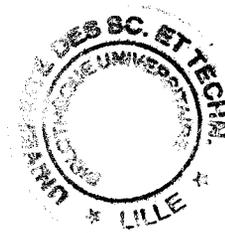


50 376  
1996  
260

N° d'ordre : 1805

# THESE

présentée à



L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LILLE

Pour obtenir le titre de

DOCTEUR

En Productique : Automatique et Informatique Industrielle

par

Guillaume USTER

## AMELIORATION DE L'ACCESSIBILITE DES AUTOBUS URBAINS POUR LES PERSONNES A MOBILITE RÉDUITE : AIDE A L'ACCOSTAGE

Soutenue publiquement le 26 Septembre 1996 devant la commission d'examen :

Président : P. VIDAL  
Rapporteurs : J. BILLARD  
                  N. MALVACHE  
Directeur : J.M. TOULOTTE  
Membres : A. JUTARD  
              S. MAOUCHE  
              M. EDEL  
              G. COUVREUR  
              Y. DAVID  
              J.J. HENRY  
              B. GUILLEMINOT  
              J.P. NERRIÈRE



---

A Martine, Clément, Aurélien et Mathilde.

---

---

# Remerciements

Je remercie Monsieur le Professeur Vidal de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de notre thèse et Monsieur le Professeur Jean Marc Toulotte d'avoir apporté son regard scientifique à nos travaux de recherche appliquée.

Je remercie Monsieur le Professeur Noël Malvache d'avoir accepté d'être rapporteur de nos travaux et de m'avoir prodigué des conseils.

Je remercie Monsieur le professeur Jean Billard d'avoir accepté d'être rapporteur de nos travaux et d'avoir été mon avocat dans cette affaire.

Je remercie Monsieur Alain Jutard, Monsieur Salah Maouche et Monsieur Jean Jacques Henry d'avoir accepté d'être membres de notre jury.

Je remercie Monsieur Michel Edel d'avoir soutenu et valorisé nos travaux de recherche.

Je remercie Monsieur Yves David, mon père spirituel dans le domaine de la recherche, sans les conseils duquel, je n'aurais jamais entrepris ces travaux.

Je remercie Monsieur Jean Pierre Nerrière, Responsable Recherche et Développement à TRANSDEV, notre donneur d'ordre sur le projet GIBUS, qui a su donner l'impulsion nécessaire et grâce à qui, notre recherche a débouché sur un prototype industriel.

Je remercie Monsieur Bernard Guillemot, Directeur Général des Services Opérationnels de la CUDL, d'avoir accepté de faire partie de notre jury pour, je l'espère, promouvoir l'accessibilité des autobus dans la Communauté Urbaine de Lille.

---

---

Je remercie Monsieur Gérard Couvreur, Directeur de l'Unité de Recherche ESTAS, qui m'a laissé beaucoup de libertés et d'initiatives sur ce projet, parfois aux dépens des nécessités de service pour l'U.R.

Je remercie Gérard Tual et Patrice Vanec pour leurs compétences en électronique et informatique sans lesquelles notre projet serait resté à l'état d'étude-papier.

Je remercie Maryvonne Dejeammes, Directeur de l'Unité de Recherche LBSU, pour ses acquis dans le domaine de l'accessibilité dont j'ai pu bénéficier tout au long du projet GIBUS.

Je remercie Claude Dolivet, Jean Lardière et René Zac, du LBSU, pour leur aide précieuse à la réussite de l'expérimentation de Grenoble, Monsieur Louis Lhopital, chargé de mission « Accessibilité » à la SEMITAG, sans l'enthousiasme duquel le projet GIBUS serait encore dans les cartons de la recherche, Monsieur Picaud du BEEP de la Ville de Grenoble sans qui nous n'aurions pas pu réaliser notre expérimentation sur la voirie grenobloise et Monsieur Flamant de Renault VI pour son animation de l'analyse fonctionnelle.

Je remercie mes collègues de l'INRETS - Centre de Villeneuve d'Ascq qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de notre travail, je n'en citerai aucun pour ne froisser personne, cependant, j'accorde une mention spéciale à mon camarade de galère Patrick Debay...

Je remercie mon épouse Martine, ainsi que mes enfants Clément, Aurélien et Mathilde, d'avoir supporté mon humeur pendant ces mois d'acharnement et ces trop nombreuses soirées gâchées.

Enfin, je remercie Guillaume pour le long et fastidieux travail de frappe, mais, puisqu'il en va ainsi de la recherche publique...

---

---

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	<b>2</b>
------------------------------	----------

## PARTIE I

### ACCESSIBILITE ET TRANSPORT

<b>INTRODUCTION</b>	<b>5</b>
---------------------	----------

<b>CHAPITRE I: L'ACCESSIBILITE DANS LES TRANSPORTS COLLECTIFS URBAINS</b>	<b>8</b>
---	----------

<b>1.1 Position du problème</b>	<b>8</b>
---------------------------------	----------

<b>1.2 Quelques points de repère</b>	<b>13</b>
--------------------------------------	-----------

1.2.1 L'enquête de Saint Cyr sur le Rhône	14
---	----

1.2.2 Enquêtes sur l'accessibilité des autobus urbains	16
--	----

<b>1.3 L'accessibilité dans les transports guidés</b>	<b>18</b>
---	-----------

1.3.1 VAL, SK et systèmes ferrés	18
----------------------------------	----

1.3.2 Les autobus guidés	20
--------------------------	----

1.3.2.1 Le projet SPURBUS	21
---------------------------	----

1.3.2.2 Le système GLT (Guided Light Transit)	21
---	----

<b>1.4 L'autobus urbain: constat et étude vidéographique</b>	<b>22</b>
--	-----------

1.4.1 Le constat	22
------------------	----

1.4.1.1 Arrêt sur voie de circulation	23
---------------------------------------	----

1.4.1.2 Arrêt hors voie de circulation	24
--	----

1.4.2 L'étude vidéographique	25
------------------------------	----

1.4.3 Les résultats	27
---------------------	----

<b>1.5 Conclusion</b>	<b>28</b>
-----------------------	-----------

---

---

## **CHAPITRE II : AUTOBUS URBAINS : «ATTENTION A LA MARCHÉ» 30**

### **2.1 Les dispositifs embarqués 30**

- 2.1.1 Elévateur pour fauteuil roulant 30
- 2.1.2 Emmarchement transformable et marches escamotables 31
- 2.1.3 Palette 33

### **2.2 Autobus à plancher surbaissé 35**

- 2.2.1 Quelques chiffres 35
- 2.2.2 Agenouillement 37
- 2.2.3 L'enquête de l'UITP 38

### **2.3 L'aménagement des arrêts 39**

- 2.3.1 Recommandations du COLITRAH 39
- 2.3.2 Groupe de travail de Grenoble 40
- 2.3.3 Quelques expériences d'aménagements d'arrêts d'autobus 41

### **2.4 Conclusion 43**

## **CHAPITRE III: AUTOBUS URBAINS : « COMBLER LA LACUNE » 44**

### **3.1 Les expériences de systèmes d'aide à l'accostage 44**

- 3.1.1 Les expériences en Allemagne 44
- 3.1.2 L'expérience de Caen: le système chasse roue 47
- 3.1.3 Halmstad en Suède 49
- 3.1.4 Le projet VISÉE 49

### **3.2 Aide à l'accostage: capteurs utilisables 51**

- 3.2.1. Détermination de la position d'un véhicule par une référence matérialisée au sol 52
  - 3.2.1.1 . Détection du champ magnétique rayonné par un câble 53
  - 3.2.1.2 . Détection d'une bande peinte sur la chaussée 53
  - 3.2.1.3 . Détection d'une paroi latérale par télémétrie 55
- 3.2.2. Tableau synthétique 58

### **3.3 Conclusion 60**

### **Conclusion de la première partie 61**

---

---

## PARTIE II

### AIDES A L'ACCOSTAGE

#### INTRODUCTION

64

#### CHAPITRE I: DE L'AIDE A LA CONDUITE A L'AIDE A L'ACCOSTAGE 66

<b>1.1 Les aides à la conduite</b>	<b>66</b>
1.1.1 Représentation de l'information	66
1.1.2 Domaine maritime	68
1.1.3 Domaine routier	70
1.1.3.1 La conduite automobile	70
1.1.3.2 Les aides à la conduite	72
<b>1.2 L'étude ergonomique</b>	<b>75</b>
1.2.1 La méthodologie	76
1.2.1.1 Le choix d'une ligne du réseau de Grenoble	76
1.2.1.2 Phase d'observation globale	77
1.2.1.3 Description du mode opératoire	78
Le pré-accostage	79
L'accostage	79
L'arrêt	79
Le départ	80
1.2.1.4 Stratégies des conducteurs	81
La verbalisation spontanée	81
L'observation des lacunes	81
1.2.1.5 Recadrage de l'étude en vue de l'observation détaillée	81
1.2.1.6 Choix des arrêts étudiés	82
1.2.1.7 Choix des conducteurs.	82
1.2.1.8 L'observation détaillée "muette"	82
1.2.1.9 L'observation détaillée avec verbalisation provoquée.	83
1.2.1.10 Les entretiens individuels.	84
1.2.2 Les résultats	85
1.2.3 Les recommandations	88
1.2.3.1 Harmonisation des arrêts	88
1.2.3.2 Petit Gibus	88
1.2.3.3 VISÉE	89
<b>1.3 Conclusion</b>	<b>90</b>

---

---

<b>CHAPITRE II: DEVELOPPEMENT DE SYSTEMES D'AIDE A L'ACCOSTAGE</b>	<b>92</b>
2.1 Le système d'aide à l'accostage au sol	92
2.2 Les systèmes embarqués d'aide à l'accostage	93
2.2.1 Le capteur	94
2.2.2 Le système embarqué d'aide à l'accostage basé sur les LEDs	96
2.2.3 Le système embarqué d'aide à l'accostage basé sur l'informatique pour affichage sur écran déporté	99
2.2.4 Le système embarqué d'aide à l'accostage basé sur une information sonore	104
2.3 La mise au point des systèmes	104
2.3.1 Mise au point sur banc	104
2.3.2 Mise au point sur la camionnette laboratoire	107
2.4 Conclusion	109
<b>CHAPITRE III: L'EXPERIMENTATION DE GRENOBLE: ETUDE DE LA FAISABILITE DES AIDES A L'ACCOSTAGE</b>	<b>110</b>
3.1 Le protocole d'essais	110
3.1.1 L'environnement et les acteurs	110
3.1.2 L'installation	112
3.1.3 Le déroulement des essais	113
3.2 Le Recueil des données	115
3.2.1 Enregistrement informatique et vidéographique	115
3.2.2 Relevés manuels	116
3.3. Les résultats	119
3.3.1 Présentation des courbes	119
3.3.1.1 Les courbes de lacune	120
3.3.1.2 Les courbes de vitesse	122
3.3.2 Interprétation	123
3.3.3 Les résultats des relevés manuels	128
3.4 Conclusion	130
<b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES</b>	<b>132</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>140</b>
Première partie	140
Deuxième partie	146

---

# Introduction générale

Parmi ses objectifs de recherche, l'INRETS souhaite apporter une contribution à l'amélioration des transports collectifs, en mode urbain et suburbain. C'est pourquoi, dans ce domaine, ses travaux se sont structurés autour d'un thème fédérateur qui a pour titre « Amélioration de la qualité de l'offre des transports collectifs »

Les actions concrètes d'amélioration de l'offre doivent s'appliquer à l'ensemble de la chaîne de déplacement et à ses différents maillons tels que le présente la figure schématisée 1.

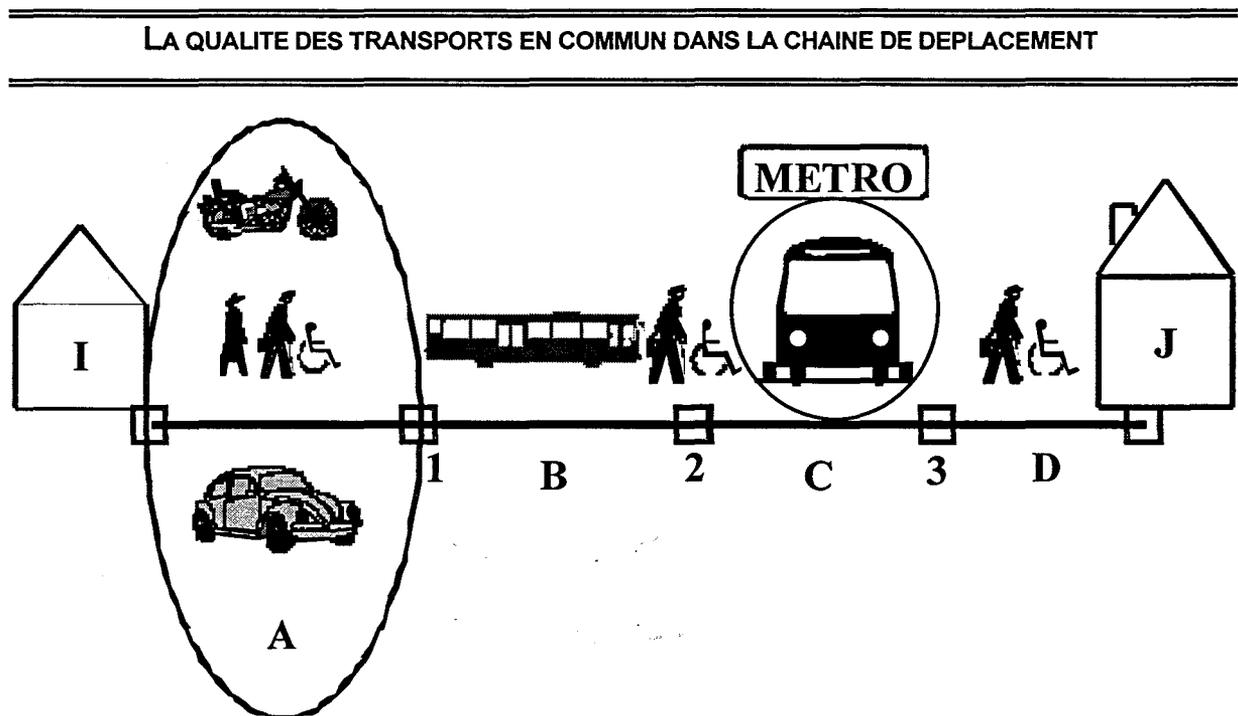


Figure 1: Schéma type d'une chaîne de déplacement

---

Ainsi, le trajet entre deux points I et J peut être découpé en quatre tronçons :

- A : le rabattement vers la station de transport collectif (à pied, en deux roues, en voiture conducteur ou passager ...),
- B : le trajet en autobus,
- C : le trajet en site propre,
- D : le trajet terminal (activité à destination).

Et entre ces quatre tronçons il y a trois points à franchir :

- 1 : Le point d'entrée dans le réseau
- 2 : le point d'échange entre réseaux
- 3 : le point de sortie du réseau

Autour de ce schéma s'articulent les différentes recherches menées à l'INRETS ou avec sa collaboration. Ainsi, pour le point d'entrée dans le réseau, il convient de travailler sur les aspects de stationnement, d'information et de fréquence. Pour le point d'échange entre réseaux, ce seront les critères de pénibilité, de lisibilité et de temps d'attente qui seront privilégiés. Quant au point de sortie du réseau, les travaux devront porter sur l'accessibilité aux différents territoires et sur la connexion aux réseaux interurbains.

Ainsi, l'ensemble de ces actions menées à l'INRETS, qui permettent en définitive d'améliorer le confort, l'accessibilité des matériels, l'information, l'exploitation, les correspondances, les performances et la sécurité, peuvent se rattacher à l'objectif global d'amélioration de la qualité de l'offre, du point de vue de l'exploitant et de la collectivité.

Dans la mouvance du thème fédérateur, et afin de mieux focaliser les recherches sur le confort et la qualité d'usage des transports collectifs, l'INRETS a créé un axe de recherche intitulé « Les services aux utilisateurs des transports collectifs: Qualité, accessibilité et information ». En effet, le développement des réseaux de transport et l'introduction des technologies nouvelles conduisent à s'interroger sur l'adaptation et la qualité des services que l'on peut fournir en réponse aux besoins réels des utilisateurs. Dans l'optique d'une offre accrue de mobilité, il est nécessaire de vérifier que les moyens de transport, pris individuellement ou sous forme d'un chaînage multimodal, évoluent vers une plus grande accessibilité, afin d'éviter des exclusions, et permettent de favoriser le confort et la facilité d'utilisation. Les performances techniques des véhicules et des réseaux doivent permettre d'accroître le confort, la disponibilité et la vitesse commerciale assurant ainsi une plus grande attractivité en permettant des déplacements plus rapides et en réduisant la fatigue du voyageur.

Cet axe de recherche, suscité par une évolution du métier d'exploitant vers la prestation de services, mais résolument orienté vers les utilisateurs des transports collectifs pour leur en offrir une qualité d'usage optimale, présente le triple objectif d'identification des besoins, d'amélioration ou de création de services adaptés, ainsi que d'évaluation des services.

---

Dans le cadre des travaux de notre thèse, nous nous sommes focalisés sur un service particulier qu'est l'accessibilité des transports collectifs. En France, la préoccupation des pouvoirs publics est de rendre la chaîne des transports en commun accessible au public le plus large y compris les personnes à mobilité réduite comme les personnes âgées, les parents avec poussette d'enfant, les personnes avec bagages ou les utilisateurs de fauteuils roulants.

L'accessibilité des systèmes de transport aux personnes à mobilité réduite (PMR) est une préoccupation d'autant plus légitime qu'elle vise à faciliter l'insertion des personnes souffrant de déficiences physiques, sensorielles et intellectuelles, et surtout qu'elle peut maintenir la mobilité des personnes âgées.

**De plus, il est important de souligner que l'accessibilité va dans le sens d'une plus grande commodité d'usage pour l'ensemble de la population.**

Or, les systèmes de transport guidés de type VAL ou tramway ont pris en compte, dès leur conception, les aspects d'accessibilité. Quant à l'autobus, qui reste, parmi les Transports en Commun, un mode de déplacement majoritaire dans les villes, il est en retard dans ce domaine. Un premier pas a été franchi avec l'introduction des autobus à plancher surbaissé qui évite la présence de marches à l'entrée du véhicule en offrant une accessibilité de plain pied. Cependant, les autobus à plancher surbaissé ne règlent pas la totalité des problèmes concernant l'accessibilité.

Ainsi, lors des échanges de voyageurs à la station, la marche ou lacune verticale entre le quai et le plancher du véhicule peut être faible grâce à la surélévation du quai et éventuellement au choix d'un système d'agenouillement du bus. Quant à l'espace, appelé lacune horizontale, existant entre la bordure du quai et le seuil du véhicule, il peut demeurer important.

Conscient de cette lacune à combler, l'opérateur TRANSDEV et son réseau de Grenoble SEMITAG ont souhaité développer une recherche sur le thème de l'accessibilité des autobus en lançant un projet appelé GIBUS (Guidage de bus en station). L'accostage étant la manoeuvre consistant à approcher le véhicule de la station et à l'y arrêter, l'objectif du projet GIBUS est d'aider le conducteur à réaliser cet accostage, en minimisant la lacune horizontale à l'arrêt.

Bénéficiant de financements publics de la DTT et de l'ADEME, ce projet est réalisé par un groupement qui comporte, outre TRANSDEV et SEMITAG, l'INRETS (Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité), l'USTL (Université des Sciences et Technologies de Lille), Renault Véhicules Industriels (constructeur de bus), ainsi que la Direction de la Recherche de Renault. Le SMTC, Autorité Organisatrice des transports de l'agglomération grenobloise, et la Ville de Grenoble, qui mènent une réflexion approfondie sur l'aménagement des arrêts, sont étroitement associés à ce projet.

Nos travaux de thèse s'inscrivent donc dans une démarche de recherche appliquée pour faire face à la demande d'un exploitant d'un réseau de transport. C'est ainsi que nous avons pu bénéficier d'un contrat industriel avec l'opérateur TRANSDEV au cours des années 1993 à 1996. Cependant, compte tenu des contraintes imposées pour ce type de projet de recherche, nous n'avons peut être pas toujours pris le temps d'approfondir certaines pistes avec autant de soin que dans une recherche à caractère plus fondamental.

---

Après quelques éclaircissements sur la terminologie employée au cours de ce mémoire, il sera donné quelques points de repères sur l'accessibilité dans les transports collectifs. En ce qui concerne plus particulièrement l'accessibilité de l'autobus urbain, deux problèmes particuliers sont à résoudre : la lacune verticale et la lacune horizontale.

Ainsi, il sera montré que différents dispositifs peuvent être mis en oeuvre, tant sur le véhicule, qu'au niveau du quai de station, pour supprimer la lacune verticale. Quant à la lacune horizontale, il sera réalisé un état de l'art des différentes expériences et réalisations de systèmes d'aide à l'accostage menées en Europe.

Ces dispositifs qui sont basés sur des techniques mécaniques et électroniques peuvent nécessiter des modifications de l'infrastructure au niveau de la station, ainsi que des ajouts d'équipements embarqués à bord du véhicule. Afin de compléter l'approche basée sur l'électronique, un état de l'art sera réalisé sur les différentes techniques envisageables pour permettre d'assurer le positionnement et le suivi d'un autobus à l'approche d'un arrêt.

L'ensemble des éléments en notre possession prouve que la problématique accessibilité de l'autobus urbain n'est pas entièrement résolue, car les solutions expérimentées y répondent de manière incomplète. C'est pourquoi, il apparaît nécessaire de développer une fonction d'aide à l'accostage qui peut se découper en deux axes de recherche :

- un système de guidage agissant au niveau de la direction qui fait l'objet de la thèse de Patrick Debay,
- un système d'aide à la conduite qui fait l'objet de la présente thèse.

Le système dit d'aide à l'accostage est un système d'aide à la conduite qui offre au conducteur une information pertinente lui permettant d'optimiser la manoeuvre d'accostage de l'autobus.

Ainsi, un état de l'art de différents systèmes d'aide à la conduite sera mené, tant dans le domaine routier que maritime. De plus, pour prendre en compte l'homme « dans la boucle » du système, il sera rendu compte d'une étude ergonomique réalisée pour observer le comportement des conducteurs d'autobus en phase d'accostage.

L'état de l'art et l'étude ergonomique conduiront au développement et à la mise au point des quatre systèmes d'aide à l'accostage reposant sur des informations visuelle et sonore.

Enfin, une expérimentation menée à Grenoble permettra, d'une part, de prouver la faisabilité d'un système d'aide à l'accostage, et d'autre part, de réaliser le choix d'un dispositif en vue de la fabrication d'un prototype industriel.

---

# Partie I

## Accessibilité et transport

---

### Introduction

L'objet de cette première partie intitulée « Accessibilité et transports »<sup>1</sup> est de poser le problème de l'accessibilité des transports collectifs en général et des autobus en particulier.

Le chapitre I donne la définition des termes employés au cours de notre thèse et permet de prendre quelques points de repères par le biais d'enquêtes concernant l'accessibilité.

Le chapitre II est consacré à un état de l'art des dispositifs qui sont mis en œuvre, tant sur le véhicule qu'au niveau du quai de station, pour supprimer la marche rendant l'accès aux autobus difficile voire impossible aux personnes à mobilité réduite.

Le chapitre III présente les différentes expériences et réalisations de systèmes d'aide à l'accostage menées en Europe et basées sur des techniques mécaniques et électroniques. De plus, un état de l'art des différentes techniques envisageables pour permettre d'assurer le positionnement et le suivi d'un véhicule dans un environnement donné est réalisé.

Cependant, compte tenu de l'état de l'art, des réflexions et des expériences en cours dans le domaine du guidage des autobus en station, il apparaît nécessaire de développer une fonction d'aide à l'accostage qui peut se découper en deux axes de recherche : un système de guidage agissant au niveau de la direction qui fait l'objet de la thèse de Patrick Debay, et un système d'aide à la conduite qui est l'objet de la deuxième partie de cette thèse.

---

<sup>1</sup> Cette partie est commune avec la thèse de Patrick Debay intitulée: « Amélioration de l'accessibilité des autobus urbains pour les personnes à mobilité réduite: Guidage à l'accostage ».

---

---

# Chapitre I: L'accessibilité dans les transports collectifs urbains

## 1.1 Position du problème

Dès les années 1970, l'INRETS, ou plutôt l'IRT à l'époque, s'est intéressé au transport des personnes à mobilité réduite. Entre autres manifestations sur ce thème, l'Institut a organisé, en avril 1989, une journée spécialisée sur le thème du « transport sans handicap ». L'objet était d'analyser le chaînon « transport » dans l'objectif d'une suppression du handicap malgré les différentes déficiences dont les personnes peuvent être atteintes. Les actions entreprises par ailleurs, comme par exemple, au niveau de l'aménagement des locaux publics ou privés, des postes de travail, de l'urbanisme, n'auront leur pleine utilité que si l'on fournit à la population dans son ensemble des moyens de mobilité qui permettent à toute personne d'accéder aux lieux où ces aménagements ont été effectués.

Lorsque sont évoquées les difficultés de mobilité, on pense essentiellement aux déficiences motrices. Or toute déficience susceptible de perturber le déplacement des personnes doit être prise en compte. Le handicap peut revêtir plusieurs formes, ainsi, il peut y avoir déficiences des capacités sensorielles de l'individu telles que la vue ou l'ouïe, il peut également avoir des déficiences des capacités mentales. Des expériences ont été menées pour améliorer le transport en commun pour certains déficients mentaux [Hermelin 89]. Pour les déficients sensoriels perceptifs tels mal voyants, aveugles, mal entendants et sourds, des études ont été réalisées pour mesurer les difficultés rencontrées lors de leurs déplacements [Stevoux 89]. C'est pourquoi, il a été développé un certain nombre de services essentiellement dans le domaine de l'information et de la signalétique, comme, par exemple, les plans de réseaux en braille ou les dispositifs reposant sur la synthèse de la parole.

Cependant, dans le cadre de cette thèse, nous nous limiterons aux personnes souffrant de déficiences de motricité que ce soit de manière permanente ou ponctuelle dans le cadre d'une situation particulière.

Lors de l'allocution d'ouverture de la 6ème conférence internationale sur la Mobilité et le Transport des personnes âgées et à mobilité réduite (COMOTRED 92 à Lyon), Monsieur Michel Gillibert, Secrétaire d'État aux handicapés et accidentés de la vie, et lui même utilisateur de fauteuil roulant, précisait: « L'accessibilité est non seulement la liberté d'aller et de venir, mais c'est aussi et surtout la possibilité de se rendre à l'école, de trouver un emploi, de pratiquer des sports et des loisirs, de rencontrer ses amis, tout simplement d'exister à part entière. La **mobilité** est la condition de la qualité de la vie. »

---

Tels accessibilité et mobilité, deux mots souvent utilisés dans ce mémoire, il convient de donner, en préambule, quelques définitions de termes fréquemment employés en les recadrant dans un contexte de transports de personnes.

**Mobile:** Qui peut être mû, dont on peut changer la place ou la position.

La mobilité, qui reste un concept relativement simple, évoque la possibilité d'aller d'un point à un autre, dans le domaine du transport, elle représente le fait de pouvoir se déplacer physiquement. Pour pouvoir être mobile, une personne doit disposer des ressources physiques nécessaires pour se déplacer. Ces ressources peuvent inclure, par exemple, les jambes, les fauteuils roulants, les voitures, les transports publics et les transports spéciaux. Pour que la mobilité soit effective, des infrastructures appropriées doivent être disponibles pour le mode de transport retenu. Ainsi, un trottoir qui permet aux piétons de se déplacer sans problème pourrait fort bien gêner la mobilité des personnes en fauteuil roulant s'il était encombré de poteaux et autres obstacles, voire si ses bordures n'étaient pas surbaissées. De plus, la mobilité est liée à la notion d'information, en effet, il faut avoir la connaissance de l'existence de certains services facilitant le déplacement des personnes à handicap pour pouvoir y accéder.

**Accessible:** Où l'on peut accéder, arriver, entrer.[Mitchell 95]

Par accès à une activité ou à un service, on entend la capacité à participer à l'activité ou à utiliser le service. L'accès à un service n'implique pas toujours le fait de devoir se déplacer; en effet, certains services peuvent se déplacer à domicile, de même, on peut avoir accès à une activité sans devoir se déplacer physiquement.

L'accessibilité est un terme qui signifie " caractère de ce qui peut être atteint, abordé, dont on peut s'approcher ". Dans la vie courante, les personnes bénéficiant de toutes leurs capacités sensorielles et motrices ne sont guère sensibles aux problèmes d'accessibilité.

Il n'en est pas de même des personnes souffrant de handicap permanent ou temporaire. Parmi les personnes " à handicap ", se trouvent les personnes à mobilité réduite.

**Personne à mobilité réduite :** personne ayant des difficultés à se déplacer pour des raisons de handicap physique permanent ou temporel, ou des raisons de circonstances.

En Europe de l'Ouest, dans les pays scandinaves et en Amérique du Nord, la mise en place du concept de personne à mobilité réduite, ou l'acronyme PMR, représente une évolution importante des mentalités de par la simple reconnaissance de la différence.

La définition [Smith 95] des personnes à mobilité réduite que donne l'organisme canadien TransAccess est: « Personnes qui, en raison de leur état de santé, sont incapables d'utiliser des services de transport ou qui les utilisent avec plus de difficultés que la population en général. »

Cette définition fait état non seulement de l'aptitude des personnes à utiliser des services, mais également des difficultés spécifiques auxquelles elles ont à faire face. Le groupe des personnes à mobilité réduite ainsi défini est un sous-ensemble de toutes les personnes handicapées. Afin de faciliter la tâche de plus en plus complexe des planificateurs et des décideurs, certaines conséquences particulières de cette définition ont été décrites en fonction des types de services de transport envisagés (interurbains, locaux et véhicules personnels), et en fonction de deux autres groupes : les personnes confinées chez elles et les " autres personnes ", à savoir, celles qui éprouvent de la difficulté à se déplacer en raison des limitations qu'elles ressentent dans l'exercice de quelques unes des activités de la vie quotidienne.

---

Cette approche très pragmatique est une mise à disposition d'informations à toutes les parties intervenantes dans le dossier des transports accessibles, dans le but de les aider à mieux évaluer les créneaux qui les intéressent, et à mieux répartir leurs ressources dans l'étude et la réalisation de produits et de services nouveaux ou améliorés. L'objectif de ces informations est de contribuer à la prospérité économique du Canada et à donner un nouvel essor au marché de l'accessibilité des transports. « Accessibilité et transport », ramenés au rang de perspectives commerciales et occasions d'affaires, ne peut que choquer notre sensibilité latine, cependant, parler de marché de l'accessibilité et d'un essor considérable, ne peut qu'amener de nouveaux services dont les bénéficiaires seront les personnes à mobilité réduite.

La population des PMR comprend tout d'abord les personnes handicapées au sens administratif et juridique du terme, par reconnaissance d'une maladie ou d'une déficience, y compris celles se déplaçant en fauteuil roulant. Il faut ensuite prendre en compte les personnes qui se trouvent en situation de handicap lors de leur déplacement, handicap qui peut être le résultat de la confrontation entre l'incapacité fonctionnelle présentée par la personne et les caractéristiques des situations rencontrées considérées comme normalement maîtrisables.

On pense d'emblée aux personnes âgées dont les capacités physiques diminuent et qui sont des utilisateurs réguliers des transports publics. Or, le vieillissement est un phénomène démographique qui marquera la fin de ce siècle, ainsi, selon les projections de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), l'Europe de l'Ouest comptera 20 % d'individus de plus de 60 ans en l'an 2000.

Il faut ensuite considérer les personnes qui se trouvent en situation de handicap temporaire telles que:

- les individus ayant une incapacité temporaire (jambe ou bras cassé,..)
- les individus se déplaçant avec des aides à la marche (cane, béquille)
- les parents avec des enfants en bas âge avec des poussettes
- les personnes avec des bagages ou des paquets encombrants
- les femmes enceintes...

La question qui sous tend l'ensemble des travaux réalisés dans le cadre de cette thèse est la suivante: Comment rendre un autobus accessible ?

Un mode de transport est accessible à un groupe donné de personnes invalides si, par sa conception physique et ses procédures d'exploitation, il peut être utilisé par lesdites personnes sans que celles-ci aient à exécuter quelque fonction rendue inexécutable par leur handicap. C'est au concepteur du mode de transport et à l'exploitant d'identifier les fonctions que rend inexécutable l'invalidité de certains groupes d'utilisateurs et de concevoir, dès le départ, un mode de transport tel que ces fonctions ne doivent pas être exécutées.

Une conception adéquate peut réduire les exigences physiques requises pour l'utilisation d'un mode de transport. Ainsi, une personne ayant des difficultés à marcher et à monter des marches peut être en mesure d'utiliser un autobus si celui-ci a des marches peu élevées, des mains courantes à des emplacements appropriés. Mais elle peut être totalement incapable de prendre un bus ayant des marches élevées et non pourvu de mains courantes. Par conséquent, un mode de transport est accessible si la personne est assistée dans l'exécution des fonctions rendues inexécutables par son handicap mais nécessaires pour l'utilisation du mode de transport en question.

---

Pour réaliser un mode de transport accessible, le concepteur doit connaître les handicaps des utilisateurs potentiels, identifier les actes que ces handicaps rendent impossibles et concevoir un mode de transport qui évite à ces personnes de devoir faire l'impossible pour pouvoir l'utiliser. Etant donné qu'à chaque personne correspond un handicap différent, les modes de transport doivent présenter différentes caractéristiques qui les rendent accessibles à différents groupes d'utilisateurs.

Une fois qu'un système est rendu physiquement accessible à ses utilisateurs de par sa conception, il faut que l'opérateur du système en question fasse en sorte que ses utilisateurs sachent qu'il existe, qu'ils disposent des informations nécessaires pour pouvoir l'utiliser et que l'utilisation dudit système ne soit ni gênée par des procédures ou des règles d'exploitation, ni par un manque de sécurité susceptible d'ébranler la confiance des utilisateurs dans le système. L'accès est limité par de nombreux autres facteurs que la simple conception physique du mode de transport. Le manque d'informations, le manque de moyens financiers et le manque de confiance sont autant de facteurs qui peuvent restreindre l'accès, voire constituer un obstacle tout aussi important que des marches élevées ou des pentes raides.

L'accessibilité se doit d'être intégrée au transport, tant au niveau des infrastructures que des véhicules. C'est une démarche qui doit imprégner tout le processus de conception, de fabrication et de maintenance. Grâce à quoi, il est possible de garantir une accessibilité optimale à un coût beaucoup moins élevé.

Nous sommes tous invalides d'une façon ou d'une autre. Concevoir des systèmes accessibles implique qu'on les réalise de manière à ce qu'un groupe de personnes aussi vaste que possible puisse les utiliser facilement. Même si certaines personnes ne pourront vraisemblablement jamais utiliser les modes de transport publics en raison de leur invalidité, plus un mode de transport sera bien conçu, plus le nombre de personnes pouvant l'utiliser sera élevé et plus il sera sûr et pratique pour l'ensemble des utilisateurs.

Les problèmes de mobilité affectent beaucoup plus de gens que ne le laisse supposer la notion restrictive de handicap. Si l'on compte les personnes qui se déplacent avec des bagages, des achats encombrants, des jeunes enfants, celles qui ont des difficultés à se déplacer à cause d'un handicap purement temporaire, et celles qui souffrent d'un handicap physique ou sensoriel à plus long terme, on peut estimer [Oxley 95b] que 20 à 30 pour cent environ des personnes qui se déplacent sont des personnes à mobilité réduite et non 6 à 10 pour cent comme le suggéraient les chiffres des années 1970. De plus, il ne faut pas oublier que des aménagements qui facilitent la vie des personnes à mobilité réduite, profitent dans la quasi-totalité des cas à tous les voyageurs. A titre d'exemple, et dans un autre domaine, il faut rappeler que la télécommande pour les télévisions, conçue initialement pour les handicapés, est devenue aujourd'hui indispensable à tout un chacun.

Outre la voiture individuelle, l'offre de transport faite aux personnes à mobilité réduite est dans la plupart des villes constituée par un transport spécialisé qui fonctionne à la demande et assure le déplacement porte à porte. Toutefois, il est presque exclusivement réservé à des personnes reconnues handicapées par une commission médicale spécialisée. Bien des bénéficiaires reprochent à ce système la lourdeur de réservation à l'avance, la durée excessive des trajets, les horaires restrictifs interdisant le service de nuit et du dimanche, et surtout trouvent là un objet de ségrégation.

L'accessibilité des personnes handicapées et à mobilité réduite est un sujet qui préoccupe aujourd'hui les pouvoirs publics de par le monde. Ainsi, aux Etats Unis, une loi de 1990 appelée ADA (Americans with Disabilities Act) a été élaborée en vue de garantir les mêmes droits aux 49 millions de personnes à mobilité réduite qu'aux autres citoyens, et ce, dans le domaine de l'emploi, des services publics, des logements publics, des services proposés par des entités privées ainsi que des télécommunications. L'élément clé de chacun des domaines est le transport, en effet, sans un accès égal au transport, les personnes à mobilité réduite ne pourront bénéficier des nombreuses

---

possibilités offertes en matière d'emploi, de loisirs et de soins de santé. Ainsi, l'ADA stipule que, d'ici 1997, chaque entité exploitant un service de transport public à itinéraire fixe doit offrir un service de transport parallèle complémentaire, de type porte-à-porte répondant à une demande, destiné aux personnes incapables d'utiliser les services à itinéraire fixe. L'impact financier des exigences de l'ADA est estimé à 700 millions de dollars dont 100 millions en dépenses d'investissements et 600 millions en frais d'exploitation. Par exemple, de nombreuses sociétés remplacent leurs services traditionnels à itinéraire fixe par des services à itinéraires et à arrêts variables utilisant des bus entièrement accessibles. Etant donné que ces services sont considérés comme répondant à la demande, ils ne doivent pas se conformer aux exigences de l'ADA en matière de services de transport parallèle complémentaire. Cependant, même si ce nouveau service facilite l'accessibilité aux autres voyageurs, il n'est concevable qu'en milieu rural où le nombre de passagers empruntant certains itinéraires fixes est limité. [Schuster 95]

Afin d'aider à la mise en oeuvre de la loi, un projet appelé ACTION (Accessible Transport In Our Nation) a pour objectif la promotion de la collaboration entre la communauté des PMR et l'industrie du transport. Ce programme de recherche et de démonstration national, qui a été élaboré par le Congrès, est financé par le Ministère du Transport (US DOT), l'Administration Fédérale du Transport (FTA) et la National Easter Seal Society (NESS). Afin d'atteindre les objectifs assignés, des financements sont débloqués pour aider des programmes pilotes locaux destinés à améliorer l'accessibilité des moyens de transport, et ce, dans les domaines de l'identification des besoins, de l'information, de la formation ainsi que de la technologie. Ainsi depuis sa création en 1988, le projet ACTION a financé 77 projets pour un coût total de 6 millions de dollars.

De même, dans le cadre du FTA (Ministère Américain du Transport), [Balog 95] un manuel sur l'accessibilité des infrastructures de transport (Accessibility Handbook for Transit Facilities) a été rédigé. Il offre aux personnes intéressées, autorités organisatrices ou aménageurs, des informations sur la plupart des dispositions stipulées dans la partie de la réglementation consacrée aux infrastructures. C'est ainsi que le manuel traite des exigences concernant le bord des quais et des plates-formes, les espaces séparant les quais et les plates-formes des véhicules, ainsi que l'accès du quai ou de la plate-forme du véhicule. De même, il donne des indications très précises sur l'environnement et les dimensions des arrêts de bus et d'abri pour les voyageurs.

En définitive, il semble donc que l'ADA commence à avoir un impact significatif sur les sociétés de transport grâce à la mise en place de nouveaux services et de nouvelles technologies offrant davantage d'opportunités aux PMR en matière de mobilité et d'intégration.

En Europe, des groupes de réflexion appelés COST (Coopération Scientifique et Technique) ont été créés pour tenter d'harmoniser les actions menées dans les différents pays de l'Union. Ainsi, le groupe appelé COST 322 est chargé de coordonner les travaux relatifs aux systèmes d'autobus à plancher surbaissé. Dans ce cadre, cette instance peut émettre des recommandations qui seront reprises par chaque pays membre de l'Union Européenne. [Dejeammes 96]

De plus, les opérateurs de transport public ressortissant de l'Union Européenne et membres de l'UITP (Union Internationale des Transports Publics) se sont regroupés au sein du Comité Européen d'Action pour les Transports publics ou "l'Euroteam Transports Publics". L'objectif de ce comité, qui est d'arrêter des positions communes en matière de transport en direction de l'Union, des états membres et des autorités locales, tourne autour d'un seul leitmotiv: la mobilité pour tous.

En France, créé en 1977, le COLITRAH (Comité de liaison pour le transport des personnes handicapées), émanation du Conseil National des Transports, a, non seulement développé des idées et principes concernant l'accessibilité des transports et de la chaîne du déplacement, mais encore aidé, par des actes, à la réalisation de l'accessibilité. Ainsi, le comité est amené à émettre des avis sur les matériels et les nouvelles infrastructures dont les avant-projets lui ont été soumis, éditer régulièrement

---

des guides et des brochures d'information, ainsi qu'élaborer divers documents pratiques de propositions de spécification et de recommandations [COLITRAH 93b].

Toujours en France, le décret n°94-86 du 26 janvier 1994 relatif à l'accessibilité aux personnes handicapées des locaux d'habitation, des établissements et installations recevant du public, modifie et complète le code de la construction et de l'habitation et le code de l'urbanisme. Ce décret fixe les dispositions applicables lors de la construction, de la création ou de la modification d'établissements recevant du public ou d'installations ouvertes au public.

Ainsi, l'article R. 111-19-1 : Est réputé accessible aux personnes handicapées tout établissement ou installation offrant à ces personnes, notamment à celles qui se déplacent en fauteuil roulant, la possibilité, dans des conditions normales de fonctionnement, de pénétrer dans l'établissement ou l'installation, d'y circuler, d'en sortir et de bénéficier de toutes les prestations offertes au public en vue desquelles cette installation ou cet établissement a été conçu. Ce texte législatif, même s'il ne concerne qu'indirectement les transports publics, montre la volonté politique ferme des Pouvoirs Publics de faciliter l'accessibilité.

Ainsi, en France, en Europe et aux Etats Unis, la préoccupation des pouvoirs publics est de rendre la chaîne des transports en commun accessible aux personnes à mobilité réduite. Cependant, loin de la législation, il nous a paru important de donner quelques points de repère montrant la réalité des situations pour lesquelles une certaine catégorie de la population peut être gênée.

## 1.2 Quelques points de repère

Un déplacement en transport collectif peut être décomposé en trois phases :

- accès à la station,
- montée/descente du véhicule,
- transport proprement dit.

Le problème de l'accès au lieu d'échange du transport ne doit pas être négligé, il serait en effet aberrant de mettre au point des services à l'intérieur du transport collectif sans que les principaux bénéficiaires ne puissent en profiter pour des raisons d'impossibilité d'accès.

Les impossibilités d'accès peuvent revêtir différentes formes telles, par exemple, l'absence d'escalier mécanique ou d'ascenseur, la présence d'obstacles sur le trottoir empêchant le cheminement de fauteuils roulants.

Pendant le transport proprement dit, il peut être évoqué le problème du confort des passagers. En effet, des accélérations et des freinages trop brusques, risquant d'engendrer des chutes, peuvent incommoder certaines personnes voire leur faire abandonner le mode de transport incriminé. De même, la possibilité de trouver des barres d'appui pour déambuler ou une place assise pendant le voyage peut être un critère déterminant du choix modal.

En ce qui concerne la montée et la descente du véhicule, deux paramètres entrent en jeu:

- La lacune verticale (ou marche) qui est l'écart de hauteur entre le plancher du véhicule et le quai de la station.
- La lacune horizontale est la distance entre le bord du quai et le plancher du véhicule.

Dans une moindre mesure, un troisième paramètre peut caractériser l'accessibilité, il s'agit de la précision du point d'arrêt. En effet, il peut exister des dispositifs facilitant l'accessibilité qui seraient inefficaces si le véhicule de transport ne s'arrêtait pas en face.

---

Ainsi, c'est au cours de ces différentes phases (accès à la station, accès au véhicule et transport) que l'individu devra mettre en oeuvre de façon alternative ou simultanée les principales fonctions qui lui permettent de s'adapter aux nécessités du milieu telles l'ambulation, la préhension et la communication.

Si un dysfonctionnement apparaît lors de cette confrontation, cela peut se traduire par des difficultés, limitations ou impossibilités, et l'utilisateur peut ainsi se trouver en situation de gêne ou d'exclusion. C'est pourquoi, la notion de handicap de situations remplace celle de handicap au sens médical, parce qu'il convient de considérer que le handicap est le résultat de la confrontation entre l'incapacité fonctionnelle, présentée par un individu, et les caractéristiques des situations rencontrées dans la vie courante.

Le concept de handicap de situation amène à considérer que les moyens de transport sont l'occasion de diverses confrontations pour les individus du fait de leurs capacités physiques réelles.

Une enquête et diverses études réalisées en France permettent de préciser quels éléments sont susceptibles d'engendrer des handicaps, afin, d'une part, d'en évaluer l'ampleur, et d'autre part, de prendre des mesures permettant d'améliorer cet état de fait.

L'enquête épidémiologique de Saint Cyr sur le Rhône [Minaire 85] fournit les performances d'un échantillon de 504 personnes lors de tests d'ambulation et de préhension fréquemment mises à contribution dans les situations de transport. D'une manière plus ciblée, des enquêtes donnant des informations sur les difficultés d'accessibilité de l'autobus urbain ont été menées en Europe.

### **1.2.1 L'enquête de Saint Cyr sur le Rhône**

L'objet est d'analyser les performances des individus par typologies déterminées, en fonction des populations utilisatrices de transports, à partir, d'une part, des données recueillies lors de l'expérimentation en situations représentatives de la vie courante sur les habitants d'un village, et d'autre part, des caractéristiques relevées dans les divers modes de transport.

Ainsi, au cours de cette expérimentation, les 500 habitants de Saint Cyr sur le Rhône ont été replacés dans des situations proches de celles rencontrées dans la vie quotidienne. Pour chacune de ces situations, les possibilités, limitations ou impossibilités ont été relevées en fonction des caractéristiques de la situation.

Le résultat de la confrontation, entre l'exigence du test et les capacités de l'individu, a été obtenu par l'observation des comportements et des stratégies motrices visibles. L'individu n'avait pas de consignes comportementales précises et n'avait pas de contrainte temporelle. Les seules consignes qui lui avaient été données, précisaient qu'il ne devait aller en aucun cas au delà de ses capacités. Par exemple, pour le franchissement de marches, la performance d'un individu était mesurée selon les critères suivants :

- possible, pour un franchissement se faisant dans la foulée, sans modification importante du pas, sans hésitation et sans effort apparent. (on peut parler ici de situation apportant un confort gestuel optimal pour l'individu.)

- limitée, pour une progression se faisant marche par marche, avec des efforts et des hésitations visibles à l'observation. (dans ce cas la situation est source de fatigabilité, pouvant se caractériser par un inconfort gestuel susceptible d'être accru par une contrainte temporelle, situation souvent associée à des mécanismes de compensation.)

- impossible, pour un individu se trouvant en situation d'exclusion malgré toutes ses stratégies compensatoires.

On voit que l'on dispose, à l'issue de certains tests, d'une échelle de performance traduisant l'apparition d'éventuelles dysfonctions ou d'une bonne adéquation entre les caractéristiques du milieu et les aptitudes de l'individu.

Lorsque le test et la fonction mise en oeuvre le permettaient, une mesure directe de la performance en terme de distance et hauteur d'atteinte, de force maximale développée et de temps d'exécution de gestes précis, a été effectuée.

Dans la base de données ainsi constituée, il a été possible, d'une part, de sélectionner les situations les plus représentatives des différents modes de transport et, d'autre part, d'analyser les performances des individus, regroupés par typologies, celles-ci ayant été déterminées en fonction des populations utilisatrices de transport [Dejeammes 88]. Ainsi, cette expérimentation a été réalisée sur 7 classes d'âge représentant les différentes catégories d'utilisateurs de transports collectifs, comme le montre le tableau I-1.

Classes d'âge	Nombre	catégorie d'utilisateur de transport
6 à 14 ans	85	scolaire
15 à 17 ans	29	captif *
18 à 24 ans	46	
25 à 34 ans	48	habituel
35 à 49 ans	149	
50 à 64 ans	67	
plus de 65 ans	42	inactif

\* captif: personne « prisonnière » des transports publics car ne possédant pas d'autres moyens de déplacement.

*Tableau I-1 . Les classes d'âge*

La catégorie des 18 à 24 ans est intéressante car elle représente des individus dont les caractéristiques sont figées du point de vue biométrique et où l'effet du vieillissement fonctionnel est peu marqué. Enfin, la répartition en fonction du sexe est de 49,8% d'hommes et 50,2% de femmes tous âges confondus.

Rappelons ici certains résultats directement applicables à la question posée par l'accessibilité de l'autobus, du point de vue de la montée et de la descente du véhicule. A ce titre, les situations concernées sont le franchissement des marchés et des rampes.

---

Concernant le franchissement de marches de 35 centimètres, les résultats montrent que d'une manière globale sur l'échantillon, 68 % des personnes sont gênées pour gravir des marches sans appui, quant aux personnes de plus de 65 ans, 52 % d'entre elles ne peuvent la franchir sans appui, et 14 % ne peuvent la franchir même avec un appui.

La marche intérieure du bus présente généralement une hauteur de 21 centimètres, or les résultats de franchissement d'une marche de 20 centimètres montrent que 21 % des personnes de plus de 65 ans sont gênés avec un appui, et que 24 % des personnes ne peuvent la franchir sans appui.

Concernant le franchissement des rampes, celles de 5 % posent peu de problèmes, par contre, pour une pente de 8 % , moins de 2 % de l'échantillon est gêné ou est dans l'impossibilité de la franchir sans appui, alors que 7 % des personnes de plus de 65 ans sont gênées ou sont dans l'impossibilité de la franchir sans appui.

De plus, sur cet échantillon, il est important de noter que 43% des individus s'estiment gênés dans les gestes de la vie courante et que 10 % s'estiment handicapés pour des problèmes d'ambulation, de préhension ou de communication.

En conclusion, certaines situations de transport peuvent produire un handicap au sens fonctionnel du terme et ce, dans quelques cas, pour toutes les tranches d'âges. Ces chiffres permettent de reconsidérer le nombre qui est généralement avancé lorsque l'on s'intéresse aux personnes qui se sentent marginalisées en situation de transport de par leurs aptitudes fonctionnelles.

