transducteur ultrasonore, du bloc d'alimentation, du bloc émetteur-récepteur, de l'interface de contrôle et du bloc d'affichage. Le chapitre cinq regroupe en même temps, la phase du déroulement des essais et les résultats obtenus. Enfin, le dernier chapitre est une conclusion générale du présent travail de recherche avec des recommandations et perspectives pour le futur.

## **CHAPITRE 2**

### **DISPOSITIFS DE DÉTECTION ET SYSTÈMES D'AIDE À LA CONDUITE**

#### ***2.1 Introduction***

Dans le cadre du présent mémoire, la recherche bibliographique porte d'un côté sur les principes de la détection d'obstacles, ce qui inclut aussi la présence humaine; et d'un autre côté, sur l'utilisation des dispositifs de détection sur des véhicules industriels.

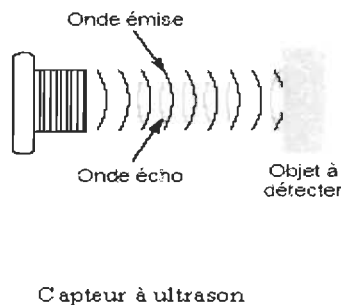
Les principes de détection de présence humaine ou d'objets sont nombreux : à base d'ultrason, de détecteurs capacitifs, de détecteurs à infrarouge, de radar micro-onde, et d'autres. L'utilisation des détecteurs, que ce soit à base d'ultrason ou autres, est présente aussi dans plusieurs domaines, on peut citer la sécurité, les systèmes antivol ou en robotique. Dans la partie qui suit, on trouve une revue des écrits les plus récents qui touchent de près notre sujet de recherche.

#### ***2.2 Dispositifs de détection***

##### **2.2.1 Détecteurs à ultrason**

L'ultrason est un son dont la fréquence est supérieure à 20 kHz. Le nom vient du fait que leur fréquence est trop élevée pour être audible pour l'homme [31]. Deux principes physiques sont utilisables pour constituer le capteur : par effet électronique ou par effet piézoélectrique. Ces capteurs utilisent l'air comme milieu de propagation. L'émetteur et le récepteur sont situés dans le même boîtier. L'émetteur envoie un train d'ondes qui est

réfléchi sur l'objet (ou le travailleur) à détecter et ensuite revient à la source. Le temps mis pour parcourir un aller-retour permet de déterminer la distance de l'objet par rapport à la source. La distance trouvée doit être divisée par deux, car le signal aura franchi le double de la distance pour revenir à l'émetteur. La capacité de détection de ce type de capteur va de quelques centimètres à environ 10 mètres.



**Figure 2. 1: Principe de fonctionnement du détecteur ultrasonore**

Les capteurs ultrasonores ont de nombreux avantages. Ils ont une large gamme d'utilisation, facile à mettre en œuvre, et leur coût est très faible par rapport aux autres capteurs comme les radars. En plus, l'utilisation des ultrasons est pratiquement sans danger sur la santé humaine.

D'un autre côté, les détecteurs ultrasonores présentent les inconvénients suivants :

- La vitesse de propagation des ultrasons peut être influencée de façon sensible par une variation de température. Par exemple, un écart de 30°C peut causer une erreur de 30 cm sur une mesure de 11 m.

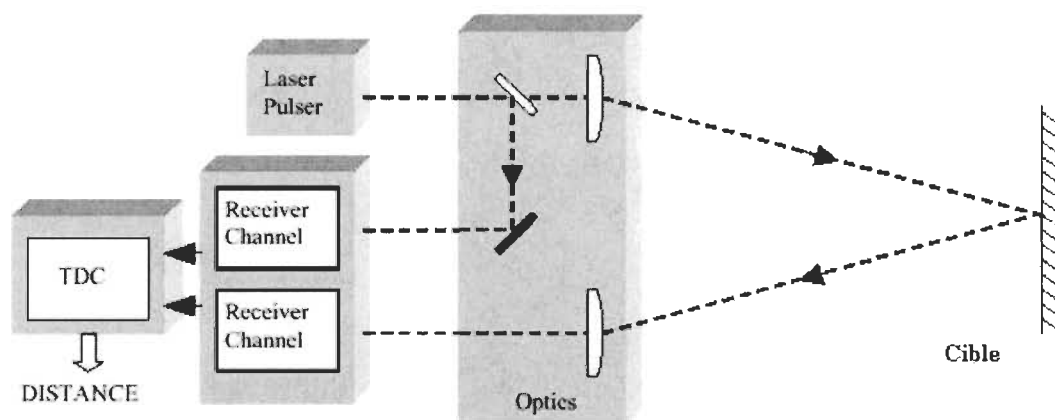
- La propagation de l'onde sonore peut aussi être influencée par l'humidité.
- La lecture des capteurs peut être influencée par le bruit environnant et par le signal émis par d'autres capteurs sur le même système.

### **2.2.2 Détecteurs au laser**

L'effet laser est un principe d'amplification cohérente de la lumière par émission stimulée. C'est l'acronyme anglais de « Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation » en français, « amplification de la lumière par émission stimulée de radiations ». La plupart des amplificateurs optiques sont basés sur l'effet laser. Une source laser est une source de lumière spatialement et temporellement cohérente basée sur l'effet laser [31].

Deux types de détecteurs au laser peuvent être utilisés pour déterminer la distance d'un objet. Certains obtiennent cette distance par télémétrie, soit la même méthode que celle de la détection à base d'ultrason. Le temps est alors calculé d'après la vitesse du rayon lumineux, ce qui nous aide à déduire la distance. L'autre méthode consiste à émettre en continu un signal laser modulé et de mesurer le déphasage avec le faisceau réfléchi par l'objet. Un des avantages du détecteur au laser est sa longue portée combinée avec sa précision très élevée. Il peut demeurer précis même à de très grandes distances, étant donnée la concentration d'énergie que ce rayon focalise. Certains détecteurs au laser peuvent avoir une portée de l'ordre du kilomètre. Son principal défaut est son coût élevé. De plus, il nécessite un entretien très fréquent, car les mesures sont affectées si le système n'est pas propre et bien ajusté. Il est aussi grandement influencé par les conditions environnementales telles que la température, la neige, la pluie et la brume. Dans ces

conditions, la qualité du signal est atténuée. Il faut aussi considérer l'effet thermique du rayonnement laser qui peut représenter un certain danger. Il a été calculé qu'à une distance inférieure à 70 cm, le signal laser utilisé avec de tels détecteurs est considéré comme étant dangereux, particulièrement pour l'œil humain.



**Figure 2. 2: Principe de fonctionnement du télémètre Laser [37]**

### 2.2.3 Détecteurs à micro-ondes (RADAR)

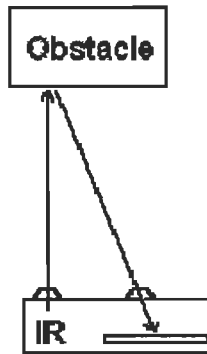
Les micro-ondes sont des ondes électromagnétiques de longueur d'onde intermédiaire entre l'infrarouge et les ondes de radiodiffusion. Le radar (Radio Detection And Ranging) à micro-onde, emploie le rayonnement micro-onde pour détecter la distance, la vitesse et d'autres caractéristiques des objets distants [31]. Il est basé sur le rayonnement d'un signal électromagnétique de l'ordre du gigahertz. Il peut utiliser trois méthodes pour calculer la distance d'un obstacle. La télémétrie peut être utilisée pour fournir une information de distance, comme dans le cas des capteurs précédents. On peut aussi, en utilisant un radar à émission continue, exploiter le principe de l'effet Doppler afin d'obtenir

une indication de mouvement d'une cible. Toutefois, l'effet Doppler ne donne aucune indication de distance. La troisième méthode permet d'obtenir la distance en plus de déterminer si l'obstacle est mobile ou non. Il s'agit d'utiliser un radar à émission continue en lui ajoutant une modulation de la fréquence d'émission. Plusieurs formes d'ondes sont possibles pour effectuer la modulation.

Les détecteurs à micro-onde ont comme avantages d'avoir une très longue portée (mètres aux kilomètres) et une très grande précision. De plus, ils sont un des seuls types de capteurs à être pratiquement insensibles aux conditions environnementales comme la pluie et les écarts de température. Mais ils ont aussi leurs inconvénients, dont le principal est leur coût très élevé. Une autre caractéristique qui les rend inadéquats pour certaines applications est la dimension assez importante de l'émetteur. Finalement, l'effet des micro-ondes sur la santé des individus exposés aux rayonnements est un autre point à considérer.

#### **2.2.4 Détecteurs à infrarouge**

Le rayonnement infrarouge (IR) est un rayonnement électromagnétique d'une longueur d'onde supérieure à celle de la lumière visible, mais plus courte que celle des micro-ondes [31]. Les détecteurs à infrarouge sont des capteurs photoélectriques, c'est-à-dire qu'ils détectent l'émission de photons. Ils peuvent être conçus pour détecter des signaux optiques de différentes longueurs d'onde, comme le rayonnement rouge visible ou le rayonnement infrarouge (non visible). La figure 2.3 nous montre le principe d'un capteur SHARP qui fonctionne en mesurant l'angle de réflexion d'une émission d'IR modulée, grâce à une rangée de récepteurs.



**Figure 2. 3: Principe d'un capteur infrarouge**

Le rayonnement de type infrarouge est plus fréquemment choisi afin de limiter l'effet de la lumière ambiante sur le système. Ces détecteurs peuvent fonctionner selon trois modes d'opération : opposition, rétro réflexion et diffusion. En mode opposition, l'émetteur est positionné à un endroit et projette le rayon infrarouge vers un récepteur placé à une certaine distance. Tout objet passant entre les deux dispositifs coupe le rayonnement et est ainsi détecté. Ce mode est surtout appliqué pour des systèmes immobiles comme les systèmes de détection de présence dans les alarmes. Le mode rétro réflexion est lui aussi utilisé pour des systèmes immobiles. La différence vient du fait que l'émetteur et le récepteur sont positionnés au même endroit. Le rayon infrarouge est réfléchi vers le récepteur par un miroir ou par un prisme réflecteur. On peut utiliser ce système de deux façons. Avec un réflecteur fixe, le système perçoit une présence lorsque le rayon est coupé (comme en mode opposition). Par contre, si le réflecteur est placé sur un objet mobile, on peut détecter la présence de cet objet lorsque le rayon y est réfléchi et retourne vers le récepteur. Cette dernière façon de détecter requiert l'installation de réflecteurs à des endroits stratégiques et exige donc de fonctionner en milieu contrôlé. Enfin, en mode



diffusion, l'émetteur et le récepteur sont encore situés au même endroit, mais le rayonnement émis est réfléchi par un objet quelconque (sans réflecteur). Cette méthode permet de fonctionner dans des milieux non contrôlés, car aucun réflecteur n'est requis.

Du point de vue des risques pour la santé, certaines préoccupations ont été émises en ce qui concerne l'exposition des personnes aux infrarouges (effet thermique pour les yeux).

## ***2.3 Systèmes d'aide à la conduite***

### **2.3.1 Système propre au chariot élévateur**

Les chariots élévateurs sont équipés de dispositifs avertisseurs, tels que les avertisseurs sonores et lumineux ainsi que les aides visuelles. L'idée d'utiliser des systèmes d'anticollision basés sur des dispositifs de détection, comme ceux présentés au paragraphe 2.2 du présent chapitre, est relativement récente.

Odetola [11] a fait une étude sur l'efficacité d'utiliser un système de détection RADAR sur un chariot élévateur. Cette étude expérimente l'application et l'efficacité des détecteurs d'obstacle radar pour les chariots élévateurs lors des manœuvres en marche arrière. Deux détecteurs à micro-ondes distincts, avec différentes sorties, sont évalués. Les résultats obtenus montrent que la taille, la forme, la composition et la position de l'obstacle d'un côté, et la position et l'orientation des capteurs d'un autre, affecteront la composition du système de détection d'obstacle. D'après l'auteur, les résultats de cette étude faciliteront par la suite le positionnement des capteurs sur le chariot élévateur pour réduire les zones aveugles et les fausses alarmes qui ne peuvent être éliminées complètement.

Les résultats de cette étude ont été obtenus théoriquement. L'auteur recommande, pour les essais du dispositif en conditions réelles, de monter les capteurs sur le chariot comme proposé en prenant en considération aussi le temps de réponse de l'opérateur, pour que leurs efficacités soient bien évaluées et permettent par la suite un développement supplémentaire.

### **2.3.2 Système pour camions**

Au cours des dernières années, on dénombre plusieurs cas d'accidents mortels mettant en cause les manœuvres de recul de véhicules dans les chantiers de construction. Ces accidents surviennent malgré la présence d'un avertisseur sonore opérationnel et conforme aux règlements en vigueur. Il s'avère donc nécessaire d'équiper de tels véhicules de dispositifs plus sécuritaires [16].

Une recherche a été réalisée par US Bureau of Mines [22], au centre de recherche à Minneapolis (Minnesota) pour tester trois types de capteurs (à ultrason, à micro-ondes et infrarouge), en vue de servir comme alarme lors des mouvements de recul des camions lourds. L'étude a montré que le système à micro-ondes s'est montré le plus efficace, particulièrement à cause de son insensibilité aux conditions environnementales. Lors du recul d'un camion, le système était capable de détecter, par effet Doppler, le mouvement d'une personne à une distance de 4 à 6 m.

Parmi les points faibles de ce système, c'est qu'il est dispendieux et ne détecte pas les vitesses faibles et les mouvements latéraux par rapport au capteur.

Dans le même contexte, c'est-à-dire celui des véhicules lourds, et parmi les articles qui ont attiré notre attention, on trouve celui de Kai-Tai Song et al, 2004 [7]. Cette étude présente une conception et une mise en application d'un système ultrasonore pour éviter les collisions latérales des véhicules roulant à de basses vitesses. Le système développé est utile pour détecter les véhicules, les motos, les bicyclettes et les piétons qui passent du côté latéral d'un véhicule, particulièrement pour de grands véhicules.

L'article présente aussi les systèmes d'anticollision existants, il les classe en trois catégories :

- (1) Système radar à effet Doppler : Bien que le radar soit le dispositif de détection le plus fréquemment utilisé à bord d'un véhicule, pour détecter d'autres objets ou des véhicules qui roulent à vitesses élevées dans le trafic, il n'est pas efficace pour des situations à vitesse réduite et provoque une erreur causée par facteur de cosinus. Actuellement, les systèmes de radar sont des dispositifs chers et limités pour les voitures de luxe.

Pour des applications à vitesse réduite, d'autres types de capteurs sont favorisés pour la détection d'objet et l'évitement de collision.

Une autre étude intéressante porte sur le système Vorad « Collision Warning System » de la corporation Eaton qui sert à aider les conducteurs de semi-remorques à détecter les véhicules situés devant ou à la droite de leur véhicule dans des conditions qui rendent la visibilité difficile. La présence de brouillard, de pluie intense ou de neige peut en effet nuire à la capacité visuelle du conducteur et réduire considérablement son temps de réaction face à des situations dangereuses [13].

Deux des causes les plus fréquentes d'accidents pour des véhicules de ce genre sont justement le manque de temps de freinage et les changements de voie sur la droite, qui se font pratiquement à l'aveugle. Le Vorad CWS est constitué principalement d'un radar à effet Doppler situé sur le pare-chocs avant, d'un radar situé sur le côté droit du tracteur (pour les angles morts), d'une unité centrale de traitement et d'un afficheur en cabine. De plus, une connexion au tachymètre, un détecteur de rotation de la colonne de direction et un détecteur de freinage permettent au système de connaître les conditions d'opération du véhicule.

D'après cette étude, le système Vorad est plus polyvalent, car il peut répondre à une multitude de situations. Il offre une véritable assistance à l'humain en adaptant son comportement selon les différents événements perçus (par exemple la vitesse et la direction du camion). Par contre, il sert surtout à éviter les accidents dus au manque de temps de freinage en calculant la vitesse de rapprochement des véhicules à l'avant du camion. De plus, il faut considérer le coût élevé d'un tel système qui s'évalue à plusieurs milliers de dollars US par véhicule.

- (2) Système ultrasonique : Ce type de capteur a été largement répandu pour la détection de l'environnement, pour éviter des obstacles dans le domaine de la robotique. Il est aussi utilisé pour aider les voitures à stationner. Il a un angle de détection large et offre une solution moins chère. Cependant, l'inconvénient de

ce type de capteur est que des ondes ultrasoniques sont transmises par l'air et la texture extérieure des obstacles affectera la mesure.

- (3) Le système de vision : ce système utilise des caméras pour détecter l'espace latéral d'une voiture. Le système peut être installé près du rétroviseur. Cependant, les systèmes de vision nécessitent un temps de calcul considérable pour extraire l'information utile. L'exécution en temps réel est un défi pour ce genre de systèmes. L'état d'éclairage influencera également l'acquisition des images. Il serait difficile de l'employer pendant la nuit.

Dans cette étude, l'auteur a choisi le système ultrasonique en considérant les avantages suivants :

- ✓ Il est moins cher et conviendra aux applications générales.
- ✓ Il peut facilement obtenir l'information de distance des objets immédiats sans calcul complexe.
- ✓ Il a une large zone de détection et de mesure.

### **2.3.3 Système pour autobus scolaire**

Transports Canada a mis sur pied un programme de recherche pour étudier la problématique des accidents impliquant des autobus scolaires lors d'embarquement et de débarquement des écoliers. Les enfants et les jeunes écoliers sont confrontés à un risque énorme par manque de visibilité autour des autobus, due à leurs petites tailles. L'étude fait l'inventaire et l'évaluation des détecteurs de présence humaine et des approches de

détection d'objets. L'étude a recensé de nombreux capteurs et de nombreux systèmes proposés pour la détection d'humain et d'obstacle. Différents principes physiques sont utilisés. Dans une application en transport scolaire, le système de détection doit :

- ✓ couvrir les zones dangereuses de l'autobus.
- ✓ avertir le conducteur à temps pour qu'il puisse réaliser une manœuvre d'évitement de collision.

« Parmi les technologies identifiées et évaluées, seuls les ultrasons, l'infrarouge, l'optique et les micro-ondes représentent un potentiel d'application intéressant en transport scolaire. Cependant, nous avons remarqué que la partie traitement est demeurée très élémentaire pour tous les systèmes de sécurité proposés par les industriels. À l'exception du système BUSTER qui est muni d'un système informatisé de traitement de l'information pour augmenter la fiabilité du système » [3].

Dans une autre étude, Mertz et al [8], font le bilan de l'implication des autobus de transport en commun dans les accidents et présentent une étude des systèmes d'avertissement de collision (CWS) placés sur ces autobus pour diminuer les risques. Le but de ce projet était d'établir une étude sur les systèmes intelligents de détection pour réduire les collisions latérales des autobus. Bien que le taux d'accidents soit très bas, la probabilité qu'un autobus soit impliqué dans un accident, pendant une année, est beaucoup plus élevée (environ 15 fois) que pour d'autres véhicules. Les autobus circulent beaucoup plus d'heures par an, fonctionnent typiquement dans des secteurs urbains très encombrés et par la nature de leur travail, sont souvent à proximité des piétons [8].

Ce projet de recherche avait donc plusieurs phases. Bien qu'il soit intéressant, il ne présente que les résultats préliminaires d'une longue étude selon les objectifs établis. En général, c'est un bilan des informations recueillies sur les systèmes existants et l'adaptabilité de ces derniers aux autobus.

## ***2.4 Pourquoi le choix des capteurs à ultrason***

En général, la problématique commune à tous les systèmes de détection d'obstacles demeure celle de la réduction des fausses alarmes.

Le choix du capteur utilisé est fait après avoir effectué une étude bibliographique sur les dispositifs de détection et leurs utilisations sur les véhicules industriels ou de transport en général, comme décrit plus haut au présent chapitre.

Les avantages majeurs des capteurs à ultrason sont leur faible prix de revient et leur simplicité d'implantation, aussi la détection par ultrason est parfaitement efficace pour de courtes distances.