## 1.2.2 Enquêtes sur l'accessibilité des autobus urbains

L'autobus R312 est un véhicule construit depuis 1986, par le constructeur français Renault Véhicule Industriel, sur les bases d'un cahier des charges établi par des exploitants de réseau dans le cadre de l'UTP (Union des Transports Publics). Une enquête a été réalisée en 1990 [Salavessa 90] auprès des usagers de l'autobus R312. Ainsi, 278 personnes de plus de 15 ans ont répondu à un questionnaire alors qu'elles voyageaient sur la ligne 28 du réseau TCL de Lyon. Dans cet échantillon, 63 % sont des usagers captifs et 18 % sont âgés de plus de 65 ans.

Les enquêteurs ont noté le handicap visible de chaque personne enquêtée : ainsi, 25 % sont en situation de handicap, et ce, pour diverses raisons: à cause de leur âge élevé, de la difficulté à se déplacer, de l'utilisation d'aides à la marche telles que canne ou béquille, de l'accompagnement d'enfant en poussette, ou bien du transport de bagages, voire de paquets encombrants.

Parmi les résultats significatifs concernant l'accessibilité, il faut noter que:

- 12 % ont des difficultés à monter et à descendre,
- 68 % utilisent 1 appui pour monter et descendre,
- 15 % utilisent 2 appuis pour monter et descendre.

Une autre étude, réalisée à Lyon par l'INRETS en 1988 [Dejeammes 88], a examiné les difficultés d'accès aux autobus urbains lorsqu'ils ne stationnent pas le long du trottoir. Du fait de l'éloignement de l'autobus du trottoir, cet arrêt « anormal » oblige les passagers à descendre sur la chaussée. Sur un autobus standard classique, ils se retrouvent alors face au franchissement d'une marche d'une hauteur de 35 centimètres. Ce qui rend la montée dans l'autobus impossible à 14 % des personnes de plus de 65 ans, impossible à 10 % des personnes de 50 à 64 ans, limitée à plus de 48 % des personnes de plus de 18 ans.

---

Dans cette même étude de 1988, les motivations des individus à recourir aux services de transport spécialisés ont été examinées. Rappelons que le transport spécialisé est un service qui prend en charge le passager de porte à porte, et ce, sur réservation. Ainsi, le recours à ce type de service est motivé par les difficultés rencontrées lors de l'utilisation d'un mode de transport habituel. Parmi celles-ci, les plus fréquemment citées, dans les véhicules classiques actuels, sont celle de tenir debout et celle de franchir l'embarquement des autobus.

Au Canada [Smith 95], l'enquête sur la santé et les limitations d'activités menée en 1986 et 1991, montre que les personnes à mobilité réduite, éprouvant des difficultés à utiliser un autobus non adapté, sont gênées en premier lieu et à 52 %, au moment de l'embarquement et du débarquement.

Une étude [Oxley 95c] a été menée à Londres pour le compte du LATU (Unité londonienne des transports accessibles) et du London Transport en 1991 sur un groupe de 431 personnes qui sont, soit utilisatrices de transports spécialisés ou parfaitement accessibles, soit ont difficilement accès ou aucun accès aux moyens de transport public. A la question sur les raisons pour lesquelles ils avaient cessé d'utiliser les autobus publics, les anciens utilisateurs ont souvent invoqué la conception même de ces véhicules, surtout au niveau des difficultés rencontrées pour l'embarquement et le débarquement. En corollaire à cette question, il leur a été demandé quels changements devraient être apportés pour les convaincre de réutiliser l'autobus. 40 % des anciens utilisateurs de bus ont estimé qu'il était impossible pour eux de réutiliser ce moyen de transport. Parmi les autres personnes interrogées, les changements qu'elles demandaient avant d'envisager de reprendre l'autobus, consistaient en la disparition des inconvénients qui les avaient poussées à en abandonner l'utilisation. Ainsi, pour les anciens utilisateurs de bus, parmi les principaux changements à apporter, 18 % souhaiteraient des marches moins hautes pour accéder au bus, et 13 % l'installation d'élévateurs ou de rampes pour les fauteuils roulants.

L'ensemble de ces données confirme que la montée et la descente posent le plus de problèmes, en entraînant des efforts de la part du voyageur et en augmentant les temps d'échange. Il importe donc d'améliorer la conception des barres montoirs permettant de prendre appui, ou mieux de réduire le nombre et la hauteur des marches.

De plus, ces données permettent d'apporter des éléments d'orientation aux concepteurs pour l'amélioration des sites et des matériels de transport collectif d'une manière globale. En effet, la recherche d'indices de dysfonctionnement est l'élément central qui offre la meilleure appréhension des difficultés rencontrées au cours d'un trajet en transport en commun.

Ainsi, le concept de handicap de situation, qui traduit le fait qu'une personne quelconque est incapable de faire face à une situation considérée comme normalement maîtrisable, amène à ne plus considérer les besoins de transport des personnes à mobilité réduite comme un enjeu marginal. Le choix peut être ainsi laissé à chacun de prendre le mode de transport urbain qui lui convient, sans le cantonner dans un type, et particulièrement la voiture automobile, seul mode encore trop souvent perçu comme le seul convenant aux personnes handicapées.

Ce premier éclairage sur les problèmes d'accessibilité aux transports collectifs laisse entrevoir, d'une part, une approche globale du concept de personnes à mobilité réduite, et d'autre part, des problèmes plus spécifiques liés à l'utilisation de l'autobus urbain. Cependant, avant d'examiner plus en profondeur ce mode de transport, il convient de regarder du côté des autres transports collectifs afin d'appréhender leur approche de l'accessibilité.

---

# Chapitre III: Autobus urbains :

## « Combler la lacune »

« Combler la lacune » est le leitmotiv qui va dominer la suite de cette thèse. En effet, notre objectif est de concevoir une nouvelle fonction afférente à la conduite d'un autobus et en particulier à la manoeuvre d'accostage. Et ce, afin de minimiser la lacune horizontale en amenant l'autobus le plus près possible du quai de station.

### 3.1 Les expériences de systèmes d'aide à l'accostage

#### 3.1.1 Les expériences en Allemagne

En avant propos, il convient de noter l'utilisation du système de guidage mécanique allemand O-Bahn dont la RATP s'est inspirée pour réaliser un prototype ne possédant qu'une seule roulette au niveau de la roue avant droite. Cette unique roulette permet d'entrer en contact avec le quai et ainsi d'assurer des lacunes de l'ordre de 5 centimètres avec une reproductibilité indéniable. Cependant, cette expérimentation a été abandonnée face à des difficultés d'ordre mécanique lors d'essais réalisés à la RATP en 1994.

Des expériences d'accessibilité ont eu lieu dès 1987 en Allemagne à Herten, où le premier bus à plancher surbaissé du constructeur NEOPLAN de Stuttgart a été acheté. Dans le cadre d'un programme appelé "Praxis für die Praxis" (Pratique pour la pratique), il a été décidé d'exploiter une ligne desservant trois résidences de personnes âgées et deux hôpitaux avec 6 véhicules à plancher surbaissé NEOPLAN équipés de systèmes d'agenouillement.

Suite à la satisfaction des usagers et du Ministre des Transports, des subventions ont été versées pour l'aménagement, à Boltrop<sup>1</sup>, de 20 arrêts avec des bordures de 20 cm de hauteur. Cependant, les conducteurs ont eu une certaine appréhension vis à vis de cette bordure jugée élevée, ce qui a eu pour conséquence la réalisation d'accostages de qualité médiocre présentant des lacunes importantes.

C'est pourquoi, le Ministère des Transports a proposé un financement pour la réalisation d'une étude sur l'aide à la lacune (Abstandshilfen). Cette étude, qui a été réalisée par le bureau d'études STUVA (Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V.) sous la direction de M. Rogat du réseau de Herten, avait un objectif clairement affiché: réaliser un système bon marché et qui fonctionne [STUVA 93].

C'est dans ce cadre qu'une bibliographie sur différentes possibilités de systèmes d'aide à l'accostage a été menée, et que des expérimentations ont été réalisées essentiellement à Herten.

---

<sup>1</sup> Herten et Boltrop appartiennent à un même groupement de communes

Comme le montrent les figures III-1 et III-2, deux systèmes ont été développés, l'un par MAN et l'autre par BOSCH. Le système de guidage MAN repose sur le principe de filoguidage avec un marquage sur le sol matérialisant la trajectoire et une antenne embarquée sous le bus. D'après les quelques informations disponibles, nous ne savons pas si ce système a été réellement testé sur site.

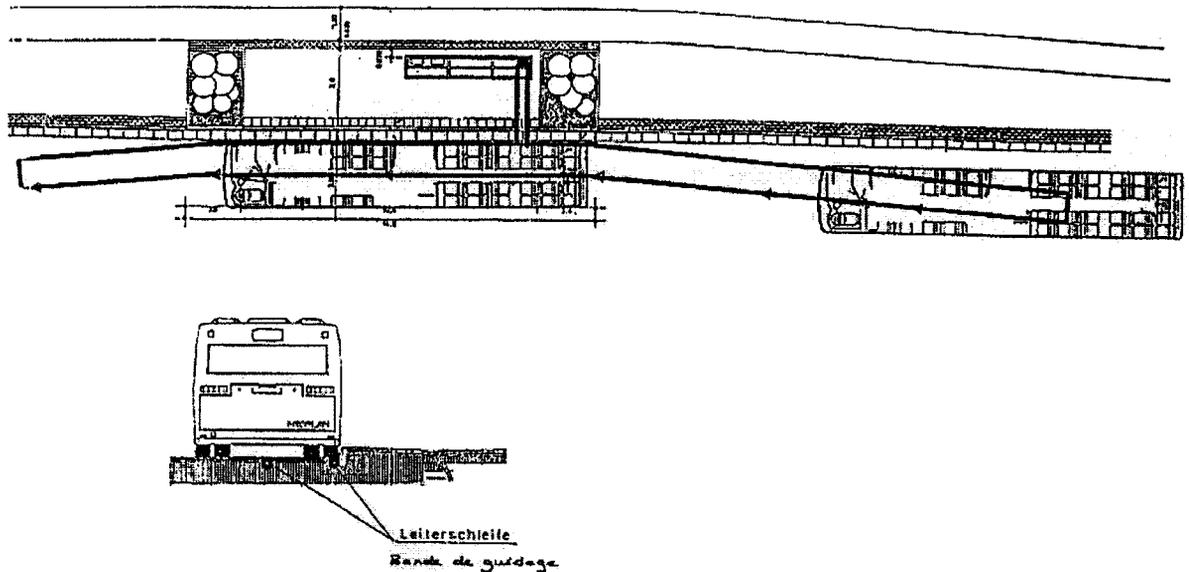


Figure III-1. Système de guidage MAN

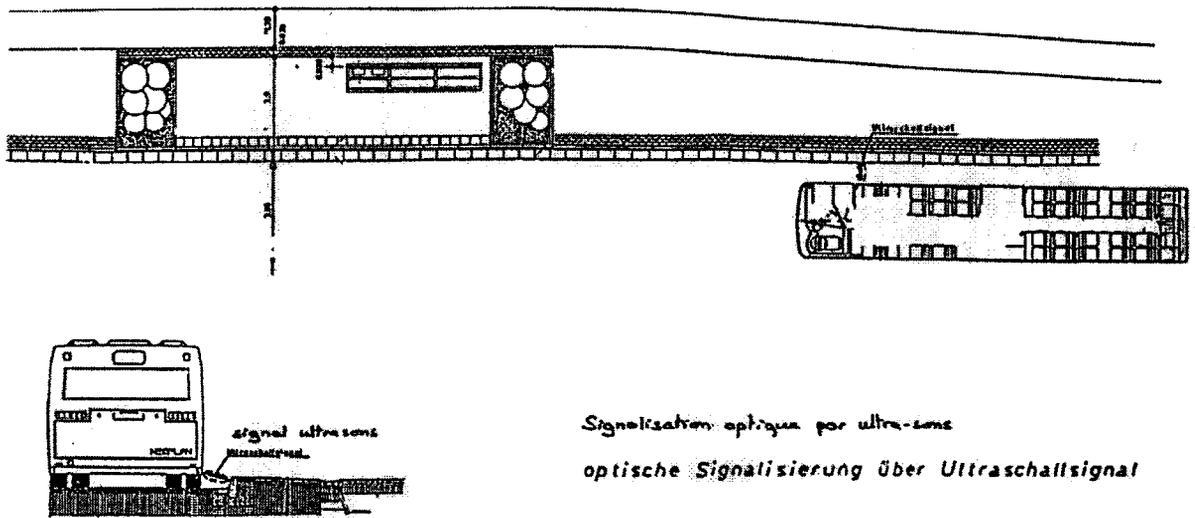


Figure III-2. Système BOSCH

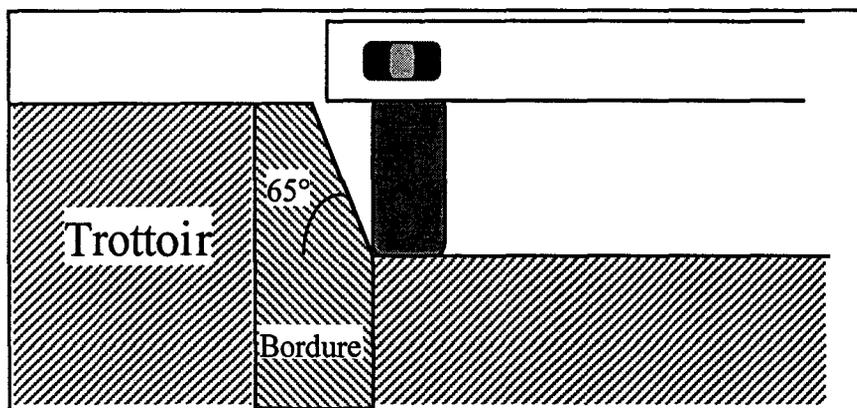
Le système BOSCH est un dispositif à ultrason qui donne une information discontinue au conducteur sur la distance entre le bus et le bord du quai au moyen de trois lampes de couleur rouge, jaune et verte disposées sur le rétroviseur droit: la couleur verte annonce une distance supérieure à 30 cm, la couleur jaune une distance de 10 cm, la couleur rouge une distance inférieure à 5 cm. Il semble qu'il y ait eu des problèmes de mise au point avec le système BOSCH, ce qui a nécessité la conception d'un autre système par la société Wiegand. Malgré ce nouveau prototype, l'expérimentation a été arrêtée vraisemblablement pour des raisons touchant

plus à l'ergonomie, telles l'emplacement de l'afficheur et les problèmes d'intégration du système dans les tâches de conduite, qu'à la technique proprement dite.

Cependant, ces solutions ont été abandonnées, et l'étude s'est concentrée sur l'utilisation d'une bordure lisse contre laquelle viendraient s'approcher progressivement les pneumatiques de l'autobus afin de réaliser une lacune minimale [Grossmann 94]. Les fabricants Michelin, Continental et Dunlop consultés ont levé le doute qui subsistait quant aux dommages que pourraient faire subir aux flancs des pneus les frottements à répétition contre le trottoir.

Ainsi, des arrêts prototype ont été construits, un en dépôt et quatre à Boltrop, sur lesquels la bonne tenue des matériaux utilisés a été noté même à des températures de  $-10^{\circ}\text{C}$ . Pendant trois mois, un questionnaire a circulé auprès des conducteurs afin qu'ils émettent leurs observations. Plus de cent réponses ont été reçues, et les résultats étaient globalement positifs.

La forme de trottoir spécifique permettant de minimiser le contact roue-bordure est devenue la solution allemande au problème de l'accessibilité des autobus à plancher surbaissé. Ce projet suscite beaucoup d'intérêt de la part du public et plus de 30 entreprises se sont intéressées à la fabrication en série des bordures. Actuellement d'autres villes d'Allemagne s'équipent de ce type de bordure, telles par exemple, Cassel (Kassel) ou Aix La Chapelle (Aachen) où 374 arrêts sont équipés sur un total de 813. Sur le réseau de la Vestische, seuls 50 arrêts ont été modifiés à Herten sur un total de 3500.



*Figure III-3. Modèle de bordure de trottoir utilisé en Allemagne*

Les types d'arrêt de bus privilégiés sont les arrêts en ligne et en saillie avec des hauteurs retenues pour les quais, qui sont de 18 centimètres en ligne et de 16 centimètres en courbe. Ce qui compte tenu d'un emmarchement à 32 cm et d'un agenouillement de 8 cm, offre une lacune verticale de 6 à 8 cm. Il est à noter que les hauteurs de quais de 16 cm et 18 cm sont maintenant reconnues comme normes en Allemagne.

Les conducteurs ne bénéficient d'aucune formation spéciale pour accoster, ils reçoivent seulement une notice d'utilisation du système d'aide à la lacune qui leur tient lieu de consigne. D'après nos informations, le pneu toucherait rarement la bordure, ce qui causerait peu de dommage. L'exploitant se devant d'offrir une lacune minimale aux usagers, une observation continue des lacunes est réalisée par les contrôleurs sur le réseau. Ainsi, la lacune est en moyenne de 7 à 8 centimètres, ce qui est, d'après l'avis de l'exploitant à Herten, tout à fait acceptable même pour les fauteuils électriques.

### 3.1.2 L'expérience de Caen: le système chasse roue

A Caen, à partir de 1990 a débuté une expérimentation de "bus plain-pied" qui est menée par la Compagnie des Transports de l'Agglomération Caennaise (CTAC) - Groupe VIA Transport. [Frey 92]

En associant des bus à plancher surbaissé à des arrêts aménagés en surélévation, c'était le message de la reconquête de l'espace par les transports en commun qui a été lancé, dans l'optique à moyen terme, du lancement d'un système de transport à voie réservée, le GLT.

Les fonctions principales à remplir par le système d'aide à l'accostage sont d'éviter le contact du bus contre le quai et d'assurer une lacune horizontale inférieure à 10 centimètres au niveau de la porte avant.

Les contraintes imposées au système portent sur sa polyvalence afin qu'il puisse accueillir tous les types de bus en exploitation à Caen, sur sa fiabilité et sa durabilité contre les agressions du climat et des hommes, sur la sécurité des usagers de la voirie urbaine et évidemment sur son faible coût d'installation et d'entretien.

Le système d'aide à l'accostage comporte deux parties distinctes : un dispositif placé le long du quai de la station et un système d'aide visuel au conducteur.

Le principe retenu, qui est inspiré des guides existant dans les tunnels de lavage, est un tube métallique de forme arrondie qui est inséré dans une bordure. Afin d'assurer l'accostage recherché, les flancs des pneus viennent s'appuyer sur le tube sans créer de dommages sur les enjoliveurs. Plusieurs solutions ont été testées, un tube métallique et une bordure en granit, un ensemble réalisé entièrement en béton qui s'est avéré trop friable. C'est finalement la solution tube métallique et bordure qui a été retenue avec un coût de l'ordre de 20 à 25 kF par station. Il est à noter que sur les arrêts équipés, les bus se présentent en ligne par rapport à leur voie de circulation, ce qui exclut par définition même tous les arrêts situés en courbe.

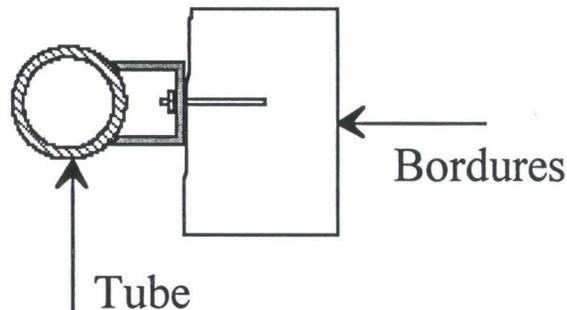


Figure III-4. Coupe du dispositif de Caen

Quant au système d'aide à la conduite utilisé pour faciliter l'accostage du bus, il se décompose en trois parties :

- un système de visée.

Un collimateur placé sur le pare-brise avant du bus dans le champ de vision du conducteur permet de suivre, essentiellement dans la phase d'approche, un repère au sol qui représente la trajectoire pour un accostage optimal.

- un repère au sol.

Le repère au sol est compatible avec le code de la route, il s'agit d'une ligne rouge vif qui mesure 5 centimètres de large au lieu de 10 centimètres, dernière mesure qui correspond à la normalisation de la signalisation du code de la route. De plus pour marquer l'espace transport public, il figure le zébra jaune signalant l'interdiction de stationnement et le tube est également peint en jaune.

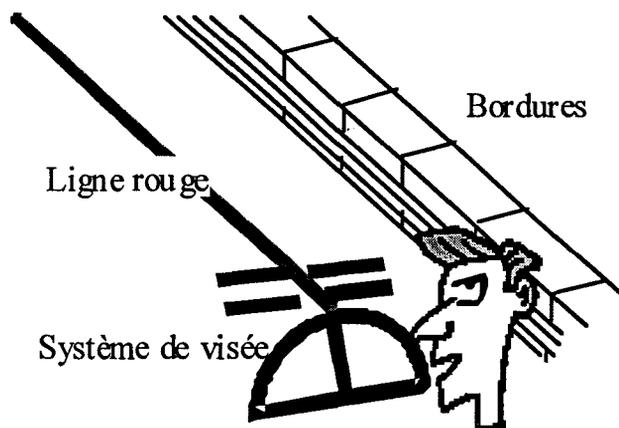


Figure III-5. Système d'aide à la conduite

- un rétroviseur d'accostage

En phase finale de l'accostage, les conducteurs caennais ont réclamé un deuxième système d'aide à la conduite constitué par un rétroviseur spécifique, afin de se rendre compte "de visu" de leur positionnement par rapport au tube jaune. Il a été retenu un rétroviseur électrique qui permet un réglage précis et qui est adaptable à chaque chauffeur.

Malgré cela, il est très difficile de se rendre compte du positionnement précis, c'est pourquoi, il a dû être ajouté un repère latéral qui est situé près du passage de la roue avant droite à hauteur du pare-choc et qui est matérialisé par un petit morceau de caoutchouc rouge.

L'expérience pilote "bus plain-pied" de Caen a été évaluée par l'INRETS [Dejeammes 93a] tant du point de vue des voyageurs que du point de vue de l'exploitation, mais nous ne reprenons ici que les conclusions concernant les aspects liés à l'exploitation.

Concernant le système d'aide à l'accostage par guide chasse-roue et viseur, il ne semble pas qu'il permette d'atteindre les objectifs de très faible lacune entre la bordure du quai et le seuil d'entrée du bus, en effet, une moyenne de 15 centimètres a été observée. De plus, il pénalise légèrement le temps d'approche pour l'autobus surbaissé. Les conducteurs, même s'ils jugent utile le guide roue, restent très respectueux de leur outil de travail et évitent d'aller jusqu'au contact flanc du pneu / bordure métallique. L'arrêt surélevé, ici d'une hauteur de 25 à 28 centimètres, engendre une certaine crainte d'endommagement du véhicule, de même qu'en Allemagne, il est constaté de la part des conducteurs un effet dit « de paroi ».

Cependant la conclusion générale met l'accent sur le caractère prometteur de cette expérience pour faciliter l'accessibilité de l'autobus urbain aux personnes à mobilité réduite.

En conclusion, l'expérience de Caen démontre que seul, un système mécanique ne peut répondre au problème posé de faible lacune et de sa reproductibilité. Il semble nécessaire d'y adjoindre un système d'aide au conducteur offrant une information continue durant toute la manoeuvre d'accostage, et évidemment de parfaire leur formation par de l'entraînement.

---

### 3.1.3 Halmstad en Suède

Comme il a déjà été présenté au chapitre 2.1.3, le réseau suédois de Halmstad a choisi un véhicule VOLVO en 1979 présentant un plancher à 58 cm environ du sol. Des quais surélevés à 53 cm de la chaussée ont été installés aux arrêts d'échange principaux, offrant une rampe et des marches pour rejoindre la zone d'attente du bus. Des palettes escamotables sur les deux portes viennent combler la lacune entre le seuil du bus et le quai.

Afin d'assurer un accostage de qualité à ces arrêts, le constructeur VOLVO a réalisé en 1982 un système d'aide à l'accostage, basé sur des techniques électroniques, et qui permettait d'amener l'autobus le long du quai avec une action sur le volant. D'après nos informations, ce dispositif reposait sur un filoguidage et la manoeuvre d'approche de l'arrêt était gérée de manière entièrement automatique. Ainsi, le conducteur n'avait ni le contrôle sur la direction, ni sur l'accélération, ni même sur le freinage. Ce système a été refusé par les conducteurs de bus pour des raisons dont l'aspect déresponsabilisation faisait certainement partie.

Ainsi, un système électronique d'aide au pilotage et au freinage a été intégré libérant le conducteur de la charge de l'accostage mais lui laissant la responsabilité de la sécurité par rapport au trafic. En effet, par une action sur le volant, le conducteur était capable de reprendre la main au système.

Il s'avère qu'il y a encore eu des critiques virulentes de la part des utilisateurs de ce système. Il ne nous a pas été possible de connaître les raisons précises, est-ce un manque de fiabilité, ou de trop fortes contraintes sur la direction lors de la reprise en main, ou un appauvrissement de la charge de conduite, ou bien la peur de voir le métier de conducteur disparaître ? En définitive, l'opposition a été si forte que le système d'aide à l'accostage a été supprimé.

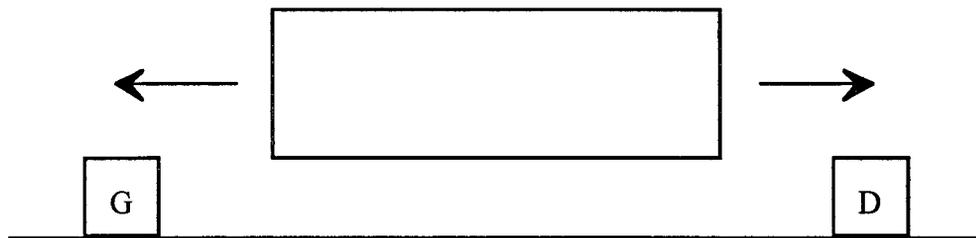
Cependant, du point de vue des passagers, cette expérience a été jugée globalement très positive et efficace pour les personnes à mobilité réduite, mais les quais surélevés ont pu poser des problèmes d'intégration urbanistique notamment en centre ville. C'est pourquoi, depuis 1990, les autorités ont opté pour la solution des autobus à plancher surbaissé.

### 3.1.4 Le projet VISÉE

VISÉE est un projet en cours de développement dirigé par Renault Véhicules Industriels, les partenaires sont la Direction de la Recherche Renault et Matra Cap Système. Il a été choisi d'étudier un système à court terme permettant d'assister le conducteur pendant la phase d'accostage, mais celui-ci restant maître à bord. Il s'agit donc d'un système de type immatériel reposant sur des techniques électroniques et ne nécessitant pas d'infrastructure lourde.

Le choix effectué dans le programme VISÉE repose sur le guidage de l'autobus au moyen d'un système de vision embarquée : une caméra effectue la détection d'une ligne de référence tracée au sol. Un calculateur embarqué traite les images dans le but de générer une consigne de couple à appliquer à la colonne de direction afin de faciliter l'aide à l'accostage en optimisant la trajectoire.

Le principe retenu est basé sur le suivi de trajectoire par caméra embarquée, il est dérivé du système exploratoire LACETS (Lateral Control Enhancement System) développé dans le cadre du projet européen PROMETHEUS pour l'aide à la conduite. LACETS permet de réaliser la surveillance de la vigilance des conducteurs et l'assistance au guidage latéral en vérifiant que le conducteur conserve une trajectoire conforme au tracé de la route. Pour cela, le système utilise le traitement d'images, la caméra placée sur le véhicule prenant les bandes de balisage ou les trottoirs comme repères. Le système possède plusieurs niveaux d'information, visuel, sonore et kinesthésique. L'information visuelle (voir figure III-6) est projetée sur le pare brise, le rectangle symbolise le déplacement de la voiture par rapport aux repères droite et gauche de la route.



G et D : Repères de bord de la route

Figure III-6. Affichage du système LACETS

En cas d'écart trop important par rapport à la trajectoire nominale, écart qui serait dû à l'hypovigilance du conducteur, une alarme sonore retentit pour avertir de redresser le volant. Le système LACETS existe également dans une version plus sophistiquée où, lors d'un écart anormal, c'est un actionneur situé au niveau de la direction qui force le véhicule à reprendre la trajectoire optimale comme s'il roulait dans une ornière parallèle au marquage.

C'est ce principe, dit d'ornière virtuelle, qui a été retenu comme système de guidage à l'accostage. Ainsi le bus réalisant la manoeuvre d'accostage, suivrait une trajectoire idéale l'amenant à une lacune minimale, guidé comme s'il roulait dans une ornière. L'objectif de l'étude est de réaliser un système offrant une lacune horizontale quai/bus inférieure à 8 centimètres.

Dans le cadre du projet VISÉE, la réalisation d'un véhicule roulant appelé P'0 sur une base d'autobus R 312 a été menée en 1995. Ce véhicule sera testé successivement sur site réservé où seront implantés des arrêts en encoche et des arrêts en saillie, puis sur le réseau de Grenoble, dès 1996. Enfin, notons que ce système va vers une simplification des tâches de conduite libérant ainsi le conducteur pour des activités liées à la clientèle et à l'exploitation. [Dejeammes 96]

Le tableau III-1 présente une synthèse des expérimentations menées en distinguant si l'accostage est réalisé par un suivi de trajectoire ou par la mesure de distance par rapport au quai. De plus, il est précisé si le mode de conduite et le mode de guidage sont réalisés de manière manuelle, automatique ou dirigée. En cas de réponse positive dans la 6<sup>ème</sup> colonne, cela signifie que le système est considéré comme une aide à la conduite pour le pilote de l'autobus. Enfin, la dernière colonne reprend les principes techniques utilisés pour la réalisation de la manoeuvre d'accostage.

Projet	Suivi trajectoire	Mesure distance	Mode conduite	Mode guidage	Aide à la conduite	Principe
MAN	oui		manuel	automatique		filoguidage
Bosch		oui	manuel	manuel	oui	télémétrie
Vestische			manuel	manuel		bordure biseautée
Caen	oui		manuel	manuel	oui	bordure forme tube
Halmstad	oui		automatique	automatique		filoguidage + pilotage
VISÉE	oui		manuel	dirigé	oui	traitement images

*Tableau III-1. Les différentes expériences de systèmes d'aide à l'accostage*

Les expériences basées sur les techniques électroniques, reposent sur des capteurs nécessaires pour réaliser le suivi de trajectoire et pour connaître le positionnement du véhicule par rapport au quai grâce à une mesure de distance. C'est pourquoi, il nous a paru intéressant de réaliser un état de l'art des différentes techniques envisageables pour permettre d'assurer le positionnement et le suivi d'un véhicule dans un environnement donné.

### **3.2 Aide à l'accostage: capteurs utilisables**

L'aide à l'accostage d'un autobus urbain implique la connaissance du positionnement du véhicule dans son environnement ainsi que sa progression ou son guidage jusqu'à son point d'arrêt correspondant à un accostage optimal avec une précision de quelques centimètres.

La manoeuvre d'accostage d'un véhicule de transport nécessite la détermination précise de sa position. Cette position peut être calculée soit par rapport à un repère fixe généralement lié à son point de départ, soit par rapport à une référence matérialisée dans son environnement [Lamy 84]. Afin de réaliser l'aide à l'accostage du véhicule, il est nécessaire que l'une des solutions ci-dessous soit retenue :

- Le véhicule est contraint à suivre une voie matérialisée par un ou deux rails. Le guidage latéral est du type mécanique par force brute et le pilotage longitudinal est manuel.
- La trajectoire à suivre est mémorisée à bord du véhicule. Le véhicule se réfère à un repère fixe, les capteurs lui permettent de connaître précisément sa position dans l'environnement. Les écarts de trajectoire sont détectés par comparaison à la trajectoire mémorisée et permettent la détermination de l'écart de l'autobus.

- 
- La carte du monde extérieur au véhicule est mémorisée à bord de celui-ci. Le véhicule, au cours de sa progression, génère périodiquement la carte de son environnement en utilisant un calculateur embarqué. Ces deux cartes sont comparées de façon à déterminer la position précise du véhicule dans son environnement.
  - Le véhicule suit une trajectoire de référence matérialisée le long de la voirie. Il doit être équipé de capteurs qui mesurent son écart latéral par rapport à la trajectoire désirée. Le guidage est assuré alors par un système de commande de direction ou un système de visualisation de l'information distance. Le pilotage longitudinal est automatique ou manuel.

La première solution, qui est du type suivi de trajectoire, nécessite l'installation de rail(s) sur le site pour assurer un guidage ponctuel du véhicule au droit de la station. Bien que cette solution soit peu réaliste, les capteurs à mettre en oeuvre consisteraient en des pièces mécaniques permettant l'enclenchement progressif du guidage par rail(s).

En ce qui concerne les solutions reposant sur la mémorisation de la trajectoire à bord du véhicule, plusieurs auteurs ont étudié la faisabilité d'un tel guidage afin de chercher à se libérer des contraintes d'un réseau figé malgré la précision qui lui est propre. La difficulté principale pour la réalisation d'un tel guidage est de connaître précisément la position du véhicule à tout instant. Deux types de mesure de position sont utilisés : absolu et relatif.

Dans le premier cas, la position est calculée par rapport à des balises de référence fixes ; ces balises peuvent être des émetteurs H.F., des sources de lumière infrarouge, des sources lasers munies de scanners [Tsumara]

Dans le second cas, la position est calculée à des instants discrets en ajoutant à la position précédemment calculée les variations de parcours entre deux instants de mesure successifs : il procède par intégration des déplacements successifs ce qui entraîne une accumulation d'erreur. Le plus connu des systèmes de ce type est le système inertiel dont le plus économique est l'odomètre [Tsumara 81] qui consiste à mesurer les tours de roues du véhicule pour en déterminer sa position.

C'est essentiellement sur la troisième solution reposant sur une référence au sol que nous nous concentrerons.

### **3.2.1. Détermination de la position d'un véhicule par une référence matérialisée au sol**

On y distingue trois systèmes essentiels :

- le système de référence. Lié à un repère fixe, il matérialise la trajectoire à suivre. Il doit être perceptible par le véhicule et lui permettre de déterminer précisément son état par rapport à la route.
- Le système de détection. Constitué de capteurs compatibles avec le système de référence, il mesure les informations émises par celui-ci. Ces informations traitées, permettent de déterminer de quelles manières doit être modifié l'état du véhicule, ou quelle information pertinente a besoin le conducteur.
- Le système de commande de direction qui opère sur les informations reçues et qui agit de façon à maintenir le véhicule dans l'état désiré ou le système qui restitue l'information au conducteur.

---

### 3.2.1.1 . *Détection du champ magnétique rayonné par un câble*

Parmi les différents procédés de guidage viable, celui qui consiste à mesurer l'état latéral du véhicule par la détection du champ magnétique est sans nul doute celui qui a mérité le plus grand nombre d'études tant théorique qu'expérimentales. Ce champ magnétique est produit par un courant basse fréquence circulant dans un câble. Dès la fin des années 50, la *general Motors Corporation* [Gardels 60] en collaboration avec la *Radio Corporation of America* a menée les premières recherches sur le guidage électronique à faible vitesse utilisant la détection de l'amplitude du champ magnétique. Ultérieurement, le *Road Research Laboratory (GB)* [Cardew 70], le *Government Mechanical Laboratory of Japan* [Ito 73], l'*Ohio State University* ont vers la fin des années 60, appliqué cette technique et ont effectué des essais à vitesse plus élevée. Il est à noter que la perturbation de la distribution du champ magnétique, et par conséquent de la mesure de la position latérale du véhicule, causée par les structures métalliques au voisinage du câble ne permettent pas de bonnes performances.

Afin de remédier à ces inconvénients, Olson [Olson 77] a comparé entre elles plusieurs configurations : un ou deux fils, bobines détectant l'amplitude ou la phase du champ magnétique produit par le courant circulant dans le fil ; le système à un fil et à détection de phase donne la précision la meilleure dans le suivi du fil de guidage.

Les deux principes suivants qui sont : la détection d'amplitude et la détection de phase sont actuellement utilisés dans le domaine du transport.

La réalisation de la localisation de l'autobus par cette méthode présente des avantages non négligeables. Il existe un savoir faire considérable dans ce domaine, car cette méthode de localisation est souvent utilisée dans le milieu industriel pour effectuer le suivi de trajectoire par des robots mobiles. L'erreur de localisation latérale est faible, inférieure à 2 cm pour des vitesses comprises entre 0 et 20 km/h et inférieure à 5 cm pour des vitesses allant jusque 80 km/h. Un autre avantage est l'indépendance complète au niveau des conditions climatique et horaire (ce système de localisation fonctionne aussi bien par temps de pluie, temps sec, temps de neige, pendant la nuit ou le brouillard). Par contre, la localisation est perturbée dans un environnement ferreux (caisse du véhicule), l'installation ainsi que le changement de trajectoire nécessite des interventions sur l'environnement. Cette méthode de localisation nécessite une alimentation continue du fils de guidage. Et le dernier point qui est très important est le risque de rupture prématuré du fil de guidage, vu le passage répété des autobus au même endroit sur la chaussée qui formera en plus des ornières sur la chaussée.

### 3.2.1.2 . *Détection d'une bande peinte sur la chaussée*

Afin de remédier aux inconvénients propres à la technique du suivi de câble, certains auteurs ont étudié d'autres systèmes d'information sur la détection de la position du véhicule sur la chaussée.

La trajectoire peut être matérialisée par une bande de peinture optique, métallique, ou magnétique. Cette trajectoire n'est nullement obligée d'être fermée. Il semble que la bande métallique ne soit peu envisageable à cause de la difficulté voire de l'impossibilité de distinguer la référence des structures métalliques avoisinantes (exemple : boîte de boisson sur la chaussée).

- Peinture optique et détecteurs optiques [DeParis 90]. Le capteur le plus couramment employé est constitué de deux ou plusieurs photodiodes fixées sous la caisse du véhicule et qui mesurent l'intensité lumineuse réfléchi par la bande peinte. Afin de permettre l'utilisation du système dans les zones sombres, une source de lumière qui éclaire la

bande de peinture est placée à côté des détecteurs. Les signaux issus de ces détecteurs sont traités et fournissent une mesure de l'écart latéral. Cette méthode bien que basée sur des systèmes simples et fiables, nous paraît très peu exploitable dans notre étude, car la distance séparant les détecteurs de la bande blanche doit être faible pour obtenir une bonne précision. Cette distance verticale est inférieure à 5 centimètres. Le tangage du véhicule en période de freinage ainsi que la variation du nombre de passagers à bord de l'autobus provoque un abaissement de l'autobus. Ce qui oblige à respecter une distance minimale entre le capteur et la chaussée bien supérieure à 5 centimètres.

- Peinture optique et traitement d'images vidéo. Okawa [Okawa] et bien d'autres [Elarbi-Boudihiris 92], [Frohn 89], [Lailier 93], [Takero 87]... ont étudié et testé la localisation d'un mobile par analyse d'images. Le système de référence est toujours une bande de peinture, le capteur principal est une caméra vidéo (ligne ou matricielle) embarquée sur le robot ou sur le véhicule. Le signal luminosité de cette caméra, braquée vers l'avant du véhicule, est numérisé puis mémorisé.

Le traitement d'images détermine les coordonnées de la bande de peinture dans le plan image de la caméra. Un changement de repère est ensuite opéré qui permet de déterminer l'état du véhicule. L'angle de cap du véhicule ainsi que la position latérale par rapport à cette bande est calculé. Dans certain cas, pendant le temps de calcul, la position est estimée par odométrie pour avoir une localisation précise.

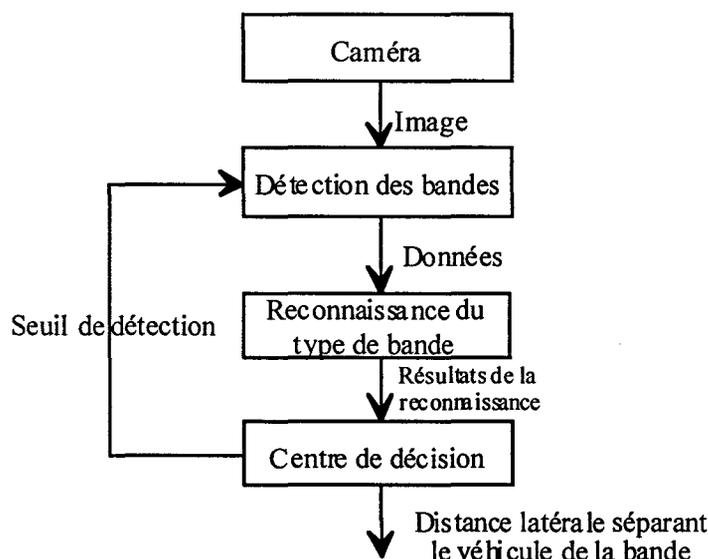


Figure III-7. Structure de base pour le suivi de ligne par caméra

Les avantages de ce type de système de référence sont : la facilité de mise en oeuvre et par là même la modification du tracé des voies, et le faible coût de l'installation. Le temps de traitement qui a tendance à diminuer ne doit pas être ignoré dans une application telle que la localisation latérale. L'erreur de positionnement peut être faible et inférieure à 5 cm, ceci à une vitesse de quelques kilomètres par heure. Les inconvénients apparaissent pour le système basé sur la peinture optique, ce système peut difficilement être exploité dans un environnement naturel, car la peinture se dégrade sous l'action des intempéries et sous l'effet répété du passage des véhicules.

---

- Peinture magnétique. On peut envisager d'utiliser comme détecteur une bobine dont on mesurerait les variations d'inductance sous l'effet d'un champ magnétique. Johnston et al [Johnston 79] ont étudié en simulation la faisabilité du guidage en utilisant des marques discrètes à la place des bandes sur la chaussée. Leur travail a notamment porté sur l'étude de la fiabilité du système en situation d'urgence et en cas de perte d'information momentanée. L'information de guidage est discrète, la commande est rythmée par la prise d'information. Une autre étude qui a donné naissance à un brevet s'appelle Guideline magnétique breveté et commercialisé par la société M.T.M. [MTM 93]. Le principe physique utilisé pour la détection de pistes ou de balises est la mesure de la perméabilité magnétique. Le procédé Guideline utilise le paramètre perméabilité magnétique de la ferrite, dont le caractère intrinsèque évite toute altération des performances dans le temps. La trajectoire à suivre est matérialisée par un dépôt de ferrite sous forme de peinture, d'une gaine incluse dans la chaussée, d'enduit bitumineux coulé dans une saignée (de 1 cm de large et de 3 cm de profondeur), de ruban collé sur la chaussée ou de mortier sur support en béton ou pavés. Le détecteur de positionnement magnétique est constitué d'un capteur fonctionnant en tout ou rien qui mesure la perméabilité magnétique relative au milieu environnant et détecte la présence ou non de matériaux magnétiques perméables, et d'un système à microprocesseur permettant à partir des signaux détectés de positionner la piste par rapport au capteur et ainsi de réaliser le guidage de véhicules automatisés.

Pour les systèmes magnétiques, nous retrouvons les mêmes avantages que pour le filoguidage avec cette fois-ci une référence passive (non alimentée électriquement), mais tous les inconvénients ne sont pas résolus et s'ajoute la faible distance entre le capteur et les plots ou la bande magnétique. Cette trop faible distance rend le système inexploitable dans un environnement extérieur, et surtout sur un véhicule dont le tangage est relativement important en zone de freinage, et qui peut être soumis à une variation de masse non négligeable entraînant des écarts importants de garde au sol.

### ***3.2.1.3 . Détection d'une paroi latérale par télémétrie***

Plusieurs études ont employé ce procédé, généralement deux techniques sont utilisées, la première est basée sur la vitesse de propagation des ondes dans l'air et la seconde consiste à envoyer sur la cible un faisceau lumineux, puis recueillir sur une cellule de détection de position (PSD) la partie réfléchi. C'est à partir de la position du rayon réfléchi sur la PSD que l'on obtient la distance séparant le capteur de la cible.

Parmi les trois types de capteurs présentés, le radar hyperfréquence latéral et le capteur à ultrason utilisent une méthode basée sur le temps de propagation de l'onde dans l'air, quant au capteur optique il peut utiliser deux techniques :

- la durée de propagation de la lumière dans l'air,
- la méthode de triangulation.

Dans la première Mayhan et Bishel [Mayhan 82] utilisent un radar bifréquence, dans la seconde Clemence et Hurlbut [Clemence 83] envisagent l'exploitation des ondes ultrasonores.

- Télémétrie hyperfréquence : lors d'une détection d'un obstacle passif, le radar génère des ondes hyperfréquences ou micro-ondes qu'il reçoit après leur réflexion sur l'obstacle. Différentes méthodes sont employées pour mesurer la distance séparant le capteur de la cible, fondées soit sur la mesure du temps de parcours d'un train d'ondes (radar), soit sur le décalage fréquentiel intervenant sur une onde pure (radar Doppler), ou modulée en fréquence (radar F.M.). Dans le cas du radar utilisé par Mayhan, le radar utilisé est un radar bifréquence en bande X qui a été testé avec deux fréquences de modulation  $\Delta f=60\text{MHz}$  et  $\Delta f=300\text{MHz}$  ; le diagramme structurel du dernier est représenté sur la figure suivante. Le principe est le suivant :

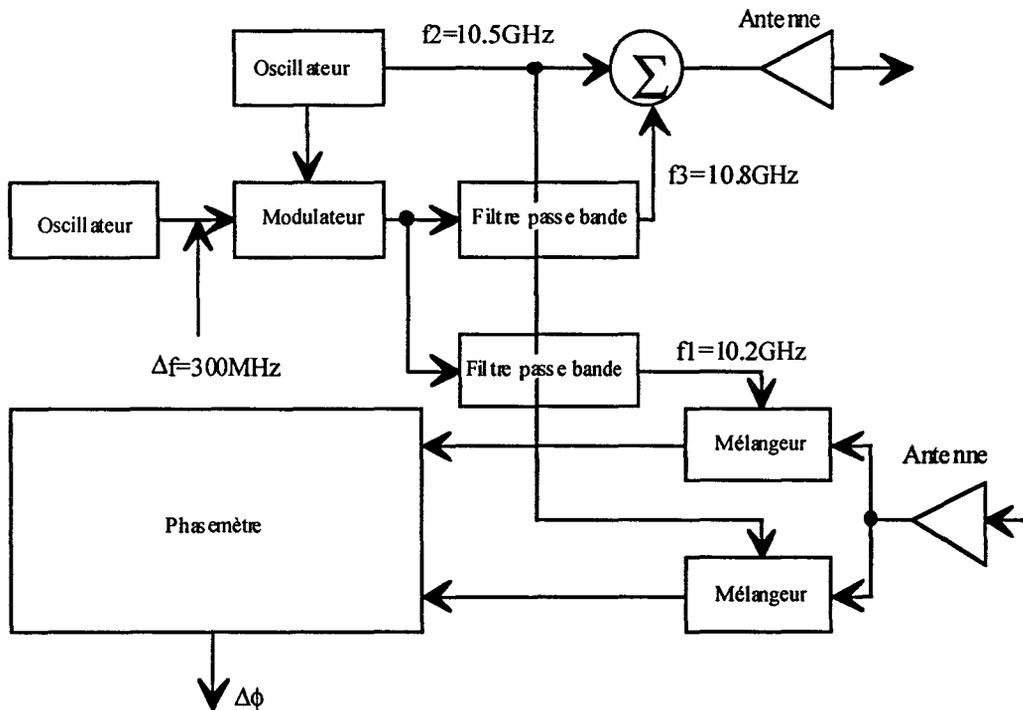


Figure III-8. Diagramme fonctionnel du capteur

Une onde constituée de deux porteuses de fréquences respectivement  $f_2=10.5\text{GHz}$  et  $f_3=10.8\text{GHz}$  ( $f_3=f_2+\Delta f$  avec  $\Delta f=300\text{MHz}$ ) est émise vers une paroi latérale (bordure). L'onde reçue en retour est déphasée d'un angle proportionnel à la fréquence d'émission et au temps de transit de l'onde  $\tau=2d/C$  ( $d$  étant la distance du radar au mur,  $C$  étant la vitesse de propagation dans l'air de l'onde hyperfréquence). Cette onde est mélangée d'une part avec l'onde  $f_2$  et d'autre part avec une onde  $f_1$  de fréquence  $10.2\text{GHz}$  ( $f_2-\Delta f$ ). Les deux signaux issus des mélangeurs sont filtrés de façon à ne retenir que les composantes de phase  $\Delta f t - f_2 \tau$  et  $\Delta f t - f_3 \tau$ . La différence de phase  $\Delta \phi$  entre les deux signaux est proportionnelle à la distance du radar au trottoir  $\Delta \phi = \frac{4\pi f d}{C}$  (figure III-9). Le choix de la fréquence de modulation de  $300\text{MHz}$  a été orienté par des considérations relatives à la précision de la détermination de la trajectoire et à la qualité du signal (rapport signal/bruit) : la précision de la mesure est de  $\pm 2,78\text{cm}$  avec la fréquence de  $60\text{MHz}$  et de  $\pm 0,33\text{cm}$  avec celle de  $300\text{MHz}$ , et le rapport signal sur bruit nécessaire pour la fréquence de  $60\text{MHz}$  est de  $35\text{db}$  alors qu'il n'est que de  $20\text{db}$  pour la fréquence de  $300\text{MHz}$ .

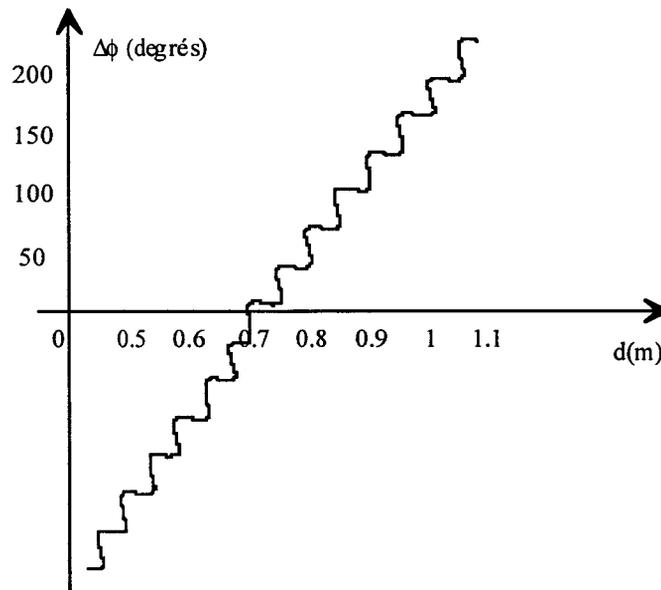


Figure III-9. Phase mesurée versus distance

La seule contrainte liée à l'utilisation de la fréquence 300 MHz est la plus faible largeur de voie à l'intérieur de laquelle la mesure de distance est absolue (0.5m contre 1m pour le 60 MHz). Ceci oblige à un positionnement latéral du véhicule précis lors de son accès à la voie équipée.

On peut noter également des études qui ont été menées sur le même sujet à l'USTL [Delesalle 89] et qui ont abouti à des résultats similaires.

- Télémétrie ultrasonore : l'écart de la position latérale est estimé par la mesure du temps d'aller et retour de l'onde sonore émise depuis le véhicule et réfléchi par un obstacle adéquat (quai). Afin de remédier à la variation de vitesse de propagation due aux conditions atmosphériques variables, les auteurs suggèrent l'utilisation d'une cible de référence solidaire du véhicule : dans ce cas, la vitesse du son est estimée, l'estimation permet le réglage du gain du système de mesure rendant ainsi le système performant quelles que soient les conditions extérieures. Les seuls essais ont été réalisés en laboratoire et n'ont eu pour but que de donner des indications relatives à l'angle d'incidence du faisceau. Ainsi, une mesure de distance de 7 mètres est affectée d'une erreur inférieure à 10 centimètres pour un angle d'incidence de  $5^\circ$ . Les avantages du système acoustique sont sans aucun doute son faible coût et son faible encombrement. Par contre, l'inconvénient majeur est lié à l'atténuation de l'impulsion sonore par l'air, ce qui limite les distances mesurables avec précision à environ 10 mètres (la solution de mesure du temps d'aller et retour de l'onde est aussi utilisée dans le cas du capteur optique), un autre inconvénient est l'utilisation d'une surface de rétro-diffusion qui n'absorbe pas les ondes sonores (exemple : bordure avec une apparition de mousse). En outre, le rapport signal sur bruit peut être affecté par les précipitations et les bruits haute fréquence.

- Télémétrie optique : une autre méthode envisageable, de guidage de véhicules avec les capteurs à bord du véhicule avec une infrastructure passive, consiste à effectuer une mesure de distance du mobile par rapport au trottoir afin d'en assurer la localisation. Dans ce cas, les télémètres optiques sont installés sur la paroi latérale de l'autobus. La figure III-10 montre le fonctionnement d'un télémètre optique : il s'agit d'envoyer sur la cible un

position (PSD "Position Sensing Device") la partie réfléchi du faisceau lumineux. C'est à partir de la position du rayon réfléchi sur la PSD que l'on obtient la distance séparant le capteur de la cible.

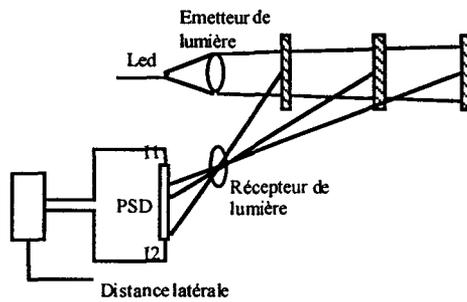


Figure III-10. Télémétrie optique

L'autre méthode est basée sur le temps de vol du signal lumineux. Le principe de fonctionnement est analogue à celui de la télémétrie ultrasonore. Un transducteur optique travaille en rétro diffusion, c'est à dire qu'il fonctionne alternativement comme émetteur et comme récepteur. Il envoie un faisceau lumineux puis quelque instant après il reçoit le faisceau réfléchi sur la cible. Sachant que la vitesse de propagation de la lumière dans l'air est de  $3 \cdot 10^8$  m/s et connaissant la durée de propagation du faisceau lumineux, on en déduit la distance capteur/cible.

Les avantages du capteur optique sont de trois ordres : l'indépendance de la matière de la surface de réflexion, son faible encombrement qui facilite son implantation et son rapport qualité/prix. Les inconvénients sont : l'utilisation de ce capteur en milieu extérieur qui nécessite le nettoyage fréquent de la lentille d'émission et de réception, ainsi que l'influence de la couleur de la surface de réflexion sur les mesures.

### 3.2.2. Tableau synthétique

Le tableau III-2 présente une synthèse des différents types de capteurs permettant de réaliser la fonction d'aide à l'accostage.

La première colonne reprend la précision de la mesure d'écart par rapport à la référence. Les trois autres colonnes présentent les différents coûts afférents à la mise en place et à la maintenance du capteur : coût d'achat et coût d'entretien. Le coût d'installation du capteur n'a pas été fixé, par contre, si l'environnement doit être modifié, la colonne 4 reprend les coûts d'intervention nécessaires.

Cependant, les coûts présentés dans ce tableau ne sont donnés qu'à titre indicatif et avec une précision "relative".

Type de capteur	Précision	Coût capteur + traitement	Coût d'installation et d'intervention sur l'environnement	Coût d'entretien
<b>Vision embarquée</b>	Dépend du traitement de l'information visuelle et de la résolution de la caméra (en moyenne sur les projets existants $\diamond$ 1 cm).	30 à 40 kF	Pose d'une bande de peinture de 5 à 10 cm de large sur une longueur de 40 mètres (de l'ordre de 2500 F par arrêt).	Nettoyage de l'objectif de la caméra. Remise en peinture fréquente des bandes à cause du passage répété des véhicules (tous les six mois).
<b>Systèmes magnétiques</b>	Précision variable avec le nombre de capteurs tout ou rien disponibles dans le bloc de mesure (en moyenne 2 cm).	50 à 60 kF	Installation d'une peinture magnétique sur la chaussée (5000 F par arrêt équipé) ou installation de plots magnétiques dans la chaussée enterrés de quelques centimètres : (de l'ordre de 50 à 100 kF par arrêt).	Remise en état de la bande magnétique abîmée par le passage répété des autobus. (tous les 6 mois à 1 an) aucun entretien n'est à prévoir pour les plots magnétiques.
<b>Filoguidage</b>	Précision latérale estimée suivant les études déjà réalisées $\pm 2$ cm pour une vitesse inférieure à 20 km/h et $\pm 5$ cm pour une vitesse comprise entre 20 et 80 km/h.	50 à 60 kF.	Coût de l'installation du fil conducteur, du générateur basse fréquence et de l'apport de l'énergie électrique sur chaque arrêt de l'ordre de 100 kF par arrêt.	Remplacement du fil électrique lors d'une rupture. Alimentation continue du générateur.
<b>Radar latéral</b>	$\pm 0.5$ cm	Prix actuellement basé sur un prototype entre 60 et 90 kF.	Aucune intervention sur l'environnement si on considère que le quai est de type surélevé (21 cm).	Entretien matériel électronique
<b>Télémètre à ultrason</b>	La précision est variable suivant le capteur utilisé mais est en générale inférieure à 2 cm.	Fonction du capteur utilisé mais est compris entre 2 et 15 kF auquel il faut ajouter le prix du traitement de l'ordre de 10 kF	Aucune intervention n'est nécessaire sur l'environnement si on considère que le quai est de type surélevé (21 cm).	Vérification de la non obstruction de la source sonore, pour l'environnement un nettoyage des bordures, en général déjà assuré par la municipalité.
<b>Téléométrie optique</b>	La précision est dépendante du capteur utilisé : - Infrarouge précision rencontrée de 0.2 à 1 cm - Laser précision rencontrée de l'ordre du 1 mm à 50 mm.	De l'ordre de 2 à 20 kF pour un infrarouge et de l'ordre de 15 à 50 kF pour un télémètre laser auquel il faut ajouter le prix du traitement de l'ordre de 10 kF	Mise en peinture des bordures du quai avec une couleur claire (exemple jaune) Coût : 2500 F par arrêt. Cette intervention n'est pas nécessaire mais est recommandée.	Nettoyage fréquent des lentilles pour permettre une bonne émission et réception du signal. Pour l'environnement si le choix de peindre les bordures a été retenue alors il faut prévoir leur remise en peinture (tous les 6 mois)

Tableau III-2. Tableau synthétique des capteurs utilisables

---

En ce qui concerne la précision, l'ensemble de ces capteurs offre des écarts de l'ordre de quelques centimètres, ce qui est tout à fait acceptable pour notre projet. Pour les coûts, il est à noter qu'il vaut mieux installer des équipements embarqués à bord des véhicules que d'intervenir sur l'environnement. En effet, d'une part, sur un réseau, le nombre d'autobus est inférieur au nombre d'arrêts, et d'autre part, les coûts d'intervention sur le site sont importants, sans oublier les problèmes de vandalisme que pourraient rencontrer ces équipements au sol.

### 3.3 Conclusion

Une des difficultés pour améliorer l'accessibilité des autobus urbains est la réduction de la lacune horizontale. A travers ce chapitre, nous avons repris les expériences européennes existantes, et plus particulièrement en Allemagne, en Suède et en France. Le bilan des techniques actuellement utilisées fait ressortir qu'il existe deux pistes explorées à ce jour en Europe.

La première piste est un guidage de type mécanique qui consiste en un contact franc entre le pneu et la bordure, et pour laquelle, aucune information de lacune n'est fournie aux conducteurs. La conséquence de ce manque d'information est, soit, un résultat médiocre de lacune à l'arrêt par crainte de détérioration du matériel, soit, un risque de montée sur le trottoir, car le conducteur ne possède plus de repères pour des lacunes résiduelles faibles.

La deuxième piste repose sur des techniques de captation électronique et de guidage automatique. Des capteurs, basés sur la télémétrie, le filoguidage et le traitement d'images, permettent de connaître le positionnement du véhicule ainsi que sa progression jusqu'au point d'arrêt.

Quant au guidage automatique, l'expérience d'Halmstad a été boycottée par les conducteurs pour des raisons autant techniques que psychologiques. Vraisemblablement, il a été vu, à travers ce système, un concurrent plutôt qu'une aide à la conduite.

L'état de l'art sur les capteurs utilisables pour la détermination de la position d'un véhicule par une référence matérialisé au sol montre que les différentes techniques envisagées de vision embarquée, de systèmes magnétiques, de filoguidage et de télémétrie par radar, ultrason ou optique, offrent la précision recherchée à un coût d'installation inférieur à 100 kF par véhicule. Quant à l'environnement, suivant les techniques, il doit supporter des modifications plus ou moins lourdes, voire de l'entretien, en particulier en peinture.

C'est pourquoi, à partir de ces expériences, nous nous sommes orientés vers des capteurs de type télémétrique permettant de connaître la position de l'autobus par rapport au quai de station. Enfin, les aspects aide à la conduite et aide au guidage ont été privilégiés, soit pour fournir une information pertinente au conducteur, soit pour offrir une aide sur le positionnement du véhicule.

---

## Conclusion de la première partie

Après avoir positionné le problème de la mobilité et de l'accessibilité dans les transports collectifs, cette première partie de mémoire a permis de rendre compte de la prise en considération des problèmes des personnes à mobilité réduite. La prise en compte de cette problématique, dès la conception d'un système de transport, est une démarche plus répandue dans le domaine des transports guidés comme le montrent les exemples du VAL, du tramway et du SK.

Par contre, l'autobus urbain semble avoir un léger retard dans la prise en compte de l'amélioration de son accessibilité. Les diverses études présentées ont montré que ce mode se heurtait à deux problèmes dans le domaine de l'accessibilité, la marche à l'entrée du véhicule et la lacune horizontale.

Ainsi, il a été montré que l'accessibilité des autobus telle qu'elle est pratiquée à ce jour ne peut se satisfaire du niveau de prestation fournie. En effet, il est impératif de pouvoir diminuer voire supprimer la marche située à l'entrée du véhicule, ce qui est réalisé grâce à diverses études menées sur la conception du matériel roulant. Par exemple, des dispositifs installés au niveau des portes facilitent l'accès au véhicule, cependant, ces techniques montrent rapidement leur limite en terme de coût et d'utilisation.

Par contre, l'introduction des autobus à plancher surbaissé évite la présence de marches à l'entrée du véhicule en offrant un accès de plain pied. Or, les autobus à plancher surbaissé ne règlent pas la totalité des problèmes concernant l'accessibilité des personnes à mobilité réduite.

Ainsi, lors des échanges de voyageurs à la station, la marche ou lacune verticale entre le quai et le plancher du véhicule peut être faible grâce à la surélévation du quai et éventuellement au choix d'un système d'agenouillement du bus. Quant à l'espace, appelé lacune horizontale, existant entre la bordure du quai et le seuil du véhicule, il peut demeurer important. C'est pourquoi, il faut améliorer les lacunes à l'arrêt grâce à un meilleur positionnement des autobus au voisinage des arrêts.

---

Les études sur les aménagements des points d'arrêt réalisées à ce jour ne répondent pas de manière satisfaisante au problème posé. La réponse, qui consiste en un meilleur positionnement, passe par la définition d'une nouvelle fonction appelée « aide à l'accostage ». L'objectif de cette fonction est la réalisation d'un accostage optimal avec une précision de quelques centimètres. La fonction ainsi définie devra être déclinée autour des trois composantes formées par le véhicule, le point d'arrêt et le conducteur.

L'état de l'art sur les systèmes d'aide à l'accostage existants et sur les capteurs a montré que les solutions expérimentées à ce jour répondaient au problème de manière partielle et qu'une réponse meilleure passerait sûrement par un compromis des différentes voies explorées.

C'est pourquoi, compte tenu de l'état de l'art, des réflexions et des expériences en cours dans le domaine du guidage des bus en station, la fonction d'aide à l'accostage peut se découper en deux axes de recherche:

\*Le premier axe de recherche porte sur un système de guidage agissant au niveau de la direction. Ce système assure, par action sur la direction le guidage latéral du bus depuis la phase d'approche de la station, soit 50 mètres en amont du point d'arrêt, jusqu'à l'arrêt du véhicule. Le point d'arrêt nominal offre une lacune de 8 centimètres avec une tolérance de 2 centimètres selon les recommandations du COLITRAH. Le conducteur reste maître des paramètres cinématiques du véhicule, tels que la vitesse et le freinage, et s'il le souhaite de l'action sur le volant. Il assure donc la fonction de sécurité et choisit le point d'arrêt longitudinal, afin de ne pas dériver vers un appauvrissement de la tâche de conduite.

\*Le deuxième axe de recherche porte sur un système d'aide à la conduite. Ce système embarqué fournit au conducteur une information concernant la position du bus par rapport au bord du quai de station, le conducteur devant effectuer une tâche d'ajustement. Selon les performances atteintes avec cette aide, il s'avérera peut-être nécessaire de prévoir l'équipement de palettes escamotables à bord des bus afin de garantir l'accessibilité aux utilisateurs de fauteuils roulants.

---

---

# Partie II

## Aides à l'accostage

### Introduction

La deuxième partie intitulée « Aides à l'accostage » porte sur la réalisation et les essais de systèmes d'aide à la conduite permettant d'optimiser la manoeuvre d'accostage de l'autobus.

Ainsi, le premier chapitre est consacré à un état de l'art des systèmes d'aide à la conduite et à une étude ergonomique qui a été menée afin d'observer le comportement des conducteurs d'autobus en phase d'accostage.

Le deuxième chapitre présente le développement et la mise au point des quatre systèmes d'aide à l'accostage. Un de ces systèmes repose sur une aide à l'accostage située au sol, les autres systèmes reposent sur du matériel embarqué, et proposent des informations visuelle et sonore.

L'objet du troisième chapitre est de décrire l'expérimentation des systèmes d'aide à l'accostage réalisée en mars de l'année 1995 sur un site réservé à Grenoble en collaboration avec l'exploitant SEMITAG et les Services Techniques de la Ville.

Cette expérimentation a permis de prouver la faisabilité d'un système d'aide à l'accostage permettant d'optimiser la lacune à l'arrêt et de réaliser le choix d'un dispositif en vue du développement d'un prototype industriel.

---

---

# Chapitre I: De l'aide à la conduite à l'aide à l'accostage

L'objet de ce chapitre est de présenter des éléments de bibliographie sur les systèmes d'aide à la conduite tant dans le domaine maritime que routier. Cet état de l'art a permis d'imaginer des dispositifs, que nous avons appelés « aide à l'accostage », et qui vont permettre d'aider le conducteur d'autobus à réaliser un accostage de bonne qualité. En avant-propos de ce chapitre, il convient de préciser quelques définitions de termes usités dans ce chapitre.

Ainsi, un système [Montmollin 67] est un ensemble de variables en interaction qui vise un but commun à tout le système, ici, la réalisation d'un accostage. Le concept de système implique un but ou projet ainsi que l'interaction et la communication entre les composants ou parties. Lorsque un au moins des éléments est un homme ayant un rôle à jouer, on parle de système homme-machine (SHM).

Pour décrire un système, il peut être fait référence à un modèle dont le plus simple est le type « boucle fermé ». La machine émet pour l'homme des informations appelées signaux, en retour, l'homme émet pour la machine des informations appelées réponses. Pour le type de système à boucle fermé, un dialogue s'instaure entre l'opérateur et son environnement, chacun des deux éléments s'adaptant à l'autre en fonction des informations qui lui parviennent.

## 1.1 Les aides à la conduite

Dans le cadre de cette thèse, nous nous sommes concentrés sur les systèmes concernant la présentation d'information de type « écart par rapport à un obstacle ». Parmi les différents systèmes examinés dans le domaine des transports et touchant les compétences de l'INRETS, nous avons retenu les systèmes maritimes et également les aides à la conduite dans le domaine routier qui sont plus proches de notre problématique et dont le développement est important dans le cadre des projets européens de recherche. Cependant, il est indispensable d'apporter quelques précisions sur les différentes possibilités de représentation de l'information.

### 1.1.1 Représentation de l'information

Depuis les dernières décennies, l'évolution des technologies industrielles, le développement des automatismes et l'introduction de l'informatique ont modifié profondément les process industriels qui deviennent de plus en plus automatisés autant dans le domaine de l'énergie, de la chimie ou de la sidérurgie. Ainsi sont apparues des salles de contrôle supervisant les procédés industriels automatisés et au sein desquelles travaillent des opérateurs humains. Ces opérateurs s'intègrent dans un système homme-machine regroupant trois sous-systèmes interconnectés: le procédé industriel, le système de conduite et de régulation et l'opérateur humain qui se contente

---

de surveiller le procédé et d'intervenir en cas de dysfonctionnement. Dans ce cas, il peut être aidé par des modules d'assistance de type diagnostic, prédiction, gestion d'alarmes,... intégrés dans le système de conduite et de commande.

Dans le cadre de notre thèse, nous nous limiterons aux supports d'information dans les salles de contrôle afin de parcourir les nombreuses et variées représentation de données. Ainsi, parmi les différentes méthodes de présentation de l'information sur écran graphique [Kolski 93], le synoptique est un ensemble de vues constituées de plusieurs images. Une vue est composée de deux parties distinctes:

- une partie statique où les informations ne sont pas modifiables et restent en permanence sur l'écran.

- une partie dynamique où les informations sont affichées par des fonctions dites d'animation. Ainsi, les informations dynamiques permettent de suivre les évolutions quantitatives et qualitatives des variables du procédé. Cela peut exprimer des variations et des tendances au cours du temps, selon différentes formes:

- Le **barre-graphe** (ou bar-graph) qui permet la représentation de la valeur d'une variable analogique entre un seuil minimal et un seuil maximal. Il est également utilisé pour régler la mesure sur une valeur de consigne.

- Le **cadran** qui correspond graphiquement à un indicateur fléché mobile, en rotation et/ou en translation suivant la valeur d'une variable, et ce entre un seuil minimal et un seuil maximal.

- Le **compteur** qui fournit la valeur numérique correspondant à la variable du processus qui lui est associée.

- La **courbe** (ou « trend ») qui permet de synthétiser l'historique d'une variable, ou l'interaction entre plusieurs variables.

Les vues de l'interface graphique doivent apporter une aide aux opérateurs dans les différents contextes opérationnels du procédé. Dans ce but, elles utilisent plusieurs méthodes traditionnelles d'affichage combinant les fonctions graphiques citées ci-dessus et permettant une synthèse de l'information.

Ainsi, l'affichage analogique sans mémoire est une représentation graphique de la valeur actuelle de la mesure. Il utilise les fonctions graphiques de type barre-graphe, compteur ou cadran. Alors que l'affichage analogique avec mémoire utilise des fonctions de type courbe pour visualiser l'historique des variables. Ce type d'affichage est également appelé vue de tendance ou de « trend ». L'affichage « synoptique » fournit à l'opérateur une représentation graphique proche de la représentation physique et concrète du procédé ou d'une partie de celui-ci.

De même, des études ayant montré que les opérateurs se sentent plus en confiance en utilisant des écrans couleur et qu'ils jugent leurs tâches plus faciles, il a été développé une technique dite du codage coloré. Cependant, il ne faut pas abuser de leur nombre et transformer l'écran en « arbre de Noël ». Ainsi, le nombre optimal de couleurs à utiliser dans une vue graphique est un compromis entre l'exigence de la tâche et les caractéristiques de l'affichage. En général, pas plus de 3 à 5 couleurs ne doivent être utilisées sur un seul écran. En cas de l'utilisation de 2 couleurs, le vert et le rouge sont préconisés, dans le cas de trois couleurs, le vert, le rouge et le blanc seront privilégiés.

---

Cela démontre que les couleurs utilisées pour chacune des images de l'interface homme machine auront des effets différents sur l'opérateur et qu'il importe donc de les utiliser en fonction de l'effet visé pour chacune des tâches à accomplir.

Ainsi, la couleur verte est préconisée dans le cas de situations telles que mise en route, ou des états tels que tout est correct, état normal, souhaitable ou sûr. L'orange représente une situation dangereuse où il faut prendre garde, se méfier. Alors que le rouge doit être utilisé dans le cas de danger imminent, d'arrêt, d'interdit, voire de feu.

Dans le domaine de la sécurité, la norme NF-X-08-003 préconise les quatre couleurs:

- rouge: prescription impérative, arrêt.
- jaune et orange: attention, possibilités de danger.
- vert: zone sûre, voie libre, sortie de secours.

C'est d'ailleurs ces couleurs et ces indications que le conducteur de véhicule retrouve au travers de la communication et de la signalisation routière fixées par le code de la route.

### 1.1.2 Domaine maritime

Les aides à la conduite de navire existent sous plusieurs formes, mais elles ont toutes la même particularité: elles sont situées au sol et non à bord des engins comme le sont la plupart des aides du domaine routier.

Ainsi, dans la zone d'accostage sur l'Ile de Grain, [Spottiswoode 81] a été testée une aide optique programmée pour suivre un profil adéquat de vitesse par rapport au fond marin en fonction du type de navire. Ainsi, à partir d'une position donnée, un rayon lumineux éclaire le navire, et si celui-ci suit la vitesse idéale, il doit toujours apercevoir la lumière. De plus, pour connaître l'écart par rapport à la vitesse nominale, le rayon lumineux clignotant peut prendre des couleurs blanche (nominal), rouge (dépassement de la vitesse), verte (vitesse trop faible) ou noire - absence de lumière (cas extrêmes). Sur une période de 4 secondes, le temps de clignotement dans ces différentes couleurs donne l'écart par rapport à la vitesse idéale.

Parmi les manoeuvres que doit réaliser un navire, l'accostage est le moment crucial de la manoeuvre où le bateau doit « toucher » le quai. Il s'agit d'une opération complexe et délicate qui nécessite la coordination d'un grand nombre d'intervenants - pilote, remorqueurs, lamaneurs, officier de port - et qui, en cas de mauvaise exécution des manoeuvres, peut occasionner des dommages importants et coûteux aux ouvrages portuaires. Lors d'une étude [Opéform 81] [Opéform 82] [Faÿsse 82] sur le travail du pilote portuaire au cours de la manoeuvre d'accostage, étude destinée à observer et à proposer des améliorations, des entretiens ont été réalisés avec des pilotes de la station du Havre-Fécamp. Au delà des systèmes électroniques de radar et de communication mis à leur disposition, les faits à retenir concernent essentiellement le savoir faire et l'expérience accumulés par ses hommes. Par exemple, les systèmes électroniques sont assez peu utilisés, car en cas de défaillance, la manoeuvre doit quand même être réalisée. Ainsi, en plus des bornes et des balises spécifiques à la manoeuvre d'accostage, les pilotes utilisent leurs propres repères tels lampadaires, silos, ... De plus, la vitesse du navire, donnée primordiale, peut être estimée en observant un homme marchant le long du quai. Une des phrases phare de cette étude est prononcée par un pilote: « Le système ne pouvant être automatisé, je peux vous livrer mes astuces », 12 ans plus tard, le Ministère de la Recherche évoque dans une enquête sur les évolutions technologiques au cours des 30 prochaines années, dans la rubrique, circulation sur et au dessous de la surface de l'eau:

---

« Développement de navires à manoeuvre entièrement automatique pendant l'appareillage à l'embarcadère, pendant les mouvements de port à travers l'océan, de même qu'à l'accostage au port de destination »...

Au delà des systèmes classiques de type radar, télécommunications, détecteurs de brume qui sont des aides à la navigation, il existe sur le port autonome de Bordeaux des systèmes [Lespine 82] mis à la disposition des pilotes pour la réalisation des accostages. Ainsi, deux fanaux de direction permettent de réaliser un alignement lumineux, exploitable à 3 kilomètres de distance, la connaissance de la vitesse du navire et sa distance par rapport aux quais d'accostages sont données par un cinémomètre à effet Doppler et un télémètre acoustique. Enfin, pour la partie finale de l'accostage, le port autonome de Bordeaux a fait installer un affichage lumineux des paramètres d'accostage visible à 150 mètres de distance et avec un angle de vision de 120°. L'affichage est composé de six panneaux dont les informations sont renouvelées toutes les 5 secondes:

trois pour la vitesse:

- un panneau lettre: E pour éloignement ou R pour rapprochement
- un panneau chiffre de 0 à 9 représentant les décimètres/s
- un panneau chiffre de 0 à 9 représentant les centimètres/s

trois pour la distance:

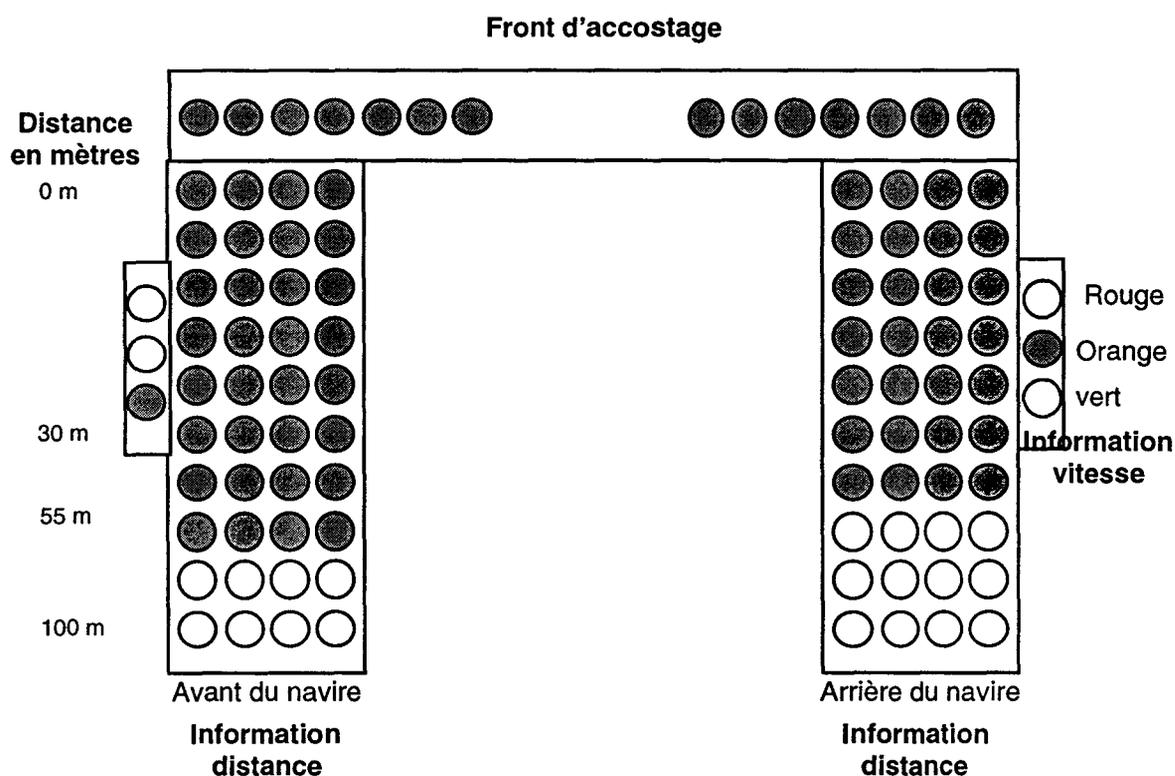
- un panneau chiffre de 0 à 9 représentant les décamètres
- un panneau chiffre de 0 à 9 représentant les mètres
- un panneau chiffre de 0 à 9 représentant les décimètres

Il est à noter qu'un panneau lumineux similaire est également installé au port du Havre/Antifer. [Navigation 82]

Sur le môle n°4 du port de Fos Marseille en bord de Méditerranée, un dispositif à affichage analogique permet de réaliser l'accostage des grands pétroliers en toute sécurité pour le navire comme pour les installations au sol. Ce système permet au personnel chargé de l'accostage embarqué à bord de présenter le navire parallèlement au quai. Il est constitué d'un portique lumineux de 9 mètres de hauteur sur 7 mètres d'envergure placé en arrière du front d'accostage et qui est parfaitement visible jusqu'à plus de 100 mètres. Ce portique métallique affiche la lacune existant entre le quai et les parties avant et arrière du bateau. L'affichage de la lacune est réalisé par une série de lampes qui s'éteignent au fur et à mesure que le bateau approche du quai. Entre 100 mètres et 30 mètres, une échelle logarithmique est utilisée, alors qu'elle est linéaire entre 30 mètres et 0 mètre. Sur la poutre de liaison horizontale, deux groupes de sept éléments horizontaux matérialisent le front d'accostage avant et arrière.

De plus, une information lumineuse permet une régulation de vitesse afin de ne pas endommager les matériels. Ainsi, une lampe verte est allumée lorsque la vitesse est correcte, elle devient orange lorsque la vitesse est excessive, rouge lorsque la vitesse est trop élevée donc dangereuse. Les prises d'information sont réalisées grâce à des capteurs placés dans l'eau au niveau du quai. Ces capteurs de type télémètre et cinémomètre donnent la distance entre le front d'accostage et la quille du navire, ainsi que la vitesse d'approche de bateau.

Figure I-1 : Schéma de principe du portique lumineux



Comme le montre la figure I-1, les deux colonnes lumineuses matérialisent la distance entre le navire et le front d'accostage pour l'avant et l'arrière du bâtiment. L'appréhension de l'information est immédiate tant en position, vitesse qu'en angle et tendance.

Cet état de l'art, dans le domaine maritime, montre que l'aide à la conduite des navires est bien dominée par la profession, même aux abords des côtes, et qu'un affichage dynamique visuel en temps réel semble être la réponse au problème posé par la manoeuvre d'accostage de grands pétroliers. Cependant, il convient de ne pas oublier le rôle important de l'homme qui peut posséder son propre système d'aide et qui a accumulé un savoir faire irremplaçable.

### 1.1.3 Domaine routier

Avant de donner quelques exemples d'aide à la conduite dans le domaine routier, il convient d'apporter quelques précisions sur la tâche de conduite d'un véhicule automobile.

#### 1.1.3.1 La conduite automobile

Ainsi, la conduite automobile [Riera 93] est une des tâches les plus complexes et les plus courantes de la vie de tous les jours. Les processus cognitifs mis en oeuvre par le conducteur sont complexes car trois de ses cinq sens (la vue, l'ouïe et le toucher) ainsi que son système vestibulaire sont particulièrement sollicités. Si la conduite automobile semble parfois d'une grande simplicité, le lourd tribut des accidents de la route est là pour modérer ce propos.

La conduite automobile repose sur trois composantes que sont l'environnement, le véhicule et le conducteur. L'environnement est constitué des infrastructures routières et de sa signalisation, ainsi que des autres moyens de locomotion y circulant, sans oublier les piétons.

---

Le véhicule, compte tenu des progrès technologiques, possède une fiabilité importante et offre de nouveaux dispositifs de bord améliorant la conduite et le confort. Enfin, le conducteur doit assumer, avec une capacité limitée de traitement de l'information, les rôles de contrôleur et de superviseur dans un environnement complexe au volant d'un outil, dont malgré la technologie, l'énergie reste fonction de la vitesse au carré.

Sous le terme de conduite automobile, un certain nombre de tâches est regroupé. La principale, appelée tâche primaire, est le guidage, qui consiste à choisir une vitesse et une position sur la chaussée, tout en respectant un certain nombre de règles. Parmi celles-ci, on peut citer des règles d'ordre générique concernant des concepts généraux de conduite (être maître de son véhicule, garder une distance de sécurité, ...), et des règles tactiques qui dépendent de l'environnement routier et du code de la route (limitation de vitesse, priorité, ...).

Donc, en théorie, les seules commandes indispensables à l'intérieur du véhicule sont: le volant, les pédales (accélérateur, frein, embrayage), le levier de vitesse et les commandes de base (phares, clignotants, frein à main,...). Toutefois, le conducteur doit disposer d'autres fonctionnalités. Les premières concernent l'état du véhicule, en effet, pour une conduite en toute sécurité, il est nécessaire que l'engin soit en parfait état de marche. Les secondes fonctionnalités aident le conducteur à gérer la tâche de guidage, il s'agit en particulier des informations données par les instruments de bord de type compteur de vitesse et compte-tours. Enfin, la dernière classe amène un certain confort à l'intérieur du véhicule en améliorant les conditions de « travail » du pilote. Elles sont activées à la suite d'un besoin ou d'un désir du conducteur comme par exemple, l'allume-cigares, l'autoradio ou le radiotéléphone. Les tâches autres que le guidage sont appelées « tâches secondaires » et sont caractérisées par une communication entre le conducteur et une source d'information interne au véhicule. Cependant, ces tâches secondaires qui utilisent la prise d'information sur des dispositifs embarqués ne sont pas prioritaires par rapport au guidage et ne doivent en aucun cas détourner abusivement l'attention du conducteur.

La conduite automobile présente des exigences qui sont imposées par l'environnement lui-même en termes de contraintes figées, comme la forme de la route, et variables, comme la présence d'autres véhicules, de piétons, de conditions de visibilité, ... L'environnement impose au conducteur d'aller chercher continuellement de l'information en vue de prévoir et d'anticiper. Les secondes exigences de conduite sont générées par le véhicule et peuvent être regroupées en deux catégories:

- les exigences techniques qui concernent les paramètres intrinsèques du véhicule, comme par exemple, le contrôle de la trajectoire qui dépend de la qualité des amortisseurs, des pneumatiques... La souplesse et la facilité de conduite sont sans cesse améliorées, grâce notamment à l'introduction de la conduite assistée et de la boîte de vitesse automatique.

- les exigences de communication conducteur/véhicule qui présentent l'inconvénient de détourner le conducteur de sa tâche primaire, soit physiquement, par un détournement de regard pour une prise d'information, soit, mentalement, par saturation de données.

En définitive, la tâche de conduite automobile est complexe aux multiples exigences imposées par l'environnement global et le véhicule. De plus, le conducteur fait partie d'une population hétérogène tant au plan de ses caractéristiques propres qu'au plan de son usage de l'automobile. Ainsi, d'une manière générale, le conducteur lambda a la possibilité de moduler les exigences par le choix de vitesse ou des tâches secondaires réalisées à bord. Cette assertion n'est pas toujours vérifiée, surtout en présence de conducteurs professionnels qui ont des impératifs d'horaire comme les conducteurs d'autobus, par exemple.

---

### 1.1.3.2 Les aides à la conduite

L'introduction de l'électronique embarquée à bord des véhicules [Flores 90] va permettre de mettre à la disposition des conducteurs de systèmes d'aide à la conduite. Ces dispositifs sont intégrés au « poste de conduite » et donnent des informations internes du type diagnostic de fonctionnement du véhicule. Actuellement, les constructeurs développent des systèmes qui donnent des informations externes au véhicule. Il s'agit en particulier des dispositifs appelés aide à la navigation qui informent sur le système routier et proposent, entre autres, des cartographies électroniques ainsi que des aides au choix d'itinéraires.

Les canaux d'information [Pleczon 94] possibles pour le conducteur sont le canal visuel, le canal auditif et le canal proprioceptif. Chaque canal possède ses avantages et ses inconvénients, mais il faut de plus intégrer le fait que la conduite automobile requiert une activité de perception visuelle importante et constante.

Le canal visuel est bien adapté à la présentation d'informations d'aide à la prise de décision. Cependant, dans le cadre de l'aide à la conduite, les informations doivent être très synthétiques et facilement interprétables pour éviter une focalisation du regard trop longue sur le dispositif d'affichage.

Le canal auditif est plus adapté aux informations de dangers immédiats qui peuvent être perçues par le conducteur de manière asynchrone, ainsi, il n'est pas obligé de scruter périodiquement un afficheur pour récupérer de l'information. Par exemple, il peut être utilisé des messages « naturels » qui ne nécessitent pas d'apprentissage tels un coup de klaxon lors d'un dépassement interdit. Cependant, l'usage du son doit être restreint à un nombre limité de cas, car il devient rapidement agaçant...

L'utilisation du canal proprioceptif est plus rare, mais il a déjà été mis en oeuvre sur certains prototypes dont le système LACETS. Le terme proprioceptif s'emploie pour des sensations issues des muscles et des organes tels l'oreille interne qui nous renseignent sur notre attitude, nos mouvements et notre équilibre. Il s'agit le plus souvent de retours d'information par vibrations ou durcissement via la pédale d'accélérateur (en cas de vitesse excessive) ou le volant (en cas de manoeuvre dangereuse ou d'ornière virtuelle). Ce type d'information permet de désigner, de manière directe, le dispositif de commande sur lequel le conducteur doit agir ou non.

La principale modification de l'interface homme-véhicule-environnement routier qui résulte de l'installation de tels systèmes est liée au fait qu'il s'agit de systèmes interactifs. En effet, le conducteur ne doit plus simplement recevoir de l'information à partir d'écran, mais il doit également piloter le système pour réaliser, par exemple, une demande d'informations spécifiques ou une demande d'itinéraires.

La pleine efficacité de ces systèmes, en situation réelle de conduite, nécessite un mode opératoire proche de celui des systèmes informatiques simples et leur utilisation va créer de fait un véritable système homme-machine. L'utilisation de ce SHM par monsieur et madame tout le monde amène à se poser un certain nombre d'interrogations parmi lesquelles:

- la dégradation possible de la tâche principale de conduite. En effet, les interférences entre la conduite du véhicule et l'utilisation de systèmes interactifs ne sont-elles pas susceptibles de créer des conflits et d'agir sur la sécurité ?

- le mode d'usage réel de ces systèmes. Leur degré de sophistication ne risquerait-il pas de transformer le conducteur en véritable pilote ayant à gérer un processus complexe ?

---

- l'hétérogénéité des populations. Les aptitudes à utiliser des systèmes de ce type peuvent présenter des différences importantes dans les populations de conducteurs.

- l'information retenue. Afin d'éviter une saturation mentale et pour avoir des réponses rapides et efficaces, un individu qui utilise un SHM ne va retenir que l'information qu'il juge pertinente.

Au cours des 10 dernières années des applications de télématique dans les transports se sont développées sous l'impulsion de projets européens tels que EUREKA - PROMETHEUS et DRIVE (Dedicated Road Infrastructure for Vehicle safety in Europe). Ces programmes ont pour but une coopération entre la recherche appliquée et le milieu industriel. En considérant l'ensemble de ses programmes, les avancées en télématique se sont surtout portées sur les informations routières dynamiques ainsi que sur les systèmes d'aide à la conduite et à la navigation.

Au delà d'une liste imposante d'acronymes tels GIDS (Generic Intelligent Driver Support Systems), STAMMI (Standards for In Vehicle Man Machine Interface), EDDIT (Elderly and Disabled Drivers and Information Telematics), TESCO (Test on Co-operative Driving), HARDIE (Harmonisation of ATT Roadside and Driver Information in Europe), EMIS (Evaluation of Man machine Interface by Simulation techniques), ARIADNE (Application of a Real-time Intelligent Aid for Driving and Navigation Enhancement, EMCATT (ElectroMagnetic Compatibility of Advanced Transport Telematics), MELYSSA (Mediterranean LYon Stuttgart Site for ATT), ... nous ne retiendrons que quelques éléments touchant aux interfaces homme-machine définis dans le cadre de ces projets.

Ainsi, l'étude HARDIE, projet V2008 de DRIVE II, a permis [Pauzié 94] la réalisation d'un guideline (mode d'emploi) pour la présentation d'informations routières et de trafic. Il est à noter que ces recommandations sont destinées à monsieur et madame tout le monde, et non destinées à des professionnels de la route. Par exemple, le « Deliverable n°18 »[HARDIE 96] préconise que l'information sonore doit être utilisée pour attirer l'attention du conducteur avant de délivrer un message et qu'elle doit être parfaitement audible et reconnaissable même dans une ambiance sonore. Signalons également l'utilisation de symboles plutôt que des messages textuels, ainsi, en cas de trafic fluide, le trait représentant la route est fin, en cas de trafic ralenti, le trait est plus épais, et en cas de surcharge, le trait est double. Donc une représentation de la difficulté est symbolisée par une figure de taille plus importante qu'une absence de problème.

Les systèmes d'aide à la conduite, dans le domaine routier, restent encore à ce jour très peu usités dans le grand public. C'est pourquoi, de nombreuses questions restent encore en suspens quant à leur utilisation réelle par les conducteurs. Cependant, les études et recherches menées à ce jour tendent à prouver qu'il faut fournir au conducteur des informations facilement assimilables sans devoir détourner leur attention de la tâche principale de conduite.

Enfin, et à titre anecdotique, nous citerons une aide à la conduite dans le domaine des chantiers routiers. Ainsi, le LCPC [GRRT 95] a développé un système d'aide à la conduite d'engin de chantier qui est une machine à compacter les chantiers routiers (MACC). Pour une réalisation optimale d'une chaussée, il doit être respecté un nombre défini de passages de l'engin de compactage sur la totalité de la surface du chantier. Ainsi, la localisation de la machine sur le chantier est réalisée par balise et un écran couleur embarqué affiche la vitesse du véhicule, le nombre de passes à réaliser, ainsi qu'une représentation colorée du chantier de route. La couleur est fonction du nombre de passages, le blanc correspond à une absence de passage alors que le rouge en indique le nombre souhaité.

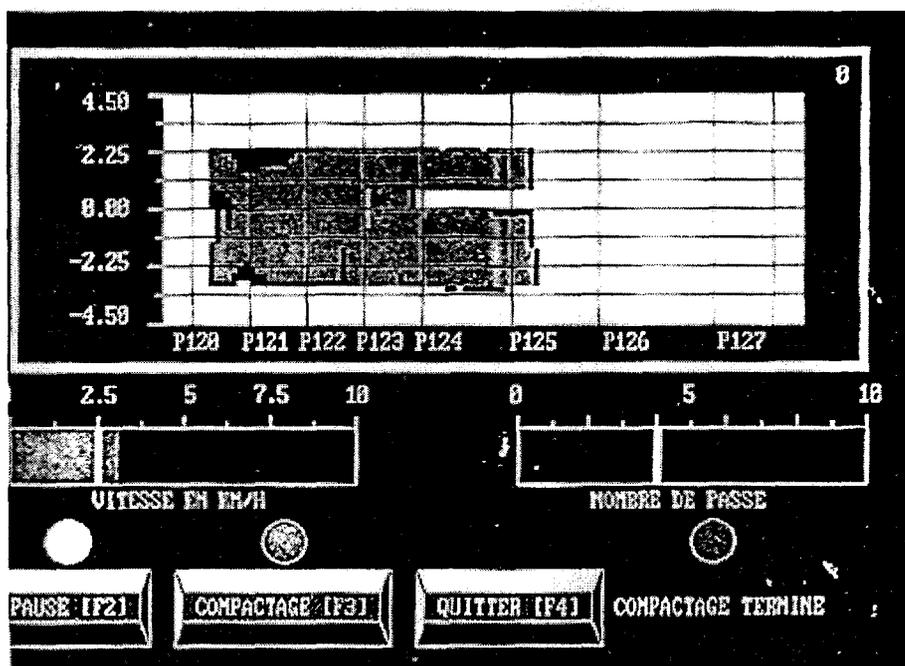


Figure I-2 : Ecran de contrôle embarqué

Parmi les systèmes d'aide à la conduite existant sur le marché, signalons deux produits allemands destinés à l'aide au parking et au créneau (Annexe I). Les systèmes BOSCH et BMW s'appuient tous deux sur un capteur à ultrason donnant l'information de distance entre le bas de la caisse et d'éventuels obstacles invisibles au conducteur. Le système BOSCH a une plage de fonctionnement de 160 à 30 centimètres et offre deux types de représentation de l'information:

- une représentation par couleurs verte, orange et rouge avec clignotement au fur et à mesure que l'obstacle se rapproche,
- une information digitale avec affichage de la distance en centimètres.

Les deux représentations sont complétées par une alarme sonore lorsque la distance est inférieure à 30 centimètres. Quant au système PDC (Park Distance Control) de BMW, il ne délivre qu'une information sonore de type changement de fréquence, mais des capteurs sont disposés à l'avant et à l'arrière du véhicule. Si ce dernier système n'est disponible que sur les BMW haut de gamme (série des 700) à un prix affiché de 1.180 DM, le coût du système BOSCH est donné comme légèrement moins élevé qu'une réparation ...

Ces deux exemples montrent, d'une part, l'utilisation d'écran de « contrôle » embarqué à bord de véhicules professionnels, et d'autre part, un système que nous qualifierons d'aide à la lacune pour véhicule de tourisme.

Parmi les études menées sur les aides à la conduite, une évaluation d'un dispositif de « radar anti-collision » destiné à favoriser la détection d'obstacles et la régulation des inter-distances en conduite en file a été réalisée par l'INRETS. [Saad 89] Ce dispositif assure l'évaluation d'un espacement inter-véhicule « sûr », ainsi, l'algorithme de calcul prend en compte les vitesses des deux véhicules, la distance, et un temps de réaction du conducteur de 0,8 seconde. Deux types d'information sont fournis au conducteur sollicitant les canaux visuel et auditif:

- une information au moyen d'un signal lumineux (plage de diodes située sur le tableau de bord) progressant du vert (présence d'un véhicule à une distance d'environ 100 mètres), à

---

l'orange puis au rouge à mesure que l'inter-distance devient critique, indiquant ainsi que la collision ne serait plus inévitable si le véhicule précédent freinait brutalement.

- une information sonore de deux tonalités: grave et intermittente dès que la zone rouge est atteinte (la fréquence du signal augmente avec le caractère critique de l'espace), aiguë dans le cas où l'écart de vitesse entre les deux véhicules qui se suivent est égal ou supérieur à 5 km/h.

24 conducteurs ont testé le système en parcourant des trajets routiers variés de 300 kilomètres en ville, sur route et autoroute avec pour consigne de « conduire normalement ». En résumé de l'évaluation menée, ce dispositif ne peut intégrer autant d'éléments que le conducteur, en particulier, il ne peut anticiper sur des manoeuvres ou des intentions. Le conducteur ne souhaite recevoir une aide seulement dans les cas où il ne se sent pas capable d'évaluer seul une situation, et dans les autres cas, il souhaite qu'aucun dispositif ne vienne le gêner ou se substituer à lui. Cette évaluation met en lumière des écarts notables entre les objectifs des concepteurs et les besoins des conducteurs qui limitent de ce fait l'intégration des aides dans leur tâche de conduite. De ce fait, l'assistance proposée s'avère souvent incompatible avec les stratégies adoptées dans la gestion des tâches de conduite, voire en perturbent la réalisation. De la même façon, ils soulignent la nécessité de tenir compte de l'ensemble de l'activité du conducteur pour optimiser la compatibilité de l'assistance fournie et, par là, son intégration dans la conduite.

L'évaluation de ce dispositif d'aide à la conduite montre bien que la conception d'un système, pour être efficace, doit reposer sur une analyse préalable des mécanismes mis en jeu par les conducteurs dans leurs tâches de conduite.

Les différents types de représentation des informations ainsi que les aides à la conduite dans les domaines maritime et routier montrent la possibilité de réaliser des dispositifs permettant d'aider les « pilotes » d'engins à différentes manoeuvres délicates. Cependant, et pour revenir à notre problématique, il est nécessaire d'examiner en détail le travail des conducteurs d'autobus, essentiellement dans la phase de manoeuvre d'accostage. En effet, grâce à la connaissance des tâches afférentes, les fonctionnalités d'un dispositif d'aide à la conduite seront plus simples à mettre en oeuvre, et le produit répondra au mieux à l'attente des conducteurs.

## 1.2 L'étude ergonomique

L'étude vidéographique menée à Grenoble en 1993 (voir partie I) a permis d'évaluer de manière qualitative et quantitative les mouvements des autobus au voisinage des arrêts, cependant, il restait à analyser le comportement des conducteurs. C'est pourquoi, il a paru intéressant à l'ensemble du groupe de travail GIBUS de réaliser une étude ergonomique dont le but est l'analyse de la tâche de conduite pendant cette phase de manoeuvre.

Cette étude, qui a été menée à Grenoble d'avril à juin 1994 par S. Kaplan et M.F. Dessaigne du cabinet ERGONOMOS [Kaplan 94], sous la responsabilité du laboratoire LESCO de l'INRETS, s'est déroulée en plusieurs phases d'observations et d'entretiens. Elle a permis de déterminer les modes opératoires des conducteurs, leur enchaînement ainsi que les stratégies adoptées pour accomplir cette manoeuvre.

---

L'objectif de ce travail était d'émettre, à la lumière de cette évaluation, des recommandations pour la conception de deux types de systèmes permettant de réaliser l'accostage d'autobus:

Les systèmes dits d'**aide à l'accostage** pour lesquels il est fourni au conducteur une information concernant la position du bus par rapport au trottoir. Dans ce cas, le conducteur, qui reste maître des fonctions de la conduite du véhicule doit effectuer une tâche d'ajustement.

Les systèmes dits de **guidage à l'accostage** pour lesquels le guidage latéral du véhicule est assuré par action sur l'organe de direction depuis la phase d'approche de la station jusqu'à l'arrêt du véhicule. Le conducteur, qui peut bénéficier d'un guidage automatique ou informatif au niveau du volant, reste maître des paramètres cinématiques du véhicule (la vitesse et le freinage) ainsi que de la sécurité. Le projet VISÉE de Renault Véhicules industriels fait partie de cette catégorie de dispositif.