Il faut considérer aussi les conditions d'opérations des capteurs. Dans notre cas, le dispositif de détection doit être implémenté sur un chariot élévateur qui opère à l'intérieur des édifices, ce qui veut dire que les conditions environnementales (le vent, la pluie, la neige, variation brusque de la température, etc.) ne sont pas prises en considération. De plus, les variations minimales de température ou d'humidité qui peuvent influencer la précision du capteur de l'ordre de quelques pouces sont acceptables. Ce qui n'est pas le cas dans le domaine de la robotique où la position exacte de l'objet à détecter doit être déterminée.

## **2.5 Conclusion**

L'utilisation de la technologie ultrasonore présente des avantages à la fois techniques et économiques. En effet, c'est un choix adéquat par rapport aux autres capteurs. Ces derniers montrent des caractéristiques très intéressantes quant à leur portée et à leur précision, mais ont aussi des limitations, tels qu'un prix très élevé et une taille imposante des émetteurs, comme c'est le cas pour les radars. Le capteur au laser est très exigeant quant à l'entretien et à la précision de son ajustement. Le sonar s'avère donc le meilleur choix pour l'application étudiée dans le présent ouvrage.

Pour les ultrasons, le bruit est l'un des facteurs importants à prendre en considération en milieu de travail. Par contre, on note que dans certaines sections où opèrent les chariots élévateurs, le bruit est très faible. On donne l'exemple du département de stockage et d'expédition à l'usine Kruger. On peut aussi contrôler le bruit par l'adaptation du capteur à son environnement d'utilisation. Ceci peut se faire par la commande de la sensibilité du circuit électronique utilisé. Un autre moyen, qui peut être efficace, est le fait d'utiliser un bon blindage. Cela est avantageux aussi pour donner une longue durée de vie au dispositif une fois implémenté sur le chariot.



## **CHAPITRE 3**

### **NORMES ET STATISTIQUES SUR LES CHARIOTS ÉLEVATEURS**

#### ***3.1 Introduction***

La norme de sécurité ASME B 56.1 (1993-A.1995), est la norme nationale américaine qui concerne les chariots élévateurs à petite et à grande levée. Cette norme est l'une des normes qui ont été rédigées en collaboration avec l'American Society of Mechanical Engineers [4].

#### ***3.2 Normes de sécurité***

##### **3.2.1 Formation obligatoire pour la conduite des chariots élévateurs**

Les dispositifs de détection ou tout autre système d'aide à la conduite ne peuvent à eux seuls garantir la sécurité, ce n'est qu'un moyen parmi d'autres. De nouvelles dispositions légales pour la conduite des chariots élévateurs sont désormais appliquées à partir du 6 janvier 2007. Des changements ont été récemment apportés au règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST). Le règlement stipule que tout cariste (opérateur de chariot élévateur) soit âgé de 16 ans ou plus (article 256.2) et il doit avoir suivi une formation adéquate (article 256.3) [30].

La prévention des risques professionnels, notamment en ce qui a trait à l'utilisation de chariot élévateur, est le souci de tous les pays à travers le monde. En France par exemple, plusieurs outils sont conçus pour la formation des caristes [11].

### **3.2.2 Normes portant sur les alarmes de recul et les systèmes de détection**

En Amérique du Nord plusieurs normes font référence aux systèmes de détection lors des manœuvres de recul. On trouve parmi elles : ASME B56.11.5, SAE-J994B, SAE-J1741, et SAE-1446. En général, le bruit ambiant de l'environnement ne doit pas masquer le signal sonore de recul. Ce dernier n'est considéré audible que s'il dépasse le niveau de bruit ambiant d'au moins 15 dB. De plus, le niveau sonore pondéré du signal ne doit pas être inférieur à 65 dB [16].

La norme SAE J1741 touche de très près le sujet du présent mémoire, car elle porte sur les systèmes de détection de personnes installés sur les véhicules hors routes du secteur de la construction ou d'usage industriel général. Cette norme spécifie les critères permettant de tester les systèmes générant une alarme lors des manœuvres de recul, parmi ces critères on trouve que :

- a) l'alarme ne doit s'actionner que lorsqu'un obstacle est dans la zone de détection;
- b) le système de détection doit satisfaire tous les critères spécifiés sous toutes les conditions environnementales possibles (pluie, neige, poussière, vents, etc.) ;
- c) le système de détection doit avoir un taux de détection de 100 % lorsque les tests sont effectués avec le mannequin proposé et en accord avec la zone de détection appropriée ;
- d) le taux de fausses alarmes ne doit pas excéder 10 % de l'ensemble des alarmes.

Il existe d'autres normes qu'on peut trouver dans la littérature, ou sur les sites internet spécialisés moyennant un coût plus au moins élevé.

### 3.3 Statistiques des accidents

#### 3.3.1 Accidents au Québec

En 1990, le coroner en chef du Québec, constatant un nombre élevé de décès dans les milieux de travail utilisant des chariots élévateurs (14 entre 1986 et 1990), ordonnait une enquête sur les risques associés à l'utilisation de ces véhicules. Le besoin d'information à ce sujet était par ailleurs soulevé par plusieurs associations sectorielles paritaires. Une analyse statistique menée par l'IRSST confirmait que plus de 1 000 travailleurs sont blessés chaque année lors du maniement de ces chariots [25].

Un pionnier dans le domaine de la sécurité, William Heinrich, a fait une recherche sur des milliers d'accidents de travail, et a conclu avec une étude statistique que pour chaque blessure très sérieuse, il y a 29 blessures moins sérieuses et 300 blessures mineures. Un peu plus tard, le concept de 6000 incidents ou opportunités d'accidents était ajouté à la pyramide pour plus d'illustrations de la probabilité des accidents. La figure 3.1 ci-dessous nous montre ce concept.

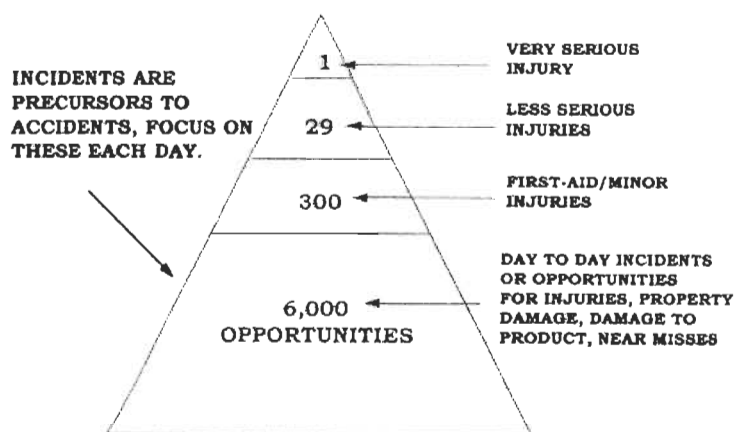


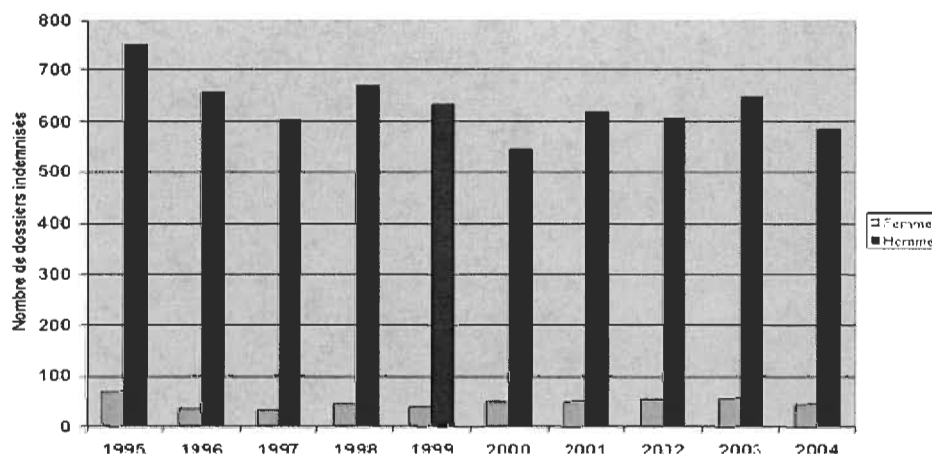
Figure 3. 1: Pyramide des blessures / le nombre incidents survenus [1]

Le tableau 3.1 ci-dessous présente les données sur les accidents et les maladies professionnelles indemnisés, survenus au Québec entre 1995 et 2004 (10 ans) selon l'agent causal « chariot élévateur ».

**Tableau 3.1: Coûts des accidents causés par des chariots élévateurs (CSST-2005)**

	<b>Totaux</b>	<b>Moyennes annuelles</b>
Nombre de dossiers d'indemnisation	6 812	681
Nombre de jours perdus	295 015	29 502
Somme des débours totaux	26 311 548 \$	2 631 155 \$

Le graphique ci-dessous présente l'évolution des accidents et maladies professionnelles indemnisés qui sont survenus au Québec entre 1995 et 2004 selon l'agent causal «chariot élévateur».



**Figure 3. 2: Évolution des accidents et maladies professionnelles indemnisés (CSST-2005)**

On voit qu'en plus des tragédies qu'occasionnent les chariots élévateurs chaque année, les coûts d'indemnisation des jours perdus et des dommages matériels sont très élevés.

### 3.3.2 Accidents aux États-Unis

Aux États-Unis, les évaluations d'OSHA montrent qu'il y a chaque année environ 85 morts causés par les chariots élévateurs, 34 900 blessés graves et 61 800 avec des blessures moins sérieuses. Selon l'ITA (Industrial Truck Association), il y a environ 855 900 chariots élévateurs aux États-Unis, ainsi plus de 11 % sont impliqués tous les ans dans un certain type d'accident. L'ITA signale également que la vie de ce genre de véhicule est de huit ans, ce qui signifie qu'environ 90 % de tous les chariots élévateurs seront impliqués dans un certain type d'accident pendant leur durée de vie [33].

**Tableau 3.2: Répartition des accidents selon l'agent causal [32]**

<b>Accident impliquant les chariots élévateurs</b>	<b>Pourcentage</b>
Basculement	42,0%
Écrasement entre le véhicule et une surface	25,0%
Écrasement entre deux véhicules	11,0%
Heurtés ou touchés par une fourche d'élévation	10,0%
Frappé par le matériel en chute	8,0%
Chute de charges	6,1%

Le manque de visibilité due à plusieurs facteurs, contribue d'une manière significative aux d'accidents des chariots élévateurs (tableau 3.2).

Parmi ces facteurs, on retrouve :

- La conduite en marche arrière dans une aire de travail non protégée.
- Les angles morts.
- Les carrefours et portes d'accès obstrués, etc.

**Tableau 3.3: Répartition des accidents selon le type d'industrie [32]**

<b>Types d'industrie</b>	<b>Pourcentage</b>
Fabrication d'équipements	42,0%
La construction	23,8%
Les commerces de gros	12,5%
Le transport	11,0%
Le commerce de détail	9,0%
L'exploitation	1,2%

Les études prouvent que la plupart des accidents peuvent être empêchés par une meilleure formation. Elle peut également réduire la sévérité d'un accident (OSHA). Le graphique ci-dessous présente une répartition de 215 accidents graves ou mortels selon la nature de l'opération effectuée au moment où la victime fut frappée par le chariot élévateur à contrepoids :

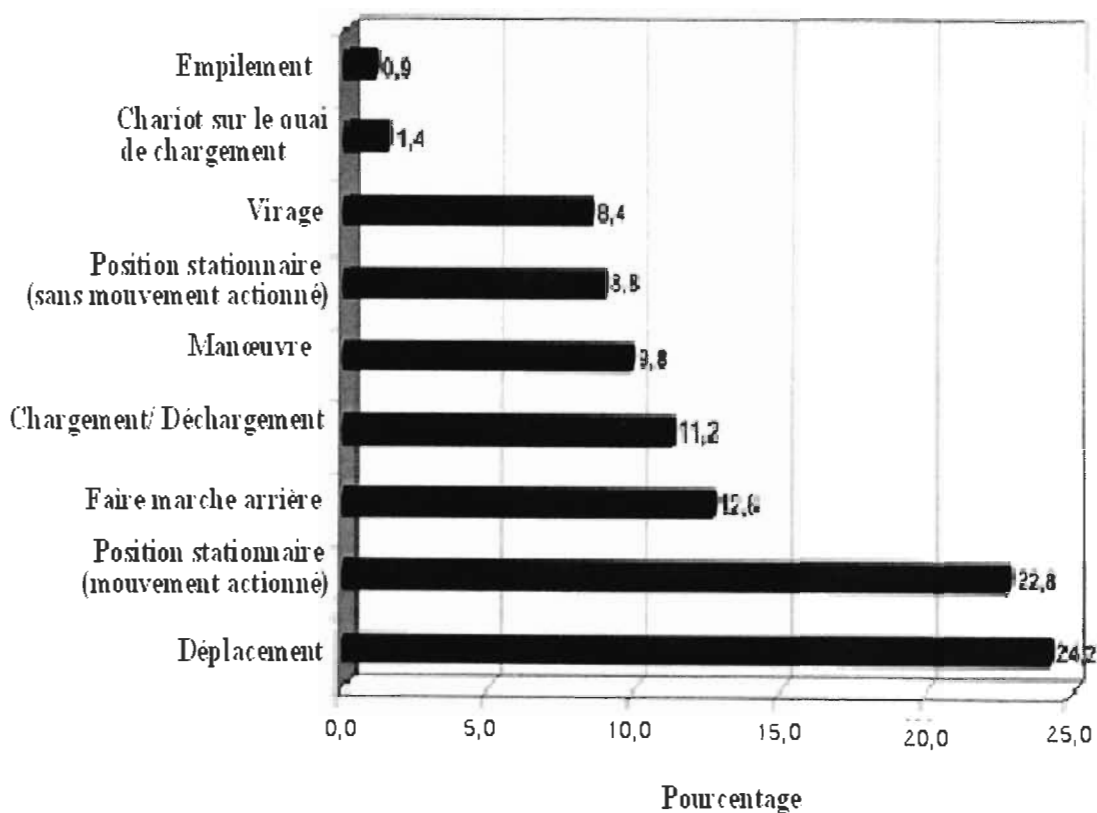


Figure 3. 3: Répartition d'accidents selon la nature de l'opération effectuée [24]

### 3.3.3 Accidents en Australie

Chaque année en Australie, un nombre important d'opérateurs de chariots élévateurs et de travailleurs est impliqué dans des accidents de travail. Selon NOH&S (National Occupational Health & Safety), il y avait 1231 réclamations liées aux accidents de chariots élévateurs en Australie pour la période 1996/1997.

**Tableau 3.4: Répartition des accidents selon l'agent causal [34]**

<b>Accident</b>	<b>Pourcentage</b>
Basculement	25,3%
Collision avec autre chariot	18,8%
Chute de charges	14,4%
Monte sur des fourchettes	12,2%
Tomber du dock	7,0%
Entretien	6,1%
Panne	4,4%

Le tableau 3.5 présente la répartition de 50 accidents survenus en Australie, (État de Victoria seulement) entre 1985 et 2003 selon l'agent causal « chariot élévateur ».

**Tableau 3.5: Le pourcentage des accidents survenus selon l'agent causal [34]**

<b>Nature d'accidents</b>	<b>Pourcentage</b>
Piéton écrasé par la charge	28%
Opérateur écrasé lors du renversement du chariot	16%
Piéton frappé lors de circulation du chariot	14%
Piéton frappé lors de manœuvres du chariot	14%
Opérateur écrasé lors du déplacement du chariot	14%
Chute du chariot, des fourches ou de la charge	12%
Intoxication par les gaz d'échappement du chariot	2%



### **3.3.4 Accidents en Mauricie (Trois-Rivières)**

Afin de voir cette problématique de près et recueillir des données sur la conduite des caristes dans notre région, nous avons fait une visite à l'usine Kruger de Trois-Rivières qui est un leader dans le secteur industriel. Cette visite a été très riche en information. L'analyse ergonomique effectuée a permis de documenter les contraintes liées à la conduite des chariots élévateurs surtout à ce qui concerne le volet visibilité. Deux types de chariots différents ont été examinés : un chariot électrique à contrepoids muni d'une fourche et un autre muni d'une pince. Des observations et entrevues, avec le responsable de la santé sécurité, ont permis de voir de près une problématique dans la section finition/expédition où les caristes entrent souvent en collision avec des colonnes par manque de visibilité devant le véhicule.

Le tableau 3.6 illustre les accidents causés par des chariots élévateurs, survenus dans cette usine, pendant la période 2002-2006.

**Tableau 3.6: Description d'accidents impliquant les chariots élévateurs survenus entre 2002-2006, Usine Kruger.**

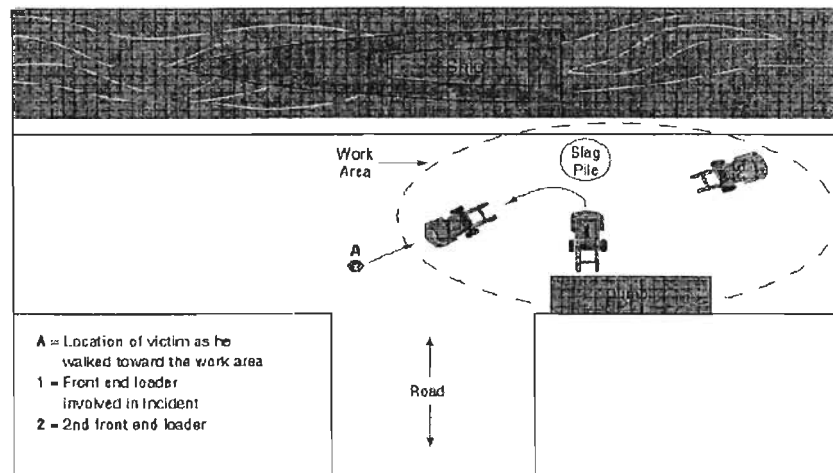
Date	Département	Chariot à pinces	Chariot à fourches	Description de l'accident
02 nov. 2002	Expédition		x	Chariot élévateur qui s'est retrouvé en appui sur le châssis.
27 déc. 2002	Emballage/ Expédition	x		Foncer avec le chariot dans une colonne de l'entrepôt
07 fév. 2003	Pâte Kraft		x	Éviter de justesse un piéton en tournant à l'arrière du tritrateur # 1.
24 mars 2004	Machine #4		x	Chariot en marche quand au même instant la porte sud de la sous-station nord s'est ouverte. Le chariot a foncé dans la porte et l'a refermée et a frappé la personne derrière celle-ci.
17 juin 2004	Méca. Machine #4		x	Le chariot a heurté la colonne c-25 parce qu'un boyau d'incendie n'avait pas été ramassé.
17 juin 2004	Finition / Expédition	x		Le cariste a heurté un mur alors qu'il était concentré à refermer la pince qui était trop ouverte.
02 juillet 2004	Expédition	x		Pendant le transport de rouleaux, au croisement du pont-levis, a rencontré un autre chariot élévateur, s'est rapproché du bord et a entré dans un poteau.
29 avril 2005	Entretien		x	Passer proche d'un piéton lors de déchargement d'une remorque à la porte # 9
13 mai 2005	Finition / Expédition	x		Après avoir déposé un rouleau, a reculé et est reparti d'avant mais n'avait pas vu la colonne (Colonne section 444 (structure))
02 aout 2005	Finition / Expédition		x	En virant le coin face à la porte # 9, il a frappé le poteau de protection.
09 aout 2005	Passage mch #2	x		Le cariste n'a pas vu la personne a/c, angle mort.
25 sept. 2005	Finition / Expédition	x	x	En reculant collision avec chariot de la machine # 4.
12 oct. 2005	Finition / Expédition	x		Entrer en collision avec colonne.
09 fév. 2006	Finition / Expédition	x		Après avoir déposé un rouleau, a reculé et est reparti d'avant mais n'avait pas vu la colonne.