## 1.2.1 La méthodologie

### 1.2.1.1 *Le choix d'une ligne du réseau de Grenoble*

Pour la mise en oeuvre de l'étude ergonomique, le choix s'est porté sur la ligne d'autobus numéro 8, car il est prévu, d'ici 1997, de la transformer en une ligne pilote accessible. Grâce à l'aménagement des arrêts en ligne ou en saillie avec des quais rehaussés, et grâce à l'acquisition de bus à plancher surbaissé, l'accessibilité sera à l'image de celle du tramway.

La ligne 8, qui est la plus importante du réseau de Grenoble, dessert 50 000 habitants. Elle mesure 9 kilomètres de longueur dont 1,7 kilomètres sont aménagés en voie bus, traverse 37 carrefours à feu, possède 59 arrêts, et est parcourue en un temps moyen de 35 minutes. La ligne est décomposée en un tronçon principal et une fourche terminale en zone périurbaine, la fréquentation est de 15 000 passagers par jour, soit un total de 3 millions par an.

Son réaménagement permettra, d'une part, une utilisation des contre allées pour le site bus et les dessertes locales, et d'autre part, un système d'appel à distance des feux pour une insertion prioritaire, ce qui permettra d'améliorer sa vitesse commerciale, car elle est aujourd'hui la plus basse du réseau.

Les 15 bus articulés qui en assurent l'exploitation sont du type PR 180 de Renault et éventuellement des GX 187 d'Heuliez en dépannage. La fourche terminale en zone périurbaine est desservie par une navette qui est un bus standard; ainsi, 3 bus de type PR 100 de Renault y assurent l'exploitation. Seul le tronçon principal de la ligne sera étudié, en conséquence, l'analyse portera uniquement sur des autobus articulés.

Un groupe de 30 conducteurs et un responsable sont affectés à la ligne 8. La moyenne d'âge est de 40-45 ans, une seule femme fait partie de l'équipe. 27 conducteurs travaillent sur une journée pendant 7 heures et demie. Un tiers d'entre eux prennent leur service le matin, un autre tiers l'après-midi. Le dernier tiers sert à assurer les heures de pointe, c'est à dire qu'ils ont deux prises de service, le matin et l'après-midi. Les 3 conducteurs restants sont en congé, soit deux jours par semaine et non nécessairement consécutifs. Chaque conducteur effectue 6 aller retour par jour, et il est prévu à chaque terminus une pause de 5 minutes environ.

---

C'est donc dans cet environnement et sur ces trente conducteurs qu'a été réalisée l'étude ergonomique dont nous allons décrire la méthode utilisée.

La méthode de l'analyse d'activité des conducteurs, lors de la manoeuvre d'accostage, a pris en compte les aspects de contraintes physiques et attentionnelles, la qualité de la conduite ainsi que la gestion de la sécurité. Les paramètres suivants ont également été pris en considération: le profil du conducteur, le type du bus utilisé, la configuration des arrêts de bus, les conditions météorologiques, l'encombrement des quais, la densité de la circulation, le nombre de passagers embarqués, l'heure de conduite en ambiance diurne ou nocturne, le stress des conducteurs, la fatigue liée à l'horaire. L'analyse ergonomique s'est basée notamment sur les indicateurs que sont la gestuelle, la prise d'informations visuelles et auditives, ainsi que la verbalisation spontanée et provoquée.

#### *1.2.1.2 Phase d'observation globale*

La phase d'observation globale consiste à prendre connaissance des principales composantes de l'activité du conducteur de bus, pour cela, les conducteurs sont observés en situation de travail. Au terme de cette phase, il sera possible de dégager le mode opératoire du conducteur lors de l'accostage. Le mode opératoire est la liste des actions et opérations mentales qu'il effectue pour mener à bien son activité.

Afin de connaître les paramètres ayant une influence sur le déroulement de l'activité, il est important de multiplier les observations sur différents conducteurs, dans tous les types de bus et à des heures variées.

L'observation globale débute par la prise de connaissance de l'environnement de travail, ce qui permet de situer l'activité d'accostage par rapport à l'ensemble des tâches effectuées par le conducteur.

Ainsi, étant donné que chaque conducteur effectue 6 aller retour par jour sur la ligne qui comporte 59 arrêts, il réalise en moyenne plus de 300 accostages par jour. De plus, une des caractéristiques des lignes d'autobus urbain est la grande diversité de typologie d'arrêts. Dans le cas de la ligne 8, il est dénombré 6 grandes familles:

- les arrêts en ligne avec voie bus,
- les arrêts en ligne sur voie de circulation commune aux autres véhicules,
- les arrêts en demi-alvéole,
- les arrêts en petite alvéole (prévus initialement pour des bus standard),
- les arrêts en grande alvéole,
- les arrêts en saillie.

---

A cela s'ajoutent des paramètres concernant les arrêts et pouvant varier de l'un à l'autre:

- leur emplacement en ligne droite ou en courbe,
- la profondeur des alvéoles,
- la forme (droit ou biseauté) du trottoir et sa hauteur,
- la présence ou non d'un caniveau, sa largeur, sa couleur par rapport à la chaussée,
- la position de l'abribus avant, médiane ou arrière,
- l'encombrement des obstacles et leur retrait par rapport au trottoir tels que le toit de l'abribus, les arbres au voisinage, des poteaux,
- l'autorisation ou non de stationnement aux abords,
- la présence d'un feu tricolore en amont ou en aval,
- la présence d'un passage piéton au droit,
- l'utilisation du quai par une autre ligne de bus.

D'autres paramètres entrent en jeu dans le cadre de l'observation globale, ainsi, les conditions météorologiques, l'heure qui donnera une indication sur l'état d'éveil ou de fatigue du conducteur, selon le type de service assuré. De même, les conditions de trafic telles la densité voire les bouchons, les stationnements illicites de véhicules aux abords des arrêts, l'avance ou le retard du bus par rapport à l'horaire donné par le S.A.E. sont des paramètres qui peuvent influencer sur la tâche du conducteur. La liste ne serait pas exhaustive sans citer les paramètres voyageurs, leur nombre dans le bus et à l'arrêt, leur type: scolaires, personnes à mobilité réduite telles que personnes âgées, personnes avec poussette ou béquilles, personnes handicapées, leur répartition sur le quai en avant, à la fin, voire sur la chaussée, leur répartition dans le bus.

De plus, le poste de travail peut varier d'un bus à l'autre, ainsi, par exemple, le volant peut opposer une plus ou moins grande résistance à l'action, le clignotant peut se situer à droite ou à gauche du volant, il peut rester ou non actionné, le frein à pied peut avoir une plus ou moins grande efficacité pour une même pression exercée.

Il est également tenu compte, lors de cette phase d'observation, du profil du conducteur tel que son âge, son sexe, ses caractéristiques anthropométriques et physiologiques, sa formation, son expérience et sa personnalité. Enfin, il est noté le respect des consignes données aux conducteurs concernant le confort des passagers, le code de la route et le temps de parcours.

Ainsi, il est relevé la qualité de la conduite, et l'importance accordée au confort des passagers (douceur de la manœuvre) et à la précision d'accostage en latéral et d'arrêt en longitudinal.

Suite à cette observation globale, une première description du mode opératoire a pu être réalisée.

### ***1.2.1.3 Description du mode opératoire***

Quelque soit le type d'arrêt, on peut diviser l'activité du conducteur en 4 étapes successives:

- Le pré-accostage
- L'accostage
- L'arrêt
- Le départ

---

Les descriptions qui vont suivre se présentent sous forme de listes d'actions à faible degré de précision: le nombre de paramètres influant sur le mode opératoire étant très élevé, il n'est pas possible d'en donner une description détaillée. Par exemple, pour les actions du type "tourne le volant à gauche", on ne peut donner l'angle de la rotation effectuée; de même, pour les actions du type "regarde dans le rétroviseur gauche", on ne peut pas en donner la durée ni la signification exacte. Les actions sont présentées ici les unes après les autres, mais leur ordre n'est pas figé, il est dépendant de l'état des paramètres. Certaines sont effectuées en quasi simultanéité, par exemple freiner et regarder dans le rétroviseur; parfois une même action peut se répéter plusieurs fois par exemple les regards dans les rétroviseurs.

#### *Le pré-accostage*

- le conducteur repère sur son tableau de bord si le voyant vert "arrêt demandé" est allumé,
- le conducteur regarde si des voyageurs attendent à l'arrêt,
- il actionne le clignotant
- il freine au pied
- Dans le cas d'arrêts en petite ou grande alvéole, il regarde dans le rétroviseur extérieur gauche, pour vérifier si les véhicules situés derrière le bus ont compris qu'il allait s'arrêter.

#### *L'accostage*

On distingue différents modes opératoires selon la géométrie de l'arrêt:

- Pour les arrêts en ligne, en saillie et en demi-alvéole, on retrouve le même type de mode opératoire puisque le stationnement à l'arrêt se fait dans l'axe de la voie de circulation.
- Certains conducteurs donnent un léger coup de volant à droite pour se rapprocher du trottoir,
- Le conducteur regarde dans le rétroviseur extérieur droit pour assurer la sécurité des voyageurs attendant au bord du trottoir et pour vérifier le positionnement des portes par rapport à eux,
- Il continue à actionner le frein au pied.
- Pour les arrêts en petite et grande alvéole, l'arrêt se fait hors de la voie de circulation.
- Le conducteur donne un léger coup de volant à gauche pour mieux aborder l'alvéole,
- Il donne ensuite un coup de volant à droite pour entrer dans l'alvéole
- Dans le cas des petites alvéoles, il donne un coup de volant à gauche: le conducteur va jusqu'au bout de l'alvéole puis redresse le bus pour se préparer au départ,
- il regarde dans le rétroviseur extérieur droit pour les mêmes raisons que dans le cas précédent.

#### *L'arrêt*

L'endroit où le bus stoppe, c'est à dire sa position en longueur par rapport à la zone d'arrêt (position longitudinale L), et la distance par rapport au trottoir (lacune horizontale l) dépend de la géométrie et des autres caractéristiques propres à l'arrêt.

- Il actionne les commandes d'ouverture des portes,
- un bouton pour l'ouverture automatique de la porte avant,

- 
- un bouton qui débloque l'ouverture des portes milieu et arrière, afin que les voyageurs puissent les ouvrir en self service.

Le conducteur s'en servira en mode manuel (il commande alors lui-même l'ouverture et la fermeture des portes) si une personne avec poussette monte ou descend, pour que la porte ne se referme pas sur elle,

- Il regarde les voyageurs monter et descendre dans le rétroviseur intérieur central, le rétroviseur extérieur droit et par la porte latérale avant,
- Il vend des tickets
- Il actionne la fermeture des portes.

### *Le départ*

Pour les arrêts en ligne et en saillie:

- Il actionne le clignotant,
- Il accélère,
- Il regarde rapidement dans le rétroviseur extérieur gauche l'état de la circulation (ce coup d'oeil n'est pas toujours observé sur voie bus),
- Il donne un léger coup de volant à gauche pour se dégager du trottoir si à l'accostage, il avait donné un léger coup de volant à droite pour s'en rapprocher,

Pour les arrêts en demi-alvéole, en grande et petite alvéole, le conducteur doit sortir le bus de l'encoche:

- Il actionne le clignotant,
- Il accélère,
- Il regarde dans le rétroviseur extérieur gauche l'état de la circulation dans le but de s'y réinsérer,
- Il sort de l'arrêt, en donnant un coup de volant à gauche dans le cas d'une grande alvéole et d'une demi-alvéole,
- Il donne un coup de volant à droite pour rétablir le bus parallèle à la voie de circulation.

Les causes pouvant provoquer des échecs à la manoeuvre ont également été relevées. Ainsi, les paramètres extérieurs pouvant gêner le conducteur à la réalisation d'un bon accostage sont:

- \* la charge mentale importante due à la gestion de L, c'est à dire la position longitudinale d'arrêt, mais également à la sécurité par rapport à la circulation
- \* les problèmes de gêne rencontrés au niveau de l'arrêt (stationnement parasite),
- \* la motivation personnelle
- \* la gestion du stress par rapport aux consignes de temps de parcours.

---

#### *1.2.1.4 Stratégies des conducteurs*

La stratégie est le raisonnement qu'effectue le conducteur aboutissant au choix d'un mode opératoire approprié à la situation. Le raisonnement prend en compte les paramètres pertinents pour la tâche à exécuter, c'est à dire que le conducteur utilise la représentation mentale qu'il s'est construit pour mener à bien son activité.

La stratégie varie d'un conducteur à l'autre: chaque conducteur, selon son profil général, va donner priorité à différents aspects de la tâche à exécuter.

Deux méthodes sont possibles, en phase d'observation globale, pour repérer les différents types de stratégies:

##### *La verbalisation spontanée*

L'étude ergonomique sur le terrain débute par la rencontre de l'opérateur, en l'occurrence, le conducteur. Il lui est expliqué le but de l'étude et le rôle de l'ergonome. Spontanément, le conducteur va parler de son métier, voire de ses préoccupations les plus fortes qui peuvent être ou non en rapport direct avec l'étude. Par exemple, les sujets abordés peuvent être le confort des passagers, les gênes aux arrêts lors de l'accostage, mais aussi les problèmes liés au poste de travail, à la circulation, ou au temps de parcours.

##### *L'observation des lacunes*

A chaque arrêt, pour les différents conducteurs, les lacunes ont été observées. Malgré la diversité des paramètres entrant en jeu, il a été possible de repérer des conducteurs obtenant des lacunes invariablement faibles ou invariablement élevées.

Ainsi, pour chaque conducteur, il pourra être défini un type de stratégie particulier, puis, il s'agira de faire correspondre un mode opératoire précis et spécifique à chaque stratégie, et de la corréler avec le résultat obtenu en terme de lacune horizontale.

Compte tenu du temps imparti à l'étude ergonomique, il est nécessaire, au terme de la phase d'observation globale, de réduire la combinatoire en diminuant le nombre de paramètres variables en ciblant l'analyse dans un cadre plus précis.

#### *1.2.1.5 Recadrage de l'étude en vue de l'observation détaillée*

Rappelons que l'étude ergonomique se fait dans le cadre du projet du réaménagement des arrêts de la ligne 8. Les observations effectuées doivent être transposables dans le contexte futur. C'est à dire que l'étude a porté sur l'évaluation future probable de l'activité des conducteurs lors de l'accostage.

On peut donc restreindre la liste des paramètres concernant les arrêts. L'étude a porté sur un nombre limité d'arrêts choisis parmi ceux ayant les caractéristiques les plus similaires possibles aux futurs arrêts.

Les caractéristiques à retenir sont:

- les arrêts en ligne
- les arrêts en saillie

---

Jusqu'ici, l'étude a porté sur l'aspect procédural de l'activité des conducteurs. L'observation détaillée et les entretiens qui vont suivre ont permis d'analyser les processus cognitifs générés par l'activité d'accostage. A chaque processus cognitif correspond une stratégie, de chaque stratégie découle un mode opératoire.

Les conducteurs font appel à leurs connaissances opératives pour accoster. Ces connaissances sont basées sur des représentations circonstancielles pour chaque arrêt. Ces représentations circonstancielles ont été étudiées sur certains arrêts et pour un groupe de conducteurs, choisis pour leur représentativité.

#### ***1.2.1.6 Choix des arrêts étudiés***

Ce choix s'est effectué avec le concours des personnes SEMITAG responsables du projet GIBUS et s'est porté sur:

- 5 arrêts en ligne avec voie bus
- 2 arrêts en saillie
- 2 arrêts en ligne sans voie bus
- 2 arrêts en demi alvéole.

Les critères retenus s'appuient non seulement sur les choix de la SEMITAG, mais s'inscrivent également dans une politique nationale de l'aménagement des arrêts de bus.

Sont citées ici les particularités géométriques principales des arrêts choisis, mais d'autres paramètres varient également: présence de Stop débouchant sur la voie bus, feu tricolore avant l'arrêt, passage piétons sur l'arrêt, densité de la circulation en sont des exemples.

#### ***1.2.1.7 Choix des conducteurs.***

Dans l'optique d'étudier les différentes stratégies des conducteurs, le choix s'est porté sur huit d'entre eux qui paraissent représentatifs de l'ensemble de l'équipe travaillant sur la ligne 8. La sélection s'est effectuée d'après les résultats de l'observation globale: s'il n'est pas encore possible à cette étape de mettre en évidence les différentes stratégies, on peut par contre déjà repérer les différences de personnalité qui peuvent influencer les techniques de conduite.

Ainsi, l'observation détaillée a été réalisée sur huit conducteurs choisis pour leur représentativité et sur 11 arrêts déterminés.

#### ***1.2.1.8 L'observation détaillée "muette"***

Cette phase consiste à observer les comportements opératoires de chacun des huit conducteurs sur deux allers retours successifs: c'est à dire que les 11 arrêts sélectionnés seront observés chacun deux fois. L'observation portera sur les modalités des comportements des conducteurs déclenchés pour l'activité d'accostage, et sur la valeur des variables influençant leur comportement, c'est à dire, ce qui peut entraîner des variations dans le comportement à l'accostage sur un même arrêt. La valeur des lacunes horizontales à l'arrêt, soit la distance entre la première marche du bus et le trottoir, a également été relevée.

---

Ces variations observables du comportement peuvent être:

- L'action de tourner le volant à droite, à gauche: selon le type d'arrêt, à quel moment a-t-elle lieu, quelle est son amplitude, ses conséquences sur la lacune à l'arrêt?

- L'action sur le frein: selon le type d'arrêt, la vitesse, la présence d'une voie bus ou non, à quel moment a-t-elle lieu, se fait-elle de manière progressive?

- La prise d'informations visuelles: selon le type d'arrêt, l'état de la circulation, la phase de l'accostage, dans quel rétroviseur son regard s'attarde-t-il le plus?

- La position du bus à l'arrêt: sur quels arrêts observe-t-on des variations, d'une fois sur l'autre et d'un conducteur à l'autre?

- Pour un même arrêt, les comportements des huit conducteurs sont-ils différents?

- Pour un même conducteur, son comportement variera-t-il d'un arrêt à l'autre?

- Quels sont les principaux paramètres entraînant la modification d'un comportement de base?

- La lacune: sa mesure s'effectue à l'arrêt, en regardant par la porte avant, sans instrument de mesure mais avec des points de repère: on sait que le caniveau fait 35 cm de largeur. En fonction de la position de la marche du bus par rapport au caniveau, on peut donc évaluer la valeur de la lacune à l'avant, et noter si le bus est parallèle au trottoir ou s'il est garé en biais. Dans ce dernier cas, la lacune est plus importante à la porte arrière de l'autobus.

Les observables durant cette phase sont les gestes et les mouvements du conducteur, leurs conséquences sur l'évolution de la position du bus et sur la lacune à l'arrêt. Au terme de cette phase, on peut décrire de manière précise l'enchaînement des actions menées par le conducteur, leurs conséquences, et noter les différences observées d'un conducteur à l'autre. On peut également associer ces enchaînements aux distances qu'il reste à parcourir, par exemple " il freine entre 40 et 10 m avant l'arrêt total du bus". A ce stade de l'étude, il apparaît que les comportements observés varient plus d'un arrêt à l'autre que d'un conducteur à l'autre, surtout pour des arrêts à géométrie particulière.

#### ***1.2.1.9 L'observation détaillée avec verbalisation provoquée.***

Elle vise à confirmer les hypothèses posées lors des observations détaillées "muettes" précédentes et est menée en deux phases:

*Phase a:* Elle consiste à observer les 8 conducteurs sur 2 allers retours successifs tout en leur posant des questions relatives à ce que l'on a observé par exemple "qu'avez-vous regardé dans le rétroviseur extérieur de droite à l'instant?"

*Phase b:* On demande aux conducteurs de penser tout haut lors de l'accostage.

Cette technique d'observation a permis, pour chacun des conducteurs, à chaque arrêt étudié, de mettre en évidence l'enchaînement des séquences du mode opératoire. La technique du questionnement a permis de mettre en évidence les raisons de ces variations.

Au terme de ces phases, on a pu construire un arbre général retraçant l'enchaînement des raisonnements et des actions des conducteurs à l'accostage, les alternatives possibles, les états du système, les décisions à prendre. Cet arbre ne tient pas compte des types d'arrêt, il contient toutes les informations recueillies sur les stratégies à l'arrêt, il est exhaustif mais pas spécifique.

On cherche à associer à chaque étape dans l'arbre les distances auxquelles le conducteur fait tel raisonnement à partir de telle information et aboutit à telle action.

---

### 1.2.1.10 Les entretiens individuels.

Après le dépouillement des observations, permettant une synthèse des stratégies à l'accostage pour chaque arrêt et pour chaque conducteur, la phase d'entretiens va permettre de compléter et confirmer les hypothèses posées quant au type de raisonnements des conducteurs dans des situations précises.

L'entretien se déroule en 4 phases:

*Phase a:* on demande au conducteur d'expliquer de manière chronologique et détaillée comment il procède pour accoster à un arrêt; ce qu'il fait avec ses mains, ses pieds, ses yeux, et dans quel ordre.

*Phase b:* on confronte ensuite le conducteur avec les croquis des 11 arrêts étudiés plus précisément: on lui redemande d'expliquer pour chacun des arrêts sa technique d'accostage, et de justifier les variations par rapport à la première description. On lui fait définir toutes ses incertitudes quant à sa stratégie. A partir de quel moment anticipe-t-il son accostage, quelles sont les informations qu'il prélève sur le quai, quelles sont les particularités de cet arrêt, quels sont les choix qu'il doit faire pour sa position à l'arrêt ?

*Phase c:* l'arbre construit au terme de l'observation détaillée avec verbalisation provoquée est transcrit sous forme d'histoire: on en donne un exemplaire au conducteur, avec la consigne de rayer ce qui lui semble inexact, de rajouter des éléments qu'il juge manquants, d'inverser l'ordre de l'enchaînement des actions ou des raisonnements s'ils ne lui conviennent pas.

*Phase d:* on pose au conducteur quelques questions précises: - que pense-t-il des trottoirs biseautés? Préfère-t-il les trottoirs biseautés ou droits? Pourquoi? - Qu'est ce qu'il lui faudrait pour réaliser à coup sûr et rapidement un bon accostage? Quel système d'aide pourrait lui être utile (guidage automatique, marquage au sol, rétroviseur supplémentaire...)?

Lors de l'entretien, les conducteurs sont amenés à comparer et à commenter leurs stratégies d'un arrêt à l'autre (phase b), et des différences apparaissent selon la typologie de l'arrêt. On retrouve ces différences d'un conducteur à l'autre.

Les phases a et c de description de la stratégie générale des conducteurs, et la phase b de description de leur stratégie liée à la typologie d'un arrêt, permettent de compléter l'arbre construit au terme de la phase d'observations détaillées.

En effet, il apparaît que ce premier arbre se rapproche beaucoup plus d'une stratégie à un arrêt en ligne plutôt qu'un arrêt d'une géométrie différente. Ceci pour la raison suivante: mises à part une ou deux branches des arbres pour les arrêts à géométrie différente, on peut dire que tous les arbres sont contenus dans l'arbre de l'arrêt en ligne. La phase d'entretien nous a donc permis de construire plusieurs arbres pour des arrêts de typologie différente, ces arbres découlant de celui construit au stade de l'observation avec verbalisation provoquée.

---

Au fur et à mesure du déroulement du plan expérimental, il nous est apparu plus instructif de présenter les données recueillies plutôt par type d'arrêt que par conducteur. En effet, on peut dire que pour une catégorie d'arrêts, une stratégie générale à tous les conducteurs se dégage. Il ne faut pas pour autant faire abstraction des particularités liées à la personnalité de chaque conducteur. Chacun d'entre eux s'avère avoir une politique personnelle pré établie sur la question de la lacune. On peut trouver plusieurs cas de figure:

- le conducteur ne se préoccupe jamais de la lacune.
- le conducteur veut dans tous les cas minimiser la lacune.
- Le conducteur considère que seule la lacune à l'avant est importante.
- Le conducteur est beaucoup plus préoccupé par l'aspect "temps de parcours".

Ces critères apparaissent dans les arbres sous forme de choix à prendre; certains sont cités de manière explicite comme la consigne "temps de parcours"

### 1.2.2 Les résultats

En conclusion des observations détaillées et des entretiens, 3 stratégies correspondant aux trois types d'arrêts: en ligne, en alvéole et en saillie se dégagent.

Ainsi, pour chaque arrêt, on distingue trois étapes:

- le pré accostage,
- l'accostage.
- l'arrêt.

L'étape du départ après l'arrêt que nous avons évoqué lors de la première phase de l'étude n'est plus mentionnée ici car elle n'apporte pas d'éléments supplémentaires par rapport à ce qui nous intéresse

L'étude plus détaillée montre que la manoeuvre pour amener l'autobus à l'arrêt peut être divisée en trois parties:

- Une phase de pré-accostage, qui a lieu entre 100 mètres et 40 mètres en amont du point d'arrêt, phase au cours de laquelle, le conducteur identifie l'arrêt et ses contraintes afin d'ajuster la stratégie à employer pour l'aborder.
- Une phase d'accostage qui peut être découpée en deux parties:
  - Une phase d'initialisation, qui a lieu entre 40 mètres et 15 mètres en amont, phase au cours de laquelle, le conducteur vise son point d'arrêt.
  - Une phase finale, qui a lieu entre 15 mètres en amont et l'arrêt du véhicule, phase au cours de laquelle, le conducteur peut améliorer la lacune horizontale. Cependant, sur les derniers mètres, la lacune peut être légèrement rectifiée au niveau de la porte avant du bus, mais au détriment de l'alignement du véhicule parallèle au trottoir.

On définit la fin du pré accostage et le début de l'accostage par l'instant où le conducteur commence à freiner. Les 2 paramètres principaux que va gérer le conducteur durant le pré accostage et l'accostage sont la lacune horizontale à l'arrêt (I), et l'emplacement des portes à l'arrêt, c'est à dire la position du bus à l'arrêt en longueur (L). La gestion de ces 2 paramètres va apparaître tout au long du déroulement des 3 arbres.

---

L'étude a montré une gestion très variable, de la part des conducteurs, des paramètres suivants:

L: position longitudinale, c'est à dire position des portes du bus par rapport à l'arrêt ou aux voyageurs en attente

l: lacune horizontale

L'amélioration de l'un de ces paramètres se fait au détriment de l'autre, ainsi la charge de travail sur L étant forte, en conséquence, il y a moins de disponibilité sur la lacune l.

L'algorithme ou l'arbre peut être décomposé en:

- Un tronc principal constitué par l'enchaînement des actions effectuées par le conducteur, symbolisées par des rectangles en pointillés. Ces actions sont associées à des raisonnements symbolisés par des bulles, et à des états de l'environnement, symbolisés par des rectangles aux bords arrondis. Cette partie de l'arbre correspond à la stratégie générale du conducteur. La stratégie générale est celle qui va convenir un plus grand nombre de fois possible pour un type d'arrêt donné. Elle est observable chez tous les conducteurs.

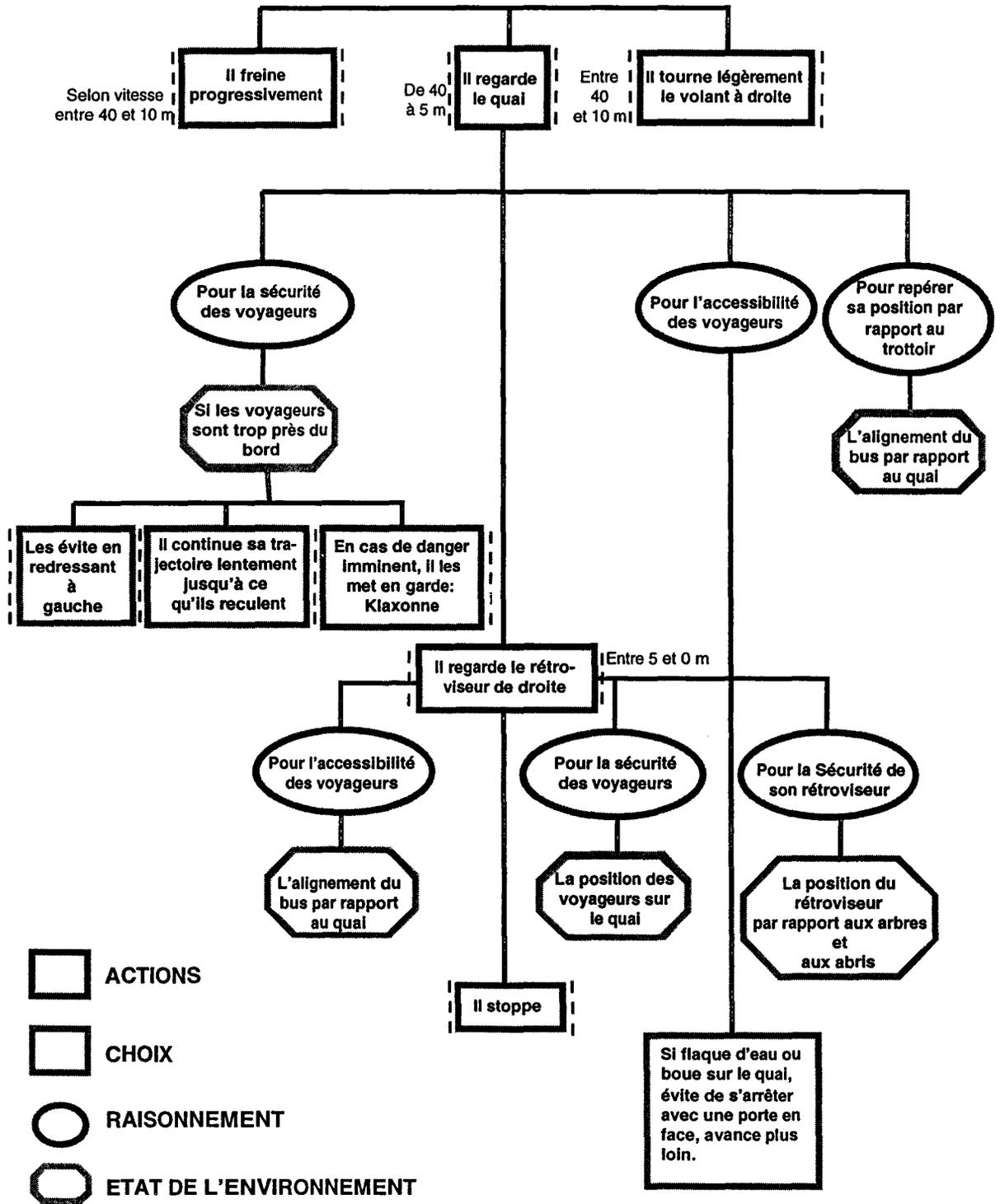
- Des branches extérieures constituées par des bifurcations qui représentent des variantes de la stratégie générale. Il peut arriver qu'à la suite d'un état particulier de l'environnement, le conducteur soit obligé de modifier la stratégie générale. Dans ce cas, il doit faire un choix parmi plusieurs possibilités en fonction de certains critères. Ces choix sont symbolisés par des rectangles simples.

Sur les arbres sont mentionnées les distances: elles correspondent à l'endroit où se trouve le bus par rapport à l'endroit où il va stopper. Elles ont été évaluées lors des observations détaillées muettes puis associées à des comportements du conducteur. Lors des observations avec verbalisation et des entretiens, les comportements ont été associés à des états de l'environnement, des raisonnements, des choix. Ainsi, par rapprochement des données, il a été possible d'associer une distance à chaque action, raisonnement ou choix.

La figure I-3 montre un extrait de l'arbre représentant les actions réalisées dans le cadre de l'accostage d'un arrêt en ligne. Alors que la partie centrale de l'arbre correspond à la stratégie générale, les branches correspondent à des variantes. Ainsi, lorsque le conducteur regarde le quai (Action), son attention se porte à cet instant sur trois composantes: la sécurité des usagers, leur accessibilité et la position du bus par rapport au trottoir (Raisonnement). En se focalisant sur l'aspect sécurité des usagers, si le conducteur constate que les voyageurs sont trop près du bord du quai (État de l'environnement), alors il peut, soit les éviter en donnant un coup de volant à gauche, soit continuer sa trajectoire pour qu'ils reculent, soit les avertir en klaxonnant (Choix).

Figure I-3 : Accostage en ligne

## L'ACCOSTAGE



---

Du point de vue nombre de choix, d'actions et de raisonnements, l'analyse comparative des trois arbres met en évidence que la charge de travail du conducteur est moindre pour un arrêt en saillie, alors qu'elle est beaucoup plus élevée pour un arrêt en alvéole.

Il est curieux de constater que la tendance, dans les villes françaises, est la suppression des arrêts en alvéole au profit des arrêts en saillie, mais plus pour des raisons d'aménagement urbain que pour des considérations ergonomiques.

### **1.2.3 Les recommandations**

En conclusion de leurs travaux, les ergonomes ont émis un certain nombre de recommandations qui vont permettre de proposer au conducteur un système d'aide à l'accostage adapté.

#### **1.2.3.1 Harmonisation des arrêts**

Parmi celles-ci, nous pouvons citer le fait d'harmoniser la géométrie des arrêts de bus afin d'alléger la charge mentale du conducteur en phase de pré-accostage. En effet, la grande diversité de typologie d'arrêts ainsi que le nombre important de variantes de leur environnement (arbre, poteau, emplacement de l'abribus,...) obligent le conducteur à choisir une stratégie différente à chaque accostage. De plus, il est important d'agrandir la surface d'attente des usagers afin qu'ils ne se positionnent pas sur le passage du bus. Ce qui revient à privilégier les arrêts en saillie et les arrêts en ligne. L'environnement de l'arrêt doit être dégagé de tout obstacle (poteau, arbres, branches) pouvant gêner la manoeuvre d'accostage. Le stationnement illicite doit être sévèrement sanctionné, ainsi, il peut être imaginé que l'autobus soit équipé d'un émetteur spécifique permettant la reconnaissance des transports en commun. Ainsi en cas d'absence de cet appareil spécifique, le récepteur placé au sol émettrait un coup de sirène ou de sifflet. A propos des emplacements de parking situés en amont de l'arrêt, ils devraient être approfondis afin d'éviter que les véhicules garés ne débordent sur la chaussée, gênant ainsi le mouvement d'approche des autobus.

Cette recommandation de standardisation des arrêts de bus est en cohérence avec la démarche globale "Accessibilité" mise en oeuvre à Grenoble. De plus, l'harmonisation des arrêts de bus permettrait la mise en oeuvre d'un repère unique d'arrêt longitudinal du bus afin de libérer le conducteur de la gestion du paramètre L et lui permettre de se concentrer sur le paramètre lacune l. En ce qui concerne le paramètre l, d'après les observations des ergonomes, il semble que le caniveau soit un bon repère, d'autant meilleur que sa couleur est claire.

#### **1.2.3.2 Petit Gibus**

En ce qui concerne l'aide à l'accostage petit Gibus, les ergonomes estiment que le système doit renforcer les points de repère existants, qu'il doit être utilisable avant les cinq derniers mètres sans détourner l'attention des conducteurs des autres tâches liées à la sécurité. Si l'aide est basée sur le canal visuel, elle devrait être de type vision périphérique (prise d'information semi-automatique) plutôt que de type vision centrale qui nécessiterait une fixation oculaire. L'aide pourrait également exploiter le canal proprioceptif, sous forme vibratoire, par exemple, à l'aide de bandes rugueuses au droit de l'arrêt.

---

Parmi les idées permettant la réduction de la lacune horizontale, il est préconisé de réaliser un marquage au sol représentant la trajectoire idéale de 40 mètres en amont de l'arrêt. Cette ligne au sol serait suivie par les conducteurs en vision périphérique, c'est à dire sans accommodation visuelle sur cette ligne.

L'avantage de ce mode de vision, par opposition à la vision centrale, est qu'il demande une moindre charge concernant l'activité de traitement de l'information. Cette activité de suivi de ligne au sol est comparable à celle d'un conducteur de véhicule sur route qui se repère sur les bandes de séparation de voie de circulation. Dans le cas de l'autobus, le conducteur serait amené à se rapprocher du bord du quai en minimisant la lacune horizontale.

### **1.2.3.3 VISÉE**

Dans le cadre de l'étude VISÉE, le facteur humain est pris en compte dès la phase de conception en terme de risques, mais aussi en terme d'acceptabilité.

C'est pourquoi, l'étude ergonomique émet quelques recommandations en ce qui concerne les systèmes de guidage à l'accostage. En particulier, il convient de mettre l'accent sur une politique d'information poussée auprès de tous les futurs utilisateurs. En effet, lors des entretiens, il est apparu une certaine appréhension des conducteurs face à un système de guidage semi-automatique ou dirigé.

Enfin, dans les deux cas d'aide et de guidage à l'accostage, la formation des conducteurs est un facteur primordial, cependant, il pourrait également être envisagé un infléchissement de la politique de l'exploitant pour privilégier la lacune plutôt que le temps de parcours. Cette étude ne pourrait qu'être basée sur une amélioration de la motivation des conducteurs, éventuellement sans système d'aide ou de guidage.

Enfin, l'étude souligne qu'il ne faut pas glisser vers une simplification des tâches qui conduirait à un appauvrissement des activités du métier de conducteur, et qu'il faut garder à l'esprit le facteur de motivation sans lequel tout système proposé serait inopérant.

---

## 1.3 Conclusion

En conclusion de ce chapitre, faisons un peu de sémantique: D'après le dictionnaire le terme accostage signifie, d'une part, aborder quelqu'un pour lui parler, et d'autre part, s'approcher pour un navire bord à bord le long d'un quai. Pourquoi, ce mot a été retenu pour parler de l'action pour un autobus de s'approcher du trottoir pour réaliser l'échange des voyageurs ? La première définition a une connotation de convivialité alors que la deuxième acception est plus technique, mais elles deux présentent parfaitement le problème posé, à savoir diminuer l'espace ou lacune existant entre le quai et le véhicule afin d'accueillir avec plus de convivialité les voyageurs... Il est à noter qu'en anglais le terme accostage est traduit par docking qui est similaire au terme maritime français

L'aide à l'accostage est une contraction du terme accostage et du terme aide à la conduite. Les aides à la conduite sont, comme le montre ce chapitre, des systèmes offrant au pilote d'engin, des informations lui facilitant sa tâche. L'objectif des systèmes d'aide à l'accostage est de proposer au conducteur d'autobus une information pertinente lui permettant de réaliser un accostage optimal.

Alors qu'en anglais, la traduction du terme aide à l'accostage est docking aid, en allemand, la traduction est Abstandshilfen qui signifie aide à la distance ou la lacune, ce qui présente une approche plus pragmatique... ou germanique!

L'analyse de l'existant sur le terrain sous forme d'étude ergonomique portant sur la phase d'accostage, l'état de l'art sur les systèmes d'aide à la conduite concernant la présentation d'information de type « écart par rapport à un obstacle » ont conduit à la définition de dispositifs d'aide à l'accostage.

---

Ainsi, dans le cadre de l'étude bibliographique sur le thème de la présentation d'informations, nos réflexions se sont portées sur des applications où il s'agissait d'amener un système de transport le plus près possible du lieu d'échanges de voyageurs ou de marchandises. C'est ainsi que nous nous sommes concentrés sur les systèmes de présentation de l'information permettant d'optimiser l'accostage de véhicules.

L'idée principale retenue a été de présenter une information au conducteur d'autobus se modifiant au fur et à mesure que le bus se rapproche du quai de station. De plus, à la demande des ergonomes, nous avons également développé une solution reposant sur le canal auditif des conducteurs, ainsi qu'un dispositif constitué d'une bande peinte symbolisant la trajectoire d'accostage.

Ainsi, nous avons disposé de deux types de dispositifs:

- un système d'aide à l'accostage au sol qui apporte des modifications au niveau de l'infrastructure et non du véhicule, dispositif matérialisé par une bande peinte au sol,
  
- des systèmes d'aide à l'accostage embarqués constitués d'équipements situés à bord des véhicules reposant sur le canal visuel et auditif des conducteurs.

Le chapitre II présente de manière détaillée les différentes solutions imaginées ainsi que leur phase de mise au point réalisée à l'INRETS-ESTAS. [Uster 95a] [Uster 95b]

---

# Chapitre II: Développement de systèmes d'aide à l'accostage

Le but de ce chapitre est de présenter le développement et la mise au point des différents systèmes d'aide à l'accostage conçus dans le cadre du projet Gibus. Suite à l'étude bibliographique, aux recommandations émises au cours de l'étude ergonomique ainsi qu'aux informations échangées dans le cadre du groupe de travail GIBUS [Uster], il est apparu qu'il pouvait être retenu deux grands types de systèmes: les systèmes d'aide à l'accostage fixes et les systèmes d'aide à l'accostage embarqués. Rappelons qu'il s'agit:

- des systèmes d'aide à l'accostage de type au sol qui n'apportent pas de modification au matériel roulant mais seulement au niveau de l'infrastructure.
- les systèmes d'aide à l'accostage embarqués qui sont des équipements situés à bord du véhicule.

## 2.1 Le système d'aide à l'accostage au sol

Parmi les systèmes d'aide à l'accostage au sol, et conformément aux recommandations des ergonomes, il a été retenu le marquage au sol qui matérialise la trajectoire idéale d'un autobus venant accoster avec une lacune optimale grâce à une ornière visuelle.

Le choix du type de marquage au sol s'inspire des publications officielles sur la sécurité routière qui statuent sur les règles variant selon l'environnement en site urbain, en rase campagne ou sur autoroute.

D'après les observations effectuées sur le terrain, il est apparu que les conducteurs ne s'intéressent à la position de leurs roues que pour le franchissement d'obstacles comme un trou dans la chaussée. Alors que pour l'approche en phase d'accostage, ils se fient essentiellement à la position du bord extérieur droit du véhicule, en regardant dans leur rétroviseur extérieur droit et dans l'angle droit du pare-brise. C'est pourquoi, le positionnement de la ligne doit être situé dans le prolongement du bord extérieur droit du véhicule, ce qui permet de faire abstraction des différences d'entre-axes selon les modèles d'autobus.

Ainsi, quelque soit le modèle de bus utilisé, la ligne au sol doit permettre au conducteur d'accoster correctement et d'empêcher le choc entre le bus et le trottoir. Il peut être imaginé une ligne de marquage en deux parties.

- de 40 mètres à 20 mètres en amont de l'arrêt:

Ligne discontinue de type T3, c'est à dire un trait de 3 mètres pour un espace de 3,50 mètres, soit trois traits et trois espaces, compte tenu de la distance de 20 mètres. Le bord droit de la ligne débute à 50 centimètres du trottoir et finit à 25 centimètres.

---

- de 20 mètres en amont de l'arrêt au point d'arrêt nominal:

Ligne discontinue de type T2, c'est à dire un trait de 3 mètres pour un espace de 1,33 mètres, soit cinq traits et cinq espaces, compte tenu de la distance de 20 mètres. Le bord droit de la ligne débute à 25 centimètres du trottoir et finit à 5 centimètres.

Le fait de varier la fréquence des pointillés entre les deux lignes permet de suggérer une idée de manoeuvre progressive. Compte tenu des contraintes de marquage au sol en agglomération, la couleur retenue a été le bleu.

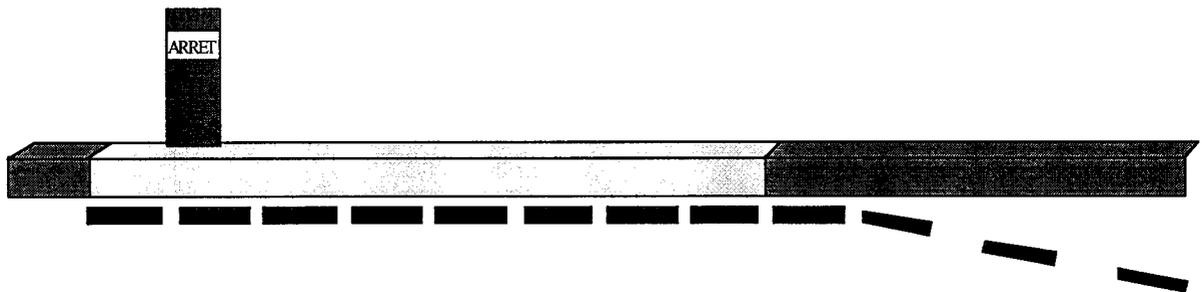


Figure II-1 : Schéma de principe du marquage

## 2.2 Les systèmes embarqués d'aide à l'accostage

Nous nous sommes inspirés des principes de visualisation de lacunes utilisés dans les domaines maritime et routier pour développer les différents systèmes d'aide à l'accostage testés à Grenoble, mais en apportant des variantes pour la présentation de l'information. En particulier, pour des raisons de visibilité, l'afficheur ne sera pas positionné au niveau de la station, mais sera embarqué à bord du véhicule comme les dispositifs routiers. De plus, nous avons imaginé différents types d'interface avec le conducteur reposant sur une même prise d'information.

Nous sommes en présence d'un système en boucle fermée, où un dialogue s'instaure entre l'opérateur et son environnement, le conducteur s'adaptant en fonction des informations qui lui parviennent. Il s'agit plus précisément d'une tâche de tracking, tâche pour laquelle la réponse motrice de l'opérateur doit s'adapter à un signal qui se modifie de manière continue.

En ce qui concerne la prise d'information, le cerveau ressent en général fortement l'absence d'information et cherche à en recueillir par tous ses capteurs disponibles. Si l'opérateur humain en salle de contrôle est en droit d'obtenir une information en moins de deux secondes [Kolski 93], temps de réponse considéré comme optimal, notre application réclame impérativement une information en temps réel.

## 2.2.1 Le capteur

L'option retenue est basée sur des dispositifs de type électronique et informatique. L'ensemble des dispositifs d'aide à l'accostage retenu repose sur un télémètre qui mesure la distance entre le capteur et une surface de réflexion.

La surface de réflexion du signal étant le trottoir, l'installation du capteur est réalisée en partie basse de la caisse du véhicule. Parmi les télémètres disponibles sur le marché, deux choix de techniques se sont présentés, l'infrarouge (IR) et l'ultra son (US). Dans le cadre de notre étude de faisabilité, l'infrarouge a été préféré à l'ultra son, car, d'un point de vue technologique, la plus grande directivité du faisceau émis par le capteur IR permet de réaliser des mesures plus précises même sur des surfaces de petites dimensions. Cependant, dans un cadre d'exploitation, alors que l'IR nécessite un nettoyage de la lentille, l'US offre une meilleure robustesse face aux salissures projetées sous la caisse du véhicule.

Le dispositif utilisé pour mesurer la lacune est basé sur un capteur infrarouge à sortie analogique fabriqué par IDEC, référence SA1D. Le constructeur lui définit une portée utile de 20 à 50 cm ; la mesure s'effectue par triangulation entre le rayon émis par une diode IR et le faisceau de retour créé par le point lumineux sur l'objet à détecter comme présenté figure II-2 :

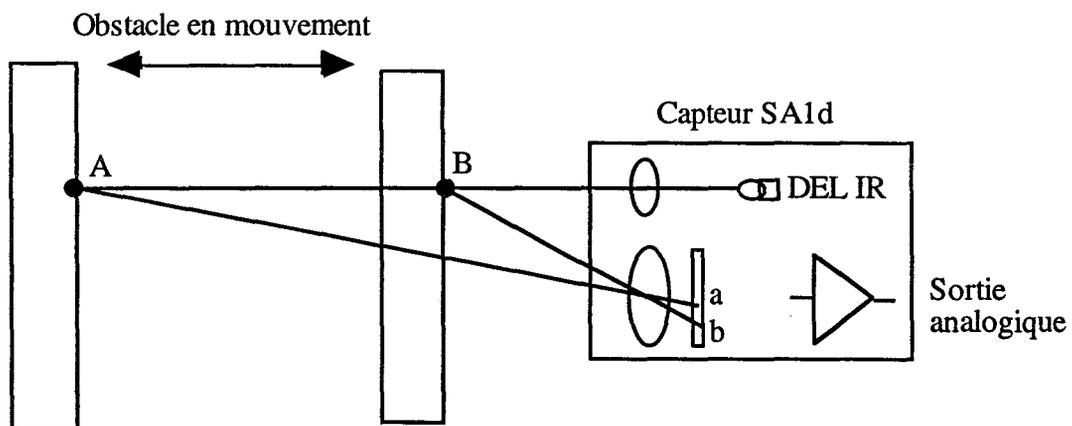
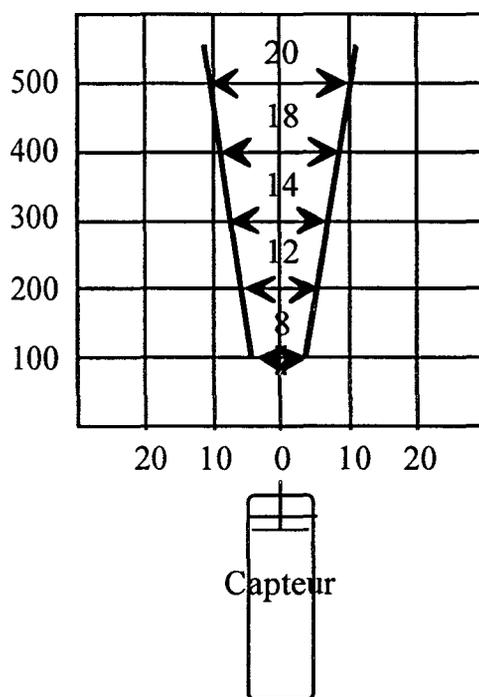


Figure II-2 : Principe de fonctionnement du capteur SA1D

Le résultat de la mesure est disponible en sortie sous forme d'un courant proportionnel à la distance entre l'objet et l'avant du capteur ; par adjonction d'une simple résistance, ce courant est transformé en une tension variant de 0,60 Volt (56 cm) à 4,76 V (15 cm).

Bien qu'étant d'une petite taille ( 68x50x21 mm ) et d'un poids assez faible ( 350 g ), le positionnement du capteur est d'une importance capitale. En effet, d'après la documentation technique, et comme le montre la figure II-3; la zone de détection a la forme d'un cône; c'est à dire que plus l'objet est éloigné du capteur, plus la zone de lecture est large.



**Figure II-3 : Zone de détection**

Ainsi, le télémètre infrarouge donne une information de lacune existant entre la partie basse de la carrosserie du véhicule et le bord du quai. L'information qu'il délivre, sous la forme d'une tension, est utilisée dans trois systèmes différents, dont deux reposent sur la perception visuelle des conducteurs, et un sur la perception auditive. Parmi les systèmes visuels, l'un des dispositifs est basé sur des techniques informatiques et l'autre sur des techniques électroniques. Cependant, d'un point de vue utilisation, seule l'interface diffère. Ainsi, le système peut se décomposer en deux parties:

- une partie embarquée constituée d'un capteur de distance de type télémètre, d'un dispositif de visualisation de l'information et d'équipements électroniques et informatiques assurant le traitement du signal et l'interface entre le capteur et le dispositif de visualisation,
- une partie fixe disposée le long du quai d'accostage permettant le fonctionnement du capteur de distance.