### **3.4 Facteurs contribuant aux accidents**

Plusieurs facteurs liés au travail peuvent contribuer aux accidents. Ci-après les facteurs les plus fréquents :

- Angles morts ou obstructions à la visibilité du conducteur.
- Contraintes de production comme la vitesse et le stress.
- Mauvais entretien des chariots.
- Mauvaise technique de conduite en marche arrière.
- Mauvaise technique de conduite dans les virages.
- Mauvaise utilisation ou mauvais fonctionnement des dispositifs d'avertissement.
- Mauvaises communications lors des tâches partagées, ou dans les aires partagées.

La figure 3.4 nous montre un piéton qui se dirige vers la zone de travail des chariots élévateurs. Le cariste n'a pas vu la personne alors qu'il faisait une manœuvre de recul pour pouvoir aller chercher d'autres charges. Il a heurté mortellement la victime.



**Vehicle Accidents Summary No.2**  
**Incident Description:** Front-end loader #1 struck victim (A) while backing up.

**Figure 3.4: Accident survenu aux États-Unis [32]**

Les figures 3.5 et 3.6 présentent des situations de danger qu'on trouve dans le milieu industriel.



**Figure 3.5 : L'angle mort lors d'un déplacement en marche avant [12]**

La figure 3.5, nous montre l'angle mort en présence d'une charge. Le risque de collision dans ce genre d'opération est très élevé.

La vitesse présente aussi un réel danger. La figure 3.6 nous montre ce facteur qui fait beaucoup de victimes.



**Figure 3.6: Danger de la vitesse dans les aires de travail [12]**

### ***3.5 Coûts reliés aux accidents***

Les coûts engagés par les entreprises pour les accidents ne cessent d'augmenter. Les taux moyens de lésions et de maladies varient selon les secteurs de l'industrie et selon les entreprises d'un même secteur. En industrie certains secteurs sont plus dangereux que d'autres et il est donc naturel que leurs taux de lésions soient plus élevés. Toutefois, même parmi les entreprises qui ont des activités semblables, les taux de lésions et de maladies varient énormément. Dans les domaines d'activités les plus risqués, les entreprises les plus sécuritaires atteignent des taux de lésions et de maladies avec interruption de travail de

moins de 0,5 par 100 employés, soit six fois moins que la moyenne. Les entreprises de tous les secteurs ont donc la possibilité d'améliorer leur rendement en santé et sécurité. La plupart des entreprises qui obtiennent régulièrement de faibles taux de lésions et de maladies y arrivent grâce à de saines pratiques de gestion. Elles ont fait de l'investissement dans la santé sécurité un objectif d'affaires, non seulement pour les intérêts de leurs employés, mais aussi pour assurer leur succès et leur rentabilité.

### ***3.6 Conclusion***

En industrie il suffit de quelques incidents déplorables pour détruire la confiance envers une usine. À ce qui concerne les chariots élévateurs, la grande majorité des facteurs causant des accidents sont contrôlables. Avec la contribution de tous les intervenants dans le milieu industriel, beaucoup de vies seront sauvées et des millions de dollars épargnés.

## **CHAPITRE 4**

### **MESURE DE PRÉVENTION ET DESCRIPTION DU SYSTÈME DE DÉTECTION**

#### **4.1 Introduction**

Les détecteurs d'obstacles sont utilisés pour assister le cariste et l'informer sur la présence d'un objet sur son chemin. Ce chapitre présente une description détaillée des différents blocs qui constituent le système de détection, ainsi que les mesures de prévention à prendre.

Le système se compose de plusieurs blocs : bloc alimentation, bloc émetteur/récepteur, bloc interface de calcul et bloc d'affichage.

#### **4.2 Description du système de détection**

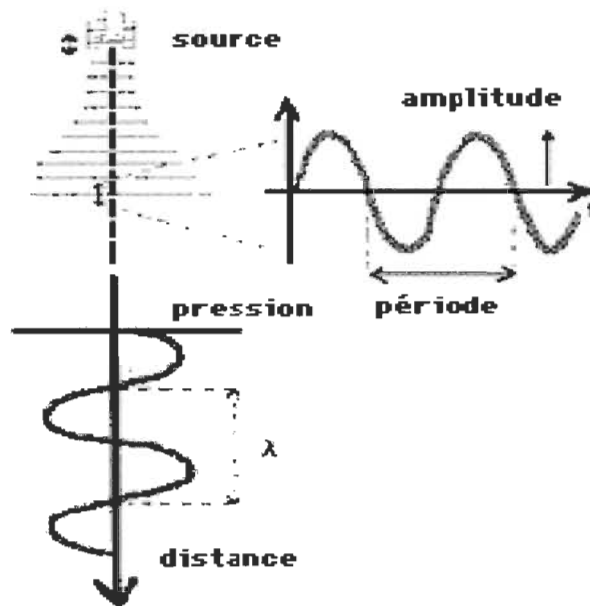
##### **4.2.1 Principe de détection**

Le principe du calcul de la distance est simple : il faut émettre une trame d'impulsion ultrasonore, et compter le temps d'attente à la réception. Étant donné que la vitesse du son est connue, on aura :

$$d = \frac{c * t}{2} \quad (3)$$

Divisé par deux, car le temps correspond à un aller - retour.

Une onde sonore est caractérisée par un mouvement d'ensemble des particules constituant le milieu de propagation. L'étude de la propagation des sons fait intervenir les lois physiques des modes de transfert de l'énergie mécanique, ainsi que de la mécanique des fluides, figure 4.1.



**Figure 4. 1: Représentation de l'onde ultrasonore en fonction du temps**

La vitesse à laquelle une onde sonore se déplace dans un matériau, vitesse appelée célérité  $C$ , est déterminée par la grandeur des forces qui lient les molécules entre elles.

La célérité dépend d'un facteur de compressibilité  $k$  (mesure de la résistance à la compression) et de sa masse volumique  $\rho$ , d'où :

$$C = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (4)$$

$C$  : célérité.

$K$  : facteur de compressibilité.

$\rho$  : masse volumique

Ces grandeurs varient en fonction de la température, la pression, l'élasticité, etc. et sont fortement interdépendantes les unes des autres. De ce fait, la propagation sonore va en dépendre également.



La célérité  $C$  d'une onde sonore se propageant dans l'air est donnée par la formule suivante :

$$c = 331 * \sqrt{\frac{T+273}{273}} \quad (5)$$

\* À 0°C la vitesse du son est de 331 m/s.

#### 4.2.2 Bloc alimentation

Pour alimenter notre dispositif une fois implémenté sur le chariot élévateur, on a besoin d'une tension de 5 V stabilisée. La tension d'entrée de 12V ou 24 V est assurée par la batterie du chariot. Le principe de fonctionnement est simple : on fournit à la carte une tension non stabilisée et il en ressort une tension parfaitement stabilisée qui sera appliquée à notre microcontrôleur. Le régulateur de tension 78(L) 05 répond parfaitement au besoin. Une LED permet de visualiser si la carte est sous tension, figure 4.2.

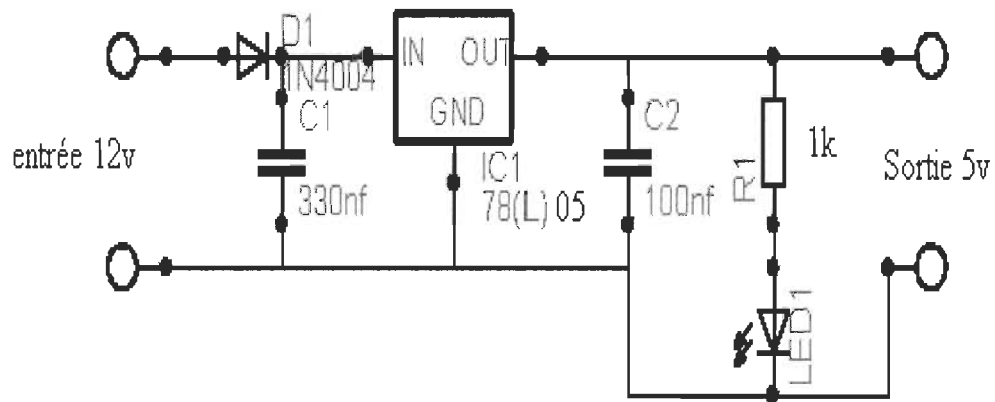
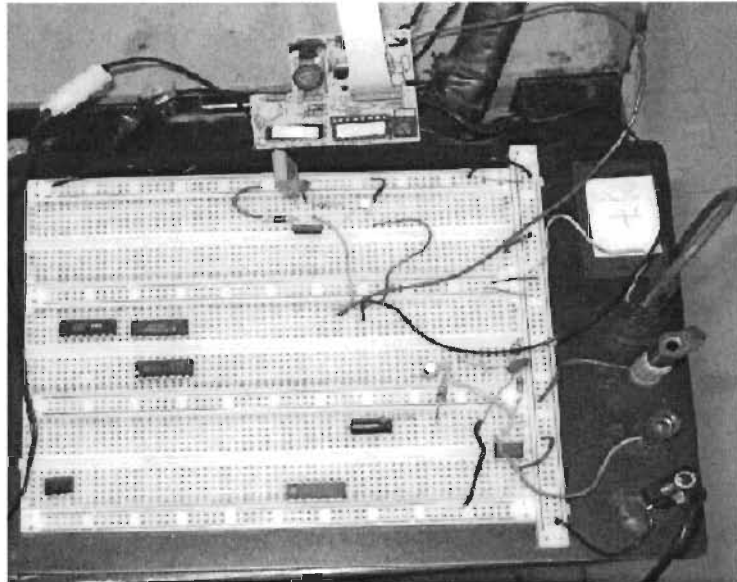


Figure 4. 2: Schéma électronique du régulateur de tension 78L05

La figure 4.3 montre le circuit réalisé sur une plaque d'essai.



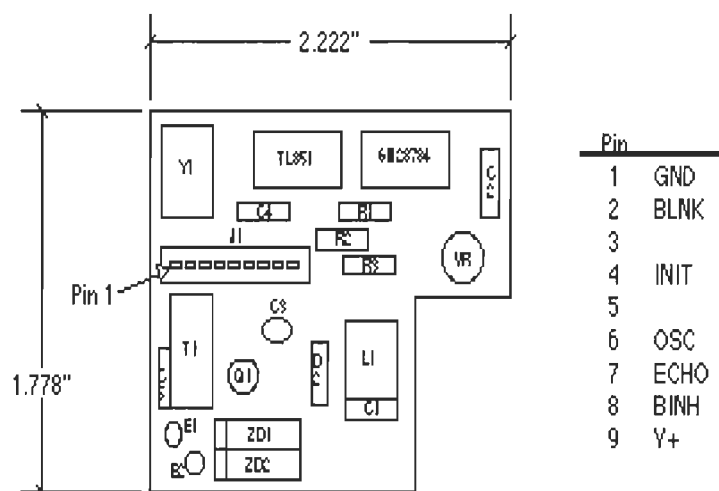
**Figure 4. 3: Régulateur de tension**

**- Composants de la carte :**

- 78L05
- Diode 1N4004 ou 1n4007
- Condensateur céramique 100nF
- Condensateur céramique 330nF
- Résistance cms (1206)
- Led 5mm

### 4.2.3 Le capteur polaroid 6500

On a choisi comme capteur le polaroid 6500, qui est un dispositif économique capable de commander tous les capteurs électrostatiques polaroid. Il est précis entre 6 pouces et 35 pieds. La figure 4.4 nous montre le circuit électronique du polaroid 6500.



**Figure 4. 4: Le module électronique du polaroid 6500**

Le sonar « POLAROID 6500 » a les caractéristiques suivantes, figure 4.5 :

- \* Fréquence de travail : 50 kHz
- \* Tension de commande : 400 V c. à c.
- \* Alimentation : +5 V
- \* Consommation :
  - Au repos : 100 mA
  - En émission : 2 A
- \* Horloge de précision intégrée 420 kHz.
- \* Amplificateur à gain et bande passante ajustables pour compensation du bruit.
- \* Dispositif sélectif de suppression d'échos indésirables.
- \* T° de fonctionnement : 0 à +40 °C.
- \* Dimensions : 52,5 x 45 mm.
- \* Mesure des distances de 15 cm à 11 m avec une précision de  $\pm 1$  %.

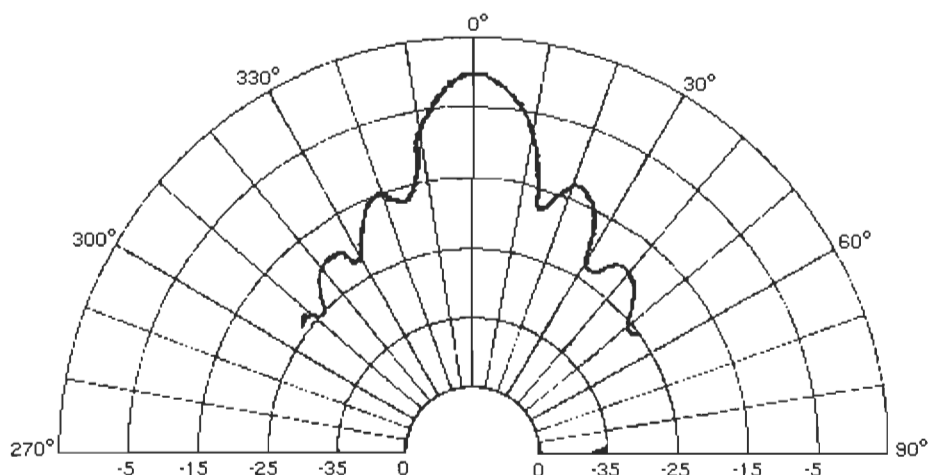


Figure 4. 5: Modèle typique de faisceau à 50 kilohertz du transducteur

#### 4.2.4 Bloc émetteur-récepteur

L'émetteur et le récepteur se trouvent dans le même boîtier du polaroid 6500.

La figure 4.6 représente le schéma électronique du sonar 6500.

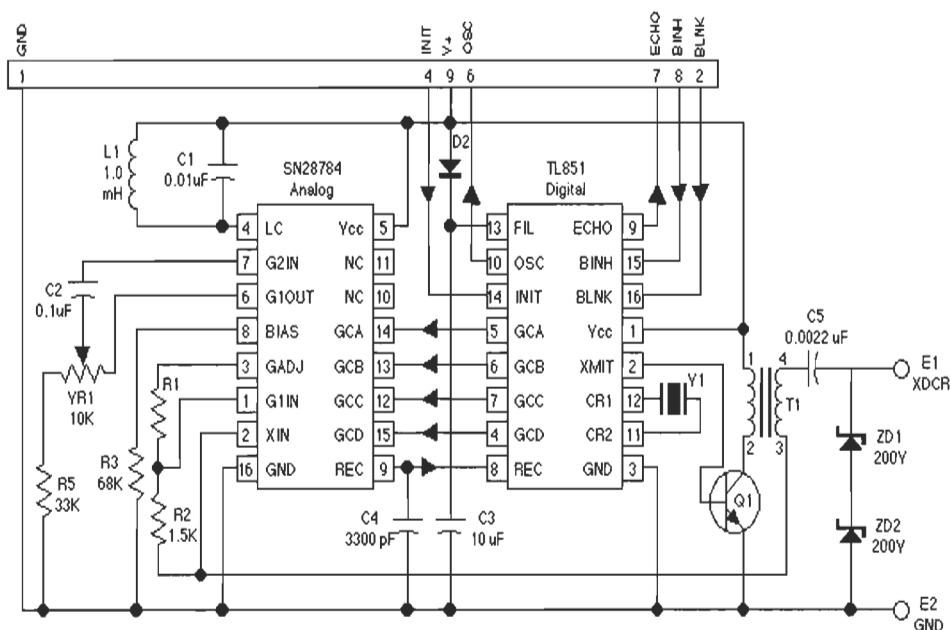


Figure 4. 6: Schéma électronique du sonar polaroid 6500

Ci-après une brève description du fonctionnement de ce module :

- Après la mise sous tension, il faut une temporisation de 5ms avant de pouvoir forcer le bit INIT au niveau haut, c'est-à-dire avant de pouvoir envoyer une première impulsion d'ultrasons.
- Les ultrasons sont envoyés sous la forme de 16 impulsions à 49 KHz de 400V d'amplitude.
- L'écho doit parvenir au module récepteur avant que le bit INIT ne soit retombé à sa valeur basse c'est-à-dire avant 38ms (temps limite de réception).
- Le circuit TL851 contient un compteur interne qui, si la distance à mesurer augmente, amplifie le gain et la bande passante grâce à un amplificateur analogique (le TL852). Ceci permet de capter les signaux pendant 38 ms.

La première étape de ce processus de détection c'est l'initialisation du sonar et du microcontrôleur, l'objectif de cette opération permet d'avoir une bonne communication entre le bloc de traitement et le bloc d'affichage/alarme. Une temporisation de 5ms entre la mise sous tension et l'envoi de la première impulsion est imposée par le constructeur du sonar. Dès l'émission de l'impulsion, le microcontrôleur compte le temps mis par les impulsions pour faire l'aller et le retour lors de la réflexion sur un obstacle. Après réception, le Timer contient l'information du temps de vol. Pour calculer la distance séparant le chariot de l'obstacle, il faut donc connaître la vitesse du son.

#### **4.2.5 Bloc alarme/affichage**

Ce circuit est conçu pour remplacer le PC lors de l'installation sur un chariot élévateur réel. La programmation du microcontrôleur permet la réalisation du calcul interne nécessaire à la détermination de la distance. À l'issue des conversions faites, la distance mesurée est affichée sur l'écran ACL. Le microcontrôleur supporte deux entrées seulement. Pour notre application on peut utiliser deux circuits, ou bien un autre modèle qui supporte les quatre capteurs en même temps (figure 4.7). Le dsPIC contient plusieurs blocs dont les

plus importants sont les compteurs, les buffers et une unité de traitement de données qu'on peut voir l'équivalent dans la figure 4.10.