Afin de tenir compte des remarques des ergonomes, et en particulier de la phase d'initialisation de l'accostage, qui a lieu entre 40 mètres et 15 mètres en amont de la station, ces différents systèmes sont complétés par un marquage au sol 40 mètres en amont afin que le conducteur puisse viser son point d'arrêt.

## 2.2.2 Le système embarqué d'aide à l'accostage basé sur les LEDs

Ce système d'afficheur à leds va donc utiliser le capteur infrarouge décrit précédemment pour connaître la distance entre le bus et le trottoir. Et c'est une carte électronique, développée à l'INRETS, qui va traiter la tension délivrée par le capteur et réaliser l'allumage des leds.

Parmi les conditions de réalisation du système, étaient la simplicité et le prix, ce qui interdisait une réalisation à base de carte à microprocesseur permettant un traitement plus évolué mais demandant un matériel de développement sophistiqué et une maintenance pratiquement impossible sur site. C'est pourquoi, le choix s'est porté sur une chaîne analogique simple, à base de composants standards où la mise en oeuvre se réduit à trouver une source d'alimentation 24 V et à utiliser un tournevis pour ajuster les seuils de détection en cas de besoin.

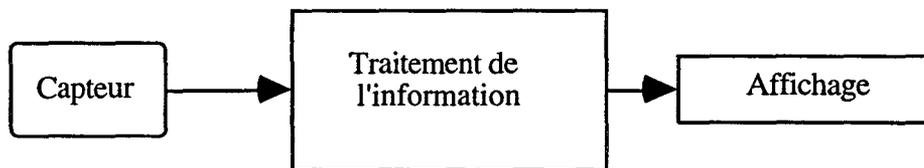


Figure II-4 : Synoptique du système

Le signal généré par le capteur est traité de manière entièrement analogique par une seule carte électronique regroupant :

- l'alimentation ;
- les interfaces capteurs et afficheur,
- le traitement du signal proprement dit.

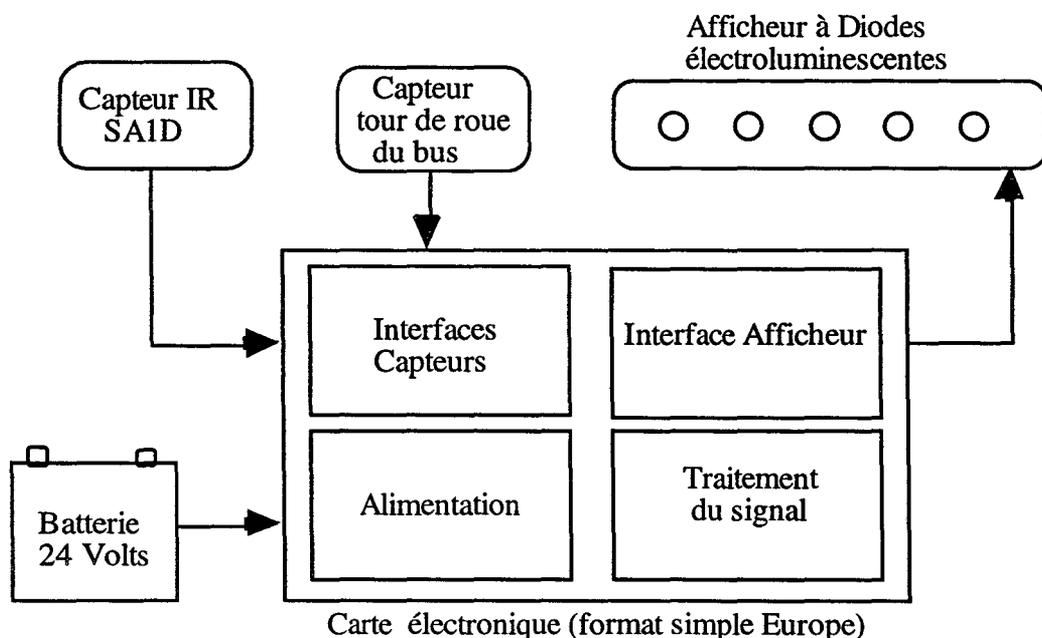


Figure II-5 : Découpage en blocs

---

Le bloc "**Alimentation**" a pour objet de fournir une tension régulée de 12 V/ 200 mA aux interfaces et au module traitement de signal à partir d'accumulateurs 24 V indépendants du système électrique du bus ;

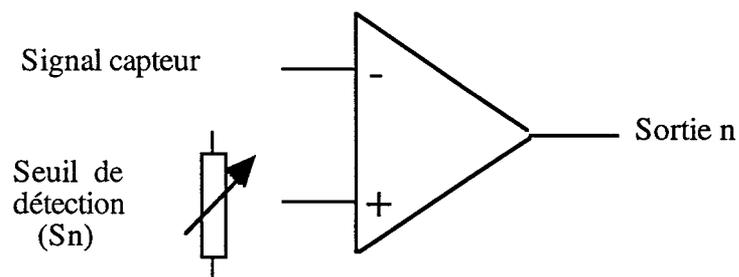
L'**interface capteur IR** se réduit à un amplificateur opérationnel suiveur isolant la sortie du détecteur du reste du montage et lui garantissant une charge constante ; la sortie de cet amplificateur alimente les étages comparateurs du bloc de traitement et la carte analogique/digitale du P.C. ;

L'**interface capteur tour de roue** divise par 16 les impulsions provenant du capteur KIENZLE du bus ; ce capteur, installé en sortie de boîte de vitesses, fournit 8 impulsions par mètre parcouru ; la sortie de cette interface sera donc un signal 0 - 5 V carré changeant d'état à chaque mètre parcouru et qui sera traité par la carte analogique/digitale du P.C.; cette information n'est pas prise en compte dans le traitement de la lacune : c'est seulement une mise en forme du signal pour le P.C.

L'**interface afficheur**, pour chacune des 5 voies, se compose d'un montage à transistor assurant l'inversion logique du signal issu des ampli-op et l'alimentation en courant des LEDs. A noter que l'information lumineuse est doublée au niveau de la carte électronique par 5 LEDs ordinaires pour faciliter les réglages dans le cas où l'afficheur déporté est invisible.

Le **traitement du signal** se compose de 5 comparateurs ayant sur leurs entrées :

- le signal issu du capteur IR ;
- une tension de consigne, réglable par potentiomètre et définissant le seuil de basculement du comparateur ;



**Figure II-6 : Principe de montage du comparateur**

Un seuil de détection différent (S1 .. S5) est déterminé pour chacun des 5 comparateurs de façon à faire allumer les diodes haute luminosité de l'afficheur l'une après l'autre lorsque le bus se rapproche du bord du quai ;

Exemple de réglage : S1 = 55 cm , S2 = 40 cm , S3 = 30 cm , S4 = 20 cm , S5 = 15 cm ,

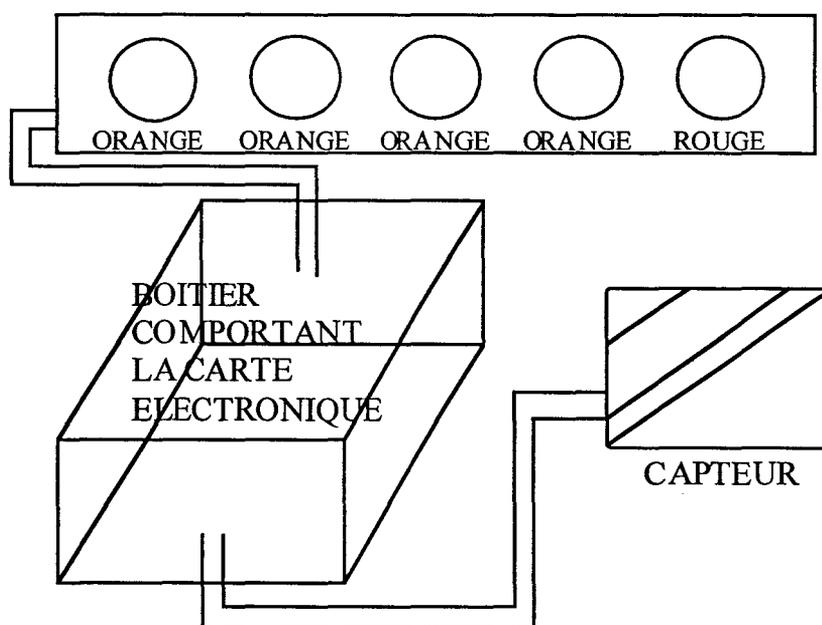
L'afficheur déporté comprend 5 diodes électroluminescentes de diamètre 13 mm et de très haute luminosité ; elles sont enchâssées dans une goulotte plastique qu'on peut faire adhérer sur le pare-brise du véhicule par deux petites ventouses.

Les types de diodes qui ont été utilisés sont :

- 4 diodes de couleur orange, 8400 mcd typique, réf. : Hewlett-Packard HLMP 8150
- 1 diode de couleur rouge, 15000 mcd typique, réf. : Hewlett-Packard HLMP BL00

L'angle de visibilité ( $4^\circ$ ) de ces diodes est assez réduit pour assurer leur efficacité lumineuse même en plein soleil ; à 2 mètres cela donne un cône de 14 cm de diamètre suffisant pour être vu du conducteur même avec mouvements de tête ; un angle de  $8$  à  $10^\circ$  devrait être parfait.

Cet afficheur à leds est représenté dans la figure II-7 :

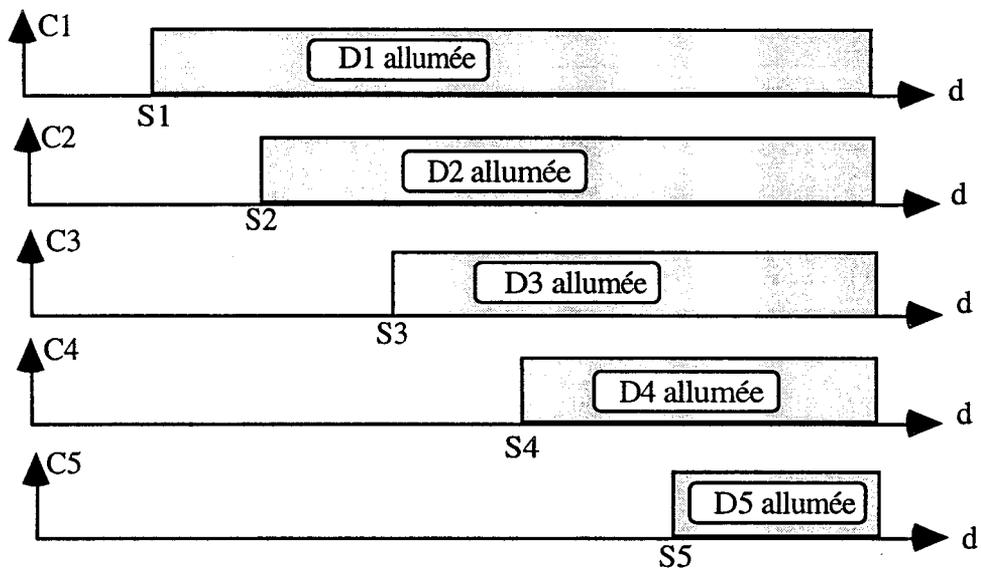


**Figure II-7 : Afficheur à leds**

dont un exemple de son fonctionnement est:

- le capteur est à plus de 55 cm du quai : aucune diode n'est allumée ;
- à 55 cm et moins, la première diode s'illumine, signalant au chauffeur la rentrée en zone d'accostage ;
- les diodes D2 à D4 s'allument ensuite au fur et à mesure que la distance entre le capteur et le quai se restreint ;
- à 15 cm et moins, la diode rouge D5 s'allume, indiquant la proximité immédiate du quai. A ce moment les 5 diodes sont allumées et elles s'éteindront lorsque le bus s'éloignera du quai.

**Figure II-8 : Séquencement d'allumage des diodes**

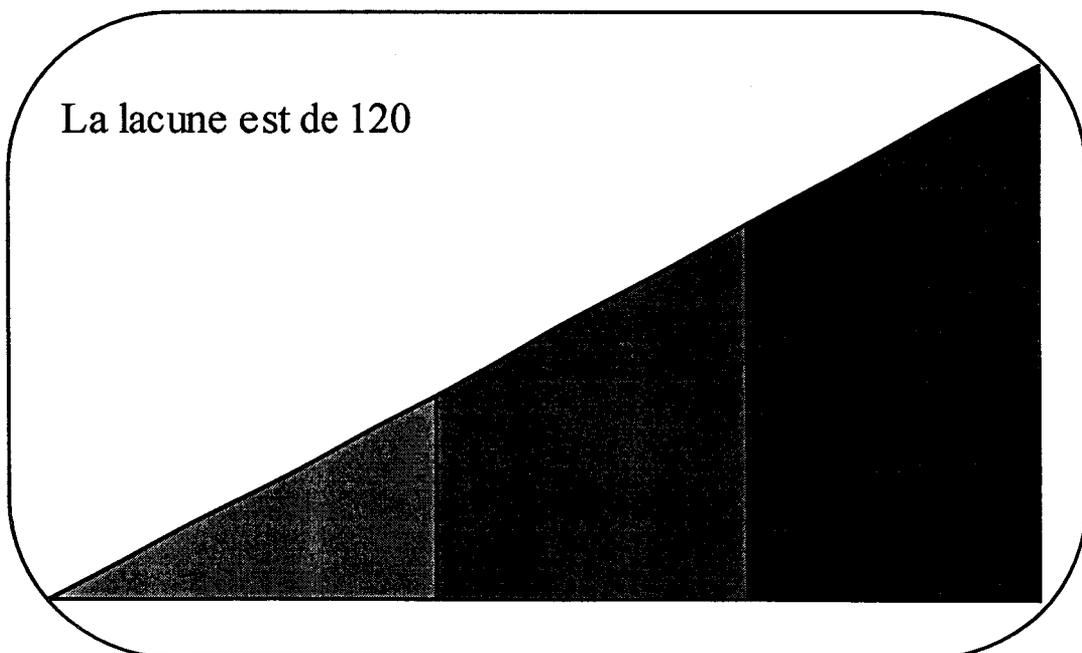


### 2.2.3 Le système embarqué d'aide à l'accostage basé sur l'informatique pour affichage sur écran déporté

L'ensemble du système d'aide à l'accostage repose sur le même capteur infra rouge, la tension de sortie étant numérisée grâce à une carte analogique/digitale. Ce système de visualisation est réalisé sur un écran de 8" de diagonale qui se branche sur la sortie vidéo VGA du P.C., fonctionne sous 12 V et qui possède un système de fixation par ventouse offrant de nombreuses possibilités de positionnement.

L'écran présente une forme géométrique (triangle ou rectangle) qui se colorie en fonction de la diminution de la lacune, de couleur verte, orange puis rouge. (figure II-9)

**Figure II-9 : Exemple de représentation de l'écran**



Le principe est le suivant, le capteur infrarouge envoie une tension vers le P.C. Celui-ci est équipé d'une carte analogique/numérique qui permet de transformer cette tension en une valeur numérisée pouvant être traitée par l'ordinateur. Au niveau du P.C., un programme permet de lire la valeur contenue dans la carte, de la transformer en distance et ensuite de l'afficher sur l'écran déporté. De plus, le programme va permettre d'enregistrer certaines données telles que la lacune, le nombre de mètres parcourus, le temps écoulé, et la valeur du top vitesse. La figure II-10 présente le principe de l'architecture de ce système :

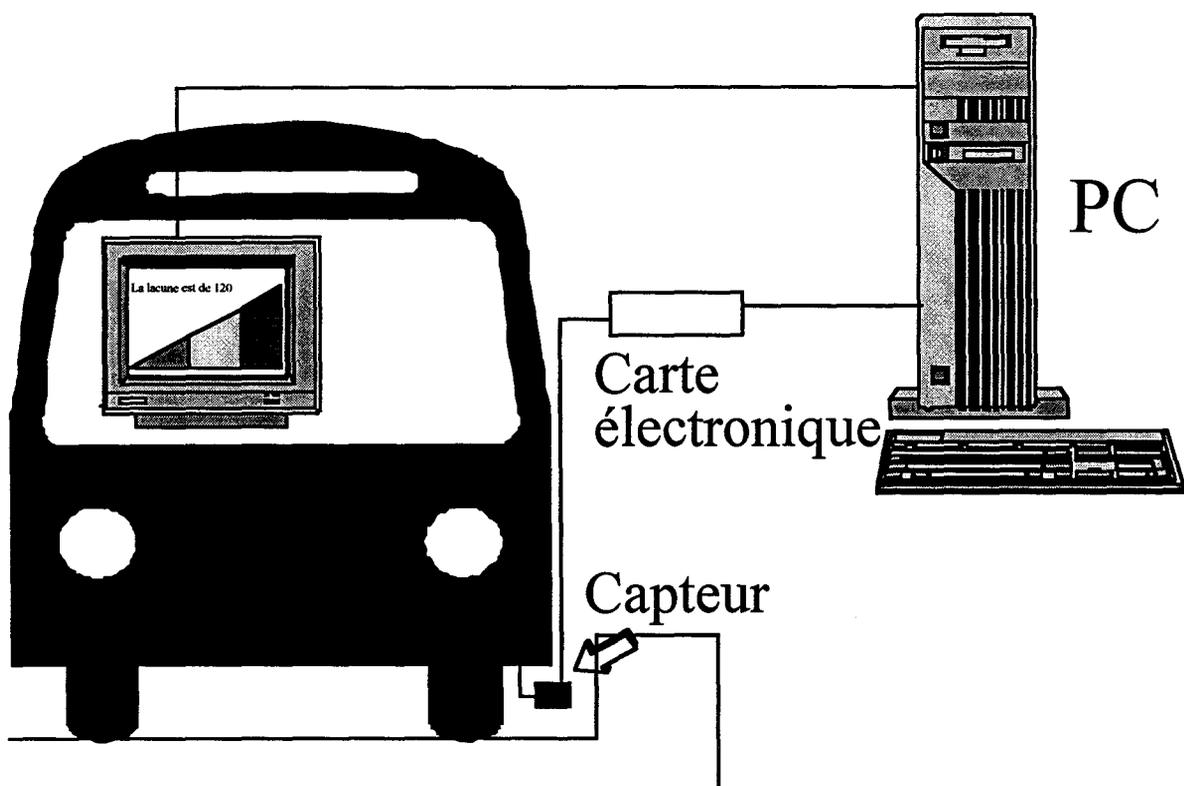


Figure II-10: Architecture du système

C'est toujours le même capteur infrarouge qui est utilisé pour ce système, cependant l'interface avec le P.C. réclame quelques aménagements. Ainsi, il nous faut d'abord déterminer comment calculer la valeur de la lacune horizontale en fonction de la tension reçue. Pour cela, des tests ont été réalisés sur un banc afin de déterminer une méthode de calcul de cette lacune. En plaçant un voltmètre en sortie du capteur, et en lisant les tensions reçues par le P.C. pour certaines distances, il nous a été possible de d'établir le tableau II-1 :

Distance (mm)	Capteur (V)	P.C. (V)
120	5	5,3
150	4,72	5
200	4,15	4,41
250	3,6	3,81
300	3,1	3,24
350	2,55	2,71
400	2,1	2,21
450	1,59	1,7
500	1,18	1,23
560	0,73	0,79

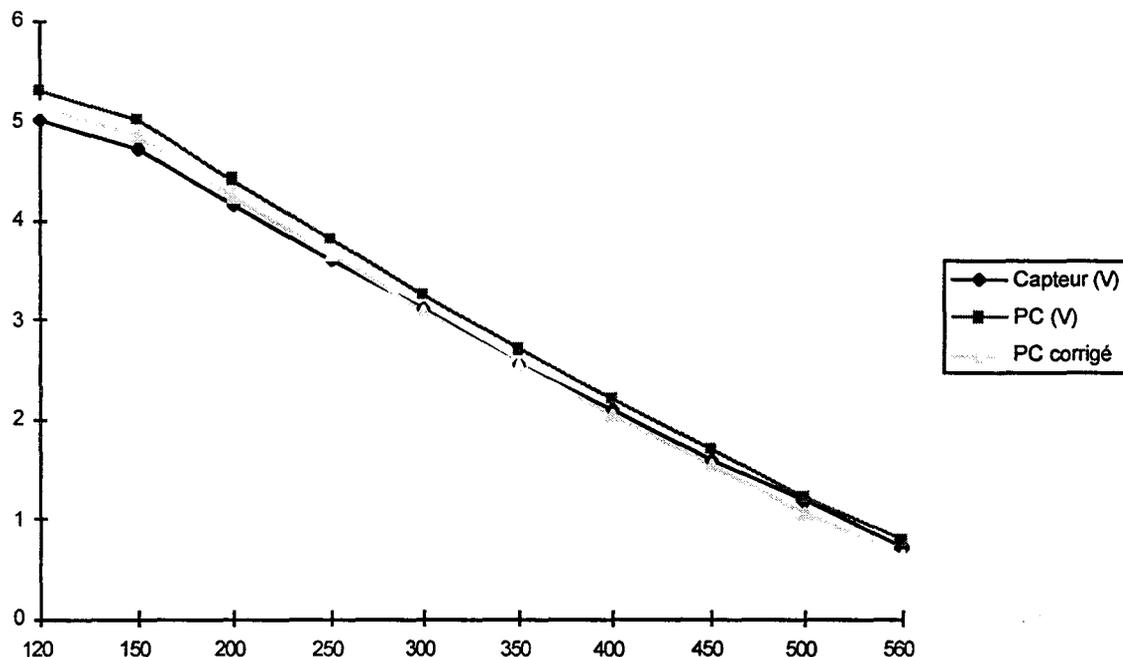
**Tableau II-1 : Mesure de la tension P.C. en fonction de la distance**

Il est noté un écart de valeur de tension entre la sortie du capteur et la valeur convertie sous forme numérique. Afin d'obtenir une donnée numérisée de la tension la plus proche de la grandeur réelle, une correction a été apportée à la valeur du P.C. en soustrayant la moyenne de l'écart P.C.-Capteur, comme le montre le tableau II-2 :

Distance (mm)	Ecart P.C.-Capteur	P.C. corrigé
120	0,3	5,13
150	0,28	4,83
200	0,26	4,24
250	0,21	3,64
300	0,14	3,07
350	0,16	2,54
400	0,11	2,04
450	0,11	1,53
500	0,05	1,06
560	0,06	0,62
Moyenne =	0,168	

**Tableau II-2 : Correction de la tension**

En fonction de ce tableau, il nous a été possible de construire la courbe intensité/distance (figure II-11) :



**Figure II-11 : Courbe intensité/ distance**

On remarque donc que la courbe P.C. corrigé est en moyenne la plus proche de la courbe du capteur, le P.C. corrigé correspond à la valeur du P.C. à laquelle on a enlevé la moyenne des écarts P.C.-Capteur ( qui est de 0.168 ). Par ailleurs, on observe que ces courbes peuvent être divisées en trois droites; une première droite pour la tranche allant de 120 à 150 mm, une seconde droite pour la tranche allant de 150 à 350 mm, et enfin une troisième droite pour la tranche allant de 350 à 560 mm. Le fait de rapprocher ces courbes à une série de trois droites nous permet de trouver plus facilement une méthodologie de calcul de la distance en fonction de la tension. En effet, il suffit alors de calculer l'équation de chaque droite et ainsi en fonction d'une tension, il est facile d'obtenir la distance équivalente. Voici donc les équations de chaque droite permettant le calcul par le P.C. de la lacune horizontale ( ces équations sont calculées avec les valeurs des points de la courbe P.C. corrigé ) :

$$1^{\text{ere}} \text{ droite : distance} = ( \text{tension} - 6.33 ) / -0.01$$

$$2^{\text{eme}} \text{ droite : distance} = ( \text{tension} - 6.5475 ) / -0.01145$$

$$3^{\text{eme}} \text{ droite : distance} = ( ( \text{tension} - 5.74 ) * 210 ) / -1.92$$

En ce qui concerne les fonctions du logiciel, elles sont au nombre de cinq:

- Lire en temps réel les données transmises par le télémètre via la carte analogique / numérique.
- Afficher une forme géométrique rectangulaire ou triangulaire.
- Colorier en temps réel et en fonction des données du capteur l'intérieur des formes géométriques de vert, orange, rouge. La forme est vide lorsque la lacune est supérieure à une valeur donnée (56 cm) et elle est entièrement coloriée lorsque la lacune est



---

## **2.2.4 Le système embarqué d'aide à l'accostage basé sur une information sonore**

L'ensemble du système d'aide à l'accostage repose toujours sur le même capteur infra rouge, la première solution, qui avait été élaborée, constituait à fournir un signal sonore dont la tonalité variait en fonction de la lacune. Ainsi, pour une lacune importante, le message était situé dans les sons graves, et au fur et à mesure de l'approche, le son devenait plus aigu. Cette solution riche en information a été abandonnée, car, d'après l'exploitant du réseau de Grenoble, l'information sonore est mal perçue par les conducteurs de transport public. L'environnement étant bruyant, les buzzers et autres voix synthétiques, comme il en existe sur le tramway, ont tendance à agacer le personnel qui se sent victime d'agressions sonores. De plus, à cause de la présence de scolaires bruyants ou de la radio de bord en service, le niveau sonore à l'intérieur d'un autobus peut être parfois relativement élevé, ce qui risquerait de rendre l'information continue difficilement perceptible par le conducteur.

C'est pourquoi, la solution retenue repose sur l'émission d'un seul message sonore dès que la lacune est égale à une valeur fixée. Ce message sonore ne sera diffusé que si la lacune est en train de diminuer, dans le cas contraire, le bus s'écartant du trottoir, le message ne sera pas diffusé. Cette émission de signal sonore est une fonctionnalité complémentaire qui est gérée par le logiciel développé en Turbo C++.

## **2.3 La mise au point des systèmes**

Pour tester et mettre au point les trois systèmes d'aide à l'accostage embarqués, il a été réalisé des essais sur banc en laboratoire et sur une camionnette laboratoire équipée d'équipements similaires au bus; ces essais ont permis de valider fonctionnellement les systèmes embarqués.

### **2.3.1 Mise au point sur banc**

Les trois systèmes embarqués d'aide à la conduite, qui ont été développés et mis au point à l'INRETS par Gérard Tual et Patrice Vanec, ont été testés, dans un premier temps, sur un banc d'essais en laboratoire.

L'objectif de cette expérimentation était de tester, en laboratoire, le capteur infrarouge nous permettant de calculer la lacune horizontale bus/trottoir, dans différentes configurations de positionnement. Car ce positionnement peut varier en fonction de son emplacement initial, de la charge de l'autobus, de l'état d'usure des pneumatiques, du dévers de la route, etc...

De plus, son installation en bas de caisse du véhicule peut amener à une position angulaire différente de celle préconisée par le constructeur, à savoir; la plus perpendiculaire possible par rapport à la surface de rétrodiffusion, et pas trop près de la route pour que son cône de lecture qui est de 20 mm pour un objet placé à 560 mm ne se reflète autre part que sur le trottoir. C'est pourquoi, il nous a paru indispensable de tester le capteur suivant différentes positions de hauteur et d'angle.

Le banc d'essais est constitué d'une planche graduée de 10 à 60 cm sur laquelle est installé une maquette de trottoir en bois d'une hauteur de 20 cm. Le capteur est monté sur un support à géométrie variable, ce qui permet de faire varier sa hauteur ainsi que sa position angulaire (Figure II-15). Le capteur est alimenté par un générateur calé sur 12 V, à la sortie de celui-ci est disposé un voltmètre qui mesure la tension proportionnelle à la distance mesurée entre la lentille du capteur et la surface de rétrodiffusion. Solidaire du capteur, il a été fixé un stylo-pointeur équipé d'une diode laser permettant de visualiser approximativement le centre du cône d'émission infrarouge.

L'ensemble du banc a été réglé par un instrument de mesure type niveau. De même, lors de l'expérimentation, les réglages ont été réalisés à l'aide de cet outil et d'un rapporteur gradués en degrés et situé au centre de rotation du support du capteur.

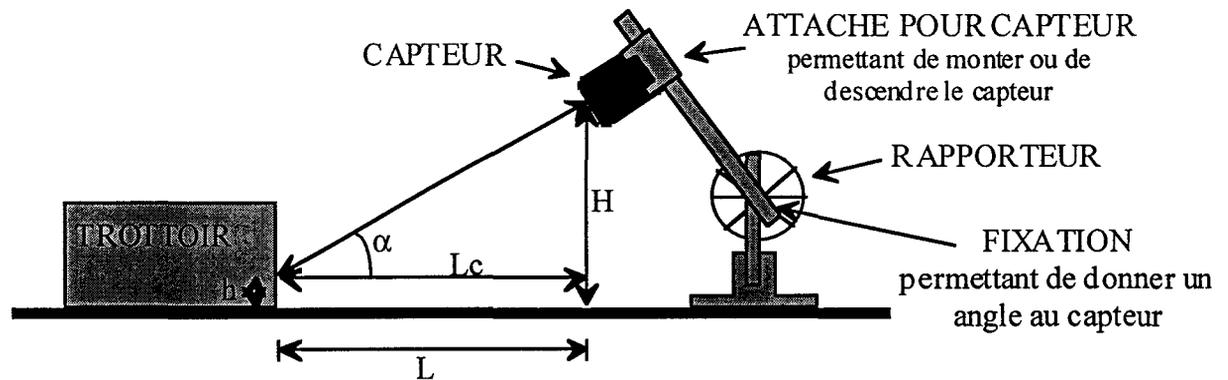


Figure II-13: Schéma de principe du banc

Les paramètres variables sont :

H la hauteur du capteur par rapport au référentiel constitué par la planche qui supporte le trottoir et qui représente le niveau de la chaussée. H prenant les valeurs (en cm) : 10, 20, 25, 22.5, 30, 32.5 et 35

$\alpha$  angle de positionnement du capteur, cet angle variant en degrés : 0, 20, 25, 30, 40, 50.

L la lacune existant entre la surface de rétrodiffusion et le front du capteur, L prenant les valeurs (en cm) : 12, 20, 30, 40 et 50

Les paramètres mesurés sont :

Vc la tension mesurée en sortie du capteur, tension qui est fonction linéaire de la distance lentille-surface de rétrodiffusion

h distance du point d'impact donné par la diode laser en prenant comme référence le point de convergence du « trottoir » et de la « route »

---

Cette information permet de se rendre compte si le champ de visée du capteur est constitué par la surface verticale formant l'aplomb du trottoir ou bien par la planche horizontale représentant la route.  $h$  a une valeur positive lorsque le rayon laser touche l'aplomb du trottoir, il a une valeur négative lorsque le rayon touche la planche « route », et la valeur indiquée correspond à la distance existant entre le bord du trottoir et le point d'impact.

L'expérimentation a porté sur 12 positions différentes de hauteur  $H$  et d'angle  $\alpha$ . Ce choix a été réalisé, d'une part en fonction d'une hauteur compatible avec l'installation du capteur sur le bus, hauteur comprise entre 20 et 35 cm. Cette valeur tient compte de la hauteur du parechoc et du risque de choc contre le trottoir. D'autre part le choix a été réalisé par calculs, en ne retenant que les cas les plus favorables pour pouvoir bénéficier de la plus grande plage de fonctionnement du capteur.

L'annexe II montre la totalité des résultats répartis sur 12 tableaux. Les erreurs calculées varient entre 0% et plus de 45%, cependant en excluant les valeurs élevées dues à des surfaces de rétrodiffusion multiples, comme nous le verrons ci-après, les écarts de lacune sont relativement faibles, en général inférieurs à 1 cm, ce qui est tout à fait négligeable compte tenu de la lacune à l'arrêt que nous souhaiterions atteindre et qui est comprise entre 15 et 30 cm.

Lorsque le faisceau infrarouge se situe dans des zones où il peut exister des surfaces de rétrodiffusion multiples, alors les erreurs de mesure sont importantes. Ces zones sont plus particulièrement le bord supérieur du trottoir, le « creux du caniveau » ( ou point de convergence du bas du trottoir et de la chaussée ), et la chaussée elle-même.

De plus, le faisceau infrarouge du capteur s'inscrit dans un cône qui, au sommet, a une largeur de 8 mm à une distance de 10 cm de la lentille, et à la base, a une largeur de 20 mm à une distance de 50 cm de la lentille.

Ce phénomène d'élargissement du faisceau couplé aux mesures dans une zone à surfaces de rétrodiffusion multiples entraîne des erreurs qui sont d'autant plus grandes que la lacune est importante.

Cependant, le banc ne peut être entièrement représentatif, en particulier, il ne peut rendre compte du déplacement parallèle au trottoir d'un véhicule à une vitesse donnée. C'est pourquoi, ces systèmes d'aide ont été embarqués et testés à bord d'une camionnette laboratoire.

### 2.3.2 Mise au point sur la camionnette laboratoire

L'INRETS en tant qu'organisme de recherche dispose d'une camionnette de marque Citroën qui a été transformée de façon à pouvoir réaliser des expériences sur site. Cette camionnette dispose de deux onduleurs qui fournissent de l'électricité à bord; ce qui permet d'y installer facilement du matériel électrique ou électronique. De plus, une information de vitesse est disponible à l'intérieur du véhicule.

L'ensemble des systèmes d'aide à l'accostage embarqué ont été placés dans la camionnette; à savoir :

- le capteur à l'avant droit du véhicule, à une hauteur approximative de 10 cm. Il était fixé par une ventouse sur la carrosserie et un système de tige percées coulissantes permettant de régler sa hauteur

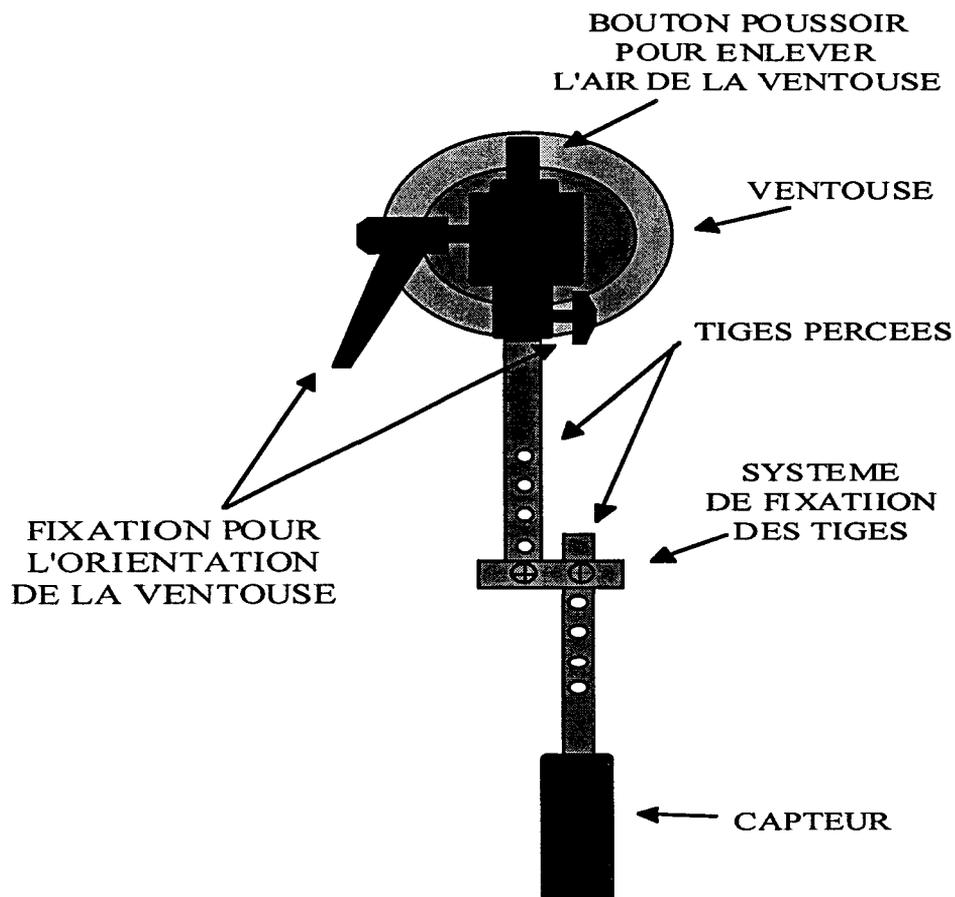
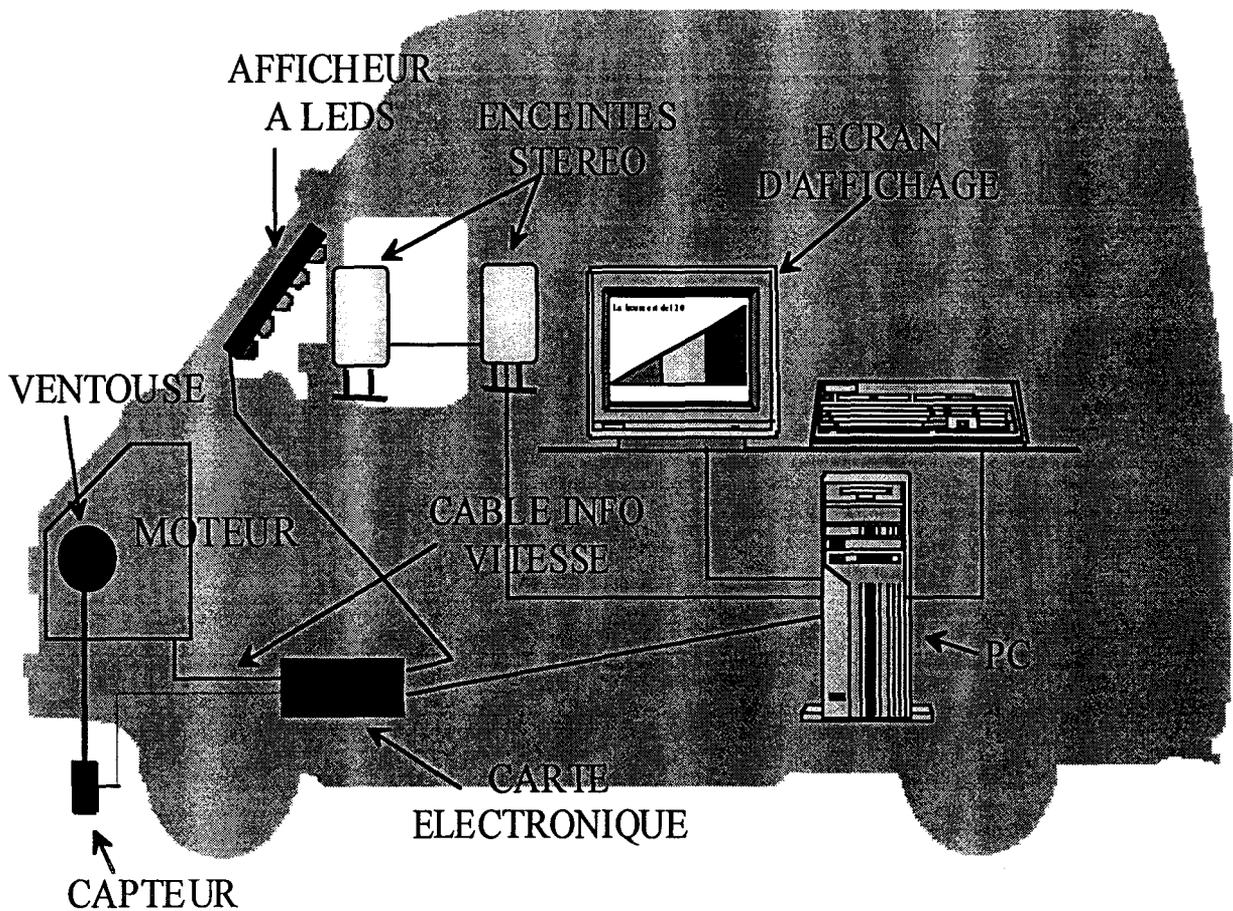


Figure II-14 : Fixation du capteur

- le P.C. sur une plate-forme se trouvant à l'arrière du camion
- l'afficheur à leds sur le pare-brise à hauteur du rétroviseur droit
- les deux enceintes du système sonore derrière le conducteur



**Figure II-15 : Les systèmes embarqués dans la camionnette - laboratoire du LEOST**

N'ayant pas encore à notre disposition l'écran déporté durant les tests, c'est l'écran d'un P.C. qui a été utilisé et placé sur la plate-forme arrière de la camionnette. Le but de ces tests étant de vérifier le fonctionnement des systèmes, l'expérimentation a consisté en une observation de l'écran, ainsi que l'enregistrement des paramètres lors d'accostages simulés le long d'un trottoir.

Les essais se sont avérés satisfaisants et nous ont permis de perfectionner les systèmes d'aide à l'accostage. Comme par exemple, certaines améliorations faites au logiciel permettant l'affichage sur l'écran déporté, telles que :

- L'affichage d'une seule forme à l'écran alors qu'auparavant les deux formes étaient représentées. De ce fait, la figure occupe la totalité de l'écran, ce qui offre une meilleure lisibilité.
- la possibilité de paramétrer la zone d'affichage rouge. En effet, il peut être indiqué à partir de quelle distance la zone rouge débute; ce qui permet de bénéficier d'une zone rouge plus ou moins grande.

---

Le seul problème rencontré concerne le capteur. Ainsi, bien que le fabricant assure une indépendance des mesures par rapport à la couleur, au matériau et à la forme des objets à détecter, il y a lieu de tenir compte de conditions extrêmes :

- une surface trop absorbante, par exemple bord de trottoir recouvert de mousse, empêche la détection à longue distance ;
- une surface trop réfléchissante, telle que bande réfléchissante de sécurité, sature l'élément de mesure ;

## 2.4 Conclusion

Le développement des systèmes embarqués d'aide à l'accostage a été réalisé à l'INRETS-ESTAS en collaboration avec l'USTL-CAL. D'un point de vue fonctionnel, les essais réalisés ont donné entière satisfaction. Nous avons pu vérifier le fonctionnement des systèmes d'aide pour des lacunes comprises entre 55 centimètres et 10 centimètres. Ces valeurs minimales et maximales sont conformes aux relevés des lacunes constatées lors de l'expérimentation vidéographique.

Cependant, en tant que conducteurs « amateurs » de camionnette, les accostages n'ont pu être réalisés avec autant de dextérité, ni de vitesse, qu'un conducteur professionnel d'autobus urbain.

C'est pourquoi, l'ensemble de ces systèmes d'aide à l'accostage fixe et embarqué a été testé en mars de l'année 1995 sur un site réservé à Grenoble en collaboration avec l'exploitant SEMITAG et les Services Techniques de la Ville.

---

# Chapitre III: L'expérimentation de Grenoble: étude de la faisabilité des aides à l'accostage

Afin de montrer la faisabilité des quatre systèmes d'aide à l'accostage, nous avons réalisé une expérimentation les 2 et 3 mars 1995 à Grenoble. Dans ce chapitre, nous rappelons d'abord le protocole d'essais qui a été mis au point en terme de site, de choix des conducteurs, et de finalité. Dans un deuxième temps, nous montrons que le recueil des données repose à la fois sur du matériel embarqué, mais également sur des observations et relevés manuels. Enfin, la dernière partie de ce chapitre est consacrée aux résultats et montre que leur analyse a permis de réaliser le choix d'un dispositif d'aide à l'accostage.

## 3.1 Le protocole d'essais

La description du protocole d'essais passe par la définition des paramètres d'environnement de l'expérimentation, c'est à dire, le site sur lequel se sont déroulés les essais, les hommes retenus pour conduire les autobus ainsi que le matériel embarqué nécessaire à l'enregistrement de données significatives. Pour compléter le protocole, il est nécessaire de préciser les consignes données aux conducteurs ainsi que les résultats attendus de l'expérimentation.

### 3.1.1 L'environnement et les acteurs

Le site d'essais retenu, qui est situé dans la rue René Andrieux à Grenoble, a une longueur de 400 mètres, et supporte une très faible circulation de voitures et de piétons. Son étendue permet d'atteindre des vitesses, en décélération, de l'ordre de 30 à 35 kilomètres par heure, ce qui est comparable à celles constatées en exploitation commerciale au cours de l'étude vidéographique.

Le site est équipé d'un trottoir de hauteur 21 centimètres, hauteur équivalente à celle d'un quai de station aménagée pour une accessibilité des PMR dans le cas d'utilisation de bus à plancher surbaissé. La hauteur modérée du trottoir est une donnée importante, car il a été maintes fois mentionné dans d'autres projets l'effet dit de paroi qui engendre une certaine appréhension des conducteurs à venir s'approcher d'un quai surélevé, à cause du risque d'interférence entre le bas de caisse et l'infrastructure.

Sur ce site sont matérialisés, par peinture le long du trottoir, deux arrêts de bus, l'un servant à tester le système fixe d'aide à l'accostage, l'autre servant à tester les systèmes embarqués d'aide à l'accostage. Conformément aux recommandations des ergonomes, deux types de marquage au sol ont été réalisés. Cependant, le marquage au sol est continu de 40 mètres en amont au point d'arrêt du bus pour l'arrêt numéro 1 où a été testé le système d'aide au sol sans

---

équipement embarqué. Alors que, pour l'arrêt numéro 2 où ont été testés les systèmes d'aide embarqués, le marquage est interrompu à 20 mètres en amont du point d'arrêt. Cela signifie que l'initialisation de l'accostage a été effectuée par le marquage, alors que la phase d'accostage final a été menée avec l'aide des systèmes embarqués de type visuel ou sonore.



**Figure III-1 : Photo du site d'expérimentation**

La définition du type de marquage a été réalisée par le cabinet Ergonomos et le suivi de la réalisation sur le terrain a été mené par le Bureau d'Études de la Ville de Grenoble.

La préparation de cette expérimentation a soulevé quelques problèmes administratifs qu'il convient de souligner. Étant donné que le site se trouve sur le domaine public, il a fallu informer une instance composée d'élus locaux appelée Commission de Circulation par un dossier de présentation des essais, dossier qu'elle a avalisé. Il est à noter que cette procédure administrative permet d'offrir une couverture en cas d'accident.

De plus cet emplacement est utilisé pour les cours et les examens de permis de conduire moto et poids lourd, ce qui a posé quelques problèmes de disponibilité pour les essais. Enfin, et pour l'anecdote, les Services Techniques de la Ville ont dû réaliser quelques élagages de branches qui gênaient le passage des autobus.

---

Le personnel de conduite qui a réalisé cette expérimentation était constitué de trois conducteurs, appelés C1, C2 et C3, de la ligne 8 qui avaient déjà participé à l'étude ergonomique. L'intérêt de ce choix résidait dans la possibilité pour l'ergonome de pouvoir comparer les conducteurs dont elle connaissait le comportement, en présence de systèmes d'aide à l'accostage.

Afin de rentabiliser l'immobilisation du matériel et des personnels, le système développé par l'INRETS était conçu pour basculer rapidement d'une variante à l'autre. Ainsi, la présence d'un conducteur pendant une demi-journée a permis de tester l'ensemble des systèmes installés sur un autobus Renault Véhicules Industriels de type R 312.

### 3.1.2 L'installation

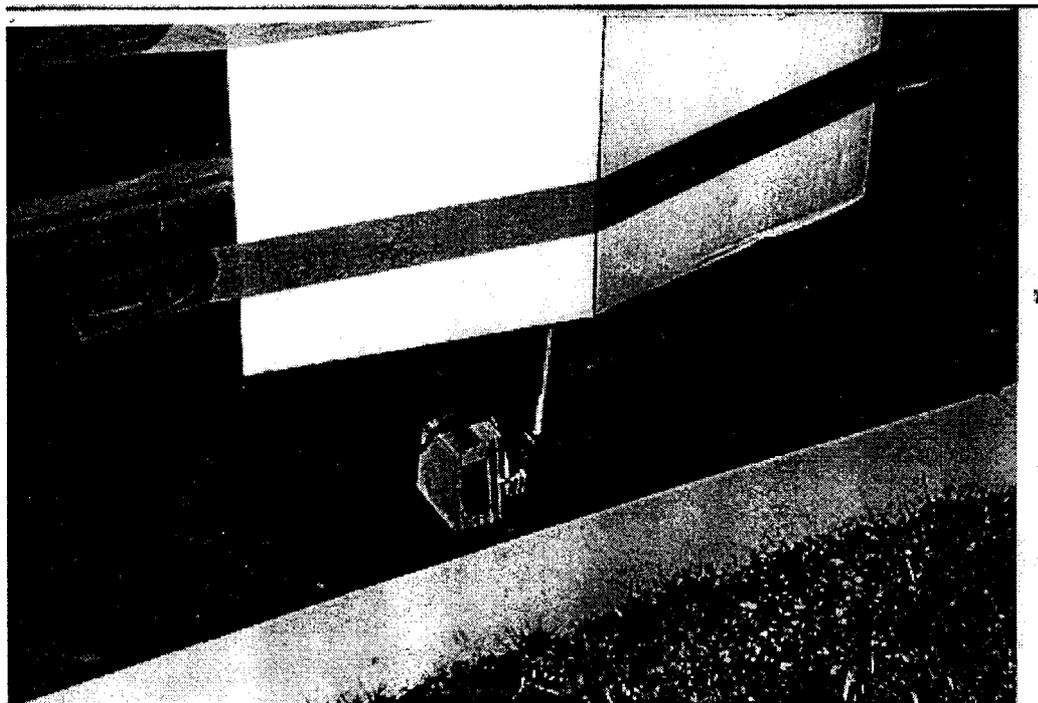
La première matinée des essais a été mise à profit pour installer le matériel à bord de l'autobus et pour réaliser quelques essais « à blanc » sur le site.

L'ensemble des systèmes évoqués dans ce chapitre nécessite l'installation d'un capteur de type télémètre infrarouge. La position de ce capteur, mesurant la distance entre le bas de caisse et le bord du trottoir, doit être, d'après la notice technique, la plus horizontale possible, et donc, la plus proche du sol.

Un calcul réalisé en fonction de la hauteur du télémètre et de sa position angulaire montre que, si la surface de rétrodiffusion est constituée par la hauteur du trottoir entre les valeurs 50 mm et 170 mm, et que les limites de fonctionnement du capteur sont 120 mm au minimum et 560 mm au maximum, le capteur devrait être positionné très près du sol à une hauteur de l'ordre de 200 mm avec une position angulaire de 75°.

Dans le cas où on ne pourrait le positionner qu'à une hauteur plus élevée, de l'ordre de 300 mm, nous ne pourrions bénéficier de la plage maximale du capteur, et dans ce cas, il y aurait un compromis à réaliser. En effet, l'information de distance ne pourrait être disponible que pour une lacune inférieure à 560 mm et supérieure à 120 mm, car le faisceau ne trouverait plus d'obstacle de rétrodiffusion servant au retour d'information, car il viserait au-dessus du trottoir.

Etant donné que le réseau de Grenoble ne possédait pas, en mars 1995, d'autobus à plancher surbaissé avec un pare choc à 320 mm du sol, nous nous sommes orientés vers la première solution. Une fixation de type provisoire, au plus près du sol, a ainsi été imaginée et réalisée par les Services Communs de l'INRETS Villeneuve d'Ascq. L'emplacement retenu se situe au niveau de la sortie de réservoir de carburant, son intérêt étant la possibilité de fixer le support sur une plaque de protection appelée « bavette de protection gasoil ». De plus, situé en arrière de la roue avant, les soubresauts du véhicule sont amortis par la suspension, enfin, la hauteur du capteur par rapport au sol est peu variable, même en cas de charge ou de salut du véhicule au freinage. Il est à souligner que le système de fixation a été testé et mis au point sur un autobus de type R 312 du réseau de la SEMURVAL de Valenciennes.



**Figure III-2: Photo de la fixation**

Parmi le matériel embarqué à bord de l'autobus et destiné à la prise d'information de lacune, il faut noter l'unité de traitement du capteur, l'ordinateur, ainsi que l'alimentation afférente constituée d'une batterie et d'un onduleur. Nous avons préféré une alimentation autonome, car celle du véhicule peut subir des fluctuations importantes.

### **3.1.3 Le déroulement des essais**

Le but des essais était la comparaison entre quatre systèmes dans une situation d'expérimentation. Rappelons que les facteurs tels que l'absence de circulation automobile, la présence des voyageurs sur le quai et à bord du bus, ainsi que le respect du temps de parcours ont été absents des essais.

Les systèmes testés étaient repérés par les lettres A, B, C et D :

\* Système A: Le système d'aide à l'accostage au sol

(voir descriptif au paragraphe 2.1)

\* Système B: Le système embarqué d'aide à l'accostage basé sur les LEDs

(voir descriptif au paragraphe 2.2.2)

\* Système C: Le système embarqué d'aide à l'accostage basé sur l'informatique pour affichage sur écran déporté. Cet essai est réalisé 5 fois avec un écran en forme de triangle occupant la moitié de l'écran et 5 fois avec un écran en forme de rectangle occupant la totalité de l'écran.

(voir descriptif au paragraphe 2.2.3)

---

\* Système D: Le système embarqué d'aide à l'accostage basé sur une information sonore (voir descriptif au paragraphe 2.2.4)

Chaque conducteur a réalisé 10 accostages pour chaque système dans l'ordre suivant:

Sur l'arrêt numéro 1, les conducteurs ont testé le système 1.

Sur l'arrêt numéro 2, les conducteurs ont testé les systèmes numérotés 2, 3 et 4.

Le phasage d'un essai, d'une durée de 4 à 5 minutes, se déroulait en 7 étapes suivant le schéma suivant:

- 1 Départ arrêté en bout de la zone d'essais
- 2 Montée en vitesse du véhicule jusqu'à 35 à 40 km/h
- 3 Arrivée au niveau de la ligne de guidage à une vitesse de 30 à 35 km/h
- 4 Passage le long de la ligne dite « d'initialisation d'accostage »
- 5 Deux cas se présentent alors:
  - 5.1 Essais du système 1:  
Suivi de la ligne de guidage pour réalisation d'un accostage
  - 5.2 Essais des systèmes 2, 3 et 4:  
Prise en compte par le conducteur des informations visuelles ou sonores fournies par les différents systèmes, et réalisation de l'accostage
- 6 Arrêt du véhicule et ouverture des portes
- 7 Retour du véhicule au point de départ

Aux exigences d'immobilisation du matériel et des conducteurs, se sont ajoutées des contraintes d'occupation du site. C'est pourquoi, les essais n'ont pu être menés qu'au cours de trois demi-journées, le jeudi 2 mars de 16 h à 19 h, et le vendredi 3 mars de 9h à 12 h 30, ainsi que de 14 h à 16 h 30.

L'ensemble de ces contraintes temporelles et matérielles a pesé sur les conditions d'expérimentation, en conséquence, la qualité opérationnelle de notre expérimentation en a quelque peu souffert.

La consigne donnée aux conducteurs était:

**« la réalisation d'un accostage optimal avec une lacune minimale ».**

Une expérimentation n'étant jamais exempte d'imprévus, nous avons rencontré quelques problèmes, tel le parasitage au niveau de la prise d'information de la distance parcourue. Malgré l'intervention diligente et experte de G.Tual de l'INRETS, certains enregistrements d'essais ne sont pas exploitables.

Le vendredi matin, la pluie a détrempé le béton et a rendu le capteur inopérant, ce que nous avons constaté lors de la mise au point, mais de manière moindre. Une hypothèse est que le béton des bordures présentait une plus grande porosité provoquant un évanouissement plus important du signal. La solution a consisté à appliquer une bande réfléchissante le long du trottoir. Hormis la perte de temps occasionnée par la mise en place de cette solution, les essais ont pu continuer à se dérouler sans perturbation du recueil de données.

---

Enfin, le système D basé sur une information sonore a été rapidement abandonné face au risque de casse du capteur. En effet, contrairement à nos essais de mise au point, le temps de traitement de l'information par l'ordinateur s'est avéré trop important, et le temps réel n'était plus respecté. De plus, l'information sonore sous forme d'un « beep » émis lorsque la lacune est inférieure à 15 centimètres n'est pas une information suffisante. Il est à noter que, suite à la demande expresse de l'exploitant qui craignait un rejet immédiat du système, nous avons abandonné une information sonore plus riche, dont la fréquence était modulée par la distance au trottoir.

## 3.2 Le Recueil des données

Le recueil des données a été réalisé sous forme informatique et vidéographique de manière automatisée, mais il a été également réalisé grâce à des relevés manuels et aux observations et entretiens menés par une ergonome.

### 3.2.1 Enregistrement informatique et vidéographique

Pour les enregistrements informatiques, nous avons utilisé la technique du monitoring ou du « mouchard électronique » qui permet de recueillir automatiquement des données objectives à l'aide de l'ordinateur à une fin d'analyse ultérieure. L'enregistrement informatique était mis en oeuvre entre les phases 2 et 6.

Durant les différents accostages, les données sauvegardées sont:

- informations fournies par l'horloge interne de l'ordinateur qui donne le temps en secondes.
- informations transmises par le capteur infrarouge, appelée distance capteur,
- informations fournies par la roue phonique qui donne une information de distance parcourue en mètres,
- informations fournies par la génératrice tachymétrique qui donne la vitesse du véhicule,

Ces données sont formatées dans le fichier de la façon suivante, comme le montre l'extrait ci-dessous, avec un enregistrement à une périodicité de l'ordre de 0,10 seconde :

temps en secondes , distance capteur , distance parcourue , valeur top vitesse

*0.00,560.00,0,5.15; 0.10,579.47,0,5.15; 0.21,580.57,0,5.15; 0.32,579.25,0,5.15;  
0.43,578.81,1,0.54; 0.54,579.47,1,0.55; 0.65,580.57,1,0.54; 0.76,579.03,1,0.53;  
0.87,580.79,1,0.54; 0.98,579.91,1,0.55; 1.09,579.69,1,0.54; 1.20,579.47,1,0.54;  
1.31,579.91,2,5.14; 1.42,580.35,2,5.14; 1.53,579.91,2,5.14; 1.64,578.15,2,5.14;*

D'un point de vue recueil de données en cours d'expérimentation, en plus des enregistrements des paramètres donnés par le capteur, une caméra vidéo a filmé les attitudes du conducteur pendant les différents accostages.

Un système de prise de vue vidéo a été installé à l'intérieur de l'autobus. Une micro-caméra vidéo de marque Panasonic a été fixée au-dessus du rétroviseur central du véhicule. Pendant la durée des différents passages, cette caméra filme l'attitude du conducteur et ses mouvements de volant, une prise de son y est associée. L'objectif des enregistrements vidéographiques était de

---

compléter l'étude ergonomique. En effet, il ne pouvait être question d'étudier les mouvements oculaires ou l'activité oculomotrice avec ce type de matériel. Même avec un équipement de type oculomètre [Riera 93], constitué d'un casque, système qui mesure la direction du regard, il ne peut être affirmé que les fixations du regard correspondent à une réelle prise d'information par l'opérateur, de plus, la vision périphérique n'est pas prise en compte par le système.

Il est à noter que cet enregistrement vidéographique mené par le LBSU (J. Lardière) a été mené en continu pendant la totalité des essais. Afin de simplifier un dépouillement ultérieur, un marquage des différents tests a été réalisé. Ainsi, des panneaux comportant le numéro du conducteur, le système testé ainsi que le numéro de l'essai étaient positionnés au niveau du conducteur.

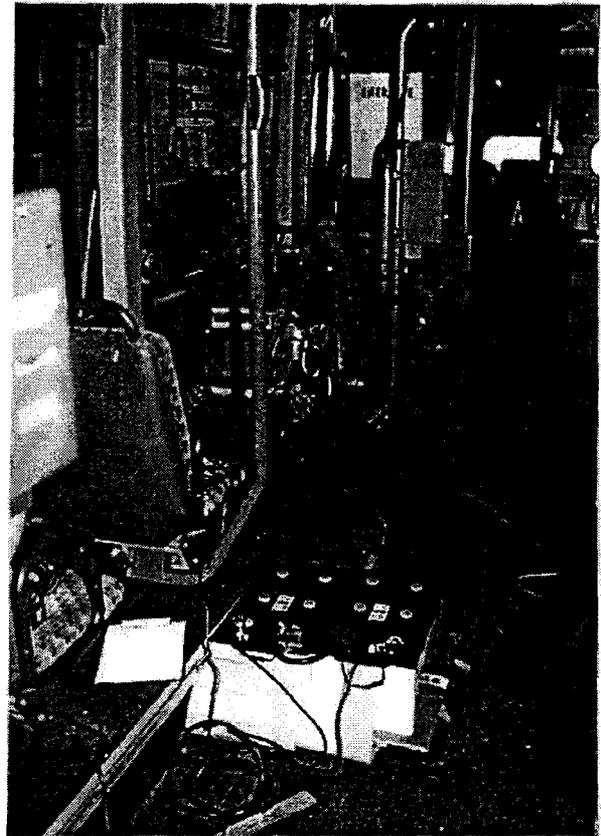


Figure III-3 : Photos de l'intérieur de l'autobus

### 3.2.2 Relevés manuels

Deux types de relevés manuels ont été menés au cours de cette expérimentation, un relevé manuel de lacunes à l'arrêt du véhicule et une observation de la tâche de la conduite.

Le relevé de lacunes à l'arrêt (phase 6) a consisté en une prise de mesure des lacunes horizontales soit les distances horizontales entre l'autobus et le trottoir. Ces mesures ont été réalisées au niveau de la porte arrière et de la porte avant de l'autobus. De plus, la distance au niveau du capteur a également été relevée. Son objectif était double, d'une part, vérifier le bon fonctionnement du capteur, et d'autre part, par la connaissance des deux points de mesure, pouvoir apprécier le parallélisme du véhicule par rapport au trottoir.

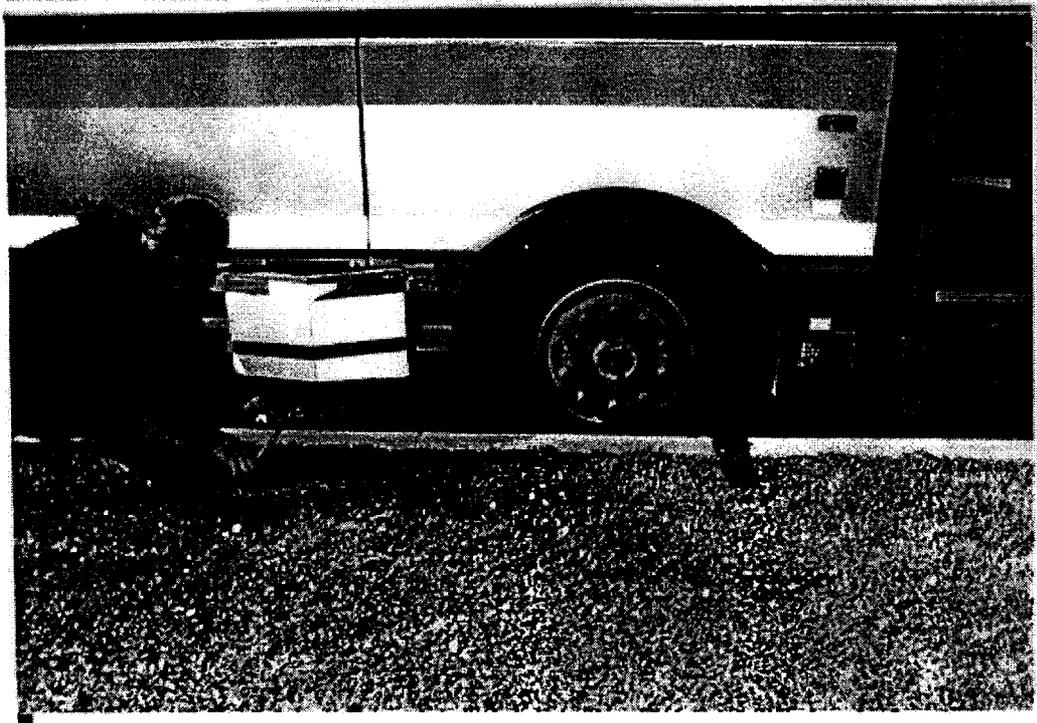


Figure III-4 : Relevé de lacunes réalisé par R.Zac du LBSU

**EXPERIMENTATION PETIT GIBUS**  
**FICHE INDIVIDUELLE CONDUCTEUR**

(identification du conducteur : jeud)

(identification du système : Système A ; ligne bleue au sol ; Arrêt N°1)

Passage N°	Lacune horizontale porte avant	Distance capteur/frottoir	Lacune horizontale porte milieu
1	18	20	20
2	12	13	13
3	20	21	21
4	14	17	19
5	14	15	15
6	19	18	17
7	18,5	18	18
8	16	16	16
9	7	8	10
10	20,5	20	20
11			

Figure III-5 : Extrait du relevé de lacunes

Bien que le point d'arrêt longitudinal ait été marqué par une borne et un trait de peinture au sol, son relevé n'a pas été systématique. Cependant, les quelques informations dont nous disposons tendent à prouver que ce point d'arrêt n'a pas été souvent respecté. Il conviendra, dans la phase ultérieure de l'étude et de l'apprentissage du système d'insister sur ce point. En effet, pour une meilleure accessibilité, l'autobus se doit de s'arrêter rigoureusement toujours au même emplacement et non pas en fonction des personnes réparties le long de l'arrêt.

Au cours de ces différents accostages, un ergonome présent sur le site a réalisé des observations et mené avec les conducteurs des entretiens informels à la fin de chaque phase d'essais, afin d'évaluer les différentes solutions d'un point de vue interface homme-machine.

En ce qui concerne ce travail, il a été mené par la même personne que l'étude ergonomique, en conséquence, une comparaison de la charge de travail dans les situations normale et instrumentée a pu être menée au mieux. Cette observation a été complétée par une verbalisation au cours de l'expérimentation pour recueillir les réactions « à chaud » des conducteurs, et ainsi évaluer l'acceptabilité par les conducteurs des différents systèmes. Dans certains cas, elle a pu être aidée dans son travail de dépouillement par les enregistrements vidéographiques réalisés.

2. <sup>2</sup> bge coup de volant à gauche avant d'arrêter, qui  
à l'arrêt. "c'est l'habitude de l'autobus"  
redresse les l'autobus pour que la partie arrière  
bus soit alignée  
→ P la borne à l'arrêt

10. <sup>10</sup> "c'est le dernier, il sera le meilleur"  
effectivement, c'est le meilleur : approcher à la ligne  
une à travers la porte, ne redresse pas à la fin  
12 au -

En résumé, il utilise la 1<sup>re</sup> partie de la ligne bleue  
de positionner (verser au loin) puis il utilise la ligne  
à travers la porte + le poteau d'arrêt + réel ou c'est  
util<sup>o</sup> des voyageurs qui de côté de la port<sup>o</sup> longitudinale

Figure III-6 : Extrait des notes de S. Kaplan

---

## 3.3. Les résultats

### 3.3.1 Présentation des courbes

Afin de comparer les différents systèmes d'aide à l'accostage, d'un point de vue exploitabilité, nous avons retenu deux courbes significatives.

La courbe de lacune horizontale, qui donne, de 50 mètres en amont de la station de bus jusqu'à l'arrêt du véhicule, la distance entre le bas de caisse et le trottoir.

La courbe de vitesse qui donne au cours des 10 dernières secondes la vitesse du véhicule.

L'intérêt de la première courbe est de montrer le système qui permet de réaliser un meilleur accostage. L'intérêt de la deuxième courbe est d'évaluer les systèmes qui auraient tendance à faire ralentir l'autobus de manière excessive, ce qui ne serait pas acceptable d'un point de vue temps de parcours en exploitation commerciale.

A partir des fichiers de données présentées au paragraphe 3.2.1, et qui comportent de 500 à 1000 valeurs par accostage, nous avons procédé à une extraction des données significatives. C'est ainsi que nous avons réduit nos fichiers en prenant un échantillonnage de 1 seconde par une moyenne des valeurs compte tenu dans cet intervalle. Ce traitement permet d'obtenir des données plus lissées tant d'un point de vue lacune que vitesse du véhicule.

De chaque fichier de données, ont été extraites les données intéressantes et elles ont été enregistrées dans un nouveau fichier sous le logiciel tableur Excel qui permet de tracer des courbes.

#### *FICHIER DE DEPART :*

0.00,560.00,0,5.15; 0.10,579.47,0,5.15; 0.21,580.57,0,5.15; 0.32,579.25,0,5.15;  
0.43,578.81,1,0.54; 0.54,579.47,1,0.55; 0.65,580.57,1,0.54; 0.76,579.03,1,0.53;  
0.87,580.79,1,0.54; 0.98,579.91,1,0.55; 1.09,579.69,1,0.54; 1.20,579.47,1,0.54;  
1.31,579.91,2,5.14; 1.42,580.35,2,5.14; 1.53,579.91,2,5.14; 1.64,578.15,2,5.14;  
1.75,579.03,2,5.15; 1.86,579.25,2,5.15; 1.97,579.25,3,0.55; 2.08,578.59,3,0.54;  
2.19,580.13,3,0.54; 2.30,579.03,3,0.55; 2.41,579.25,4,5.14; 2.52,578.81,4,5.14;  
2.63,579.25,4,5.15; 2.74,580.57,4,5.15; 2.85,580.13,5,0.54; 2.96,579.69,5,0.54;  
3.07,578.15,5,0.55; 3.18,579.47,6,5.14; 3.29,579.03,6,5.15; 3.40,580.57,6,5.14;  
3.51,579.25,7,0.55; 3.62,579.47,7,0.54; 3.73,580.13,7,0.56; 3.84,580.13,8,5.15;  
3.95,580.13,8,5.15; 4.06,580.79,9,0.54; 4.17,581.01,9,0.54;

#### *FICHIER APRES TRAITEMENT :*

##### *LACUNE.DAT*

580.57,580.35,578.81,580.13,579.25,579.25,581.45,580.35,579.03,580.13,  
579.25,580.35,578.81,579.69,579.47,579.69,578.37,581.45,579.80,579.03,  
579.69,579.25,579.14,580.13,578.59,579.14,579.03,579.03,548.81,529.58,  
555.62,484.53,480.24,469.36,451.34,416.72,411.99,401.45,366.97,380.13,  
331.73,376.17,309.28,287.20,250.94,209.95,170.60,136.61,122.59,122.86,

##### *VITESSE.DAT*

32.40,25.20,25.20,25.20,18.00,10.80,10.80,10.80,7.20,3.60,3.60,

**Figure III-7 : Exemple de traitement du fichier**

### 3.3.1.1 Les courbes de lacune

Les courbes de lacune ont en abscisse les 50 mètres précédant l'arrêt du véhicule et en ordonnée, la lacune exprimée en millimètres. Etant donné que le capteur révèle un phénomène de saturation pour une distance supérieure à 580 mm, la courbe de lacune apparaît comme une droite parfaite à cette distance, ce qui n'est pas le cas dans la réalité. En effet, d'après nos observations la lacune de l'autobus oscille plutôt autour de la valeur de 1 mètre.

L'intérêt de ces courbes réside dans le fait de pouvoir observer les modifications de stratégie d'approche des conducteurs en fonction des différents systèmes expérimentés.

Ainsi, la figure III-8 présente un exemple de courbe de lacune pour le système A testé par le conducteur C2. Il est constaté une grande dispersion dans la phase d'approche finale, ou plutôt de « décrochage », pour employer un terme d'aéronautique. Ainsi, cette phase est comprise entre les valeurs 35 mètres et 12 mètres. De plus, la lacune constatée à l'arrêt est dans une fourchette de 12 à 25 cm.

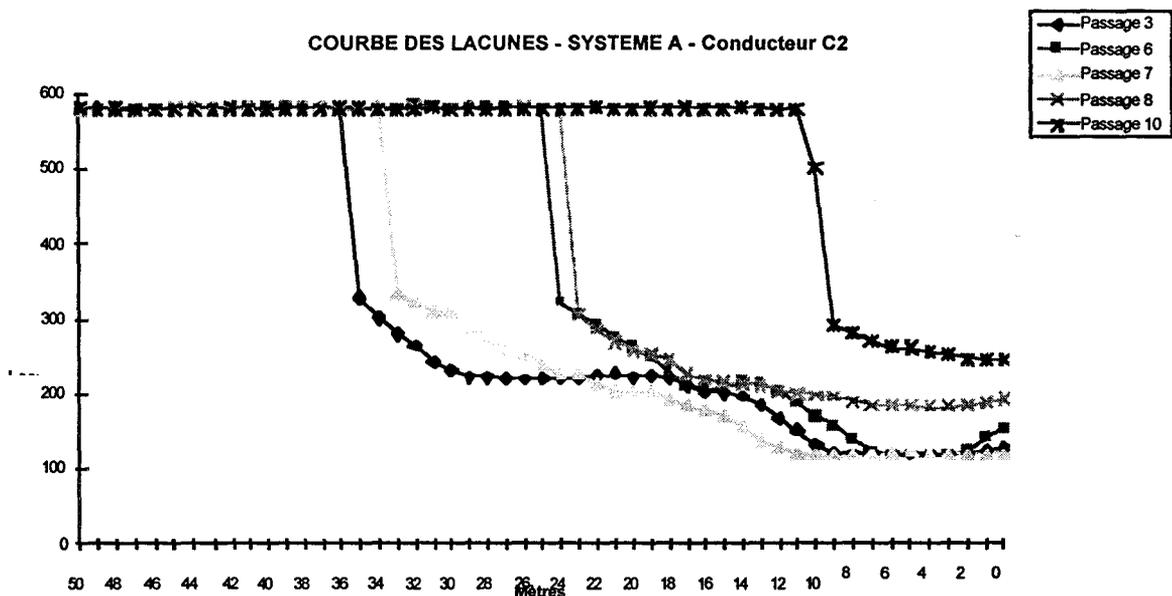


Figure III-8 : Courbe des lacunes - Système A - Conducteur C2

La figure III-9 montre la même courbe pour le même système A, mais avec un conducteur différent C3. La lacune observée est de l'ordre de 20 à 25 cm, et il est constaté un léger coup de volant sur les derniers mètres. Ce coup de volant est nécessaire pour les conducteurs de bus articulés lorsqu'ils stoppent à un arrêt en alvéole, car il leur permet de se réinsérer plus facilement dans la file de circulation lors du redémarrage. Le décrochage est réalisé de manière très précise à 25 mètres du point d'arrêt. L'ensemble de ces éléments semble montrer qu'il n'y a pas de changement de mode conduite pour ce conducteur testant le système A (suivi de ligne).

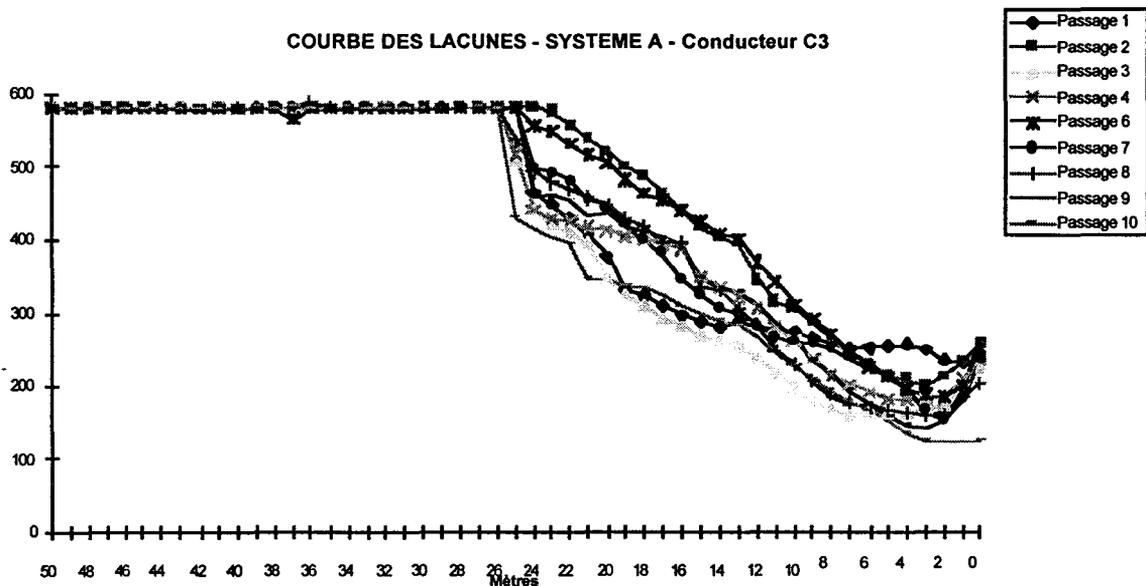


Figure III-9 : Courbe des lacunes - Système A - Conducteur C3

La figure III-10 montre la courbe de lacune réalisée par le conducteur C2 testant le système C (écran). Ce même conducteur, qui avait développé une stratégie propre pour le système A vu la disparité des courbes (suivi de ligne: figure III-8), applique un décrochage aux alentours des 25 derniers mètres et réalise des lacunes qui peuvent être divisées en deux catégories: au moment de la prise en main, la lacune est de l'ordre de 20 centimètres, et après apprentissage, la stratégie s'est affinée et la lacune est meilleure de 10 à 15 centimètres. Il est intéressant de remarquer que les notes de l'ergonome font état d'une conduite habituelle réalisée avec une seule main, mais la prise du volant à deux mains a été relevée pour la réalisation des derniers essais.

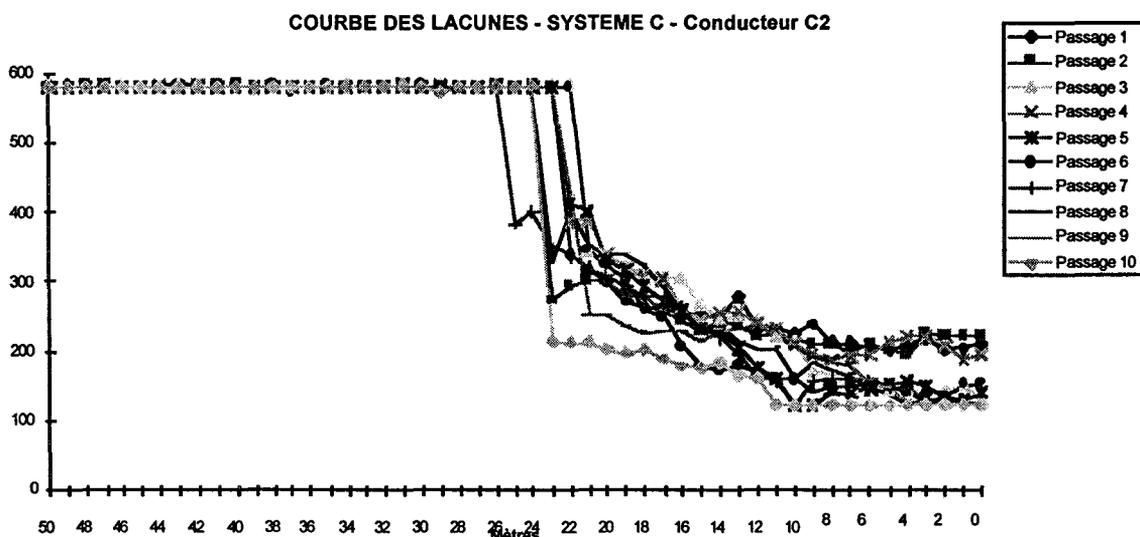


Figure III-10 : Courbe des lacunes - Système C - Conducteur C2

### 3.3.1.2 Les courbes de vitesse

Une autre courbe tirée des enregistrements est la courbe de vitesse. L'abscisse représente le temps en secondes et on ne s'intéresse qu'aux dernières 10 secondes. En ordonnée est représentée la vitesse du bus qui est calculée à partir des données de temps écoulé et de distance parcourue. Rappelons que pour la réalisation de ces essais, les conducteurs ont abordé la zone d'arrêt avec des vitesses stabilisées de l'ordre de 35 à 40 km/h, ce qui est légèrement supérieur aux vitesses constatées sur la ligne 8 lors de l'étude vidéographique. L'intérêt de ces courbes est de constater si l'utilisation d'un dispositif d'aide à la conduite a tendance à faire baisser la vitesse d'approche, et par conséquent, serait susceptible de faire baisser la vitesse commerciale.

La figure III-11 présente les passages exploitables du conducteur C2 testant le système A (figure III-8). Cette courbe est à corrélérer avec la figure III-8, car on y retrouve le phénomène de perte de repères pour ce conducteur. En effet, les vitesses sont dispersées (le passage 1 est trop lent, contrairement au passage 10 qui est trop rapide), et le décrochage a été réalisé à 10 mètres du point d'arrêt avec pour résultat une lacune de 25 cm.

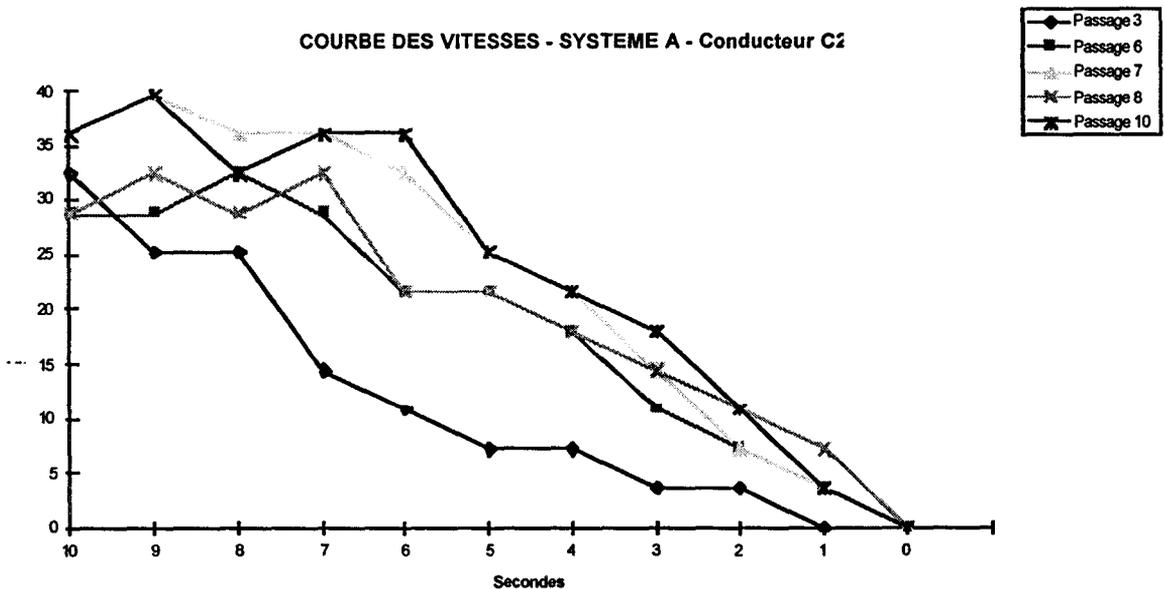
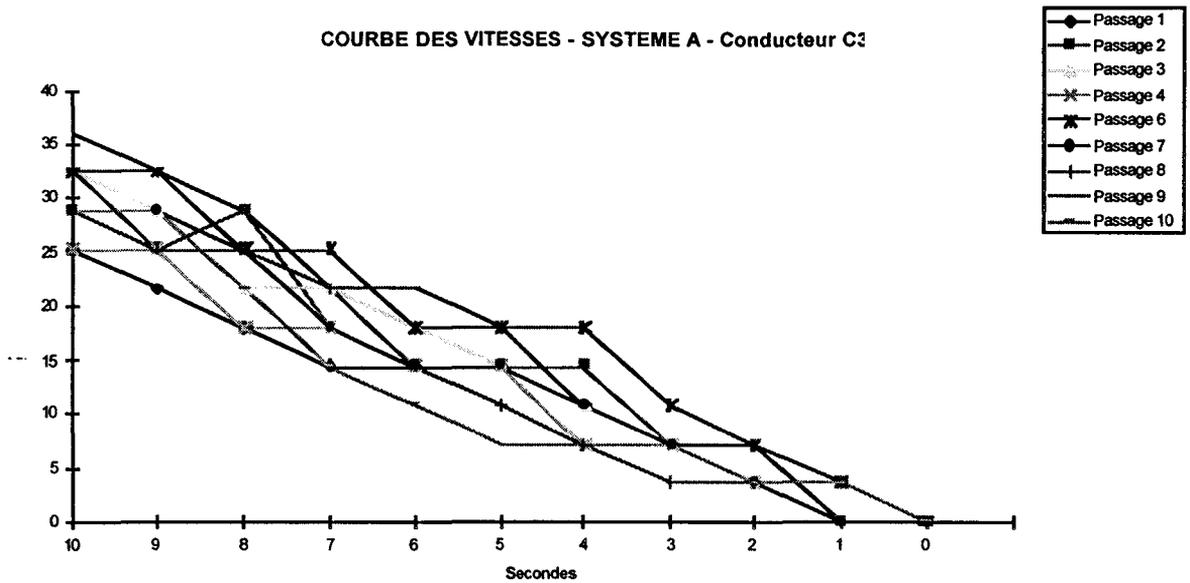


Figure III-11 : Courbe des vitesses - Système A - Conducteur C2

La figure III-12 présente les résultats du conducteur C3 testant le même système A. La dispersion des vitesses est moins grande, la fourchette est de 10 km/h. A priori, la ligne bleue au sol ne donne pas les résultats escomptés et il semble que le point de repère soit plutôt constitué de la bande jaune qui matérialisait l'arrêt du bus.

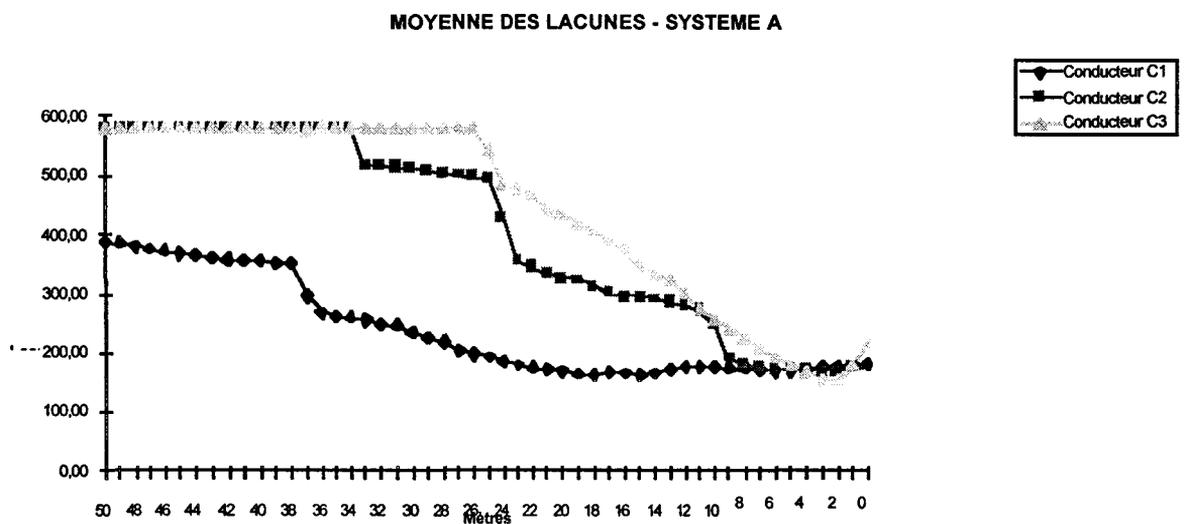


**Figure III-12 : Courbe des vitesses - Système A - Conducteur C3**

### 3.3.2 Interprétation

Au delà des quelques commentaires ponctuels réalisés sur ces quelques courbes, l'analyse des courbes de moyennes apportera une information plus riche.

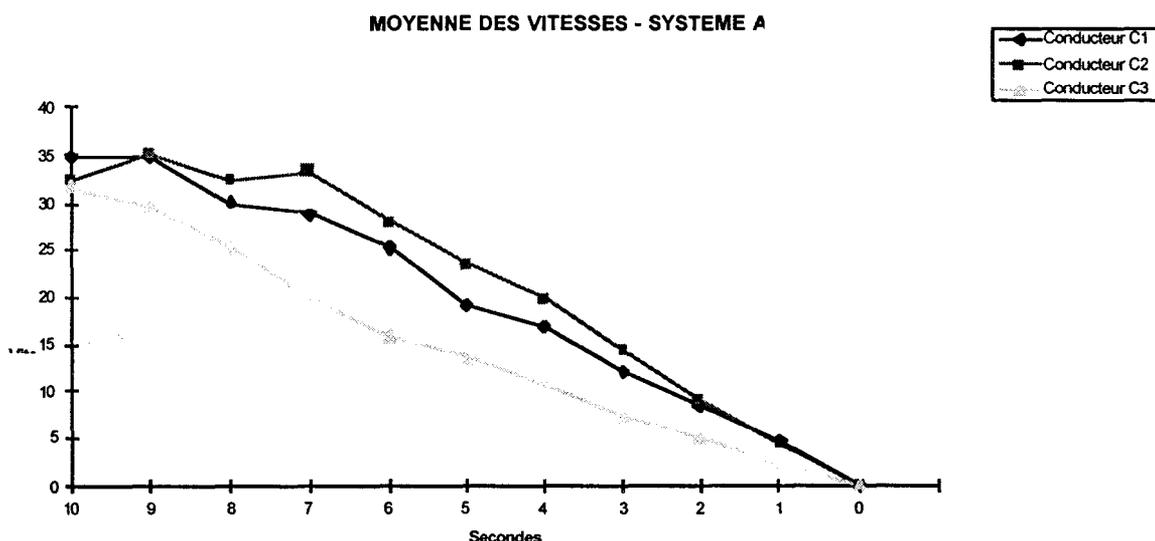
Ainsi, la figure III-13 représente la courbe des lacunes moyennes constatées au cours des essais pour le système A (suivi de ligne) testé par les trois conducteurs.



**Figure III-13 : Moyenne des lacunes - Système A**

Cette courbe montre clairement le profil des différents testeurs, le C1, conducteur occasionnel, réalise une manoeuvre d'approche longue, puisque dès 50 mètres en amont de l'arrêt, la lacune est inférieure à 40 cm. Le conducteur C2 réalise une approche par paliers successifs tout en obtenant une très bonne lacune à l'arrêt inférieure à 20 cm. Le conducteur C3, ne semble pas avoir tenu compte du système, en effet, il se comporte comme en situation d'exploitation. Il est ainsi noté un décrochage à 25 mètres en amont de l'arrêt, ainsi qu'un coup de volant à gauche pour faciliter la réinsertion dans la file de circulation.

Ces grandes tendances se retrouvent sur la courbe des vitesses moyennes constatées au cours des essais pour le système A (figure III-14). Le conducteur C1 réalise une vitesse d'approche moyenne, alors que le C2 est caractérisé par une conduite rapide et que le conducteur C3 offre un meilleur confort pour les passagers avec une vitesse plus réduite.



**Figure III-14 : Moyenne des vitesses - Système A**

Les figures III-15 et III-16 représentent les courbes des lacunes et des vitesses moyennes constatées au cours des essais pour le système B (afficheur à lampes) testé par les trois conducteurs. Pour le conducteur C1, malgré une approche en escalier et une vitesse moyenne, la lacune à l'arrêt est de l'ordre de 15 cm. Le conducteur C2 semble ne pas avoir modifié sa stratégie d'approche, en effet, le décrochage a lieu à 25 mètres du point d'arrêt, la vitesse est légèrement supérieure, par contre, la lacune à l'arrêt reste de l'ordre de 20 cm avec une tendance à un éloignement du trottoir sur les 10 derniers mètres. Ce fait peut être expliqué par l'absence d'information complémentaire à partir de l'allumage de la diode rouge et il doit apparaître une appréhension due au risque de collision du bas de caisse contre le trottoir à 21 cm. Enfin, le conducteur C3 réalise la meilleure lacune (inférieure à 10 cm) avec une vitesse d'approche faible. A noter également, la tendance sur les derniers mètres à s'écarter légèrement de la bordure du trottoir, dans ce cas, d'après l'ergonome, il s'agit du coup de volant habituel réalisé pour se réinsérer dans la circulation routière.

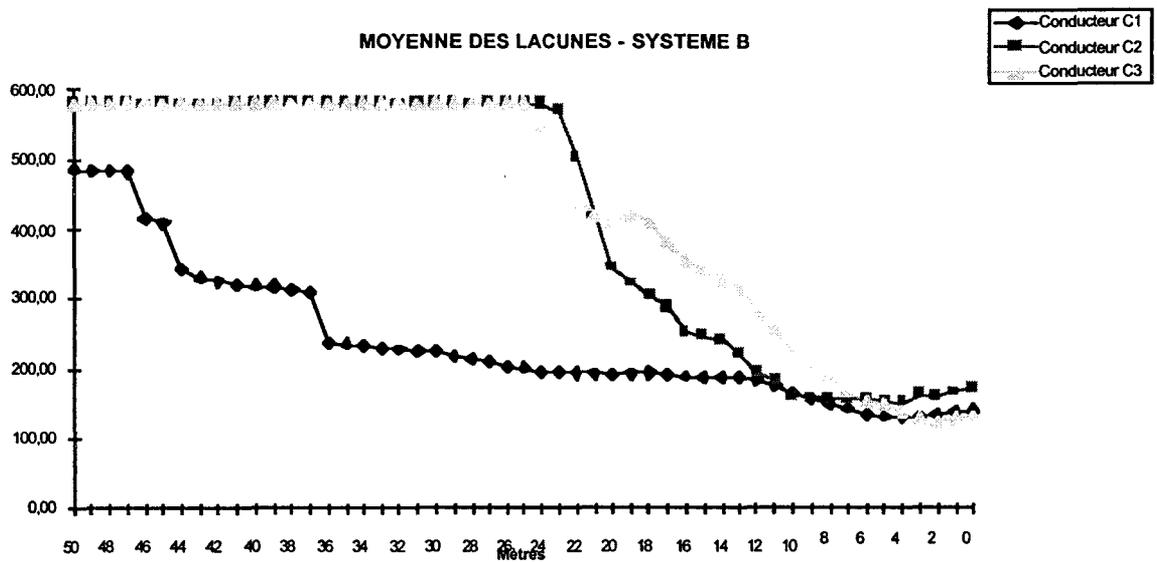


Figure III-15 : Moyenne des lacunes - Système B

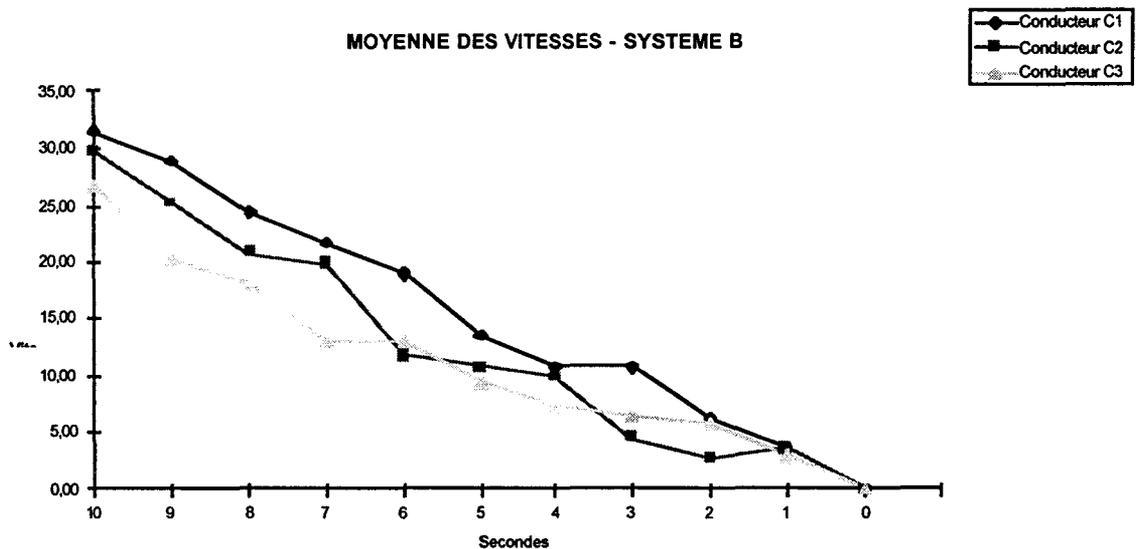


Figure III-16 : Moyenne des vitesses - Système B

Les figures III-17 et III-18 représentent les courbes des lacunes et des vitesses moyennes constatées au cours des essais pour le système C (afficheur à écran) testé par les trois conducteurs. Le conducteur C1 fonctionne à nouveau par paliers successifs à faible vitesse. Le conducteur C2 réalise à forte vitesse une courbe d'approche présentant un palier sur les 10 derniers mètres. Ce palier montre que ce conducteur semble avoir trouvé une bonne stratégie d'approche, et avec un réglage différent du système, une meilleure lacune pourrait être atteinte.

A l'opposé, les résultats du conducteur C3 montrent une courbe d'approche, avec un palier de vitesse sur les derniers mètres permettant d'ajuster le bus, cependant la lacune mesurée au niveau du capteur est proche de 10 centimètres.

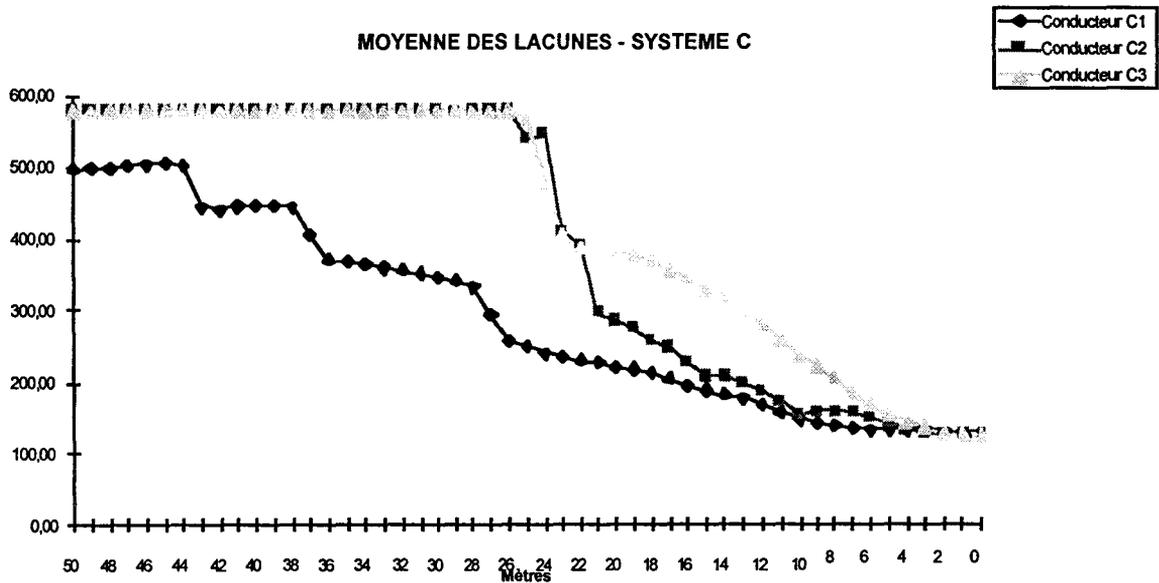


Figure III-17 : Moyenne des lacunes - Système C

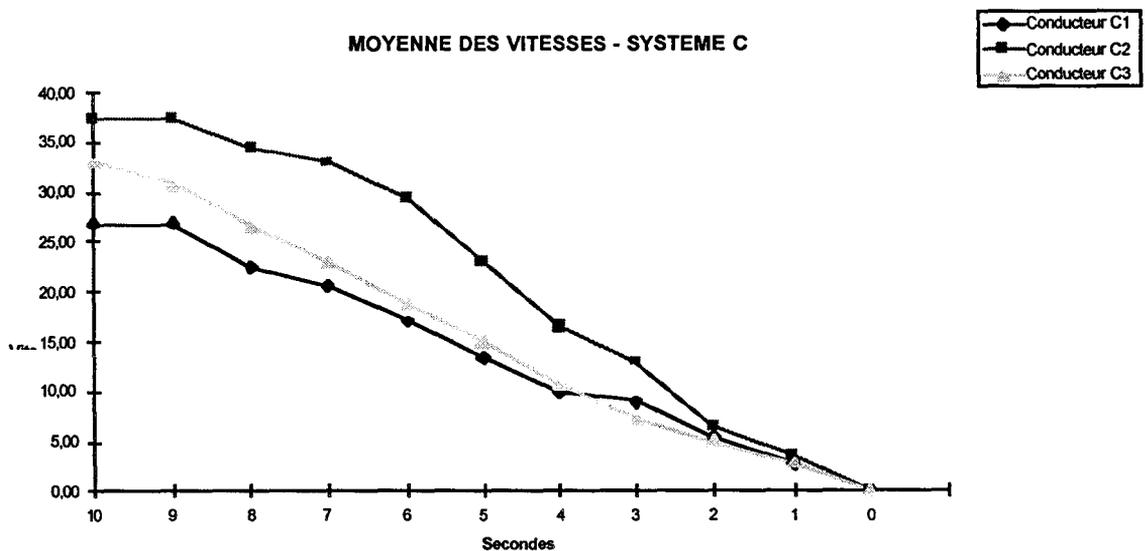
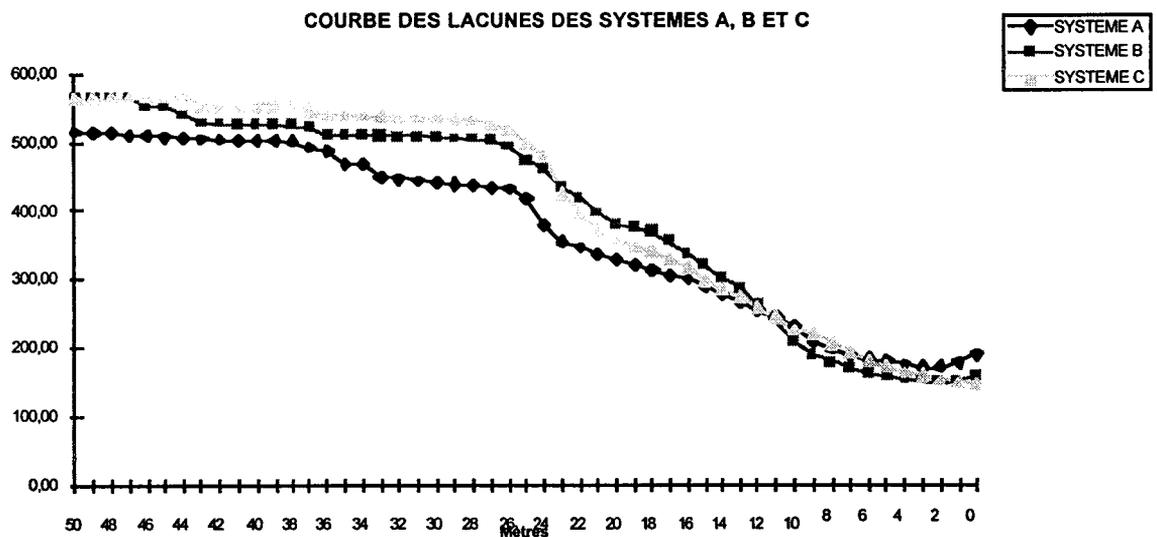


Figure III-18 : Moyenne des vitesses - Système C

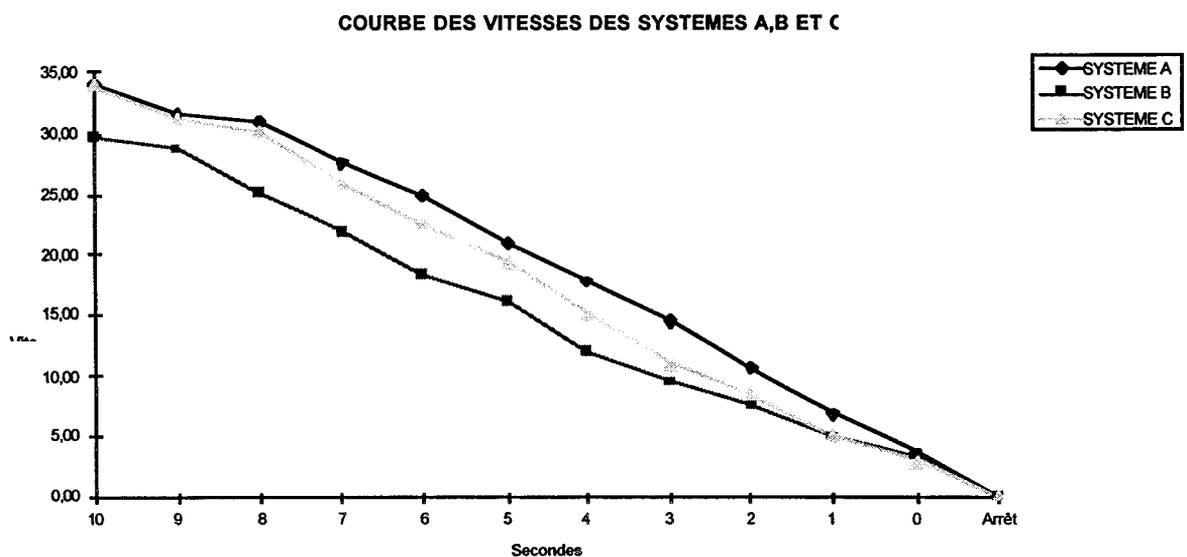
Cependant, la manoeuvre d'ajustement étant trop tardive, le bus ne se présente pas parallèlement au trottoir comme le montrent les résultats de réussite de parallélisme en fin de ce chapitre.