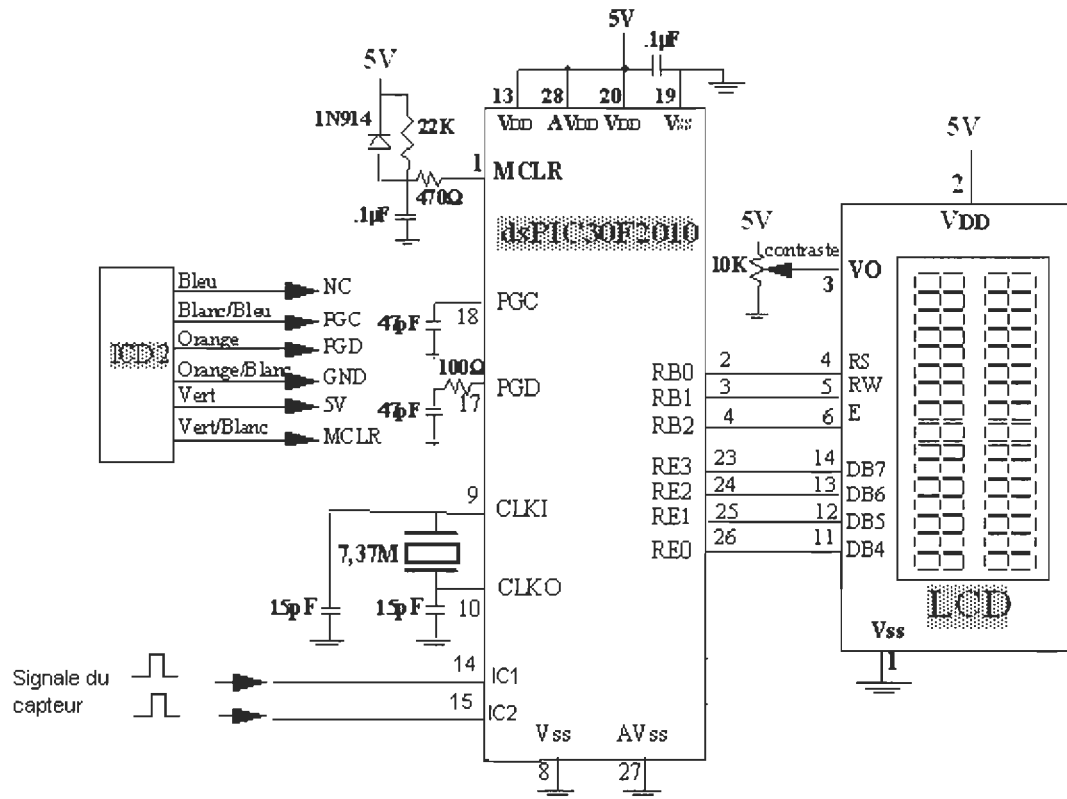
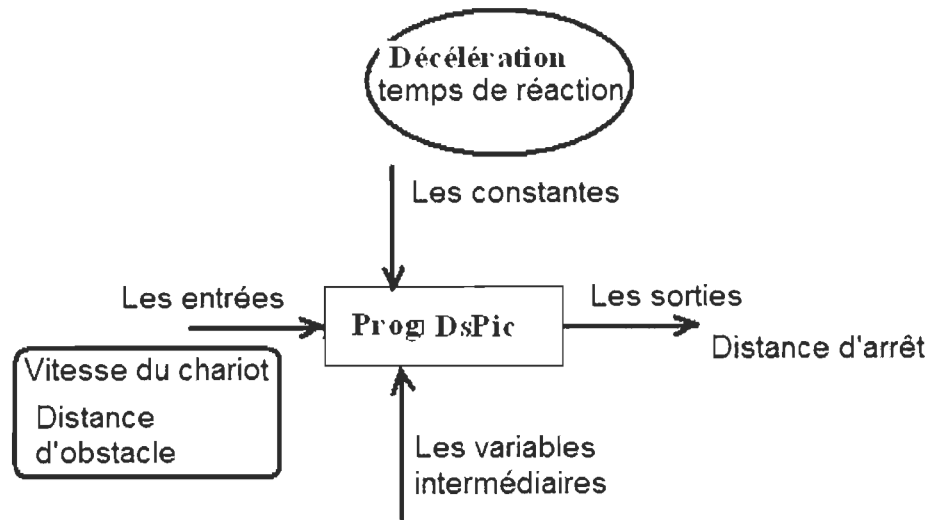


Figure 4.7: Schéma électronique du 'dsPIC30F2010'

#### Matériels utilisés :

- Logiciel MPLAB et programmeur ICD 2
- 1 dsPIC30F2010
- 1 diode 1N914
- 1 cristal de 7.37 MHz
- Résistances: 470  $\Omega$ , 100  $\Omega$ , 22K, 10x1K, 1 potentiomètre de 10K
- Condensateurs: 100  $\mu$ F, 2x1  $\mu$ F, 2x15pF, 2x47 pF
- 1 Afficheur LCD 2x16 caractères sur deux lignes

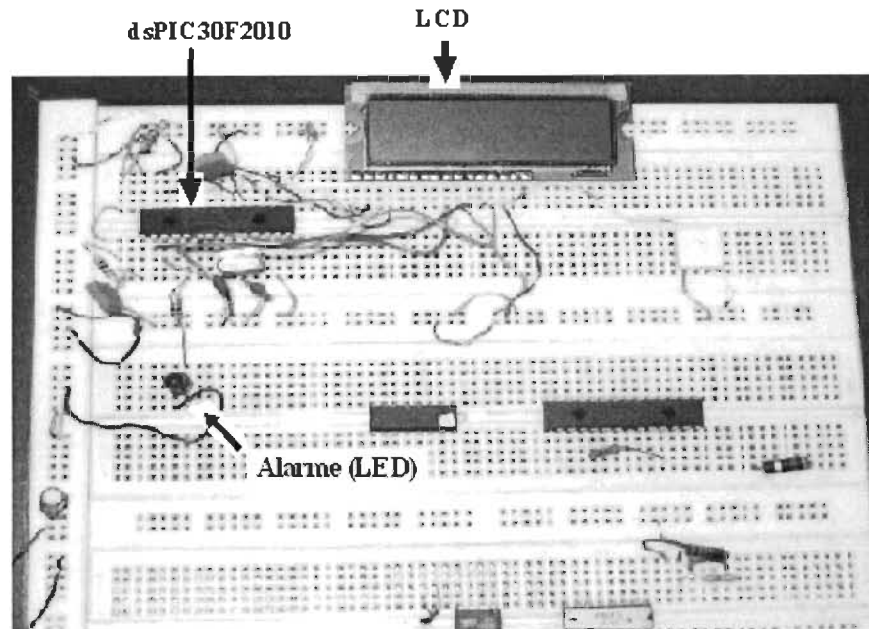
On a programmé le microcontrôleur avec le logiciel MPLAB, le programme au complet se trouve à l'annexe A. Après plusieurs tests on a pu ajuster le programme afin de faire fonctionner la carte en incluant les données désirées, figure 4.8.



**Figure 4. 8: Schéma de principe pour le calcul de la distance d'arrêt**

La figure 4.9 montre la réalisation pratique du circuit d'affichage, on peut voir les circuits principaux : le DsPIC 30F2010, l'écran LCD et l'alarme.

Le circuit d'affichage remplace le PC afin de permettre l'utilisation du système sur un chariot élévateur réel. Par contre, l'utilisation d'un ordinateur reste très pratique pour faire des tests au laboratoire puisqu'il supporte un nombre plus grand de capteurs utilisés.



**Figure 4. 9: Bloc Affichage / Alarme**

### ***4.3 Schéma global du système de détection***

Dans le schéma global du système de détection, figure 4.10, on peut voir les quatre capteurs polaroid, les compteurs ainsi que l'interface pour faire la liaison avec l'ordinateur ou l'écran ACL.

La première étape de ce processus de détection c'est l'initialisation du sonar et du microcontrôleur, l'objectif de cette opération permet d'avoir une bonne communication entre le bloc de traitement et le bloc d'affichage/alarme. Une temporisation de 5ms entre la mise sous tension et l'envoi de la première impulsion est imposée par le constructeur du sonar. Dès l'émission de l'impulsion, le microcontrôleur compte le temps mis par les impulsions pour faire l'aller et le retour lors de la réflexion sur un obstacle. Après réception, l'horloge contient l'information du temps de vol. Pour calculer la distance séparant le chariot de l'obstacle, il faut donc connaître la vitesse du son.



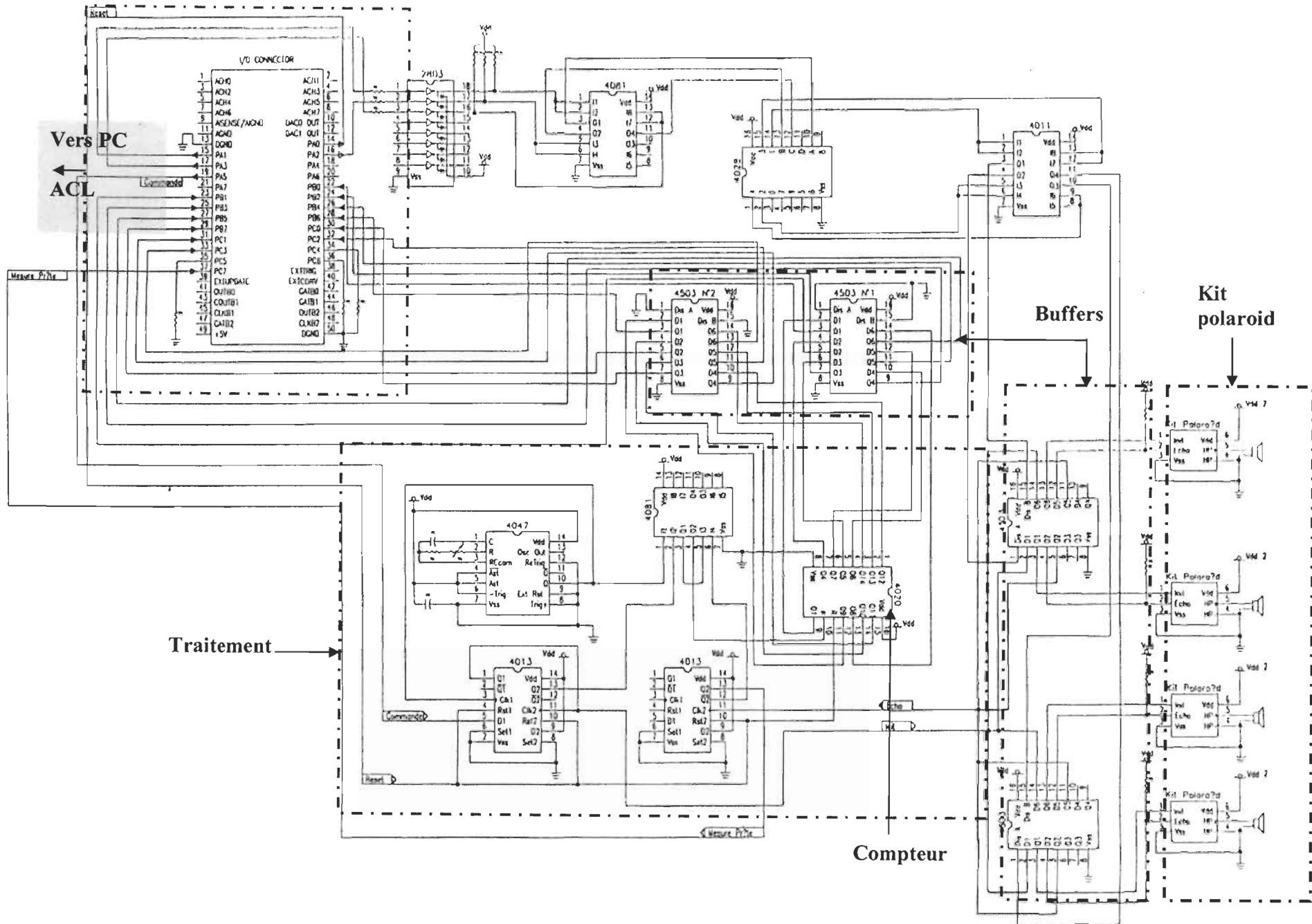


Figure 4. 1: Schéma global du système de détection

#### 4.4 Calcul de la distance d'arrêt

La distance d'arrêt nécessaire pour que le véhicule évite la collision change principalement en fonction de la vitesse, du temps de perception, du temps de réponse, du temps de réaction et du temps de freinage. Ce dernier répond aussi du coefficient de traction, du couple de freinage, des dimensions des pneus, et de la distribution du poids du chariot, etc. La norme ASME B56.1[4], présente une méthode pour calculer la distance d'arrêt afin de vérifier si les freins permettent d'arrêter le chariot chargé dans la distance requise, mesurée à partir du point où les freins sont appliqués et calculés selon les formules suivantes :

$$S = \frac{3.34V^2}{D} \quad (1) \quad S_1 = \frac{0.394V_1^2}{D} \quad (2)$$

Où

S= distance d'arrêt théorique approximative, en pi.

V= vitesse, mph.

D= effort retardateur au crochet, selon les données de la figure 4.11 en pourcentage. D représente la capacité effective de freinage d'un chariot en fonction de la vitesse maximale [4].

S<sub>1</sub>= distance d'arrêt théorique approximative, en m.

V<sub>1</sub>= vitesse, en Km/h

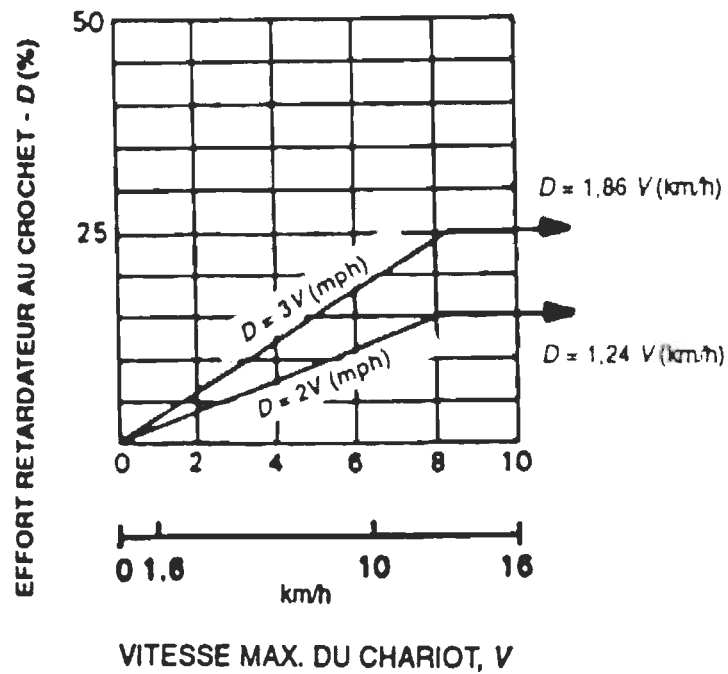


Figure 4. 12: Capacité de freinage requise-frein de service [4]

La figure 4.11 représente l'effort retardateur au crochet en fonction de la vitesse maximale pour deux types de chariots :

(a) Les chariots à petite levée et à grande levée, à l'exception des chariots à poste de conduite élevable, à grande levée ( $D=1.86 V$  (km/h)).

Sans qu'il soit nécessaire d'excéder 25 %.

(b) les chariots à poste de conduite élevable à grande levée ( $D= 1.24 V$  (km/h))

Sans qu'il soit nécessaire d'excéder 15 %.

## **4.5 Mesure pour une prévention pratique des accidents**

L'analyse des accidents du tableau 3.6, nous donne une idée sur la diversité des causes d'incidents. Cela nous mène à établir une démarche pour reconnaître les dangers qui existent sur les lieux de travail [5] [17] [25].

*- La première étape consiste à mener une évaluation pertinente et suffisante des risques:*

- Identifier les dangers associés aux activités faisant intervenir les chariots élévateurs, par exemple : chargement et déchargement. Se demander quel accident peut se produire et pourquoi? Des personnes risquent-elles d'être percutées ou de se faire écraser?
- Identifier les personnes potentiellement exposées à ces différents risques. La liste inclura notamment les conducteurs, les autres travailleurs, et les visiteurs.
- Identifier les situations dangereuses, évaluer les risques, les dommages encourus et leurs gravités. Les mesures de prévention existantes sont-elles suffisamment efficaces ou doivent-elles être renforcées?
- Réévaluer périodiquement les risques, en particulier en cas de changements, par exemple: nouveaux véhicules, modifications de voies de circulation. La priorité doit être donnée à la mise en place de mesures collectives d'élimination des risques, telles que l'amélioration de la conception et de l'aménagement du lieu de travail en vue de minimiser les accidents. Une signalisation appropriée peut être utilisée comme remède lorsque les risques ne peuvent être éliminés.

*- La deuxième étape étant le choix des mesures préventives qui peuvent être résumées comme suit:*

- Sécurité du lieu de travail et de l'exécution des manœuvres.

- Éviter d'avoir à effectuer des marches arrière en améliorant l'aménagement du lieu de travail en utilisant des moyens d'exécution permettant d'effectuer la manœuvre en toute sécurité.
- S'assurer que les moyens d'exécution permettent de charger et de décharger les produits en toute sécurité.
- Veiller à ce que l'aménagement des voies de circulation soit adapté aux activités des véhicules et des piétons. Chaque fois que cela est possible, isoler le trafic des véhicules du trafic piédestres.
- Une signalisation et des dispositifs d'avertissement adéquats doivent être mis en place.
- Veiller à ce que des passages piédestres adaptés soient en place sur les voies de circulation des véhicules. Envisager la mise en place d'un système de circulation à sens unique en vue de réduire le risque de collisions.
- S'assurer que les voies de circulation sont adaptées aux types et à la quantité des véhicules qui les empruntent. S'assurer que celles-ci sont suffisamment larges et que le revêtement des sols est maintenu en bon état.
- Éliminer les obstacles dès que possible. Exemple : Le chariot a heurté la colonne c-25 parce qu'un boyau d'incendie n'avait pas été ramassé, tableau 3.6.
- Installer des miroirs fixes au niveau des virages sans visibilité. S'assurer de la présence de dispositifs de sécurité adaptés.
- Des panneaux de direction, de limitation de vitesse et de priorité peuvent se révéler nécessaires. Déterminer si des limitations physiques de vitesse telles que des ralentisseurs sont nécessaires. Des programmes d'entretien préventifs sont nécessaires pour les chariots.

Les conducteurs doivent effectuer des contrôles de sécurité de base avant d'utiliser les véhicules, par exemple, un contrôle des freins et de l'éclairage avant chaque relève.

- S'assurer que l'éclairage et la visibilité permettent de traverser les lieux de travail en toute sécurité. Les dangers potentiels, comme les intersections, les piétons et les obstacles, doivent être parfaitement visibles. Le port de vêtements à haute visibilité peut être nécessaire pour les conducteurs et/ou les piétons si ces derniers ne peuvent être suffisamment isolés.

## **4.6 Conclusion**

Le système de détection réalisé utilise la technologie présentement disponible sur le marché que ce soit en termes de composants programmables tels que les microprocesseurs ou de logiciels informatiques. Il répond à l'objectif de cette étude et préconise un premier pas vers l'utilisation de la technologie ultrasonore pour assister les conducteurs des chariots élévateurs lorsque la visibilité est réduite.

## **CHAPITRE 5**

### **ESSAIS EXPÉRIMENTAUX ET RÉSULTATS OBTENUS**

#### ***5.1 Introduction***

L'objectif de cette partie du travail est de démontrer l'efficacité des capteurs ultrasonores pour détecter la présence d'obstacles et agir comme assistant au cariste. De ces essais, on vérifie la précision des mesures et on met au point les améliorations si nécessaire. Les tests sont effectués dans trois endroits différents : le laboratoire de simulations électroniques, le corridor du premier étage et le sous-sol du pavillon Léon-Provencher. On a entamé les démarches auprès du service d'équipement de l'UQTR pour nous procurer un des chariots utilisés au sein de l'université.

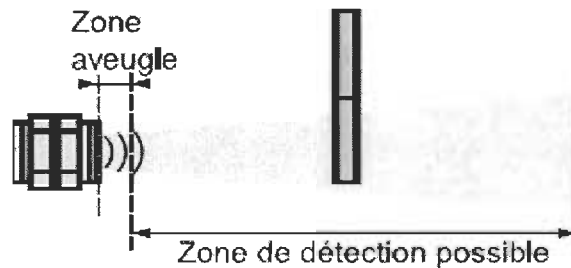
On peut résumer ci-dessous les démarches expérimentales pour les tests de notre dispositif :

- Vérification du fonctionnement du dispositif ;
- Mesure de la distance qui sépare le chariot de l'obstacle;
- L'affichage de cette distance sur un écran ACL;
- Vérification de la fiabilité de la détection;
- Vérification de l'influence de la température et de l'humidité sur la précision;
- Estimation de la distance d'arrêt.

#### ***5.2 Principe de mesure***

Un son bref est émis. Il se propage et atteint un obstacle. L'onde réfléchie sera captée. Et l'information va être traitée par le système qui nous donne la valeur du temps parcouru par l'onde et par la suite on peut calculer la distance qui sépare la source de

l'objet détecté. Une alarme visuelle sera déclenchée dès que le chariot se rapproche de l'obstacle à une distance bien déterminée.



**Figure 5. 1: Différentes zones de détection**

- Zone aveugle : Zone comprise entre la face sensible du détecteur et la portée minimale dans laquelle aucun objet ne peut être détecté de façon fiable. Il est impossible de détecter correctement les objets dans cette zone.
- Zone de détection : domaine dans lequel le détecteur est sensible.

Le programme conçu calcule la distance de sécurité en fonction de la vitesse. Et pour simuler des vitesses plus élevées comme dans les cas des chariots à fourches ou à pinces utilisés largement dans les usines, on a utilisé un autre programme, car notre chariot a une vitesse maximale de 1.5 km/h environ.



### 5.2.1 L'effet de l'humidité et de la température sur les mesures

Ce travail de recherche concerne les chariots élévateurs qui opèrent à l'intérieur des bâtisses et circulent à basses vitesses. Par conséquent, il ne prend pas en considération les conditions environnementales, telles que le vent par exemple.

À l'aide de deux instruments de mesure, le thermomètre et l'hygromètre, on prélève la température et le taux d'humidité. Le tableau 5.1 présente les données obtenues.