De manière synthétique, les figures III-19 et III-20 présentent les résultats globaux des trois systèmes pour la lacune et la vitesse. Ainsi, le système A offre une vitesse d'approche élevée, mais avec un résultat de lacune supérieure à 20 cm avec un coup de volant à gauche sur les derniers mètres.

Le système B présente une vitesse plus faible mais offre une lacune à l'arrêt de l'ordre de 15 centimètres. Enfin, les conducteurs ont réalisé avec le système C les meilleures lacunes à une vitesse moyenne.



**Figure III-19 : Courbe des lacunes des systèmes A, B et C**



**Figure III-20 : Courbe des vitesses des systèmes A, B et C**

### 3.3.3 Les résultats des relevés manuels

Les relevés des lacunes à l'arrêt aux portes avant et milieu de l'autobus, ont permis d'estimer le parallélisme du bus par rapport au trottoir. En effet, la réussite d'un accostage ne dépend pas uniquement de la faible lacune à l'avant du bus, il faut également qu'elle soit faible à l'arrière afin d'offrir la même qualité de service à tous les usagers.

Les tableaux présentés dans les pages suivantes reprennent en commentaires certaines conclusions de l'étude ergonomique. Ainsi, le tableau III-1 présente un taux de réussite de parallélisme avec comme critère retenu, une différence de lacune entre la porte avant et milieu inférieure à 2 cm, soit 4 cm d'écart entre les portes avant et arrière.

Systèmes Conducteurs	A	B	C
C1	84%	50%	57%
C2	80%	57%	30%
C3	67%	30%	10%
Moyenne	77%	46%	32%
Maximum	6 cm	10 cm	12 cm
Minimum	0 cm	0 cm	1 cm

**Tableau III-1: Réussite de parallélisme**

En moyenne, le système A offre un taux de réussite important (77 %), car les conducteurs semblent avoir suivi une stratégie connue, sans prendre réellement en compte le suivi de la ligne bleue. En effet, il s'avère que, d'une part, la ligne bleue était peu visible du fait de la faible luminosité durant les essais (soirée et temps de pluie), et que d'autre part, le repère pris par les conducteurs a été le bord jaune (lumineux) du trottoir. A l'opposé, les systèmes B et C présentent des taux de réussite moins bons, avec des écarts maximaux pouvant aller jusqu'à 12 centimètres.

Le tableau III-2 présente le taux de réussite de la lacune en retenant comme critère une lacune inférieure à 15 centimètres. Le fait que les taux soient inversés par rapport au tableau précédent s'explique par la phase d'apprentissage dans laquelle se trouvaient les conducteurs. Ainsi, la réussite de la lacune s'est faite au détriment du parallélisme. Avec une lacune moyenne de 15,7 cm, le système C permet d'améliorer de plus de 5 cm la lacune par rapport au suivi de ligne.

Systèmes Conducteurs	A	B	C
C1	16%	37%	57 %
C2	40%	14%	40 %
C3	0%	80%	100 %
Moyenne	19 %	48 %	66 %
Moyenne lacune	21 cm	16,4 cm	15,7 cm
Maximum	28 cm	26 cm	27 cm
Minimum	13 cm	8 cm	10 cm

**Tableau III-2: Réussite de la lacune**

Le tableau III-3 croisé des taux de réussite montre le compromis existant entre la lacune et le parallélisme, avec un taux moyen de réussite global situé à 19%.

Systèmes Conducteurs	A	B	C
C1	16 %	37 %	43 %
C2	40 %	14 %	0%
C3	0%	10 %	10 %
Moyenne	19 %	20 %	18 %

**Tableau III-3: Réussite du parallélisme et de la lacune**

---

## 3.4 Conclusion

Parmi les conclusions de l'ergonome, il convient de souligner que le système A, ligne bleue au sol, n'est pas très visible et que les conducteurs ont plutôt tendance à « viser » l'arrêt en phase de pré-accostage. Par contre, le repérage des arrêts le long du trottoir par de la peinture jaune, contrastant avec le gris de la chaussée, a servi de guide pour réaliser l'alignement de l'autobus par rapport au trottoir.

En ce qui concerne le positionnement de l'information mise à la disposition des conducteurs, le meilleur emplacement se situe dans la partie basse du pare brise à droite de l'autobus. En effet, les conducteurs, en phase finale d'accostage, ont l'habitude de regarder dans cette direction pour observer à la fois les clients sur le bord du trottoir ainsi que le rétroviseur pour aligner le véhicule.

Parmi les représentations proposées pour le système informatique à écran déporté, c'est le rectangle occupant l'ensemble de l'écran qui a été le plus apprécié par les conducteurs. Sont également notés les « automatismes » très forts dans la phase d'accostage, comme le décrochage à 25 mètres de l'arrêt ainsi que le coup de volant à gauche pour se réinsérer dans la circulation, dans le cas des arrêts en alvéoles. Pour la suite de l'étude, il convient donc d'impliquer encore plus fortement les conducteurs ainsi que le formateur de la SEMITAG qui connaît bien les limites de ses apprenants.

Enfin, il apparaît important de souligner le rôle capital de l'apprentissage du système, en effet, ce n'est pas sur une dizaine d'essais que le conducteur peut réellement apprendre à utiliser le système. Cependant, bien que, suite à deux ou trois essais, certaines stratégies ont commencé à émerger, une prise d'information par vision périphérique ne peut s'acquérir qu'avec un temps d'adaptation plus important.

Dans une note de synthèse de l'expérimentation établie par l'exploitant, il est indiqué que « Les appréciations sur ces essais sont intéressantes, il n'y a pas eu de difficultés particulières de formation des conducteurs et la meilleure note est attribuée au dispositif à écran déporté. Cependant, des réserves apparaissent toutefois sur le fait que ces essais se sont déroulés sur un site protégé, hors circulation et sans voyageur à bord. Enfin, il est noté que le système devra offrir une très bonne fiabilité car les conducteurs se reposent entièrement sur les informations fournies. »

---

En conclusion, cette expérimentation a permis de prouver la faisabilité d'un système d'aide à l'accostage permettant d'optimiser la lacune à l'arrêt. Parmi les différents systèmes testés, les conclusions d'un point de vue technique et ergonomique, sans oublier l'appréciation subjective des conducteurs, convergent vers le choix du système C avec écran déporté.(figure III-21)



**Figure III-21 : L'écran déporté**

Ainsi, suite à cette expérimentation, le groupe de travail Gibus a retenu le principe d'un système d'aide à l'accostage reposant sur une information de type écran se colorant progressivement en fonction de la réduction de la lacune. Comme le montre le chapitre suivant, cette solution a fait l'objet de la définition d'un cahier des charges fonctionnel ainsi que de développement industriel par la réalisation d'un prototype.

---

# Conclusion générale et perspectives

Nos travaux ont permis de poser le problème de la mobilité et de l'accessibilité dans les transports collectifs. Ainsi, la prise en compte des problèmes des personnes à mobilité réduite dès la conception d'un système de transport est une démarche plus répandue dans le domaine des transports guidés. Enfin, dans le domaine des autobus, il apparaît que la fonction guidage permet d'obtenir une amélioration, non seulement de l'image du mode de transport, mais également de l'accessibilité, grâce à un aménagement du véhicule et du quai de station.

Cependant, bien que l'autobus soit le mode de transport le plus utilisé dans nos villes, il semble accuser un certain retard pour améliorer son accessibilité. Ainsi les diverses études présentées ont montré que l'autobus urbain se heurtait à deux problèmes dans le domaine de l'accessibilité : la marche ou lacune verticale ainsi que la lacune horizontale.

L'accessibilité des autobus telle qu'elle est pratiquée à ce jour ne peut se satisfaire du niveau de prestation fournie. Il est impératif de pouvoir, d'une part, diminuer voire supprimer la marche située à l'entrée du véhicule, et d'autre part, améliorer, les lacunes à l'arrêt grâce à un meilleur positionnement des autobus.

Ainsi, des expériences et des réalisations ont été menées pour améliorer l'accessibilité des transports urbains routiers, sur la conception du matériel roulant, comme sur les aménagements d'arrêts. Cependant, ces études ne répondent pas de manière satisfaisante au problème posé. En effet, l'objectif, pour une meilleure accessibilité consiste à minimiser la lacune horizontale en amenant l'autobus le plus près possible du quai de station. La réponse au problème de meilleur positionnement passe par la définition d'une nouvelle fonction appelée « aide à l'accostage ». L'objectif de cette fonction est la réalisation d'un accostage optimal avec une précision de quelques centimètres.

L'analyse de l'existant sur le terrain sous forme d'étude ergonomique portant sur la phase d'accostage, l'état de l'art sur les systèmes d'aide à la conduite concernant la présentation d'information de type « écart par rapport à un obstacle » ont conduit à la définition de dispositifs d'aide à l'accostage.

---

L'idée principale retenue a été de présenter une information visuelle au conducteur d'autobus se modifiant au fur et à mesure que le bus se rapproche du quai de station. De plus, à la demande des ergonomes, nous avons également développé une solution reposant sur le canal auditif des conducteurs, ainsi qu'un dispositif constitué d'une bande peinte symbolisant la trajectoire d'accostage [Uster 94].

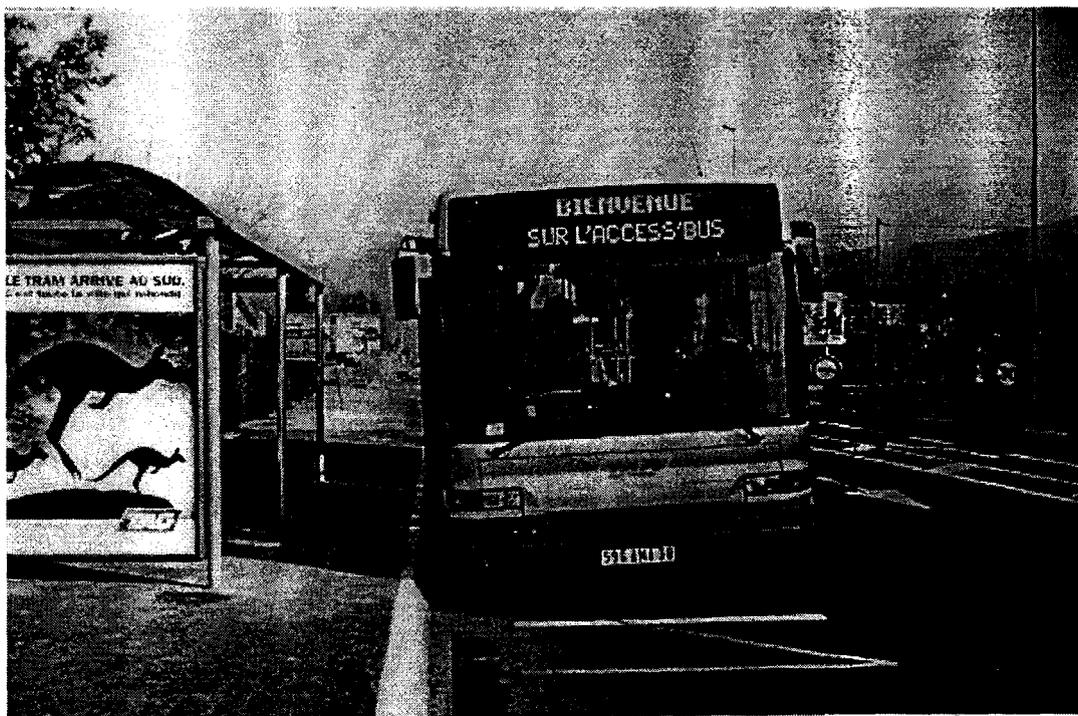
La faisabilité d'un système d'aide à l'accostage permettant d'optimiser la lacune à l'arrêt ayant été prouvée par l'expérimentation, c'est le système dit C avec écran déporté qui a été retenu parmi les différents systèmes testés.

« GRENOBLE: UN RÉSEAU "ACCESSIBLE" » telle est la première de couverture du numéro 947 (avril 1996) de la revue Transport Public éditée par l'Union des Transports Publics. Lequel titre fait écho à un précédent article de 1994, dans la même revue, et intitulé Grenoble, un réseau plus accessible [Transport Public 94] [Transport Public 94] (Voir Annexe 4). Face à un tramway bénéficiant d'un plancher surbaissé et de palettes offrant une accessibilité totale, le Syndicat Mixte des Transports, dans le cadre du programme « cité bleu », a souhaité éviter de créer un réseau à deux vitesses, un tramway en vitrine et des autobus laissés pour compte.

La volonté politique affichée est en effet de réaliser une chaîne complète d'accessibilité pour les autobus à l'image de celle existant sur le tramway. C'est pourquoi, un groupe d'études travaille depuis 1994 sur les problèmes d'accessibilité des autobus urbains.

Rappelons que ce groupe comprend des représentants du Syndicat Mixte des Transports (SMTC), de l'exploitant SEMITAG, de la Ville de Grenoble, de la Direction Départementale de l'Équipement de l'Isère, du Conseil Général de l'Isère, de l'INRETS et d'associations ou de Collectifs d'associations de handicapés (malvoyants, sourds, utilisateurs de fauteuil roulant électrique et mécanique,...). De plus les constructeurs français Heuliez et Renault Véhicules Industriels sont invités à participer aux réflexions qui portent sur les conditions techniques, urbanistiques et financières pour la mise en œuvre d'une politique globale d'accessibilité à l'autobus.

Cette étude a porté ses fruits, puisqu'elle a permis de définir, non seulement le principe général d'un arrêt « accessible », mais également la construction d'un prototype d'arrêt dans le dépôt d'autobus de Sassenages. L'arrêt « idéal » est un arrêt qui se détache visuellement du reste de la voirie grâce à l'utilisation de bordures spéciales de couleur claire et une hauteur de quai de 21 centimètres. L'aménagement de l'arrêt comporte une zone de sécurité de 60 centimètres en deçà de laquelle les clients doivent se tenir. La porte avant du bus est repérée par des dalles podotactiles pour faciliter l'accès aux malvoyants, et l'abri est positionné à ce niveau [Dejeammes 96].

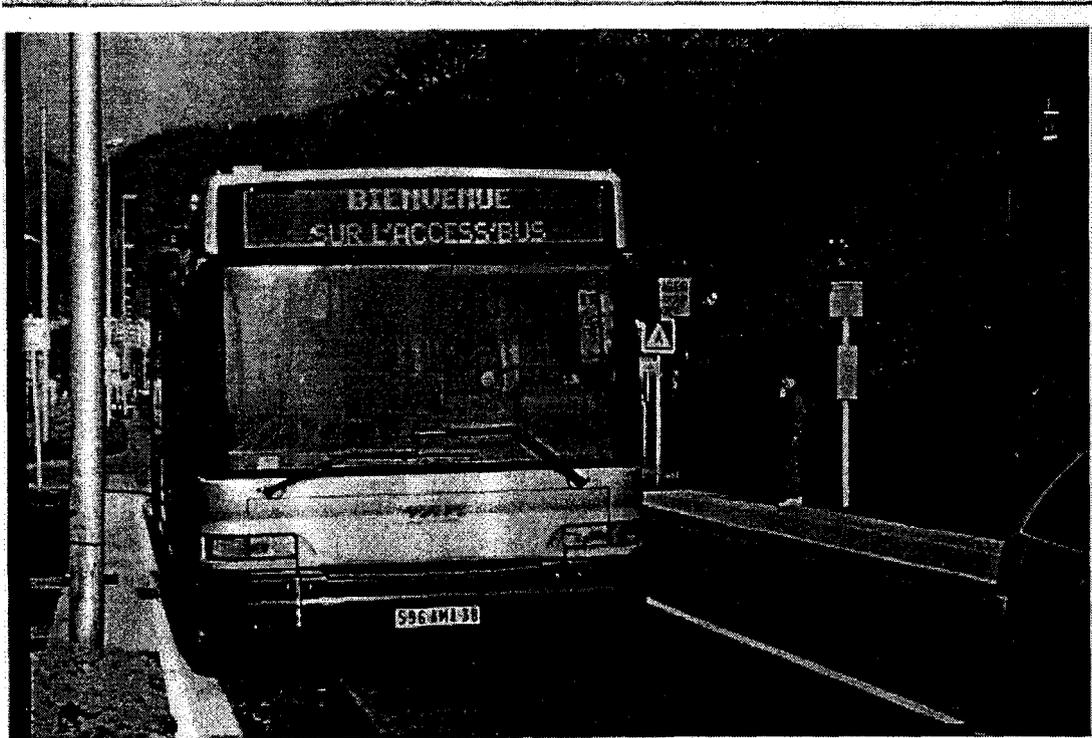


**Figure 1: Un arrêt accessible Grenoblois**

De plus, l'acquisition d'un bus standard à plancher surbaissé Heuliez en juillet 1995 a permis à l'exploitant de mener un certain nombre de tests en particulier sur les problèmes de balayage. En effet, compte tenu d'une hauteur de quai de 21 centimètres (+0 mm -5 mm), le risque était de heurter le soubassement avant de l'autobus en cas de passage au-dessus du trottoir. Cependant les essais ont prouvé que, même en cas de surcharge exceptionnelle et de pneus usés, et dans des configurations de manoeuvres difficiles, il n'y avait pas possibilité d'endommager le véhicule.

---

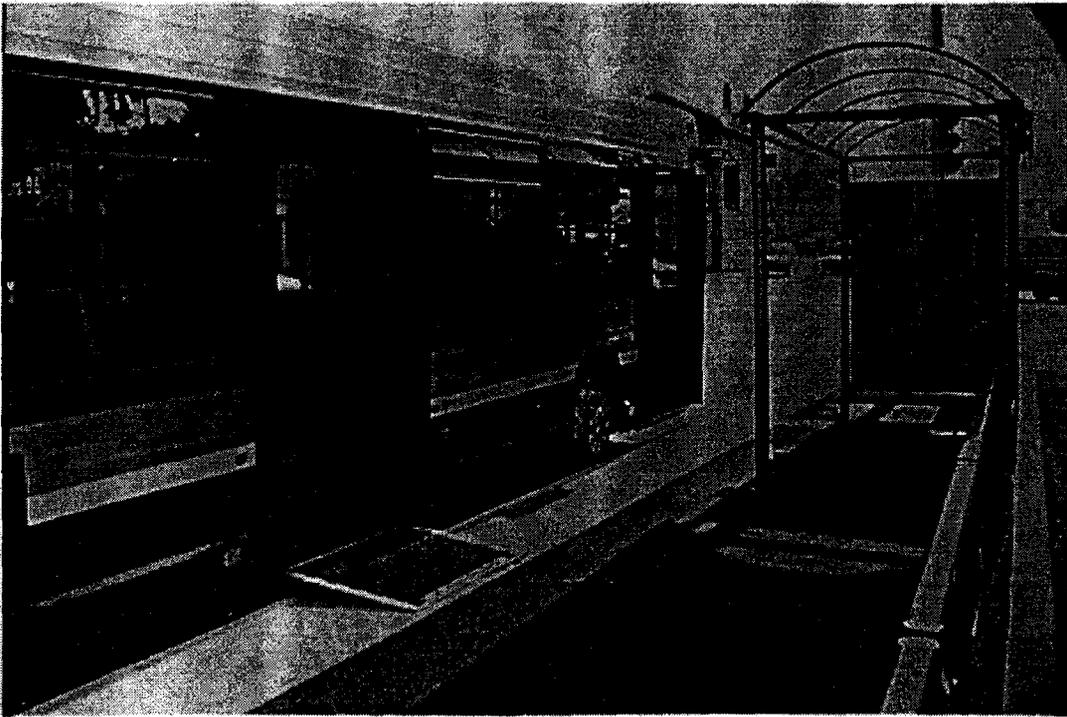
Par contre, compte tenu de la forme inclinée de la bordure et d'une suspension performante du véhicule, à plusieurs reprises au cours des essais, l'autobus est monté sur le quai sans que le conducteur ne s'en aperçoive. Ceci démontre, d'une part, la nécessité impérieuse d'informer le conducteur de la lacune résiduelle, et d'autre part, que le dispositif offre une fonctionnalité complémentaire, qui n'avait pas été évoquée jusqu'à présent, et qui est une contribution à assurer la sécurité des passagers en attente sur le quai. [Dejeammes 96]



**Figure 2: Essais d'accostage**

De même, les réflexions et les essais, en collaboration de l'exploitant, de Renault Véhicules Industriels et de l'INRETS, ont permis la définition d'une palette « idéale » offrant une accessibilité totale sur un autobus équivalente à celle du tramway grenoblois. La mise au point du prototype a été réalisée sur l'arrêt aménagé du dépôt de Sassenages. Cette palette est maintenant installée sur les 6 autobus à plancher bas que possède la SEMITAG, de plus, un système d'agenouillement permet de déployer la palette sur des arrêts non aménagés.

Le choix de la solution de la palette complétée par le système d'agenouillement peut paraître à priori luxueuse, cependant, l'accessibilité totale exige l'ensemble de ses dispositifs. D'autant plus, que les UFR qui empruntent le tramway sont de l'ordre de 110 personnes par jour et 150 le week end, la correspondance avec le réseau de bus accessible s'impose d'elle même.



**Figure 3: Palette « grenobloise »**

La concrétisation de l'ensemble de ces études est l'aménagement de lignes à Grenoble, comme la nouvelle ligne de rocade (n°11) qui a été ouverte en mars 1996. Il y circule 4 autobus Heuliez GX 317 à plancher bas équipés de palette, de plus, 70 % de ses arrêts possèdent un trottoir surélevé, pour un coût de l'ordre de 100 kF pour un arrêt et 200 kF pour un terminus.

De même, l'objectif pour 1997 est de réaménager la ligne 8, qui est la plus importante du réseau de Grenoble, avec une fréquentation de 15 000 passagers par jour, soit un total de 3 millions par an. Son réaménagement passe par une utilisation des contre allées pour le site propre bus et les dessertes locales, et par un système d'appel à distance des feux pour une insertion prioritaire. De plus, cette ligne sera rendue entièrement accessible grâce à l'installation des arrêts type grenoblois. En ce qui concerne les véhicules devant y circuler, il semble que le SMTC s'oriente, à court terme, vers des autobus articulés à plancher surbaissé, et à moyen terme, vers des trolleybus à plancher bas. Enfin, dans le cadre du réaménagement du réseau de bus, la réalisation de nouveaux quais ou leur réhabilitation, en particulier en correspondance avec le tramway, sera axée sur une meilleure accessibilité.

---

Dans un contexte aussi favorable et face à l'enthousiasme de l'exploitant pour notre système d'aide à l'accostage, les perspectives de nos travaux se sont rapidement dessinées. Ainsi, le groupe de travail Gibus a retenu le principe d'un système d'aide à l'accostage reposant sur une information de type écran se colorant progressivement en fonction de la réduction de la lacune.

Ce principe de solution a fait l'objet d'une analyse fonctionnelle, dont l'annexe 3 en montre quelques extraits. L'objectif d'une analyse fonctionnelle est de mettre en évidence les services à rendre par le produit lors des différentes phases de son utilisation. Elle mène à la rédaction d'un cahier des charges fonctionnelles qui est un document qui exprime le service attendu par le client indépendamment des solutions techniques. De plus, le cahier des charges fonctionnelles rester la référence du concepteur pendant toute la définition du produit.

Ce cahier des charges a fait l'objet en fin d'année 1995 d'une consultation auprès d'une dizaine d'entreprises d'informatique et de micro-électronique. Suite aux réponses reçues, TRANSDEV, la SEMITAG et l'INRETS ont retenu l'entreprise Duhamel de Grenoble pour la réalisation d'un prototype industriel issu de la recherche menée par les partenaires du projet GIBUS. [Uster 96a] [Uster 96b]



**Figure 4: Photographie de l'afficheur du prototype**

---

Ce nouveau système d'aide à l'accostage ayant été fabriqué et testé, il a été mis à la disposition des conducteurs qui ont réalisé des essais à blanc au cours de l'été 1996. Cette phase que l'on appelle d'appropriation correspond à de l'apprentissage, voire éventuellement au début d'une utilisation différente de celle définie au départ.

Passée cette phase, il sera réalisé une phase de validation de l'aide à l'accostage. Le système préfigurant le produit-série devra être évalué dans les conditions d'utilisation les plus proches de l'exploitation en ligne, par le biais de moyens vidéographiques et du travail d'un ergonome, dans le but de :

- vérifier les performances que peuvent atteindre les conducteurs lors de l'accostage à des points d'arrêt de nouvelle conception ainsi que sur des points d'arrêt standards;
- s'assurer de la bonne ergonomie du système et de l'acceptabilité pour les conducteurs;
- examiner comment les conducteurs peuvent gérer les conflits (stationnement illicite);
- s'assurer que le système n'introduit pas d'effets pervers, notamment du point de vue sécurité vis-à-vis des piétons présents au point d'arrêt et du trafic sur la voirie

La réalisation du prototype étant intervenue dès le mois de juin 1996, son évaluation peut être programmée dès à présent pour octobre 1996.

Parmi les perspectives à moyen terme, il serait souhaitable de pouvoir expérimenter un tel dispositif sur une flotte d'autobus urbains, ceci afin d'évaluer de manière plus fine les aspects d'utilisation, mais également de robustesse et de maintenance.

A plus long terme, il paraît opportun d'intégrer la nouvelle fonctionnalité d'aide à la conduite au poste de pilotage de l'autobus. L'idée qui prévaut est d'utiliser le dispositif de visualisation du système d'aide à l'exploitation (SAE) et d'y afficher, en phase d'accostage, la lacune selon le principe défini dans nos travaux. Cependant, cette intégration réclame la mise en place d'écran couleurs pour les afficheurs de SAE.

---

De plus, par le SAE, éventuellement grâce au système GPS, l'autobus connaît sa localisation précise sur la ligne, cette information permettrait alors l'allumage de l'afficheur au moment opportun de l'accostage, et non pas par déclenchement du capteur de télémessure en dessous d'un certain seuil, comme c'est le cas aujourd'hui sur le prototype.

Enfin, le nouveau programme de recherche dans les transports terrestres (PREDIT), couvrant la période 1996-2000 et doté d'un budget initial de 7,3 milliards, affirme parmi ses objectifs le développement de la qualité de service dans les transports collectifs. Sur les 7,3 milliards prévus, 2,1 milliards viendront de l'État, 525 millions de l'Union Européenne et le reste sera financé par les industriels du secteur. Il est noté la nécessité de promouvoir une meilleure qualité de service à l'utilisateur, grâce aux progrès récents en matière de télématique, d'informatique et d'organisation des transports. Les efforts de recherche seront portés sur, par exemple, l'amélioration du confort telle la climatisation, la billettique, les systèmes d'information et l'accessibilité. Ainsi, le budget de programme par domaine de recherche prévoit une enveloppe de 200 millions pour les nouveaux services aux usagers.

Ces thèmes abordés seront en totale synergie avec ceux développés dans le cadre du programme de recherche de l'INRETS et en particulier dans l'axe de recherche « Les services aux utilisateurs des transports collectifs: Qualité, accessibilité et information ». Si nos travaux d'aujourd'hui sont en phase avec le programme national, il nous paraîtrait opportun que nos travaux de demain le soient au plan régional. Ainsi, il pourrait être imaginé le développement d'un axe de recherche stratégique au sein du Groupement Régional Nord Pas de Calais pour la Recherche dans les Transports (GRRT) dont l'objectif serait la promotion des transports urbains et de leurs nouveaux services.

---

# Références bibliographiques

## Première partie

- [Arensonas 95] Arensonas N., *Une offre de matériels mieux adaptés pour circuler dans la ville*. Le courrier des maires, pp 26-27, 19 mai 1995.
- [Balog 95] Balog J.N. et al, *Rendre les infrastructures de transport accessibles aux personnes à mobilité réduite, c'est plus facile qu'on pense*. Actes du 7<sup>ème</sup> congrès sur la mobilité et sur le transport des personnes âgées et à mobilité réduite, pp 211 à 222, Reading GB, 16 au 19 juillet 1995.
- [Batelle 92] Battelle, *Status of low-floor transit bus development*. US Department of Transportation, FTA-OH-06-0060-92-1, May 1992.
- [Briaux-Trouverie 95] Briaux-Trouverie C., *Pour des autobus accessibles à tous, mais aussi pour qu'ils s'arrêtent à des arrêts accessibles et confortables pour tous*. Actes du 7<sup>ème</sup> congrès sur la mobilité et sur le transport des personnes âgées et à mobilité réduite, pp 144 à 151, Reading GB, 16 au 19 juillet 1995.
- [Cardew 70] Cardew K.H.F., *The automatic steering of vehicles-an experimental system to a DS 19 Citroën car*, Road Research Laboratory, GB, RLL Report RL 340, 1970.
- [Clemence 83] Clemence G.T. et Hurlbut G.W., *The application of acoustic ranging to the automatic control of a ground vehicle*, IEEE, VT 32, n°3, Charles Stark Draper Lab. Inc., Cambridge, MA, août 1983.
- [COLITRAH 93a] Conseil national des transports Comité de liaison pour le transport des personnes handicapées (COLITRAH), *Argumentaire concernant les dispositions à prendre en compte pour l'aménagement des points d'arrêts d'autobus*. Conseil national des transports Comité de liaison pour le transport des personnes handicapées (COLITRAH), mars 1993
- [COLITRAH 93b] Conseil national des transports Comité de liaison pour le transport des personnes handicapées (COLITRAH), *Transport des personnes handicapées, législation et réglementation*. Edition 2, Septembre 1993.

- 
- [COLITRAH 93c] Conseil national des transports Comité de liaison pour le transport des personnes handicapées (COLITRAH), *Recommandations pour l'accessibilité à tous les points d'arrêt d'autobus*. 14 décembre 1993.
- [COST 94] Groupe de travail véhicule COST 322, *Rapport final des questionnaires des autobus à plancher bas*, UITP, mars 1994.
- [COST 95] COST 322, *Low floor buses*, interim report, march 1995.
- [David 84] David Y., *Guidage mécanique et électronique des autobus: le projet allemand SPURBUS*. Recherche Transports Sécurité. Mars 1984.
- [Dejeammes 88] Dejeammes M., Flores JL. et Blanchet V., *Capacités fonctionnelles motrices d'une population: répercussions sur l'accessibilité des transports collectifs*. Rapport INRETS N°81, novembre 1988.
- [Dejeammes 90] Dejeammes M., *Aperçu de l'évolution de l'accessibilité des autobus en Europe*. Recherche Transports Sécurité, N°25, pp 55 à 58, mars 1990.
- [Dejeammes 92] Dejeammes M., *L'autobus urbain : évaluation des solutions d'accessibilité aux personnes à mobilité réduite*. Rapport INRETS N°150, Février 1992.
- [Dejeammes 93a] Dejeammes M. et Carvahais J., *Concept d'accessibilité autobus/infrastructure urbaine: évaluation de l'expérience de Caen*. Rapport INRETS/LESCO 9303, mars 1993.
- [Dejeammes 93b] Dejeammes M., Dolivet C., Trauchessec R. et Scandella J., *Guidage des autobus en station - Etude des arrêts*, Rapport INRETS-LESCO 93-12, octobre 1993
- [Dejeammes 93c] Dejeammes M., Pachiaudi G., Dangleterre A. et Blanchet Y., *Etude ergonomique du système SK 6000*, Rapport INRETS-LESCO 93-14, octobre 1993.
- [Dejeammes 95] Dejeammes M. et Dolivet C., *Les systèmes de transport public urbain en France*. Actes du 7<sup>ème</sup> congrès sur la mobilité et sur le transport des personnes âgées et à mobilité réduite, pp 161 à 170, Reading GB, 16 au 19 juillet 1995.
- [Delesalle 89] Delesalle P., *Le contrôle avancé*. Revue AFCET/INTERFACES, N°77, Mars 1989
- [Deparis 90] Deparis J.P., *Réalisation d'un prototype de protection de chantier de peinture*, Route et informatique, Colloque, Paris, 13 au 15 Mars 1990.
-

- 
- [Dolivet 95] Dolivet C., Zac R. et Lardière J., *Evaluation des palettes permettant l'accessibilité des futurs autobus à plancher surbaissé du réseau de Grenoble*. Rapport LBSU, diffusion restreinte, 9501, janvier 1995.
- [Elarbi-Boudihiris 92] Elarbi-Boudihiris M., *Guidage de robots mobile par vision assistée par ordinateur*, Thèse de l'INP de Lorraine, Octobre 1992.
- [EVAG] Essener Verkehrs-AG, *Spurbus Essen*. Publication SNV-Studiengesellschaft Verkehr mbH, Hamburg, non daté.
- [Frey 92] Frey H. et Vuillat P., *L'accessibilité de plain pied aux autobus: un outil d'aménagement urbain et un support de développement des réseaux*. 20th PTRC meeting, seminar F. pp 37-56, septembre 1992.
- [Frohn 89] Frohn H. et Seelen W.V., *Visocar : An autonomous industrial transport vehicle guided by visual navigation*, IEEE International Conference On Robotics and Automation, Vol 2, pp 1155-1159, May 1989.
- [Gardels 60] Gardels K., *Automatic car control for electronic highways*, General Motors Corporations, Warren, MI, Rep. GMR-276, juin 1960.
- [Grossmann 94] Grossmann H et Krämer T., *Bordsteinausbildung an Haltestellen für Niederflrbusse*. Verkehr und Technik, Heft 9, pp 405 à 408, 1994.
- [GRRT 92] GRRT-INRETS, *Nouvelles technologies et perspectives des transports collectifs pour villes moyennes*. Actes INRETS N°32, journée d'étude GRRT-INRETS, Villeneuve d'Ascq le 12 juin 1992. Novembre 1992.
- [Harman 95] Harman L.J., Thatcher R.H., *Options en matière de transports accessibles aux PMR: l'approche adoptée par les Etats Unis*, Actes du 7<sup>ème</sup> congrès sur la mobilité et sur le transport des personnes âgées et à mobilité réduite, pp 228 à 237, Reading GB, 16 au 19 juillet 1995.
- [Hayat 93] Hayat S. et Uster G., *Guidage des autobus en station. Etude bibliographique*. Rapport INRETS/CRESTA 93-125, octobre 1993.
- [Hermelin 89] Hermelin M. et Velche D., *Considérations sur la signalétique à partir des difficultés rencontrées par certains usagers*. Actes INRETS N°20, septembre 1989.
- [Ito 73] Ito T. et al, *An automatic driving system of automobiles by guidance cables*, Int Automotive Eng. Congress, Detroit, MI, SAE Paper n°730 127, 8 au 12 Janvier 1973.
-

- 
- [Johnston 79] Johnston A.R., Assefi T. et Lai J.Y., *Automated guidance using discrete reference markers*, IEEE, VT 28, n°1, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, février 1979.
- [Karl 93] Karl M. et Viennet R., *Le transport public tient salon*. Transport public, pp 20 à 27, septembre 1993.
- [Klingler 91] Klingler M. et Uster G. *Les réseaux de transport en commun australiens*. Rapport INRETS/CRESTA 91-112, novembre 1991.
- [Lailler 93] Lailler C., *Guidage par vision artificielle d'un véhicule autonome sur route matérialisée par la signalisation horizontale*, Thèse de Doctorat, Centre d'Automatique de Lille, 11 Juin 1993.
- [Lamure 94] Lamure C., *Compte rendu de mission Brasilia, Curitiba du 3 au 9 décembre 1993*, note interne INRETS, janvier 1994.
- [Lamy 84] Lamy D., *Guidage de véhicules de transports terrestres par essieu asservi*, rapport sur convention MIR-IRT et IRT-AFME, INRETS CRESTA, juillet 1984.
- [LOHR 93] LOHR Industrie, *Guidage TRANSLOHR*. Note 93/317/APC/MW, 1993.
- [Marcon 91] Marcon A., *Curitiba, la révolution écologique*. Plaquette réalisée à l'occasion du Forum des villes à Curitiba, 1991.
- [Mayhan 82] Mayhan R.J. et Bishel R.A., *A two frequency radar vehicles lateral control*, IEEE, VT 31, n°1, Ohio State University, Columbus, OH, février 1982.
- [Minaire 85] Minaire P., Flores J.L., Cherpin J. et Weber D., *Epidémiologie du handicap: étude fonctionnelle d'une population..* Rapport INRETS N°11, 1985.
- [Mitchell 95] Mitchell C.G.B., *Définitions de l'accessibilité*. Actes du 7<sup>ème</sup> congrès sur la mobilité et sur le transport des personnes âgées et à mobilité réduite, pp 17 au 21, Reading GB, 16 au 19 juillet 1995.
- [MTM 93] Documentation commerciale de la société MTM, p 13, 1993.
- [Okawa ] Okawa Y., *Vehicle guidance by digital picture processing and successive state estimation*, Fac. of Eng., Gifu University, Gifu, Japan, non daté.

- 
- [Olson 77] Olson K.W., *Wire reference configurations in vehicle lateral control*, IEEE VT 26, n°2, Ohio State University, Colombus, OH, mai 1977.
- [Oxley 85] Oxley P.R. et Benwell M., *An experimental study of the use of buses by ederly ans disabled people*, Rapport TRRL N°33, 1985.
- [Oxley 95a] Oxley P.R., Barham P. et Show T., *Design guidelines for public transport infrastructure*, 7th international conference on mobility and transport for ederly and disabled people. Reading, UK, 16 au 19 juillet 1995.
- [Oxley 95b] Oxley P.R., *Discours d'ouverture* du 7 ème congrès sur la mobilité et sur le transport des personnes âgées et à mobilité réduite, Reading GB, 16 au 19 juillet 1995.
- [Oxley 95c] Oxley P.R. et Gallon C., *Les personnes à mobilité réduite et les transports*. Actes du 7 ème congrès sur la mobilité et sur le transport des personnes âgées et à mobilité réduite, pp 71 à 80, Reading GB, 16 au 19 juillet 1995.
- [PWRI] Public Works Reasearch Institute, *The guideway-bus system*, plaquette de présentation, Ministry of Construction, Japon, non daté.
- [Renault 95] Renault Véhicules Industriels, *AGORA*. Plaquette commerciale, mai 1995.
- [Simon 95] Simon M.R., *Project action: amélioration de l'accessibilité des transports via la recherche et les démonstrations*. Actes du 7 ème congrès sur la mobilité et sur le transport des personnes âgées et à mobilité réduite, pp 434 à 439, Reading GB, 16 au 19 juillet 1995.
- [Salavessa 90] Salavessa M., Dejeammes M. et Pachiaudi G., *Evaluation du confort et de l'accessibilité de l'autobus R312: enquête auprès des usagers de l'agglomération lyonnaise*, Rapport INRETS-LESCO 9008, septembre 1990.
- [Schuster 95] Schuster J.J. et Hood M.M., *Améliorations de l'accès au transport résultant de la loi sur les américains à mobilité réduite*. Actes du 7 ème congrès sur la mobilité et sur le transport des personnes âgées et à mobilité réduite, pp 296 à 299, Reading GB, 16 au 19 juillet 1995.
- [SERIC 94] SERIC, *Les véhicules industriels au Japon*, Etude pour le compte du PREDIT, 1994.
-

- 
- [Smith 95] Smith T., *Accessibilité et transports: perspectives commerciales et occasions d'affaires*. Actes du 7<sup>ème</sup> congrès sur la mobilité et sur le transport des personnes âgées et à mobilité réduite, pp 39 à 47, Reading GB, 16 au 19 juillet 1995.
- [Stevoux 89] Stevoux P., Hugues JF et Smolar M., *Déplacement des personnes aveugles et mal voyantes. Utilisation des transports en commun*. Actes INRETS N°20, septembre 1989.
- [Stich 95] Stich P., *Autobus surbaissés: l'explosion*. Transport Magazine, pp 82 à 91, juin 1995.
- [STUVA 93] STUVA et Vestische Strassenbahnen Gmbh, *Niederflur - bussystem Abstandshilfen*. BMFV 70 387/92, novembre 1993.
- [Takero 87] Takero H. et al., *An automatic guidance system of a self-controlled vehicle*, IEEE, 1987.
- [Transport public 94] Transport public, *Bus à plancher bas: plus qu'un véhicule, un système à part entière*. Revue Transport public, dossier pp 24 à 35, février 1994.
- [Tsumara 81] Tsumura T., Fujiwara N. et Shirakawa T., *An experimental system for automatic guidance of ground vehicle following the commanded guidance route on map*, Proceeding of the 8<sup>th</sup> Triennial World Congress of IFAC, Kyoto, Japan, XVII pp 119-124, 24-28 Août 1981.
- [Tsumara] Tsumura T., *Automatic vehicle guidance by laser*, 32<sup>nd</sup> IEEE, VT conf., Coll. Of Eng., University of Osaka, Osaka, Japan, non daté.
- [UTI 93] The Urban Transport Industries, *Guided bus*. Dossier de trois articles, The Urban Transport Industries report, pp 56 à 61, 1993.
- [Viennet 95] Viennet R., *Marché des autobus en France: vers une concurrence accentuée*. Transport public, pp 48 à 54, novembre 1995.

---

## Deuxième partie

- [Dejeammes 96] *Les transports et les personnes à mobilité réduite. Actes de la journée spécialisée à Lyon le 14 mars 1996. Actes INRETS n°49, mai 1996.*
- [Faÿsse 82] Faÿsse J., *Etude des conditions d'accostage des grands navires. Rapport INRETS N°61, novembre 1982.*
- [Flores 90] Flores J.L., *Ergonomie et mode d'usage des systèmes d'aide à la conduite*. Recherche Transports Sécurité, N°26, juin 1990.
- [GRRT 95] Journée d'études INRETS-GRRT, *Application des techniques de localisation à la robotique routière*. Villeneuve d'Ascq, 26 octobre 1995.
- [HARDIE 96] Projet européen HARDIE- Pauzié A et Vernet M., *Human factors design guidelines for traffic ans road information presentation*. WP N°11, delivvable N°18, February 1996.
- [Kaplan 94] Kaplan S., Dessaigne MF. et Dejeammes M., *Étude ergonomique de la fonction accostage du bus*. Rapport INRETS-LESCO n° 9413 - juillet 1994
- [Kolski 93] Kolski C., *Ingénierie des interfaces homme-machine - Concept et évaluation*. Edition Hermes, Traité des nouvelles technologies, Série automatique, 1993.
- [Lespine 82] Lespine M., *Dispositifs d'aide à la navigation mis en place en Gironde par le port autonome de Bordeaux*. Navigation Vol 30 N°120 pp 326 à 340, 1982.
- [Montmollin 67] de Montmollin M., *Les systèmes hommes-machines*. Presses Universitaires de France, 1967.
- [Navigation 82] Navigation, *Aides électroniques à l'accostage des navires*. Navigation Vol 30 N°120 pp 422 à 427, 1982.
- [Opéform 81] Opéform, *Analyse du travail du pilote portuaire au cours de la manoeuvre d'accostage*. Rapport 80-073, mars 1981.
- [Opéform 82] Opéform, *Analyse approfondie du travail des pilotes portuaires lors de l'accostage*. Rapport 80-00 073, édition 1, avril 1981.

- 
- [Pauzié 94] Pauzié A., *Human interface of in-vehicle information systems*. Actes de congrès vehicle navigation & information systems, plenary P2-4 pp 35 à 40, Yokohama (Japon), 31 août au 2 septembre 1994.
- [Pleczon 94] Pleczon P., Chalard S. et de Saint Blancard M., *Interface homme-machine multimodale pour un copilote intelligent d'aide à la conduite*. Actes Ergo'IA 94, pp 108 à 118, Biarritz, octobre 1994.
- [Riera 93] Riera B., *Méthodologie d'évaluation des interfaces homme/véhicule automobile*. Thèse UVHC 93-07, 26 janvier 1993.
- [Saad 89] Saad F. et Malaterre G., *Evaluation et conception d'aides à la conduite automobile Aspects théoriques et méthodologiques*. Actes du Congrès SELF 89, pp 405 à 411, Lyon du 4 au 6 octobre 1989.
- [Spottiswoode 81] Spottiswoode NL. et Richardson RB., *The programmed traverse light*. Bulletin de l'AIMS, pp 16 à 20, IALA bulletin 3, 1981.
- [Transport Public 94] Transport public, *Grenoble, un réseau plus accessible*. p 83, N°925, juin 1994.
- [Transport Public 96] Waks L., *Un réseau de plus en plus accessible*. Transport Public N°947, pp 20 et 21, avril 1996.
- [Uster] Uster G., *Comptes rendus des réunions* du groupe de travail GIBUS, de avril 1993 à septembre 1996.
- [Uster 94] Uster G., Dejeammes M., Hayat S. et Edel M., *Low floor bus accessibility : how to fill in a gap*. Actes du 22nd European Transport Forum (PTRC), pp95 à 106. University of Warwick, Royaume Uni, 12 au 16 septembre 1994.
- [Uster 95a] Uster G. et al., *Guidage des autobus en station (projet GIBUS) définition des systèmes*. Rapport sur convention. INRETS-ESTAS N°34, 1995.
- [Uster 95b] Uster G. et al., *Docking aid: a solution to accessibility for low-floor buses*. Actes du 7 ème congrès sur la mobilité et sur le transport des personnes âgées et à mobilité réduite, pp 186 à 196, Reading GB, 16 au 19 juillet 1995.
- [Uster 96a] Uster G. et Nèrière JP., *Réalisation d'un prototype d'aide à l'accostage et premiers essais*. Rapport sur convention, INRETS-ESTAS N°96-42, 1996.
- [Uster 96b] Uster G. et Debay P., *L'accessibilité des autobus urbains aux personnes à mobilité réduite: une lacune à combler*. Revue Recherche Transports Sécurité, Dunod, à paraître en 1997.

---

## **Annexe 1**

BOSCH parkpilot - document commercial

Park Distance Control extrait de documentation BMW

## **Annexe 2**

Mise au point au banc

## **Annexe 3**

Extrait de l'analyse fonctionnelle de « petit Gibus »

## **Annexe 4**

Copie des articles parus dans Transport Public:

\* *Grenoble, un réseau plus accessible*. N°925, p 83, juin 1994

\* *Un réseau de plus en plus accessible*. N°947, pp 20 et 21, avril 1996

---

# ANNEXE I

I BOSCH parkpilot - document commercial

II Park Distance Control extrait de documentation BMW

Wenn es in Ihrem Fahrzeug blinkt und piept –  
haben Sie Ärger, Zeit und Geld gespart



**BOSCH**  
Bosch Telecom



# Rückwärts fahren – einfach sicher

## Bosch-Parkpilot

Moderne Aerodynamik hat viele Vorteile, sie hilft Benzin sparen, ermöglicht hohe Geschwindigkeiten und verringert Windgeräusche.