**Tableau 5. 1: Mesure de la température et de l'humidité**

	Température (en °C)	Humidité (en %)
Laboratoire de simulations numériques	22	24, très sec
Sous-sol	22	26, très sec
Corridor premier étage	22	20, très sec

On remarque qu'il n'y a pas de variation de température entre le laboratoire, le corridor et le sous-sol.

Pour l'humidité, l'hygromètre mesure un taux qui varie entre 20 et 26 pour cent. Cela est considéré comme un environnement très sec. Ce qui signifie que l'influence de cette grandeur est très négligeable.

On utilise la formule (5) pour calculer la célérité  $C$  de l'onde sonore selon la variation de la température, et on aura :

- À 22°C :  $C = 344 \text{ m/s}$

S'il y avait une variation de température de quelques degrés, par exemple 27°C, on aurait une célérité de 347 m/s. Cela ne va pas être considéré comme très nuisible pour la détection. En effet, ce changement de température produit une erreur considérée acceptable

pour notre application, alors qu'en robotique cela posera des problèmes surtout pour les passages étroits.

### 5.2.2 Essais effectués au laboratoire

Au laboratoire d'électronique, la température est de 22°C. Pour les tests de fiabilité, on prend des mesures pour détecter l'obstacle, avec un pas de 20 cm. L'opération se répète 5 fois afin de vérifier la fidélité et la sensibilité du capteur. Au total 125 mesures étaient prises, on a pris la moyenne pour tracer la courbe de la figure 5.2.

La même opération est répétée avec une personne qui simule l'obstacle. Les résultats étaient presque identiques.

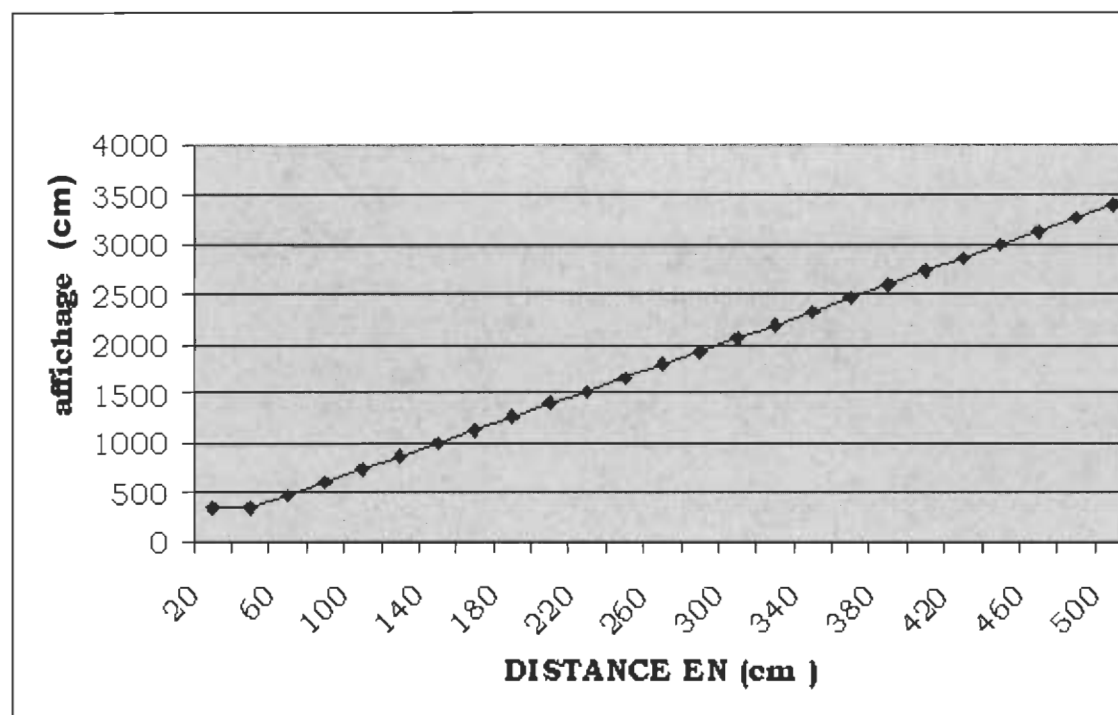
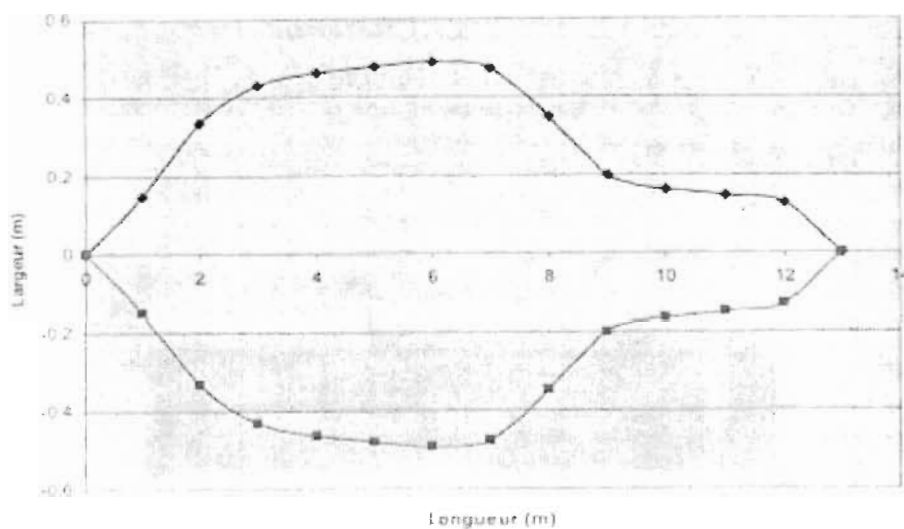


Figure 5. 2: Mesure de la distance réelle versus distance affichée

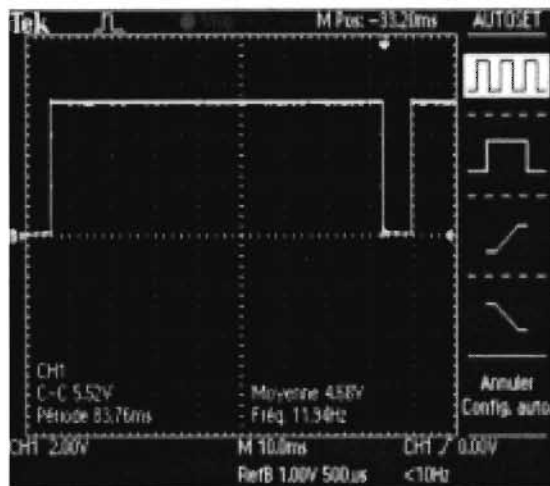
On voit sur la figure que la courbe est linéaire et qu'elle est de la forme :  $y = 6.6 x + b$ .

Ce même résultat a été obtenu en utilisant un autre logiciel appelé SAS System. Les résultats obtenus démontrent la sensibilité et la fiabilité du capteur puisque les valeurs réelles et celles obtenues sur l'afficheur sont presque identiques pour les différents tests. On peut voir aussi sur la figure 5.2, que le capteur n'est sensible qu'à partir d'une distance déterminée et qui représente la zone aveugle. Cette distance est d'environ 39 cm. La figure 5.3 illustre la forme de l'onde sonore

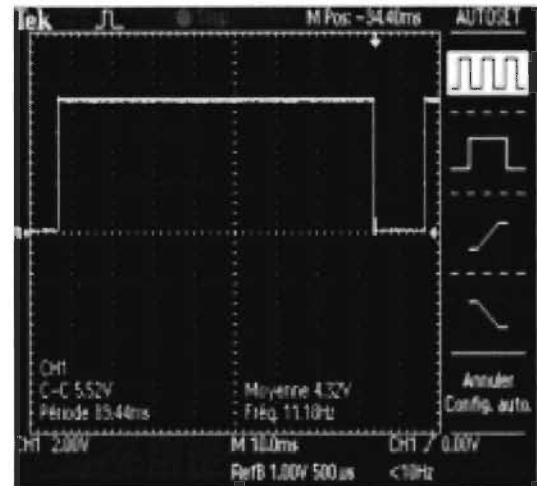


**Figure 5. 3: Forme de l'onde ultrasonore d'un capteur [38]**

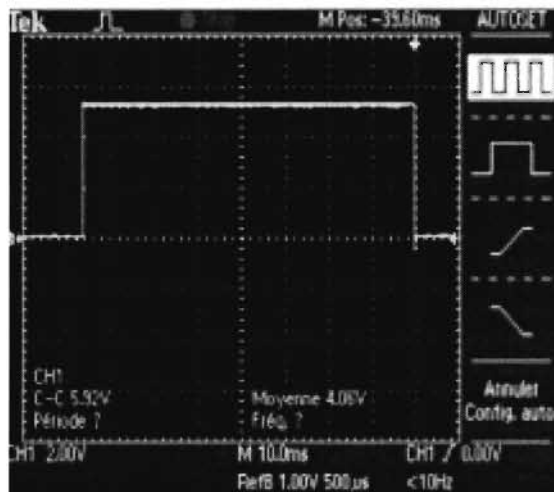
Les mêmes mesures étaient effectuées en utilisant un oscilloscope. Les schémas de la figure 5.4 nous montrent que la valeur de la période du signal utile est la même durant tous les tests. Ces mesures sont nécessaires afin de vérifier la sensibilité et la fiabilité du système. Les mesures ont été prises sur la pin numéro 7 du module Polaroid, cette dernière représente le signal ECHO, voir figure 4.5 du chapitre précédent. Les résultats sont concluants, le dispositif est fiable.



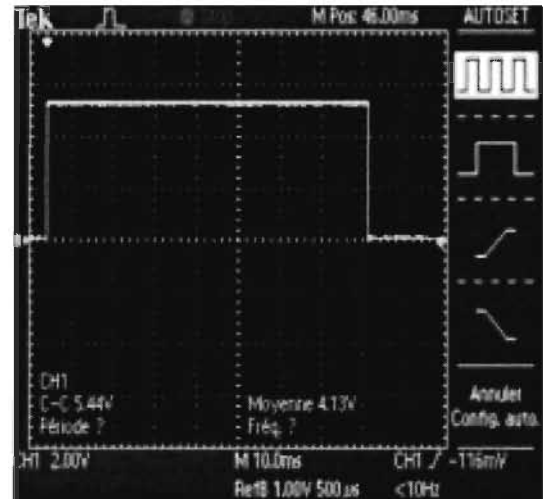
(a)- obstacle à 2 m



(b)- obstacle à 4 m



(c)- obstacle à 6 m



(d)- obstacle à 8 m

**Figure 5. 4: Mesure de la période pour différentes distances**

On a trouvé que le dispositif suit parfaitement le déplacement de l'obstacle, et après la répétition des tests à plusieurs reprises et en les comparant avec les valeurs réelles, on a trouvé les mêmes résultats, d'où la fiabilité du système.

### 5.3 Déroulement des essais

Le but de ces essais est d'implanter adéquatement les capteurs sur le chariot transpalette pour vérifier la fiabilité du système lorsque le chariot est en mouvement, puis comparer les résultats avec celles obtenues au laboratoire.

Des essais sont effectués dans différentes situations et selon la nature de l'obstacle :

- Obstacle fixe, figure 5.5 (a),(b) et (d).
- Obstacle en mouvement, figure 5.5(c).



a- une boîte  
en carton



b- un contenant  
en métal



c- une personne



d- une colonne  
en carton

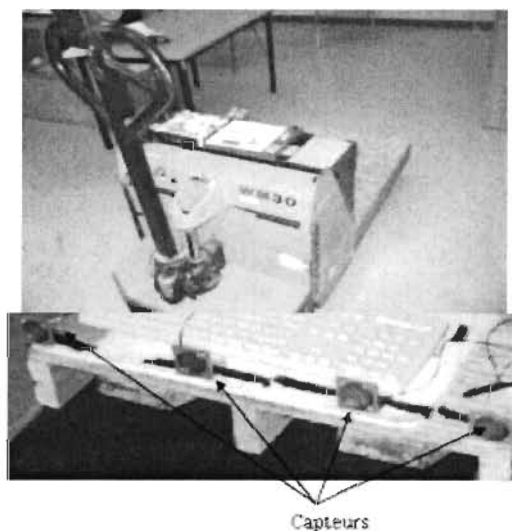
**Figure 5. 5: Nature des obstacles utilisés pour les tests**

La figure 5.5, montre les différents obstacles utilisés durant les tests. La figure (a) représente une boîte en carton. Dans la deuxième figure (b) un autre obstacle en métal de forme cylindrique. Le troisième obstacle de la figure(c), c'est une personne en mouvement. La dernière figure (d) simule les colonnes qui se trouvent à l'usine Kruger. Les tests sont effectués au sous-sol de l'UQTR qui est plus spacieux et se rapproche de l'environnement réel.

Il faut noter que l'environnement où opère le chariot élévateur change d'un milieu industriel à un autre, de même que le bruit ambiant qui peut atteindre un niveau élevé dans certaines sections de l'usine.

### 5. 3.1 Implantation des capteurs

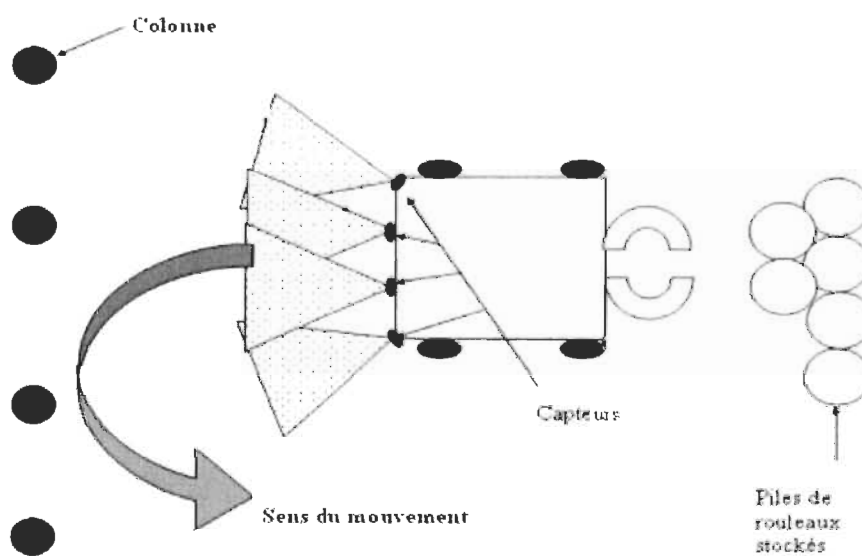
On implante les quatre capteurs sur le chariot motorisé à conducteur accompagnant (transpalette). C'est un chariot électrique qui n'est pas bruyant. Il est utilisé par le service de messagerie de l'UQTR pour le transfert de courrier. Les capteurs sont placés en ligne avec une distance de 25 cm qui sépare chaque capteur du capteur adjacent (figure 5.6).



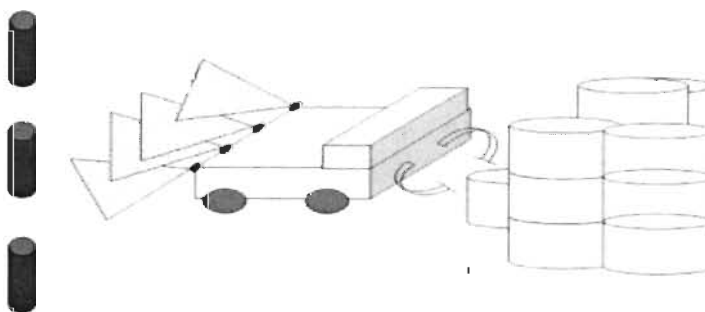
**Figure 5. 6: Chariot motorisé à conducteur accompagnant**

### 5. 3.2 Manœuvre de recul et situation à risque

On va positionner et diriger les capteurs de telle sorte qu'une large surface en arrière du chariot soit couverte. Cela va contribuer à éviter les collisions lors de manœuvres de recul. On peut voir sur la figure 5.7 un chariot à pince effectuant les emplacements de rouleaux. En reculant en arrière pour aller chercher d'autres rouleaux, les caristes heurtent souvent des colonnes.



(a) vue de haut



(b) vue de profil

Figure 5. 7: Chariot effectuant une manœuvre de recul

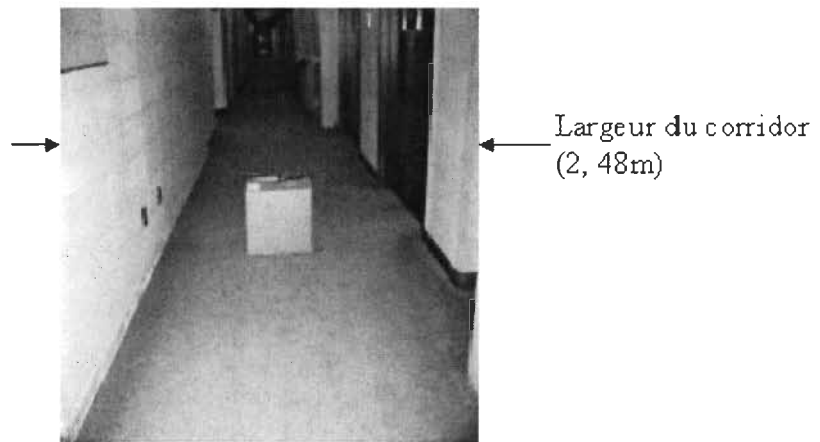
Une fois que le dispositif sera implémenté sur le chariot, le système va mesurer la distance de sécurité en fonction de la vitesse, une lumière rouge s'allume pour l'avertir de la présence d'un obstacle lorsque la distance de sécurité mesurée est insuffisante pour effectuer un arrêt. L'alarme doit être placée de manière à ce qu'elle soit facilement vue. Aussi, grâce à l'afficheur, le cariste peut connaître la distance qui le sépare de l'obstacle. Cette information va l'aider à avoir des repères, et à améliorer son jugement en ce qui concerne les distances qui le séparent des obstacles fixes, comme les murs et les colonnes. Le système devra détecter les obstacles qui se trouvent dans la trajectoire du chariot. Mais il faut prévoir qu'avant d'aboutir à un résultat satisfaisant, on fera face à quelques difficultés parmi elles on peut citer:

- Plus le nombre de capteurs utilisés augmente plus le système devient complexe. Cela nécessitera l'utilisation d'un circuit d'affichage adéquat et une programmation du microcontrôleur pour le nombre de capteurs utilisés.
- L'implémentation des capteurs de manière à avoir une efficacité accrue vu le changement constant des conditions de travail d'un environnement à l'autre et aussi les dimensions des obstacles et les objets portés.
- Les faux déclenchements probables du détecteur sous l'effet du bruit ou des réflexions parasites des ondes sur les éléments autour du chariot, provoquant ainsi des échos qui sont interprétés comme des obstacles.
- L'influence de la température et de l'humidité sur les mesures.



Au corridor la température est aussi de 22°C au moment des tests, la même température que le laboratoire. On a refait les mêmes tests de fiabilité. Un autre facteur est entré en jeu : la largeur du corridor. Le capteur détecte l'obstacle qui est dans sa trajectoire. Mais vu la largeur du corridor qui est de 2,48 m, et qui devient 2 m de largeur si on prend en considération les casiers, il suffit d'une petite manœuvre à gauche ou à droite pour que le capteur détecte le mur et que l'alarme se déclenche.

On peut dire que plus les allées où le chariot va opérer sont étroites plus les faux déclenchements vont augmenter (figure 5.8).



**Figure 5. 8: Détection d'un obstacle (boîte en carton) au niveau du corridor**

Dans les endroits étroits, la caractéristique des ultrasons d'être évasifs sera un inconvénient, car on aura la détection des murs d'un corridor et non du fond de celui-ci. La détection ne tient compte que du premier écho, donc de l'objet le plus proche, qui n'est pas forcément sur la trajectoire initiale du chariot.

## **5.4 Mesures expérimentales (essais effectués au sous –sol)**

### **5.4.1 Mise en situation**

Dans cette partie du travail on implante quatre capteurs sur le chariot transpalette. Les essais vont être effectués en présence de plusieurs obstacles.

Après l'analyse du tableau 3.6 qui regroupe les différents accidents impliquant les chariots élévateurs survenus entre 2002-2006 à l'usine Kruger Trois-Rivières, on trouve que sur les quatorze cas enregistrés, treize accidents sont causés par le manque de visibilité. Le tableau 5.2 regroupe tous les accidents selon leur nature.

**Tableau 5. 2: Nature d'accident survenu (N=14)**

<b>Nature d'accidents</b>	<b>Nombre d'accidents</b>	<b>pourcentage</b>
Collision avec une colonne	7	50%
Basculement	1	7%
Heurter ou failli heurter une personne	3	22%
collision avec un autre chariot	1	7%
Collision avec un mur	2	14%

Quatre situations dangereuses dues au manque de visibilité peuvent causer un accident, d'où la nécessité d'utiliser un système de détection pour prévenir le conducteur de la présence d'un danger potentiel sur sa trajectoire.

### **5.4.2 Test de fiabilité en présence de plusieurs colonnes**

Les 4 capteurs sont disposés en ligne droite sur le chariot, rigoureusement alignés et parfaitement de niveau, ils sont numérotés de gauche à droite, de 1 à 4.

La figure 5.9 nous montre le chariot en train de faire une manœuvre de recul avec la présence de plusieurs colonnes.



**Figure 5. 9: Chariot effectuant une manœuvre de recul**

Le tableau 5.3 présente les données recueillies.

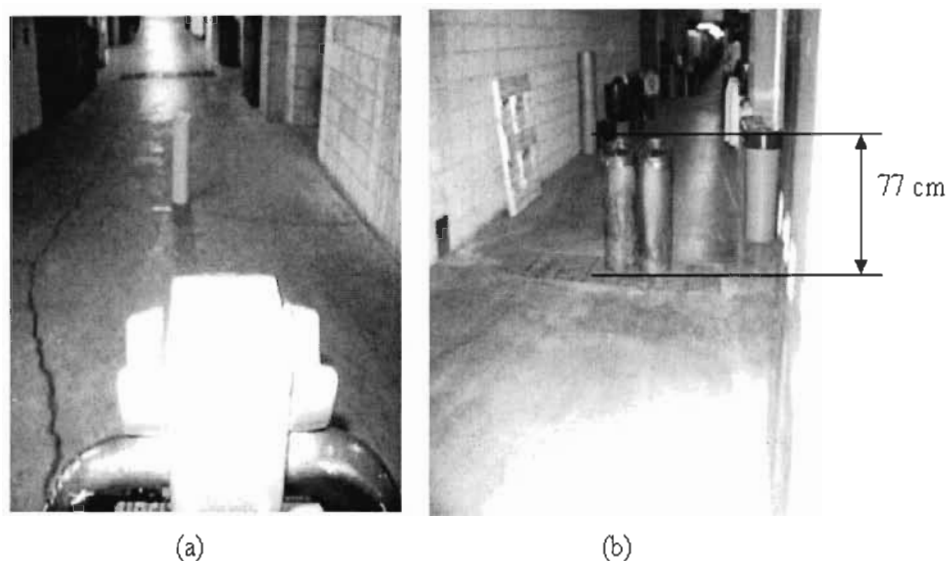
**Tableau 5. 3: Détection d'obstacle à proximité du chariot**

Capteurs	Nature d'obstacle détecté	Distance mesurée (m)
Capteur n°1	Une colonne	2.90
Capteur n°2	Une colonne	2.92
Capteur n°3	Le mur	5.35
Capteur n°4	Une colonne	2.58

Nous avons pu faire des arrêts sécuritaires dans toutes les situations, après le déclenchement de l'alarme. A noter que la vitesse de recul du chariot est faible, environ 1.5 km/h.

#### **5.4.3 Détection d'objets de natures et de hauteurs différentes**

On a fait plusieurs tests avec différents obstacles, on voit sur la figure 5.10 l'utilisation de deux objets de formes cylindriques, l'un en carton (a), l'autre en métal (b).



**Figure 5. 10: Détection d'objets de natures et de hauteurs différentes**

Pour l'obstacle de la figure 5.10 (a), ce sont les capteurs n° 2 et n° 3 qui ont pu le détecter. Par contre, les capteurs n° 1 et n° 4 n'ont pas pu le détecter. Et comme nous avons programmé le système pour déclencher l'alarme en prenant en considération la vitesse du chariot et la distance de l'obstacle, on constate la réponse du système en donnant largement le temps au cariste pour effectuer un arrêt sécuritaire. En se rapprochant de l'obstacle avec une vitesse d'environ 1km/h, l'alarme se déclenche alors que l'obstacle est à 90 cm du chariot; l'arrêt s'effectue à 27 cm de l'obstacle.

#### **5.4.4 Détection d'une personne en mouvement**

Cet essai vérifie le fonctionnement du dispositif pour la détection d'une personne en mouvement dans la trajectoire du chariot (figure 5.11). Le capteur détecte la personne à partir d'une distance de 11 m environ, valeur affichée sur l'écran. Cette distance représente la zone possible de détection. Lorsque le chariot se rapproche trop de la personne, le système mesure la distance nécessaire pour effectuer un arrêt sécuritaire déclenche l'alarme. Cette dernière est représentée sur la carte par une LED rouge.



**Figure 5. 11: Test de détection d'une personne en mouvement**

Les capteurs 2 et 3 ont pu détecter la personne. On a répété l'opération 2 fois de suite afin de prélever les mesures de chaque capteur, tableau 5.4.

**Tableau 5. 4: détection et mesure de chaque capteur**

Distance mesurée (m)	
Détection de la personne	
Capteur n°2	Capteur n°3
2.34	2.35
3.57	3.56
4.32	4.33
5.40	5.40
6.23	6.21
7.36	7.36
8.28	8.27
9.30	9.31
10.55	10.55
11.26	11.27

On voit que les mesures des deux capteurs 2 et 3 sont très proches. L'erreur vient du fait qu'on ne peut pas reproduire la même simulation quatre fois avec exactitude, en plus de

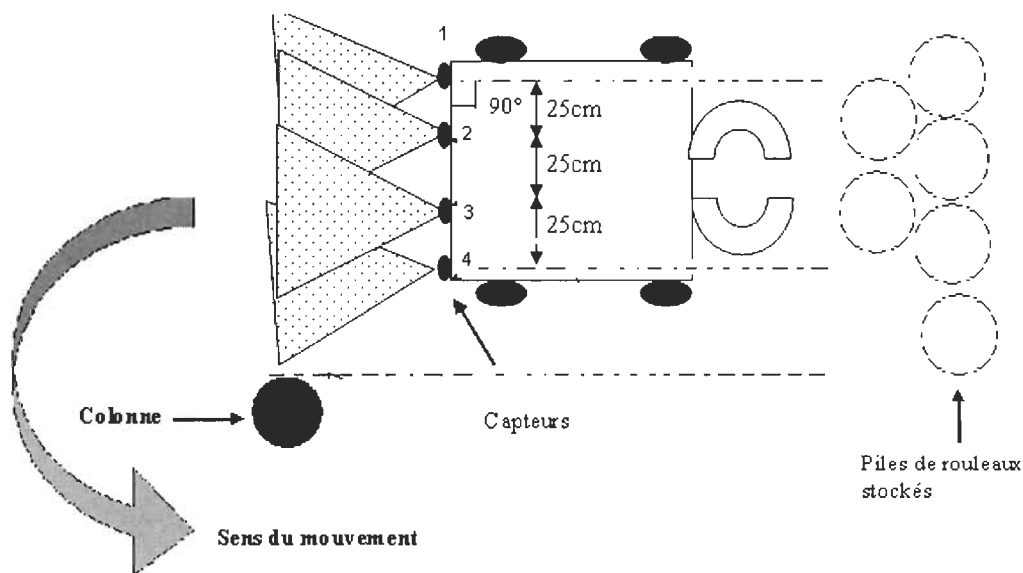
l'erreur de lecture. Les capteurs 1 et 4 n'ont pas pu détecter l'obstacle en question puisque qu'ils étaient dirigés légèrement vers les côtés.

#### **5.4.5 Simulation d'un exemple d'accident, cas de collision avec une colonne**

On prend l'exemple des accidents survenus dans l'usine visitée dans la section « Finition /Expédition ». Les opérateurs des chariots élévateurs à pinces entrent souvent en collision avec les colonnes qui se situent le long du département. Ils ne regardent pas en avant ou en arrière, du fait qu'ils se concentrent à ajuster la pince qui est trop ouverte après l'entreposage des rouleaux ou bien à cause de la fatigue.

Comme première intervention, les responsables de la santé sécurité ont peint ces colonnes en rouge, afin qu'elles soient plus visibles. Apparemment cette solution n'a pas résolu complètement le problème.

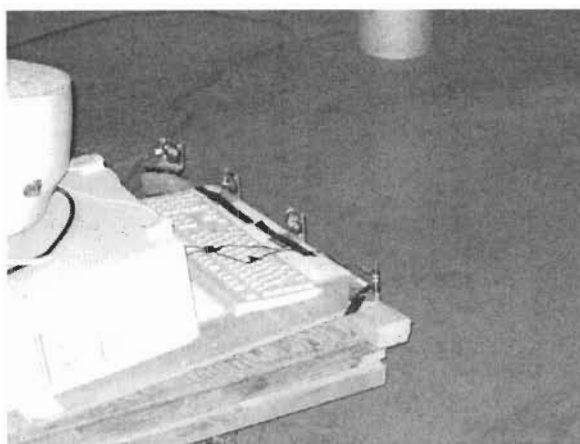
Les tests précédents ont démontré la fiabilité du système, mais il reste des zones non détectées par les capteurs de part et d'autre du chariot. On voit sur la figure 5.12 qu'au moment de recul avec une certaine courbure et avec la présence d'un obstacle qui se trouve en dehors de la surface balayée par les capteurs, le risque de collision est très élevé.



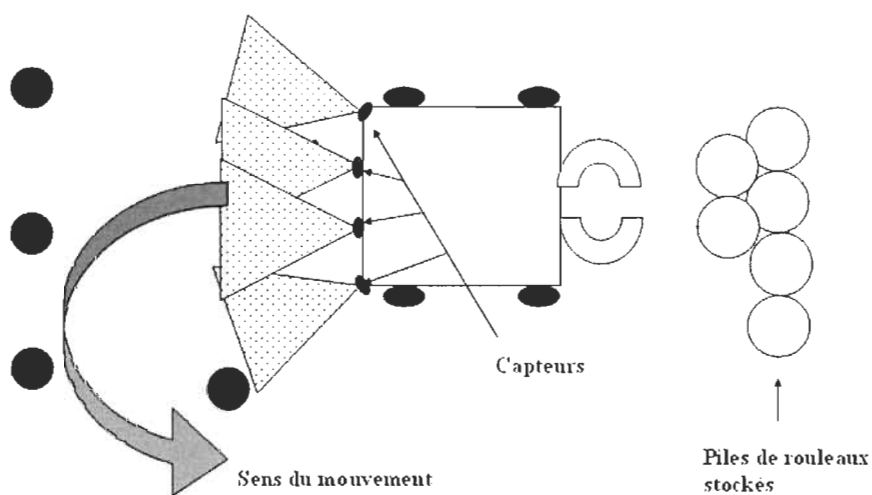
**Figure 5. 12: Colonne non détectée par un capteur**

Une autre configuration des capteurs de manière à augmenter la surface détectable à l'arrière du chariot est alors testée.

Les capteurs n° 1 et 4 sont dirigés avec un angle  $\alpha$  de 30°, 35° et 45°. Après plusieurs tests, on a choisi de prendre  $\alpha = 45^\circ$ . Cet angle permet de couvrir une large zone sur les côtés à condition que les corridors soient larges, figure 5.13.



(a) vue de profil



(b) vue de haut

**Figure 5. 13: Nouvelle configuration des capteurs**

En effectuant les tests avec cette nouvelle configuration, le dispositif a pu détecter les quatre colonnes. Les capteurs 1,2 et 3 détectent les trois colonnes plus loin, et le capteur n°4 détecte la colonne la plus proche à gauche du chariot. En reculant avec une certaine courbure, le dispositif a pu détecter la colonne et a déclenché l'alarme, alors qu'avec les



capteurs en ligne cela n'était pas possible vu que l'angle d'orientation de ceux se trouvant aux extrémités ne permet pas cette possibilité. On va voir dans le paragraphe suivant comment calculer la distance d'arrêt et les essais effectués avec le chariot électrique ainsi que les résultats des simulations.

### **5.5 Temps de réponse du cariste et distance d'arrêt**

#### **- Distance d'arrêt, temps de réaction et distance de freinage**

Lors d'un freinage d'urgence, le temps que met un véhicule à s'arrêter se décompose en deux parties.

- a) Le temps de réaction du conducteur (temps nécessaire au conducteur pour prendre conscience de la situation, et appuyer sur le frein).
- b) Le temps de freinage lui-même.

#### **- Distance d'arrêt $D_a$**

Pour calculer la distance d'arrêt d'un véhicule, on additionne la distance parcourue pendant le temps de réaction et la distance de freinage.

$$D_a = D_r + D_f \quad (3)$$

#### **- Distance de réaction ( $D_r$ ) parcourue pendant le temps de réaction**

La distance de réaction est la distance parcourue par un véhicule pendant le temps de réaction du conducteur. Après le déclenchement de l'alarme, le cariste a très peu de temps pour prendre conscience du danger et éviter la collision.

La formule donnant la distance parcourue pendant le temps de réaction est :

$$D_r = \frac{V}{3.6} * t_r \quad (4)$$

Avec :

$D_r$ : distance en mètres

$V$  : la vitesse (km/h)

$t_r$  : temps de réaction en seconde

On peut voir clairement que la distance de réaction est proportionnelle au temps de réaction.

**- Distance de freinage ( $D_f$ ) parcourue pendant le temps de freinage :**

La distance de freinage est la distance parcourue entre l'instant où le conducteur freine et celui où le véhicule s'arrête.

Soit  $V$  la vitesse du véhicule, la formule donnant la distance de freinage en mètres est :

$$D_f = \frac{V^2}{2 * a} \quad (5)$$

Avec :

$D_f$ : distance en mètres.

$V$  : la vitesse (m/s).

$a$  : la constante de décélération  $m/s^2$ .

Dans les meilleures conditions, pneus et freins en parfaits états, la constante ( $a$ ) est environ égale à  $8 m/s^2$ . D'autres études l'évaluent à  $5 m/s^2$ .

On considère que le temps de réaction moyen est d'une seconde environ et que la constante de décélération moyenne est de  $8 m/s^2$ , et on mesure la distance d'arrêt du chariot transpalette qui a une vitesse maximale de 1.5 km/h. D'autres études considèrent un temps de réaction moyen de l'ordre de 0,65 s [23], alors d'autres l'estiment à 1.08 s.

En utilisant les formules (3), (4) et (5) on obtient :

- $D_r = 0.42 \text{ m}$
- $D_f = 0.01 \text{ m}$
- $D_a = 0.43 \text{ m}$

On a fait une comparaison en utilisant les différentes variations du temps de réaction selon différentes vitesses, on peut voir les résultats au le tableau 5.6

En général, plus le temps de réaction du cariste et la vitesse du chariot sont faibles, meilleures sont les chances d'évitement. La distance de freinage est proportionnelle à la vitesse du chariot. On a mesuré la vitesse du chariot à conducteur accompagnant en calculant le temps parcouru pour une distance de 9 m. Le chronomètre a mesuré 5.91 secondes, ce qui nous donne une vitesse d'environ 1.5 km/h. C'est une très faible vitesse vu la taille et la nature d'utilisation de ce genre de chariots qui sont utilisés pour des applications légères. Dans des conditions réelles, la vitesse de recul des chariots à fourches ou à pinces peut atteindre 10 km/h. Dans une étude récente faite par Paine et Henderson [23] pour mesurer le temps de réponse et la distance d'arrêt d'un véhicule reculant à différentes vitesses, on voit sur la figure 5.14 la distribution du temps de réaction d'un conducteur effectuant une manoeuvre de recul. En considérant un temps de réaction moyen de l'ordre de 0,65s et une vitesse de recul de 5 km/h, le véhicule aura parcouru 0,90 m avant que le conducteur ne réagisse au signal d'alarme. Si le temps de réaction est de 2 s, le véhicule aura alors parcouru 2,7 m avant le freinage.

Dans notre cas, et avec une vitesse maximale de 1.5 km/h du chariot transpalette, il est parfaitement possible au conducteur d'éviter la collision si l'alarme le prévient à 1 m de l'obstacle (tableau 5.6).



**Figure 5. 14: Temps de réaction du conducteur à l'alarme**

Le tableau 5.5 [23], nous donne le pourcentage de chance d'évitement en prenant en considération les hypothèses suivantes :

- La distribution du temps de réaction du conducteur comme illustrée à la figure 5.14.
- Un temps de réponse de 0.2 s (un des caractéristiques des capteurs). Lorsqu'il reçoit le signal, le capteur ne réagit pas instantanément, mais après un certain temps selon sa sensibilité..
- Décélération moyenne  $5 \text{ m/s}^2$ .

Cette étude prend 95% comme niveau souhaitable de chance pour éviter une collision. Un principe de base approximatif est que la vitesse de recul en km/h, ne devrait pas excéder deux fois la distance de détection en mètres. L'analyse suggère qu'une distance de détection de 4 m soit la plus appropriée (action d'éviter une collision de 95% pour un véhicule circulant à 8 km/h, voir le tableau 5.5.

**Tableau 5. 5: Proportion d'évitement de collision**

Initial speed		Detection distance (m)							
km/h	m/s	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4
1	0.28	98%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2	0.56	53%	98%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
3	0.83	9%	78%	97%	100%	100%	100%	100%	100%
4	1.11	1%	47%	84%	97%	100%	100%	100%	100%
5	1.39	0%	15%	64%	87%	96%	100%	100%	100%
6	1.67	0%	3%	39%	72%	88%	96%	99%	100%
7	1.94	0%	0%	15%	52%	77%	89%	95%	99%
8	2.22	0%	0%	4%	31%	60%	79%	89%	95%
9	2.50	0%	0%	1%	12%	42%	65%	80%	89%
10	2.78	0%	0%	0%	4%	21%	48%	68%	81%
11	3.06	0%	0%	0%	1%	8%	31%	53%	69%
12	3.33	0%	0%	0%	0%	3%	14%	37%	56%
13	3.61	0%	0%	0%	0%	1%	5%	19%	41%
14	3.89	0%	0%	0%	0%	0%	1%	8%	24%
15	4.17	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	11%

Approx 95% value (km/h)	1	2	3	4	5	6	7	8
-------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---

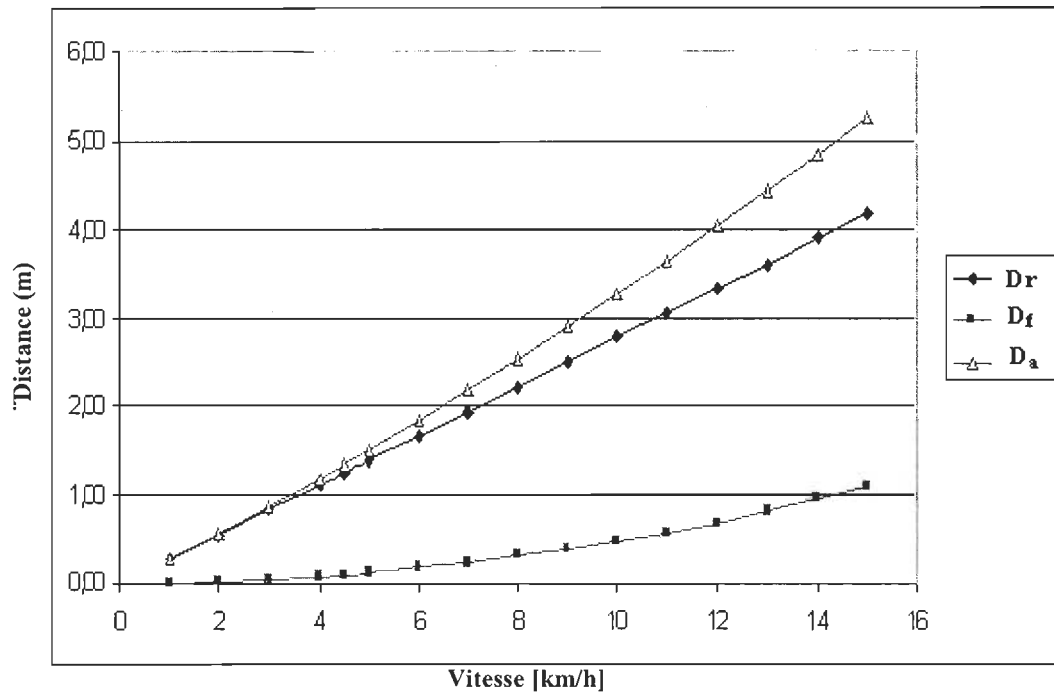
On a mesuré la vitesse maximale à laquelle le chariot transpalette circule, elle est environ de 1.5 km/h. Cette faible vitesse lui permet de s'arrêter et éviter une collision après la détection d'un obstacle par les capteurs.

**Tableau 5. 6: Influence du temps de réaction et de la vitesse sur la distance d'arrêt**

	V=1km/h			V=1.5km/h			V=2 km/h			V=2.5km/h			V=3km/h			V=3.5km/h			V=4km/h		
T de réaction	D <sub>r</sub>	D <sub>f</sub>	D <sub>a</sub>	D <sub>r</sub>	D <sub>f</sub>	D <sub>a</sub>	D <sub>r</sub>	D <sub>f</sub>	D <sub>a</sub>	D <sub>r</sub>	D <sub>f</sub>	D <sub>a</sub>	D <sub>r</sub>	D <sub>f</sub>	D <sub>a</sub>	D <sub>r</sub>	D <sub>f</sub>	D <sub>a</sub>	D <sub>r</sub>	D <sub>f</sub>	D <sub>a</sub>
T=0.65 s	0.18	0.00	0.18	0.27	0.01	0.28	0.36	0.02	0.38	0.45	0.03	0.48	0.54	0.04	0.59	3.63	0.06	0.69	0.72	0.08	0.80
T=0.8.s	0.22	0.00	0.22	0.33	0.01	0.34	0.44	0.02	0.46	0.56	0.03	0.59	0.67	0.04	0.71	0.78	0.06	0.84	0.89	0.08	0.97
T=1 s	0.28	0.00	0.28	0.42	0.01	0.43	0.56	0.02	0.58	0.69	0.03	0.72	0.83	0.04	0.87	0.97	0.06	1.03	1.11	0.08	1.19
T=1.08 s	0.30	0.00	0.30	0.45	0.01	0.46	0.60	0.02	0.62	0.75	0.03	0.78	0.90	0.04	0.94	1.05	0.06	1.11	1.20	0.08	1.28
	V=4.5km/h			V=5km/h			V=6 km/h			V=7km/h			V=8km/h			V=9km/h			V=10km/h		
T de réaction	D <sub>r</sub>	D <sub>f</sub>	D <sub>a</sub>	D <sub>r</sub>	D <sub>f</sub>	D <sub>a</sub>	D <sub>r</sub>	D <sub>f</sub>	D <sub>a</sub>	D <sub>r</sub>	D <sub>f</sub>	D <sub>a</sub>	D <sub>r</sub>	D <sub>f</sub>	D <sub>a</sub>	D <sub>r</sub>	D <sub>f</sub>	D <sub>a</sub>	D <sub>r</sub>	D <sub>f</sub>	D <sub>a</sub>
T=0.65 s	0.81	0.10	0.91	0.90	0.12	1.02	1.08	0.17	1.26	1.26	0.24	1.50	1.44	0.31	1.75	1.63	0.39	2.09	1.81	0.48	2.29
T=0.8.s	1.00	0.10	1.10	1.11	0.12	1.23	1.33	0.17	1.51	1.56	0.24	1.79	1.78	0.31	2.09	2.00	0.39	2.39	2.22	0.48	2.70
T=1 s	1.25	0.10	1.35	1.39	0.12	1.51	1.67	0.17	1.84	1.94	0.24	2.18	2.22	0.31	2.53	2.50	0.39	2.89	2.78	0.48	3.26
T=1.08 s	1.35	0.10	1.45	1.50	0.12	1.62	1.80	0.17	1.97	2.10	0.24	2.34	2.40	0.31	2.71	2.70	0.39	3.09	3.00	0.48	3.48
	V=11km/h			V=12km/h			V=13 km/h			V=14km/h			V=15km/h								
T de réaction	D <sub>r</sub>	D <sub>f</sub>	D <sub>a</sub>	D <sub>r</sub>	D <sub>f</sub>	D <sub>a</sub>	D <sub>r</sub>	D <sub>f</sub>	D <sub>a</sub>	D <sub>r</sub>	D <sub>f</sub>	D <sub>a</sub>	D <sub>r</sub>	D <sub>f</sub>	D <sub>a</sub>						
T=0.65 s	1.99	0.58	2.57	2.17	0.69	2.86	2.35	0.82	3.16	2.53	0.95	3.47	2.71	1.09	3.79						
T=0.8.s	2.44	0.58	3.03	2.67	0.69	3.36	2.89	0.82	3.70	3.11	0.95	4.06	3.33	1.09	4.42						
T=1 s	3.06	0.58	3.64	3.33	0.69	4.03	3.61	0.82	4.43	3.89	0.95	4.83	4.17	1.09	5.25						
T=1.08 s	3.30	0.58	3.88	3.6	0.69	4.29	3.90	0.82	4.72	4.20	0.95	5.15	4.50	1.09	5.59						

Les résultats obtenus démontrent qu'il est possible d'augmenter les chances d'évitement de collision en diminuant la vitesse de recul ainsi que le temps de réaction du conducteur. La vitesse du chariot peut être contrôlable en l'ajustant à une valeur qui est sécuritaire. Reste à améliorer le réflexe des conducteurs au déclenchement des alarmes pour diminuer le temps de réaction. Cela peut se faire à travers des formations et des simulations d'accidents inspirés de cas réels pour mieux les préparer à affronter ce genre de situations d'urgence.

La figure 5.15 illustre les variations de la distance d'arrêt en fonction de la vitesse, avec un temps de réaction de 1s et une constance de décélération de  $8 \text{ m/s}^2$ . On remarque que la distance de freinage est inférieure à la distance de réaction, et qu'elles sont proportionnelles à la vitesse. Plus la vitesse augmente plus la distance de freinage devient grande. Mais en atteignant une certaine vitesse, on aura une distance de réaction inférieure à la distance de freinage. Cela ne s'applique que pour les véhicules à grande vitesse dont les chariots élévateurs ne peuvent atteindre.



**Figure 5. 15: Variation de la distance de réaction, la distance de freinage et la distance d'arrêt en fonction de la vitesse**

On peut voir sur la figure que la variation de la distance d'arrêt en fonction de la vitesse est non linéaire, elle est de la forme :  $D_a = V^2(t) + V(t)$ .

La figure 5.16 montre les variations de la distance de sécurité en fonction de la vitesse du chariot et la distance de l'obstacle. Afin de donner plus de temps au cariste, la distance de sécurité prend en considération la distance d'arrêt calculée initialement plus une certaine distance parcourue par le chariot pendant une seconde. Ce calcul permet au cariste d'arrêter son véhicule en toute sécurité après le déclenchement de l'alarme. La Barriere ou bien la limite de détection signifie que le programme de simulation prend la distance de 10 m comme distance maximale de détection dans les calculs.

Si on prend par exemple une vitesse de 5 km/h, pour un obstacle détecté à 3.89 m, la distance de sécurité est 0.99 cm.



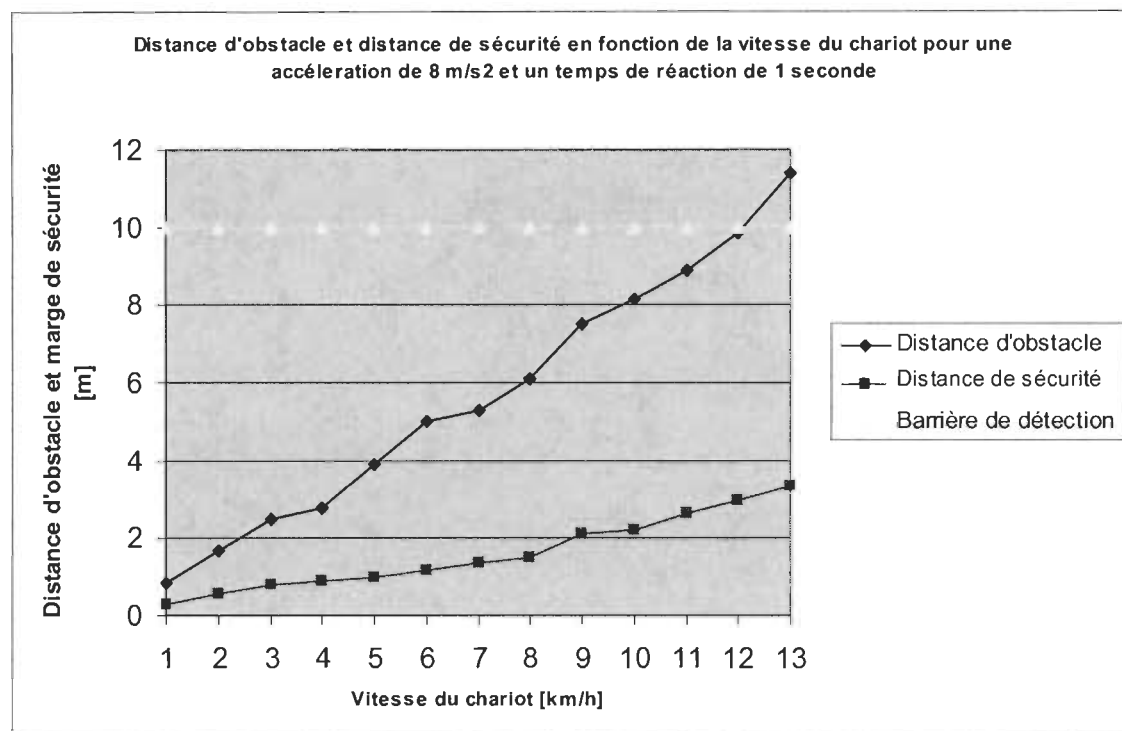


Figure 5. 16: Variation de la distance de sécurité en fonction de la vitesse V

## 5.6 Interprétation des résultats

Le système de détection d'obstacles que nous proposons, comprend quatre capteurs basés sur les ultrasons ainsi qu'une alarme visuelle permettant de signaler au conducteur du chariot la présence d'un obstacle. Ce dernier circule en marche avant, mais aussi en marche arrière sur des courtes distances au moment du chargement et du déchargement, il peut également faire des distances plus importantes en marche arrière lorsque les chargements sur les fourches ne permettent pas d'avoir une visibilité suffisante vers l'avant. Aussi la visibilité vers l'avant est réduite par la présence du mât. Pour le cas des chariots à pinces, la visibilité a besoin d'être améliorée. En analysant le registre des accidents, on trouve que même sans charge, des accidents sont survenus parce que le cariste a été distrait par l'ajustement des pinces par exemple. Avec la présence d'un détecteur d'obstacles, ces

collisions peuvent être évitées. L'évitement est fortement influencé par la vigilance du conducteur ainsi que par le temps d'arrêt du véhicule en mouvement. En fait, plus le temps de réaction du conducteur et la vitesse du véhicule sont faibles, meilleures sont les chances d'évitement.

Le capteur, de par ses conditions d'emploi, peut se trouver soumis à d'autres grandeurs physiques qui peuvent entraîner un changement de la grandeur électrique de sortie qu'il n'est pas possible de distinguer de l'action du signal utile. Ce sont les grandeurs d'influence. Les principales sont :

- La température qui modifie les caractéristiques électriques (résistance), mécaniques et dimensionnelles des composants du capteur.
- La pression, l'accélération et les vibrations susceptibles de créer des déformations et des contraintes qui altèrent la réponse du capteur.
- L'humidité à laquelle, par exemple, la constante diélectrique ou la résistivité peuvent être sensibles et qui risque de dégrader l'isolation électrique entre les composants du capteur ou entre le capteur et son environnement.

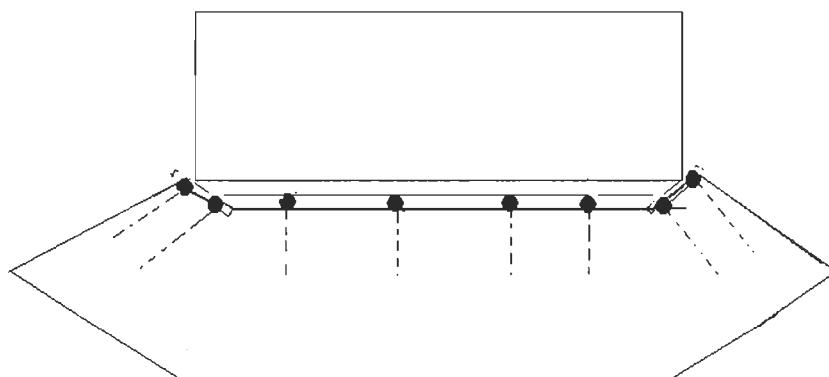
On peut réduire l'importance des grandeurs d'influence au niveau du capteur en le protégeant par un isolement adéquat, par l'utilisation d'un support antivibratoire et des blindages magnétiques, par exemple.

Les tests effectués et les résultats obtenus ont montré la faisabilité d'implémenter un système de détection sur un chariot élévateur ainsi que l'efficacité de ce dernier pour éviter des collisions. L'utilisation des ultrasons pour des applications à faible vitesse ne pose pas de problèmes majeurs. Le système est fiable et précis. Il reste à le mettre en épreuve dans des conditions réelles de travail et sur des chariots de tailles plus grandes. De ce fait, on aura à mettre le dispositif dans un boîtier et le fixer sur le chariot élévateur en choisissant bien l'emplacement. Cela va certainement présenter d'autres réalités et défis à relever. Le bruit et la température vont être des facteurs potentiels à contrôler. Cela nécessite de faire des analyses et des mesures avec des appareils adéquats.

### 5.7 Perspective pour des tests sur des chariots élévateurs réels

Les capteurs à ultrason ont démontré leur efficacité. Sachant que les chariots utilisés dans l'industrie sont de tailles plus grandes que le chariot à conducteur accompagnant que nous avons utilisé durant nos tests, et afin d'agrandir la surface détectable on propose d'augmenter le nombre de capteurs à 8 comme le montre la figure 5.17.

Pour cela il faudra revoir les circuits électroniques pour les adapter au nombre de capteurs utilisés. De plus, l'utilisation d'un capteur de vitesse avec carte d'acquisition va permettre de calculer la distance d'arrêt en fonction de la vitesse du chariot en temps réel, sachant que dans cette étude la vitesse est calculée en se basant sur le temps de vol des ondes ultrasonores.



**Figure 5. 17: Zones possibles de détection avec 8 capteurs à l'arrière du chariot**

En effectuant une analyse sécuritaire de l'ensemble des tâches qu'entreprennent les chariots élévateurs, de leurs environnements de travail et de la nature et dimension des produits portés, on peut recueillir les données nécessaires pour une implémentation optimale. L'utilisation d'un système avec huit capteurs va augmenter la zone balayée et peut être très avantageuse pour diverses applications en industrie.

## Chapitre 6 : Conclusion générale

Dans le domaine de la protection des dangers de collision, chaque problème pourra faire l'objet d'une étude spécifique pour définir une solution. Il en est de même lorsque l'on doit choisir les dispositifs ou les mesures de protection assurant la sécurité des personnes.

Cette étude visait d'étudier la faisabilité et la fiabilité d'un dispositif de détection pouvant détecter des personnes ou des obstacles lors de manœuvres de recul ou de marche avant de chariots élévateurs. On a pu réaliser un circuit électronique, qui une fois mis dans un boîtier blindé et fixé sur un support antivibratoire sur le chariot élévateur peut assister le conducteur en l'informant de la présence des obstacles se trouvant sur sa trajectoire ou à proximité.

Le dispositif que nous proposons, va contribuer avec l'alarme sonore de recul, les miroirs convexes (ceux sont des miroirs de sécurité en dôme de 360°, 180° ou 90° qui réduisent les risques d'accidents aux passages et intersections sans visibilité dans les usines) et les autres moyens de prévention à augmenter le niveau de sécurité à proximité des chariots élévateurs et à diminuer le nombre d'accidents et de collisions survenant chaque jour dans les usines. Les résultats ont démontré sa fiabilité et sa précision dans les conditions de travail tel que discuté dans les chapitres précédents.

De nos jours, il y a d'autres approches favorisant l'utilisation de dispositifs de détection multisystèmes comme l'ajout d'une caméra par exemple, pour avoir une meilleure visibilité. Toutefois, en utilisant plusieurs systèmes, la complexité du traitement de l'information augmente. Aussi on aura d'autres facteurs d'influences qui entreront en jeux, tels que l'éclairage. À ce stade il faudra trouver des compromis pour extraire l'information

utile. À noter que le dispositif en soi n'est pas le seul moyen pour une détection fiable, il existe de nombreux facteurs qui influent sur l'évitement de collision tel que la vitesse de recul du chariot élévateur, le temps de réaction du conducteur et le taux de décélération du chariot.

La prévention est l'affaire de tous. La propreté des lieux et des aires dégagées, par exemple, contribue d'une façon significative à la diminution des accidents de travail.

Enfin, le dispositif que nous proposons, peut être utilisé sur d'autres véhicules motorisés dans le secteur de la construction ou le secteur agricole par exemple; cela nécessite de faire d'autres tests en prenant en considération les facteurs environnementaux et les perturbations physiques qui changent d'un milieu à un autre.

## **Bibliographie**

- 1- Forklift safety**, George Swartz, 1999
- 2- Mesure et fusion de données ultrasonores pour la perception d'objet appliquées aux systèmes mobiles**, Lucas de Couville, Arnaud, 1999.
- 3- Systèmes de sécurité pour autobus scolaires**, Kaffel Maher, Dubé Yves, 1996.
- 4- Norme de sécurité concernant les chariots élévateurs à petite levée et à grande levée** ( American Society of Mechanical Engineers), CSST, 1996.
- 5- Prévention des accidents causés par le recul des engins mobiles**, J.C Fernandez service construction- manutention- levage, INRS Paris
- 6- Dispositif de protection sensible à la pression**, D.Dei-Svaldi, INRS- Lorraine, Neuves-Maisons.
- 7- Design and Experimental Study of an Ultrasonic Sensor System for Lateral Collision Avoidance at Low Speeds**, Kai-Tai Song; Chih-Hao Chen, Cheng-Hsien Chiu Huan, 2004 IEEE Intelligent Vehicles Symposium University of Parma.
- 8- Side Collision Warning Systems for Transit Buses**, Christoph Mertz, Sue McNeil, and Charles Thorpe, IEEE 2000
- 9- Experimental Characterization of Polaroid Ultrasonic Sensors in Single and Phased Array Configuration**, Alex Cao and Johann Borenstein, 2002.
- 10- A Novel Configuration of Ultrasonic Sensors for Mobile Robots**, Fabio Tsuzuki, Ken Sasaki, 1994.
- 11- Evaluation of the effectiveness of radar obstacle detection systems when used on industrial lift trucks**, Oluwatosin Toluwalase Odetola, 2002.

- 12- Détection électromagnétique**, Gilles Paquet, 1997.
- 13- Système intelligent d'assistance à la perception dans la conduite de véhicule**,  
Éric Laurin, 2000.
- 14- Guide santé sécurité des travailleurs d'entrepôt**, Centre canadien d'hygiène et de  
sécurité au travail, 2002.
- 15- Emergency Response- Planning Guide**, Canadian Centre for Occupational Health  
and Safety, 2004
- 16- Bilan de connaissances sur les dispositifs de détection de personnes lors des  
manœuvres de recul des véhicules dans les chantiers de construction**, Stéphane  
Blouin, IRSST mai 2005
- 17- Conduite en sécurité des chariots automoteurs de manutention à conducteur  
porté**, Michel Aumas, Christian Midol-Monnet, INRS-2001.
- 18- Règles importantes pour les conducteurs de chariots élévateurs**, Suva-1991.
- 19- Forklift truck**, National certificate of competency, 2000.
- 20- Fork Lift Truck Drivers**, WorkCover NSW, 1998.
- 21- Étude des systèmes de détection d'humains et d'anticollision pour des véhicules  
opérant en milieu minier**, Hurteau, Richard; Saint-Amant, Marcel; Côté, Jacques,  
IRSST 1995.
- 22- Détection du personnel par dispositifs électroniques sensibles**, Ghosh, Kalyan;  
Paques, Joseph-Jean, IRSST 1991.
- 23- Devices to reduce the risks to young pedestrians from reversing motor vehicles**,  
Michael, Paine; Michael, Henderson, 2001.
- 24- <http://www.irsst.qc.ca/>**

25- <http://www.csst.qc.ca/>

26- <http://safety-engineer.com>

27- <http://www.labour.gov.on.ca/french/index.html>

28- <http://www.pphsa.on.ca>

29- [www.suva.ch/waswo](http://www.suva.ch/waswo)

30- <http://www.asfctm.com/>

31- <http://fr.wikipedia.org/wiki/Accueil>

32- <http://www.indtrk.org/>

33- <http://www.osha.gov/>

34- [www.workcover.nsw.gov.au](http://www.workcover.nsw.gov.au)

35- <http://www.msha.gov>

36- <http://info.bannersalesforce.com/>

**37- Projet technique-Le télémètre laser, Flavien, Bergonnier.**

**38- Mesure de la précision de capteurs ultrasonores et modélisation d'un système de guidage sonore, Arnaud, Mourand,2004.**



***ANNEXE A*****PROGRAMME DU MICROCONTRÔLEUR**

```

/*****
/*
/* Calcul de la distance de sécurité */
/* Programmation du dsPic30f2010 */
/*
/* Programme : distsecur.cpp */
/*
/* Langage : C/C++ */
/*
/* Programmeur :
/* Yahya Mohammedi
/*
/*
*****/

#include "p30f2010.h"

_FOSC(CSW_FSCM_OFF & XT_PLL16);
_FWDT(WDT_OFF);
_FBORPOR(PBOR_ON & BORV_20 & PWRT_64 & MCLR_EN);
_FGS(CODE_PROT_OFF);

#define INSTRC      0
#define DATA      1

#define CLR_DISP    1
#define RET_HOME    2
#define FUNCT_SET   3
#define LINE_TWO    0xC0 // LCD RAM address for the second line
#define MOVE_LEFT   0x10 // Cursor move back one position

#define RS_PIN      PORTBbits.RB0
#define RW_PIN      PORTBbits.RB1
#define E_PIN       PORTBbits.RB2

// #define DATA_7    PORTEbits.RE3
// #define DATA_6    PORTEbits.RE2
// #define DATA_5    PORTEbits.RE1
// #define DATA_4    PORTEbits.RE0

#define HIGH        1
#define LOW         0

#define INIT_TIMER2 0x30 //prescale =1/256 //0x10 prescale =1/8

```

```

#define PERIODE_TIMER2 0xFFFF // 0xFFFF
#define INIT_TIMER1 0x30 // prescale =1/256
#define PERIODE_TIMER1 0xFFFF
#define INIT_IC1CON 0x81// 0xA3// lecture LCD/3.75e6/32

```

```

int const LCD_INIT_STRING[4] = {0x28, 0x0C, 0X01, 0X06};

```

```

char mesg[] = {'D','i','s','t','a','n','c','e',' ',' ','\0'};
char *buffer;

```

```

unsigned int Tfin,Tdebut,Duree,valeur;
unsigned char mille,cent,diz, unit;

```

```

#define SAMP 10
unsigned int data [SAMP];
unsigned char v=0;
unsigned int long moyenne ;

```

```

void delay_5ms(void)
{
    unsigned int i;
    for(i=0;i<22500;i++);
}

```

```

void __attribute__((__interrupt__)) _IC1Interrupt(void)
{
    IFS0bits.IC1IF = 0;
    delay_5ms;
    if (PORTDbits.RD0==0)
        Tdebut=IC1BUF;
    else
    {
        Tfin=IC1BUF;
        Duree=Tfin-Tdebut;
        data[v++]=Duree;
        if (v==SAMP)
        {
            moyenne=0;
            for(v=0;v<SAMP;v++)
                moyenne+=data[v];
            moyenne=moyenne/SAMP;
            v=0;}
        }
}

```

```

void delay_15ms(void)
{

```

```

    unsigned int i;
    for(i=0;i<65000;i++);
}

void lcd_enable( int caract )
{
    PORTE=caract;
    E_PIN = HIGH;
    asm("repeat #10");
    asm("nop");
    E_PIN = LOW;
}

void lcd_send(int RegSelect,int caract)
{
    delay_5ms();
    RS_PIN = RegSelect;
    asm("nop");
    lcd_enable(caract >> 4);    //Envoie des 4 bits MSB
    lcd_enable(caract & 0x0F);  // Envoie des 4 bits LSB
}

void lcd_init() {
    int i;
    RS_PIN = LOW;
    RW_PIN = LOW;
    E_PIN = LOW;
    delay_15ms();
    for(i=1;i<=3;++i) {
        lcd_enable(FUNCT_SET);
        delay_5ms();}

    lcd_enable(RET_HOME);

    for(i=0;i<=3;++i)
        lcd_send(INSTRC,LCD_INIT_STRING[i]);
}

void lcd_putc(char *buffer)
{
    while(*buffer != '\0')
    {
        delay_5ms();
        lcd_send(DATA,*buffer);
    }
}

```

```

        buffer++;
    }
}

void capt_init()
{
    TMR1=0;
    T1CON=INIT_TIMER1;
    PR1=PERIOD_TIMER1;
    T1CONbits.TON = 1;

    TMR2=0;
    T2CON=INIT_TIMER2;
    PR2=PERIOD_TIMER2;
    T2CONbits.TON = 1;

    IC1CON=INIT_IC1CON;
    IFS0bits.IC1IF = 0;
    IEC0bits.IC1IE = 1;
}

main()
{
    unsigned char i;
    ADPCFG=0xFFFF;
    valeur=0;
    PWMCON1=0;
    TRISB=0;
    TRISD=1; //RD0->IC1
    TRISE=0;
    lcd_init();
    buffer = mesg;
    lcd_putc(buffer);
    capt_init();
    lcd_send(INSTRC,LINE_TWO);

    while(1)
    {
        if(IFS0bits.T1IF==1)
        {
            IFS0bits.T1IF=0;
            valeur=moyenne;
            mille=0,cent=0,diz=0;
            while(valeur>=1000)
            {

```

```

    valeur-=1000;
    ++mille;
}
    while(valeur>=100)
    {
        valeur-=100;
        ++cent;
    }
    while(valeur>=10)
    {
        valeur-=10;
        ++diz;
    }
    unit=valeur;

    lcd_send(DATA,mille+'0');
    lcd_send(DATA,cent+'0');
    lcd_send(DATA,diz+'0');
    lcd_send(DATA,unit+'0');

    for(i=0;i<4;i++)
        lcd_send(INSTRC,MOVE_LEFT);
}

}

}

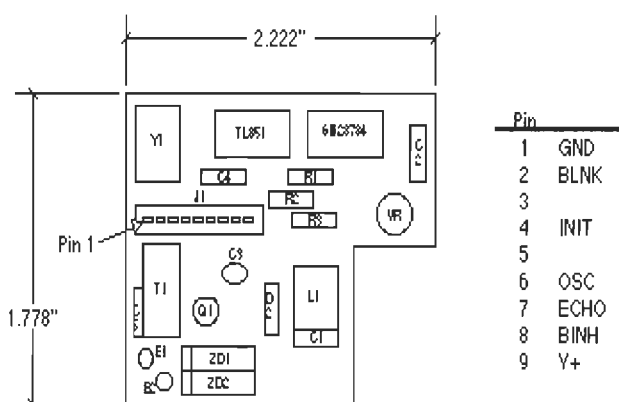
```

***ANNEXE B*****SONAR POLAROID 6500**

The 6500 Series is an economical sonar ranging module that can drive all SensComp/Polaroid electrostatic transducers with no additional interface. This module, with a simple interface, is able to measure distances from 6 inches to 35 feet. This was formerly made by Polaroid, but is now made by SensComp.

#### More Details:

- Accurate Sonar Ranging from 6 inches to 35 feet
- Drives 50-kHz Electrostatic Transducer with No Additional Interface
- Operates from Single Supply
- Accurate Clock Output Provided for External Use
- Selective Echo Exclusion
- TTL-Compatible
- Multiple Measurement Capability
- Uses TI TL851 and Polaroid 614906 Sonar Ranging Integrated Circuits
- Socketed Digital Chip
- Convenient Terminal Connector
- Variable Gain Control Potentiometer



The 6500 Series is an economical sonar ranging module that can drive all SensComp/Polaroid electrostatic transducers with no additional interface. This module,

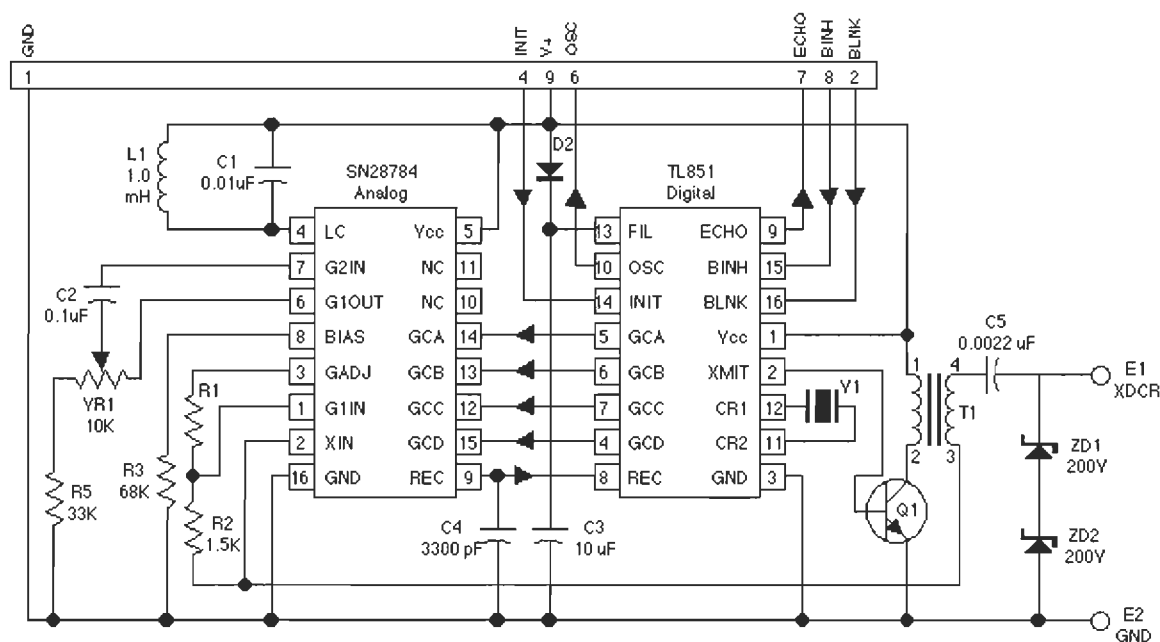


with a simple interface, is able to measure distances from 6 inches to 35 feet. The typical absolute accuracy is (+/-) 1% of the reading over the entire range.

This module has an external blanking input that allows selective echo exclusion for operation on a multiple-echo mode. The module is able to differentiate echos from objects that are only three inches apart. The digitally controlled-gain, variable-bandwidth amplifier minimizes noise and side-lobe detection in sonar applications.

The module has an accurate ceramic-resonator-controlled 420-kHz time-base generator. An output based on the 420-kilohertz time base is provided for external use. The sonar transmit output is 16 cycles at a frequency of 49.4 kilohertz.

The 6500 Series module operates over a supply range of 4.5 volts to 6.8 volts and is characterized for operation from 0° C to 40° C.



6500 Board Schematic

### Absolute Maximum Ratings

Voltage from any pin to ground (see Note 1)	7 V
Voltage from any pin except XDCR (see Note 1) to $V_{CC}$	-7 to 0.5 V
Operating free-air temperature range	0° C to 40° C
Storage temperature range	-40° C to 85° C

### Recommended Operating Conditions

		Min.	Max.	Unit
Supply voltage, $V_{CC}$		4.5	6.8	V
High-level input voltage, $V_{IH}$	BLNK, BINH, INIT	2.1		V
Low-level input voltage, $V_{IL}$	BLNK, BINH, INIT		0.6	V
ECHO and OSC output voltage			6.8	V
Delay time, power up to INIT high			5	ms
Recycle period			80	ms
Operating free-air temperature, $T_A$		0	40	° C

### Electrical Characteristics Over Recommended Ranges of Supply Voltage and Operating Free-Air Temperature (unless otherwise noted)

Parameter		Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input current	BLNK, BINH, INIT	$V_I = 2.1 \text{ V}$			1	mA
High-level output current, $I_{OH}$	ECHO, OSC	$V_{OH} = 5.5 \text{ V}$			100	$\mu\text{A}$
Low-level output voltage, $V_{OL}$	ECHO, OSC	$I_{OL} = 1.6 \text{ mA}$			0.4	V
Transducer bias voltage		$T_A = 25^\circ \text{ C}$		200		V
Transducer output voltage (peak to peak)		$T_A = 25^\circ \text{ C}$		400		V
Number of cycles for XDRCR output to reach 400 V		$C = 500 \text{ pF}$			7	
Internal blanking interval				2.38*		ms
Frequency during 16-pulse transmit period	OSC output XMIT output			49.4* 49.4*		kHz
Frequency after 16-pulse transmit period	OSC output XMIT output			93.3* 0		kHz
Supply Current, $I_{CC}$	During transmit period After transmit period				2000 100	mA

\* These typical values apply for a 420-kHz ceramic resonator.  
Specifications subject to change without notice

### Operation With SensComp Electrostatic Transducer

There are two basic modes of operation for the 6500 Series Sonar ranging module: single-echo mode and multiple-echo mode. The application of power ( $V_{CC}$ ), the activation of the Initiate (INIT) input, and the resulting transmit output, and the use of the Blanking Inhibit (BINH) input are basically the same for either mode of operation. After applying power

( $V_{CC}$ ) a minimum of 5 milliseconds must elapse before the INIT input can be taken high. During this time, all internal circuitry is reset and the internal oscillator stabilizes. When INIT is taken high, drive to the Transducer XDCR output occurs. Sixteen pulses at 49.4 kilohertz with 400-volt amplitude will excite the transducer as transmission occurs. At the end of the 16 transmit pulses, a dc bias of 200 volts will remain on the transducer as recommended for optimum operation.

In order to eliminate ringing of the transducer from being detected as a return signal, the Receive (REC) input of the ranging control IC is inhibited by internal blanking for 2.38 milliseconds after the initiate signal. If a reduced blanking time is desired, then the BINH input can be taken high to end the blanking of the Receive input anytime prior to internal blanking. This may be desirable to detect objects closer than 1.33 feet corresponding to 2.38 milliseconds and may be done if transducer damping is sufficient so that ringing is not detected as a return signal.

In the single-echo mode of operation (Figure 1), all that must be done next is to wait for the return of the transmitted signal, traveling at approximately 0.9 milliseconds per foot out and back. The returning signal is amplified and appears as a high-logic-level echo output. The time between INIT going high and the Echo (ECHO) output going high is proportional to the distance of the target from the transducer. If desired, the cycle can now be repeated by returning INIT to a low logic level and then taking it high when the next transmission is desired.

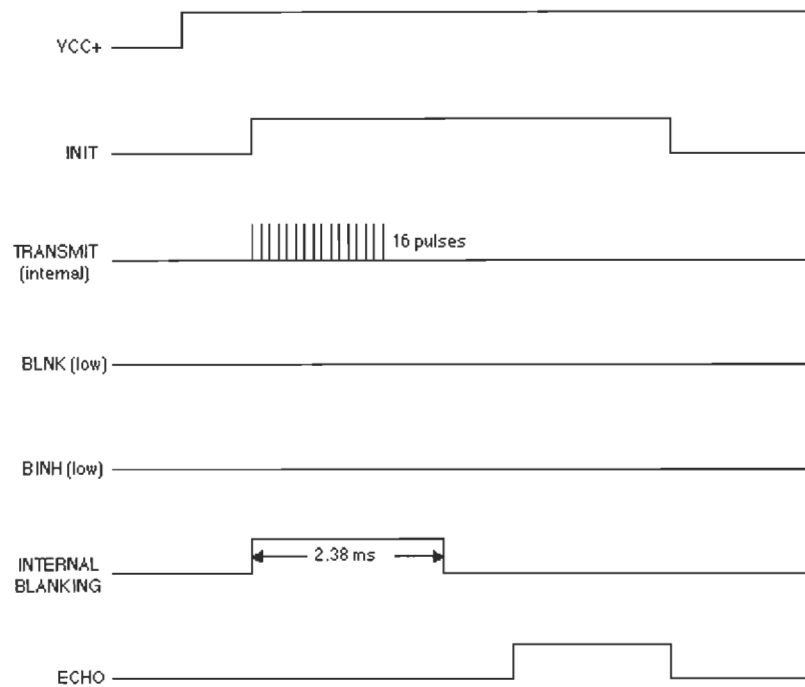


Figure 1 - Example of Single-Echo-Mode Cycle without Blanking Input

If there is more than one target and multiple echos will be detected from a single transmission, then the cycle is slightly different (Figure 2). After receiving the first return signal which causes the ECHO output to go high, the Blanking (BLNK) input must be taken high then back low to reset the ECHO output for the next return signal. The blanking signal must be at least 0.44 milliseconds in duration to account for all 16 returning pulses from the first target and allow for internal delay times. This corresponds to the two targets being at least 3 inches apart.

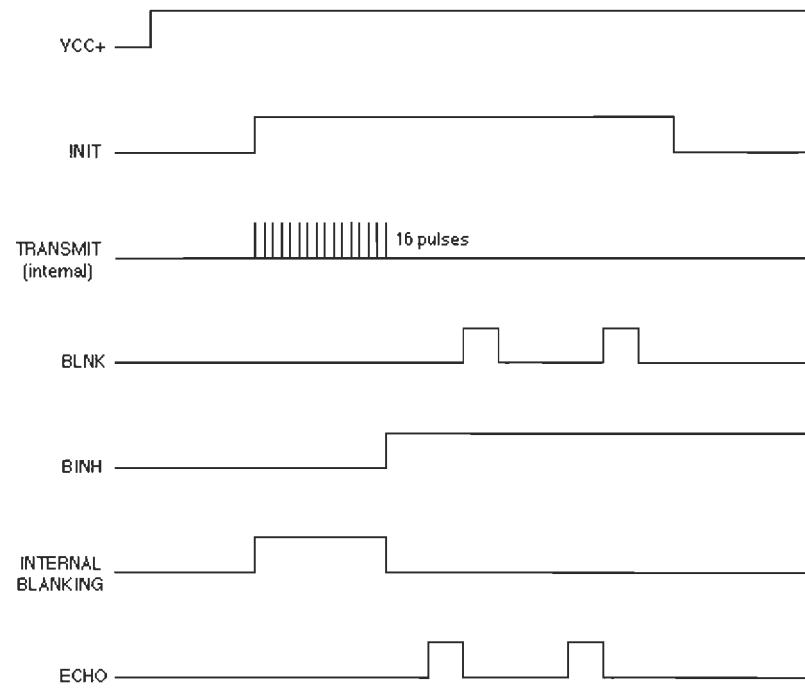


Figure 2 - Example of Multiple-Echo-Mode Cycle with Blanking Input