Die Sicht nach hinten ist jedoch sehr oft eingeschränkt.

Rückwärts einparken wird dann zum Alptraum.

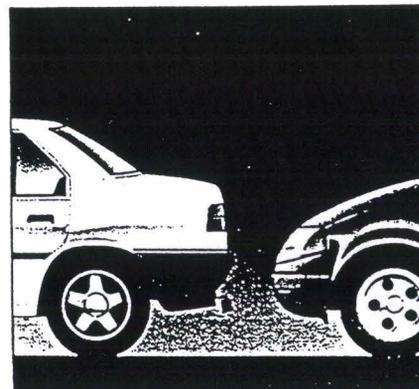
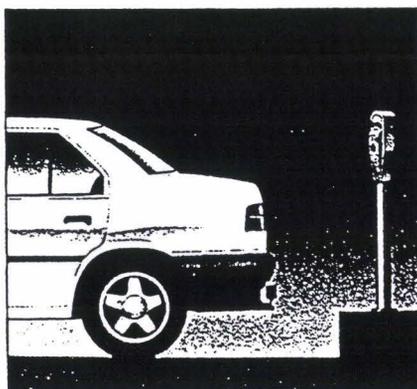
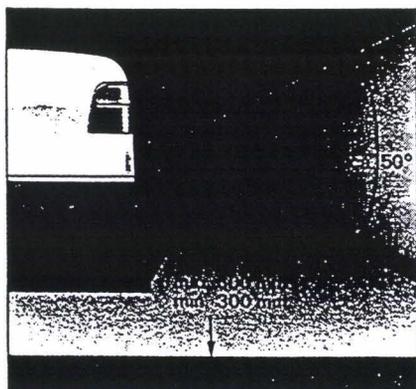
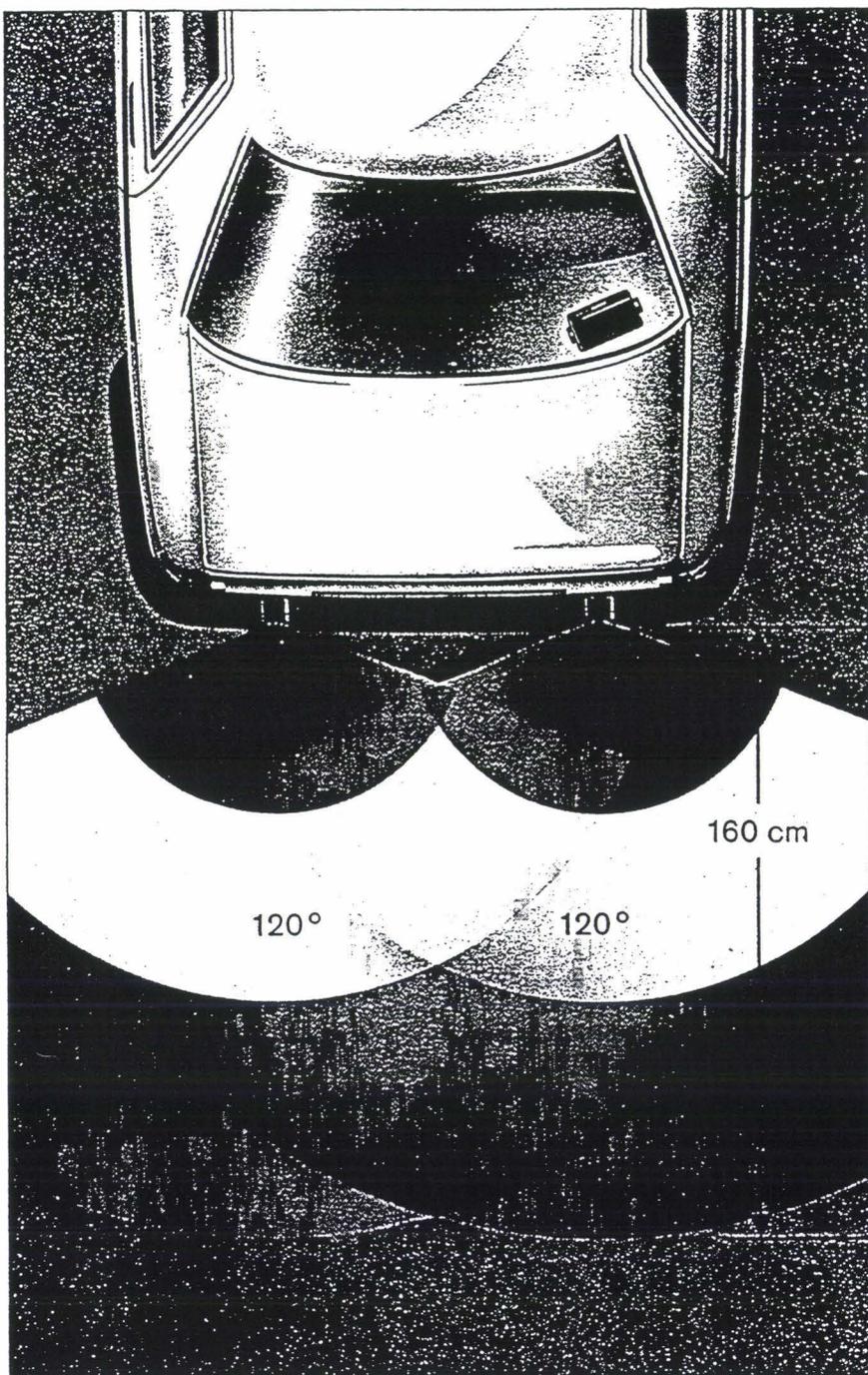
Jetzt hilft Ihnen der Bosch-Parkpilot.

Aber auch bei Nutzfahrzeugen, die täglich im Haus-zu-Haus-Verkehr rückwärts in kleine Parklücken, an unübersichtlichen Laderampen oder in engen Fabrikhöfen rangieren müssen, verhindert der Parkpilot teure Schäden.

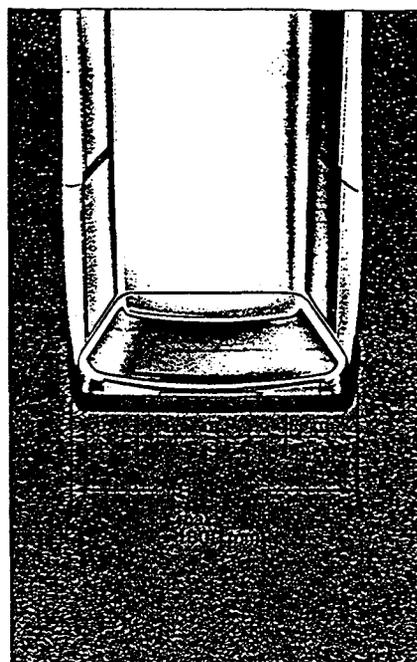
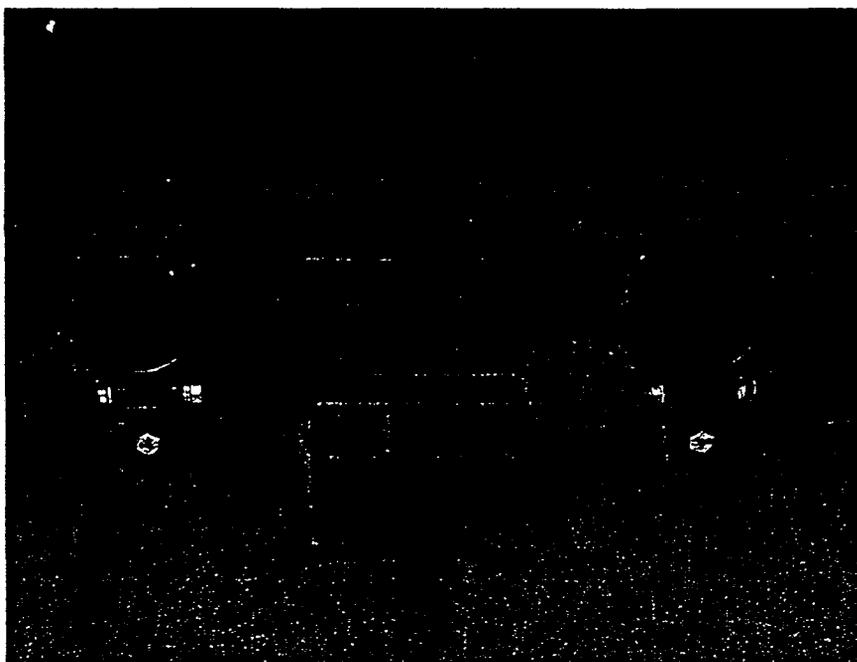
Wenn es auf Genauigkeit ankommt, muß man modernste Technik einsetzen: Der Bosch-Parkpilot arbeitet mit Ultraschall-Wellen von ca. 1 cm Länge. Damit bekommt er auswertbare Echos auch von schmalen Hindernissen und sogar von Drahtzäunen. Die Wellenlänge entspricht einer Frequenz von 32 kHz, liegt also oberhalb des Hörbereichs. Die Ultraschall-Impulsfolgen ermöglichen eine Entfernungsbestimmung in einem Bereich von 160-300 cm, auch wenn das Hindernis schräg zum Autoheck steht.

Der breite horizontale „Sichtwinkel“ von 120° der Sensoren ergibt eine große Überlappung des Detektionsbereichs schon bei zwei Sensoren und bietet somit eine hohe Sicherheit in der Objekterkennung, egal, wo sich das Hindernis hinter dem Auto befindet.

Die Steuerelektronik errechnet aus allen empfangenen Signalen den tatsächlichen Abstand zwischen Fahrzeug und Hindernis.



# Ihre Augen am Heck des Fahrzeuges



Der Bosch-Parkpilot zeigt auf einer schwenkbaren Aufbaukonsole mit verschiedenfarbigen Leuchtfeldern – ähnlich einer Ampel – den Abstand zum Hindernis. Bei eingelegetem Rückwärtsgang gibt ein grünes Dauerlicht die ordnungsgemäße Funktion des Systems an.

Der Vorwarnbereich beginnt bei 160 cm, er wird durch Blinken der grünen Lampe angezeigt. Bei kürzer werdender Hindernisentfernung wechselt die Anzeige auf gelb, dann auf rot und schaltet bei ca. 30 cm vor dem Hindernis auf rot blinkend. Neben der optischen Farbanzeige erfolgt zusätzlich eine akustische Warnung, deren Lautstärke regelbar ist.

Einfache Montage und problemloser elektrischer Anschluß sind an jedem Fahrzeug möglich. Mit dem zum Lieferumfang gehörenden kompletten Einbaubehör, wie Universalhalte-

winkeln, anschlussfertigen Kabeln und ausführlicher Einbauanleitung, ist die Montage des Bosch-Parkpilot auch für den Nichtfachmann problemlos möglich.

Wie die Abbildungen zeigen, werden die Sensoren im Bodenabstand von 30-60 cm an der hinteren Stoßstange bzw. am Spoiler montiert. Das Gehäuse mit der Steuerelektronik kommt „wassergeschützt“ in den Kofferraum und das Anzeigedisplay auf die Hutablage oder an den hinteren Seitenholm. Zum Schluß wird noch die Steuerleitung mit dem Originalkabel der Rückfahrcheinwerfer verbunden. Nach dem ausführlich beschriebenen Kalibriervorgang – die installierte Anlage stellt fest, wieviele Sensoren in welchem Abstand vorhanden sind und speichert diese Werte – schaltet sich der Bosch-Parkpilot automatisch beim Einlegen des Rückwärtsgangs ein.

## Lampenanzeige



160 – 100 cm Vorwarnbereich



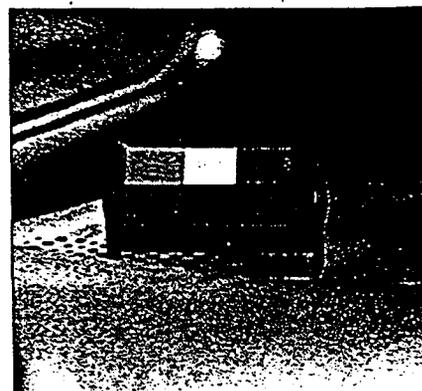
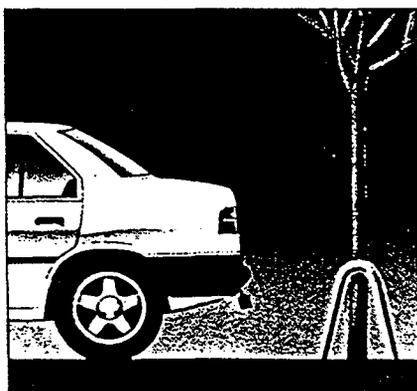
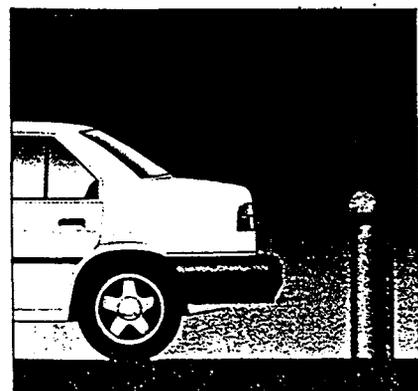
100 – 50 cm Hauptwarnbereich



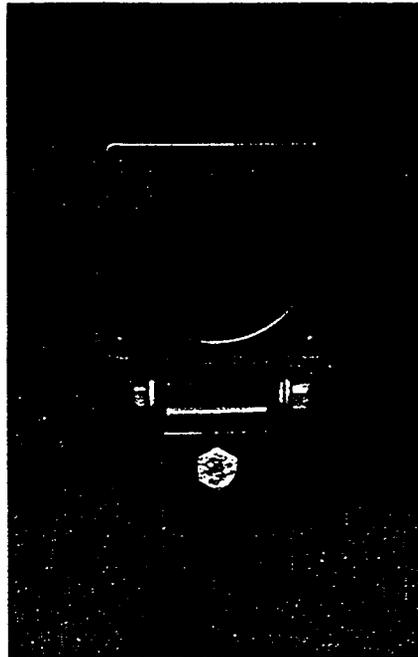
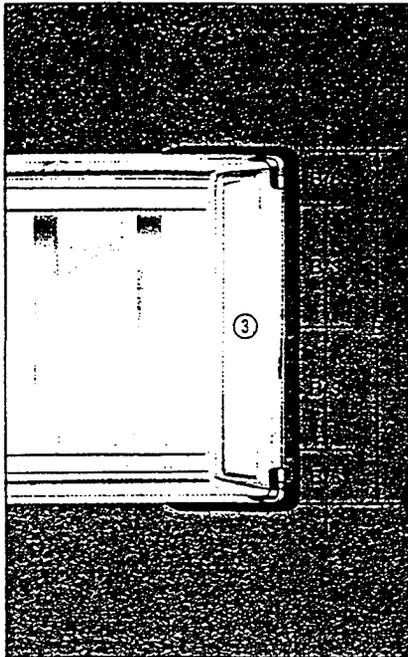
50 – 30 cm Gefahrenbereich



30 – 0 cm Kollisionsbereich



# Erweiterungsmöglichkeiten des Bosch-Parkpilot



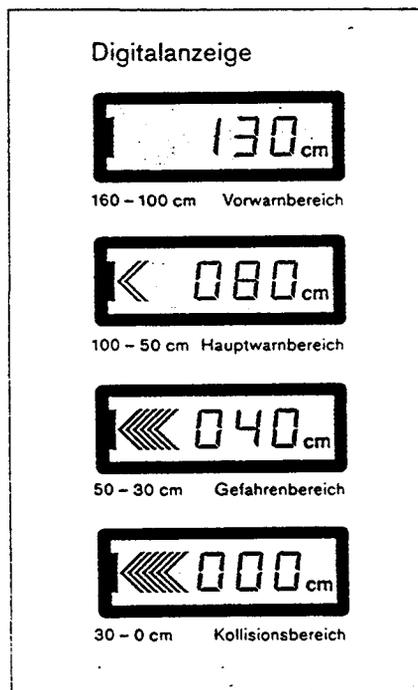
Ultraschall-Sensor US 1

Für Menschen, denen Zahlen mehr sagen als die Farbanzeige, gibt es als Sonderzubehör die Digitalanzeige LC1. Hier wird die Entfernung zum Hindernis in 5-cm-Schritten oder wahlweise in Inch (Zoll) angezeigt. Außerdem vermittelt eine aus sieben Pfeilen bestehende Symbolik mit angeedeutetem Hindernis einen zusätzlichen optischen Eindruck der momentanen Situation. Bei 30 cm Abstand sind alle Pfeilsymbole sichtbar und unterstreichen durch Blinken die unmittelbare Kollisionsgefahr. Außerdem erfolgt auch hier eine akustische Warnung.

Die Lampen- oder Digitalanzeige kann z. B. bei Lieferfahrzeugen auch am Armaturenbrett montiert werden. Voraussetzung ist jedoch ein zweiter Außenspiegel am Fahrzeug. Für die elektrische Verbindung zur Steuer-elektronik steht dazu ein passendes Verlängerungskabel zur Verfügung.



Digitalanzeige LC 1



Anzeigebeispiele

Für Fahrzeuge mit einer Breite über 1,80 m, zum Beispiel auch für Kleintransporter und Wohnmobile, ist die Montage eines 3. Sensors in Stoßstangenmitte erforderlich.

Der als Zubehör erhältliche Ultraschall-Sensor US1 verhindert damit einen „toten Winkel“ und garantiert somit auch bei diesen Fahrzeugen die gute „Sehfähigkeit“ der Anlage.

Auch der US1 wird mit komplettem Montagezubehör wie Anbauwinkel, Schrauben und Anschlußkabel geliefert.

Bezeichnung	Artikelnummer
Parkpilot URF 1	7 691 300 001
Sensor US 1	8 698 836 011
LCD-Anzeige LC 1	8 698 835 991
Verlängerungskabel	8 694 432 441
Satz Glühlampen 12 V	8 657 520 101
Satz Glühlampen 24 V	8 657 520 102

Mit dem Bosch-Parkpilot besitzen Sie eine Rückfahrhilfe, die teure Schäden beim Rückwärtsfahren vermeiden hilft, jedoch weder Aufmerksamkeit noch Sorgfalt des Fahrers ersetzen kann.

Noch ein Tip: Dort, wo Sie den Bosch-Parkpilot bekommen, können Sie natürlich den Einbau gleich miterledigen lassen. Einfacher geht es nicht.

Lassen Sie sich den Parkpilot von Bosch doch einmal vorführen, er kostet weniger als eine Reparatur.



**BOSCH**  
Bosch Telecom

Robert Bosch GmbH  
Geschäftsbereich Mobile Kommunikation  
Zitadellenweg 34  
1000 Berlin 20



Kundenkarten beschaffen - Gedruckt in der Bundesrepublik Deutschland

Die Park Distance Control (PDC). Sie ist die eleganteste Art einzuparken, auch auf engstem Raum und bei Dunkelheit. Beim Einlegen des Rückwärtsgangs werden in den Stoßfängern vorn und hinten je vier Ultraschallsensoren aktiviert. Sie decken den gesamten



Front- und Heckbereich einschließlich der Stoßfängerecken ab. Akustisch, mit wechselnden Tonfrequenzen, signalisiert die PDC den Abstand zu Hindernissen vor und hinter Ihrem BMW.

*Die Park Distance Control (PDC): elegantes Einparken, auch bei Dunkelheit. Je vier Sensoren in den Stoßfängern vorn und hinten informieren Sie über die Distanz zu einem Hindernis, selbst wenn es für Sie nicht sichtbar ist.*

Park Distance Control (PDC). Obwohl der BMW 7er dank seiner Übersichtlichkeit, Wendigkeit und verkehrsgerechten Abmessungen gut zu parken ist, gibt es jetzt ein Ultraschallsystem zur Abstandskontrolle. Mit dieser Sonderausstattung wird das Parken auch auf knapp bemessenem Raum erheblich erleichtert. Auch bei Dunkelheit gibt es beim Ein- und Ausparken keine Unsicherheit mehr. Die PDC ist eine Innovation, die europaweit außer BMW kein anderer Automobilhersteller bietet.

## Sonderausstattungen – Sicherheit

## BMW 7ER-REIHE

Stand: April 1992	Schlüsselnummer	DM* ohne MwSt.	DM* inkl. 14 % MwSt.	730i (6-Zyl.)	730i (8-Zyl.)	740i	740iL	750i	750iL
<b>Park Distance Control PDC</b>	508	1.035,09	1.180,-	●	●	●	●	●	●
Akustische Einparkhilfe mit Abstandskontrolle vorn und hinten									
Bei 750iL im Umfang High-Line Fondausstattung (Schl.-Nr. 448) enthalten									

# ANNEXE II

## Mise au point au banc

Les 12 tableaux ci-dessous reprennent les mesures réalisées, les intitulés des colonnes de ces divers tableaux représentent:

$\alpha$  : angle entre le capteur et l'horizontal

H : hauteur entre le sol et le capteur

L : longueur entre le capteur et le faux trottoir ( cette valeur est prise à l'horizontale )

Vc : tension lu en sortie du capteur

Dc : distance réelle lue par le capteur et recalculée grâce aux trois équations

Lc : distance entre le capteur et le trottoir qui est en fait  $Dc * \cos \alpha$

Tableau 1

$\alpha(^{\circ}) =$		0		$H(\text{cm}) =$		10	
L	Vc	Dc	Lc	Erreur	Ecart	h	
12	5	12,00	12,00	0,00%	0,00	10	
20	4,14	20,35	20,35	1,73%	0,35	10	
30	3,04	30,48	30,48	1,61%	0,48	10	
40	2,07	40,14	40,14	0,35%	0,14	10	
50	1,2	49,66	49,66	-0,69%	0,34	10	

Tableau 2

$\alpha(^{\circ}) =$		0		$H(\text{cm}) =$		20	
L	Vc	Dc	Lc	Erreur	Ecart	h	
12	4,96	12,43	12,43	3,57%	0,43	20	
20	3,97	21,91	21,91	9,56%	1,91	20	
30	2,62	34,35	34,35	14,52%	4,35	20	
40	1,31	48,45	48,45	21,13%	8,45	20	
50	0,61	56,11	56,11	12,22%	6,11	20	

Tableau 3

$\alpha(^{\circ}) =$		20		$H(\text{cm}) =$		20	
L	Vc	Dc	Lc	Erreur	Ecart	h	
12	4,97	12,32	11,58	-3,51%	0,42	16	
20	4,05	21,18	19,90	-0,51%	0,10	13	
30	2,87	32,05	30,12	0,39%	0,12	9,5	
40	1,86	42,44	39,88	-0,30%	0,12	6	
50	0,9	52,94	49,74	-0,51%	0,26	2,5	

Tableau 4

$\alpha(^{\circ}) =$		20		$H(\text{cm}) =$		25	
L	Vc	Dc	Lc	Erreur	Ecart	h	
12	4,98	12,21	11,48	-4,35%	0,52	21	
20	4	21,64	20,33	1,66%	0,33	18	
30	2,86	32,14	30,20	0,68%	0,20	15	
40	1,81	42,98	40,39	0,98%	0,39	11	
50	0,95	52,39	49,23	-1,54%	0,77	7,5	

Tableau 5

$\alpha(^{\circ}) =$		25		$H(\text{cm}) =$		25	
L	Vc	Dc	Lc	Erreur	Ecart	h	
12	4,88	13,29	12,04	0,34%	0,04	19	
20	3,92	22,37	20,28	1,39%	0,28	16	
30	2,72	33,43	30,30	1,00%	0,30	11	
40	1,71	44,08	39,95	-0,13%	0,05	6,5	
50	0,76	54,47	49,37	-1,27%	0,63	2,5	

Tableau 6

$\alpha(^{\circ}) =$		25		$H(\text{cm}) =$		27,5	
L	Vc	Dc	Lc	Erreur	Ecart	h	
12	4,86	13,50	12,24	1,96%	0,24	21,5	
20	3,9	22,56	20,44	2,22%	0,44	18,5	
30	2,77	32,97	29,88	-0,39%	0,12	14	
40	1,7	44,19	40,05	0,12%	0,05	9	
50	0,89	53,05	48,08	-3,85%	1,92	6	

Tableau 7

$\alpha(^{\circ}) =$		30		$H(\text{cm}) =$		25	
L	Vc	Dc	Lc	Erreur	Ecart	h	
12	4,88	13,29	11,51	-4,12%	0,49	18,5	
20	3,85	23,02	19,93	-0,33%	0,07	14,5	
30	2,63	34,26	29,67	-1,09%	0,33	9	
40	1,67	44,52	38,55	-3,62%	1,45	4	
50	2,83	32,42	28,08	-43,85%	21,92	-0,5	

Tableau 8

$\alpha(^{\circ}) =$		30		$H(\text{cm}) =$		27,5	
L	Vc	Dc	Lc	Erreur	Ecart	h	
12	4,81	14,04	12,16	1,29%	0,16	20	
20	3,85	23,02	19,93	-0,33%	0,07	15	
30	2,66	33,99	29,43	-1,89%	0,57	10,5	
40	1,61	45,17	39,12	-2,20%	0,88	5,5	
50	2,5	35,46	30,71	-38,58%	19,29	0,5	

Tableau 9

$\alpha(^{\circ}) =$		30		$H(\text{cm}) =$		30	
L	Vc	Dc	Lc	Erreur	Ecart	h	
12	4,83	13,82	11,97	-0,25%	0,03	24	

20	3,78	23,66	20,49	2,47%	0,49	19,5
30	2,65	34,08	29,51	-1,62%	0,49	14
40	1,59	45,39	39,31	-1,73%	0,69	8,5
50	0,66	55,56	48,12	-3,76%	1,88	3

Tableau 10

$\alpha(^{\circ}) = 40$      $H(\text{cm}) = 30$

L	Vc	Dc	Lc	Erreur	Ecart	h
12	4,69	15,28	11,70	-2,48%	0,30	21
20	3,63	25,05	19,19	-4,07%	0,81	15
30	2,34	37,19	28,49	-5,04%	1,51	7,5
40	2,83	32,42	24,83	-37,91%	15,17	-1
50						

Tableau 11

$\alpha(^{\circ}) = 40$      $H(\text{cm}) = 32,5$

L	Vc	Dc	Lc	Erreur	Ecart	h
12	4,72	15,00	11,49	-4,24%	0,51	23,5
20	3,58	25,51	19,54	-2,30%	0,46	17
30	2,26	38,06	29,16	-2,81%	0,84	9
40	2,05	40,36	30,92	-22,71%	9,08	-11,5
50	2	40,91	31,34	-37,33%	18,66	-21

Tableau 12

$\alpha(^{\circ}) = 50$      $H(\text{cm}) = 35$

L	Vc	Dc	Lc	Erreur	Ecart	h
12	4,29	18,96	12,19	1,58%	0,19	17
20	2,8	32,70	21,02	5,08%	1,02	4
30	2,17	39,05	25,10	-16,34%	4,90	-6
40						
50						

# ANNEXE III

## Extrait de l'analyse fonctionnelle

### Préambule

Les pouvoirs publics souhaitent rendre la chaîne des transports en commun accessible au public le plus large y compris les personnes à mobilité réduite dont les utilisateurs de fauteuils roulants, les personnes âgées, les parents avec poussette d'enfant ou encore les personnes avec bagages.

Or, les systèmes de transport guidés de type VAL ou tramway ont pris en compte, dès leur conception, les aspects d'accessibilité. Quant à l'autobus, qui reste, parmi les Transports en Commun, un mode de déplacement majoritaire dans les villes, il est en retard dans ce domaine. Un premier pas a été franchi avec l'introduction des autobus à plancher surbaissé qui évite la présence de marches à l'entrée du véhicule en offrant une accessibilité de plain pied. Cependant, les autobus à plancher surbaissé ne règlent pas la totalité des problèmes concernant l'accessibilité.

Ainsi, lors des échanges de voyageurs à la station, la marche ou lacune verticale entre le quai et le plancher du véhicule peut être faible grâce à la surélévation du quai et éventuellement au choix d'un système d'agenouillement du bus. Quant à l'espace, appelé lacune horizontale, existant entre la bordure du quai et le seuil du véhicule, il peut demeurer important.

Conscient de cette lacune à combler, l'opérateur TRANSCET et son réseau de Grenoble SEMITAG ont souhaité développer une recherche sur le thème de l'accessibilité aux autobus en lançant un projet appelé GIBUS (Guidage de bus en station). Bénéficiant de financements publics de la DTT et de l'ADEME, ce projet est réalisé par un groupement qui comporte, outre TRANSCET et SEMITAG, Renault VI (constructeur de bus), l'INRETS (Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité), la Direction de la Recherche de Renault ainsi que l'USTL (Université des Sciences et Technologies de Lille). Le SMTIC, Autorité Organisatrice

des transports de l'agglomération grenobloise, et la Ville de Grenoble, qui mènent une réflexion approfondie sur l'aménagement des arrêts, sont étroitement associés à ce projet.

Le projet GIBUS, dont l'objectif est de minimiser la lacune horizontale en amenant l'autobus le plus près possible du quai de station, a fait apparaître deux pistes de travail : l'automatisation de l'accostage et le système d'aide à la conduite. Le projet appelé VISÉE (système à vision embarquée et suivi de ligne en cours de développement par Renault VI) a été retenu comme projet représentatif de la solution automatisation. Quant au système d'aide à la conduite, système qui est également appelé aide à l'accostage ou petit Gibus, il fait l'objet de la présente analyse fonctionnelle.

### *Vocabulaire*

Station : point d'arrêt aménagé permettant l'échange des voyageurs.

Accostage : manoeuvre qu'effectue le conducteur pour amener l'autobus depuis sa ligne de circulation jusqu'à l'arrêt du véhicule au niveau d'une station afin d'assurer l'échange de voyageurs.

Lacune horizontale : distance séparant le seuil de l'autobus urbain et la bordure du quai.

## **1 Domaine d'application**

Le projet petit Gibus est le complément indispensable aux améliorations déjà existantes constituées par les autobus à plancher surbaissé et les quais rehaussés. Il permet de limiter l'espace du véhicule entre le plancher du véhicule et la bordure du quai, au moment de l'échange des voyageurs. Pour arriver à cet objectif, petit Gibus présente, à l'intérieur du V.I. (véhicule industriel), une information au conducteur qui doit l'interpréter et s'en servir afin de réaliser une manoeuvre d'accostage optimale. L'information est du type visuel, le sonore ayant été écarté pour des raisons d'environnement au niveau du poste de pilotage. D'un point de vue plus conceptuel, ce système fait partie de la famille des aides à la conduite, ces outils mis à la disposition du conducteur pour faciliter leur tâche. Les aides à la conduite se rencontrent plus fréquemment dans le domaine routier, par exemple, en matière d'aide au guidage par cartographie.

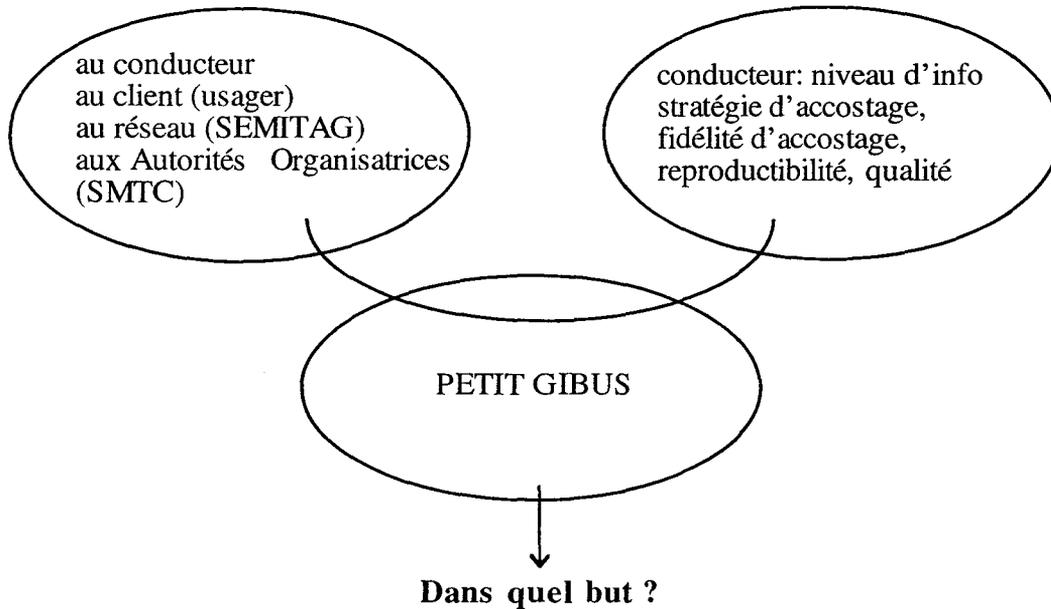
Dans cette étude fonctionnelle, nous prendrons comme hypothèse que le système petit Gibus étudié est installé sur un autobus à plancher surbaissé Renault VI Agora et qu'il ne peut fonctionner que sur une ligne particulière d'autobus aménagée avec des arrêts prototypes tels qu'ils ont été définis par le Groupe de travail Grenoblois (SMTC) sur l'accessibilité. Dans le cas de l'accostage d'un autobus sur un arrêt non aménagé, la fiabilité de l'information ne pourra être certifiée. La prise en compte d'arrêts " banalisés " semble, à priori, demander un traitement de l'information qui complexifierait notablement le système d'aide à l'accostage.

Le problème de l'accessibilité des utilisateurs de fauteuils roulants est exclu de ce cahier des charges, en effet, l'objectif visé est une lacune de 15 centimètres. En conséquence, si les Autorités Organisatrices concernées décident une accessibilité totale, le passage des fauteuils roulants nécessiterait, dans ce cas, l'installation d'un dispositif supplémentaire de type palette embarquée, dispositif qui est hors du cadre d'un système d'aide à la conduite.

## 2 Le besoin

**Rend service à qui ?**

**En agissant sur quoi ?**



- Dans quel but ?**
- 1 Minimiser la lacune horizontale au niveau des portes avant et milieu avec une valeur maximale admise de 15 cm.
  - 2 Participer à la revalorisation de l'image et de l'usage de l'autobus
  - 3 Valoriser la tâche du conducteur

Contrôle de la validité du besoin:

### **1 Minimiser et contrôler la lacune horizontale**

*Causes*

Parce que actuellement la lacune horizontale est trop importante

Parce que actuellement la lacune horizontale manque de constance

*Buts*

pour assurer la continuité horizontale du cheminement sans rupture

pour faciliter l'accès à tous

### **2 Participer à la revalorisation de l'image et de l'usage du bus**

*Cause*

Parce que actuellement l'image de l'autobus est à revaloriser.

*But*

pour augmenter la fréquentation

### **3 Valoriser la tâche du conducteur**

#### *Cause*

Parce que actuellement les conducteurs n'ont pas la possibilité de se mettre en valeur à travers leur profession

#### *But*

pour augmenter l'image de leur professionnalisme.

### **3 Cycle de vie**

#### **3.1 Phases d'utilisation**

1 Fabrication du système

2 Livraison de système

3 Installation/désinstallation

4 En stockage

5 Mise au point du système

6 Mise en main conducteur

7 Utilisation

7.1 Réseau: 7.1.1 roulage (proximité d'autres véhicules)

7.1.2 en station

7.1.3 à proximité d'une station

7.1.4 à l'arrêt (proximité d'autres véhicules)

7.2 En dépôt

8 En maintenance journalière du V.I.(gazole, huile, eau)

9 En lavage véhicule (extérieur)

10 En maintenance du système

11 En nettoyage du V.I.(intérieur)

12 En accident

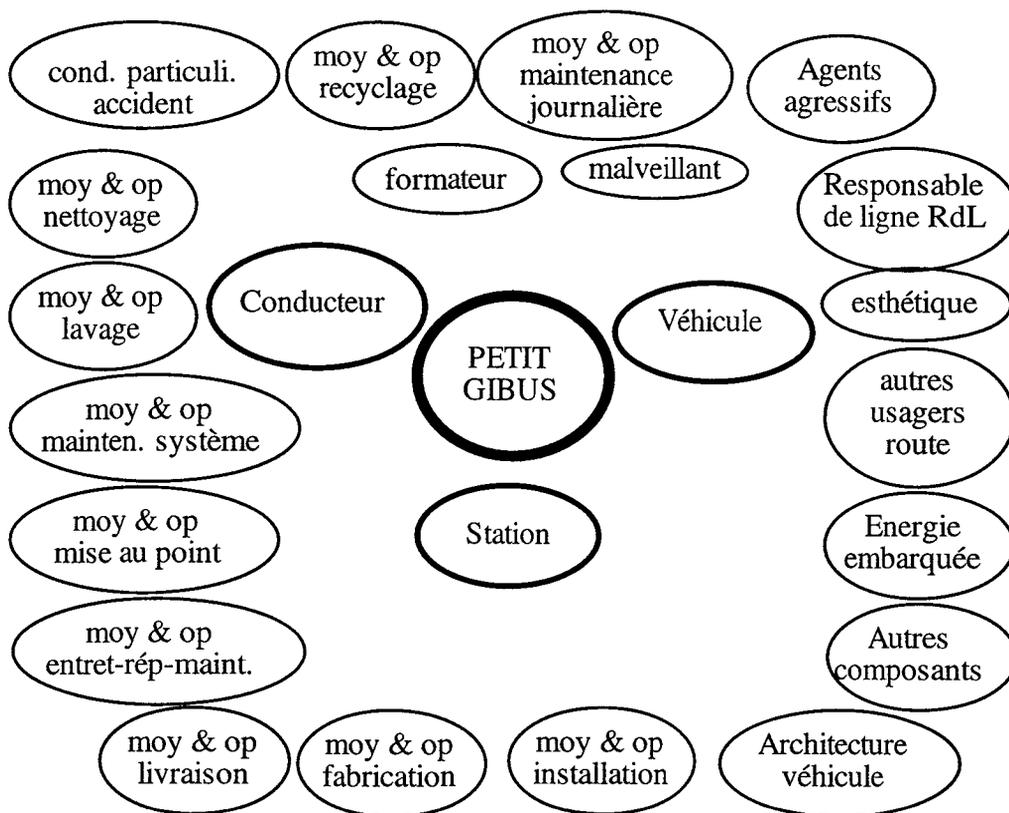
13 En maintenance réparation-entretien du véhicule

14 En recyclage

### 3.2 Éléments environnants

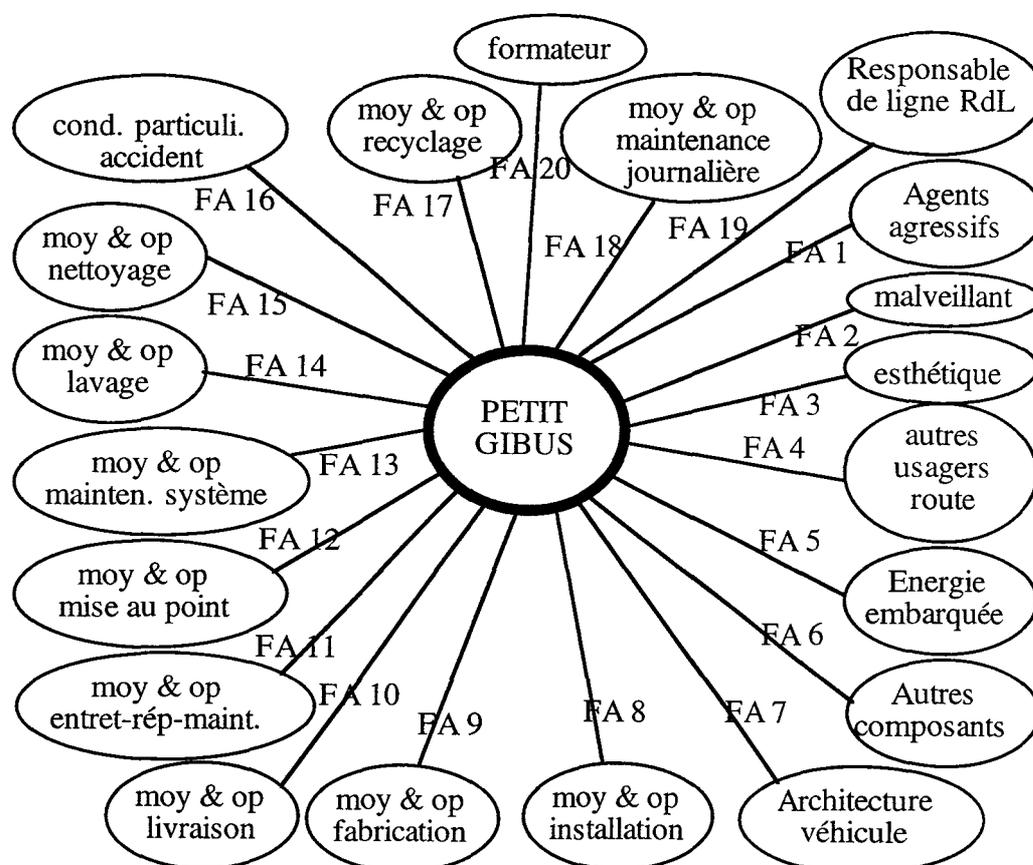
- 1 Moyens et opérateurs de fabrication
- 2 Moyens et opérateurs de livraison
- 3 Moyens et opérateurs de installation/désinstallation
- 4 Moyens et opérateurs de stockage
- 5 Moyens et opérateurs de mise au point
- 6 Formateur
- 7 Agents agressifs (gazole, vibrations, intempéries,...)
  - Malveillant
  - Esthétique
- 7.1 Conducteur
  - Responsable de ligne (RdL)
  - Architecture véhicule
  - Energie embarquée
  - Autres composants
- 7.1.1 Autres usagers de la route
- 7.1.2 Véhicule
  - Station
- 8 Moyens et opérateurs de maintenance journalière
- 9 Moyens et opérateurs de lavage
- 10 Moyens et opérateurs de maintenance système
- 11 Moyens et opérateurs de nettoyage
- 12 Conditions particulières d'accident
- 13 Moyens et opérateurs de entretien-réparation-maintenance du véhicule
- 14 Moyens et opérateurs de recyclage.

NB: La numérotation reprend celle utilisée pour les différentes phases d'utilisation du produit, cependant, tous les numéros ne sont pas repris, en effet, les éléments environnants intervenant plusieurs fois dans le cycle de vie ne sont cités qu'une seule fois.



Pour la meilleure compréhension des schémas, nous allons séparer les fonctions de service et les fonctions d'adaptation.

### 3.3 Fonctions d'adaptation



FA1: Résister aux agents agressifs

FA2: Minimiser les actions de malveillance

FA3: S'intégrer dans l'esthétique générale du véhicule

FA4: Etre adapté aux usagers de la route

FA5: Etre adapté aux énergies embarquées

FA6: Etre compatible avec les autres composants du véhicule

FA7: S'intégrer dans l'architecture du véhicule (volume,...)

FA 8: Etre adapté aux moyens et opérateurs d'installation

FA 9: Etre adapté aux moyens et opérateurs de fabrication

FA 10: Etre adapté aux moyens et opérateurs de livraison

FA 11: Etre adapté aux moyens et opérateurs d'entretien-réparation-maintenance du véhicule

FA 12: Etre adapté aux moyens et opérateurs de mise au point

FA 13: Etre adapté aux moyens et opérateurs de maintenance du système

FA 14: Etre adapté aux moyens et opérateurs de lavage

FA 15: Etre adapté aux moyens et opérateurs de nettoyage

FA 16: Répondre aux conditions particulières d'accident

FA 17: Etre adapté aux moyens et opérateurs de recyclage

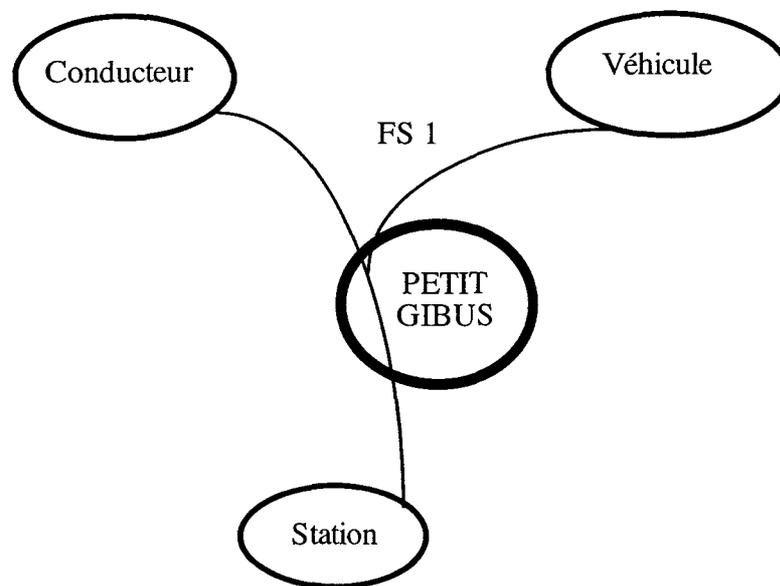
FA 18: Etre adapté aux moyens et opérateurs de maintenance journalière

Deux fonctions d'adaptation optionnelles:

FA 19: Restituer à la demande du RdL des informations sur les accostages réalisés

FA 20: Fournir au formateur des informations

### 3.4 Fonction de service



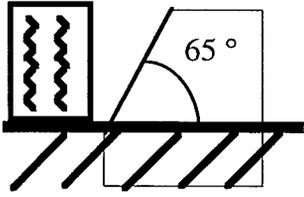
FS 1: Fournir au conducuteur des informations lui permettant d'optimiser la position du véhicule par rapport à la station.

#### 4 Caractérisation de la fonction de service

FS 1: **Fournir au conducteur des informations** lui permettant d'optimiser la **position du véhicule par rapport à la station.**

Performances: <b>Fournir au conducteur des informations</b>	NIVEAUX RECHERCHÉS
<p>la disponibilité des informations:</p> <p>mise en marche et arrêt</p> <p>fonctionnement continu</p> <p>l'information doit être fournie au conducteur pour une vitesse de bus de</p> <p>la distance donnée doit être la mesure entre le seuil de prote et le haut de la bordure</p> <p>L'information diffusée doit respecter un certain nombre de contraintes ergonomiques afin d'assurer un confort d'utilisation:</p> <p>être visible par le conducteur en toutes conditions d'environnement à bord du bus:</p> <p>de nuit</p> <p>de jour avec le soleil de face, de biais</p> <p>par faible luminosité</p> <p>dans toutes les conditions climatiques usuelles</p> <p>être visible depuis le poste de pilotage</p> <p>-dans le champ visuel immédiat dans les phases de pré-accostage et d'accostage</p> <p>être visible de préférence sous forme linéaire continue</p>	<p>automatique</p> <p>depuis le départ du dépôt jusqu'au retour</p> <p>en temps réel</p> <p>maxi. 35 à 40 km/h</p> <p>mini. 0 km/h (arrêt du véhicule)</p> <p>5 à 60 cm, quelque soit la charge du véhicule</p> <p>avec éclairage intérieur</p> <p>réglage manuel ou automatique</p> <p>à compléter par les ergonomes</p> <p>jusqu'à la valeur souhaitée de 15 cm et au delà de 15 cm à 0 cm.</p>

Caractéristiques: <b>conducteur</b>	DONNÉES
homme ou femme	<p>habilité par la SEMITAG à la conduite d'autobus urbain</p> <p>ayant une formation spécifique au système petit gibus</p> <p>installé au poste de conduite</p>

Caractéristiques: <b>station</b>	DONNÉES
Station prototype définie par le groupe d'accessibilité SMTC-Grenoble	<p>caractéristiques géométriques et physiques:</p> <p>longueur de l'arrêt = 12 à 20 m</p> <p>hauteur du quai = 21 cm <sup>-0</sup> -0,5</p> <p>bordure en matériau lisse, couleur claire ou sombre, sèche ou mouillée, propre ou poussiéreuse</p> <p>fruit de la bordure 65 °</p> 

Caractéristiques: <b>véhicule</b>	DONNÉES
autobus urbain Renault VI Agora	défini par plans

# ANNEXE IV

Copie des articles parus dans la revue Transport Public:

\* *Grenoble, un réseau plus accessible*. N°925, p 83, juin 1994

\* *Un réseau de plus en plus accessible*. N°947, pp 20 et 21, avril 1996

# GRENOBLE : UN RÉSEAU PLUS ACCESSIBLE

H. SEGALEN

A Grenoble, la mise en service du tramway a amené, outre des gains en vitesse, une amélioration de l'accessibilité aux véhicules.

Un des volets de la politique arrêtée par le Syndicat des transports de l'agglomération (SMTC) consiste à éviter la création d'un réseau de transport à deux vitesses tramway/autobus-trolleybus.

Pour cela un programme pluriannuel de redynamisation des lignes d'autobus a été engagé en 1992. Outre des actions relatives à la vitesse, à la fréquence, au confort, à l'environnement et à l'homogénéité visuelle des véhicules du réseau, une amélioration de l'accessibilité pour les autobus et trolleybus a été jugée nécessaire. Elle se concrétise par la définition d'un arrêt type et le développement d'un système d'accostage aux arrêts dans la perspective de la mise en service de bus à plancher surbaissés.

L'objectif de la première action, débutée fin 1993, et à laquelle sont associés l'Inrets, Renault VI, Heu-

liez et des associations de personnes à mobilité réduite, est de produire fin 1994 un prototype d'arrêt. Les études d'un système de guidage des bus ont démarré en 1992 dans le cadre du Predit. Deux projets sont en cours de développement : un système d'aide à l'accostage et un système d'aide à l'accostage automatisé. Dans le premier cas un capteur mesure l'écart du véhicule au quai et fournit l'information au conducteur. Un dispositif de ce type devrait être testé à la fin de l'année.

Pour l'accostage automatique le principe retenu est que à partir d'une certaine distance du point d'arrêt, le système assiste le conducteur par une action sur la direction. Dans cette phase, le conducteur garde la maîtrise du véhicule et peut donc à tout moment reprendre la main. Ce système actuellement à l'étude est proposé par Renault V.I. et la direction de la recherche de Renault. Il s'agit d'un système à vision embarquée où une



caméra, installé e dans le véhicule visionne un balisage dans la chaussée. L'écart mesuré génère une commande de correction transmise à la direction du véhicule. La Semitag espère tester un prototype début 1995.

# MONTLHERY : L'EXPLOITATION AU QUOTIDIEN

A Monthléry, la SA Transports Daniel Meyer utilise le progiciel Ordicars. Ce logiciel se décompose en trois modules : l'exploitation, la gestion commerciale et la gestion du parc de transport. Le module exploitation gère aussi bien les lignes régulières urbaines et interurbaines que les services occasionnels et touristiques. Il résout l'adéquation véhicule-conducteur-mission et fournit à l'exploitant toutes les informations en temps réel qui sont nécessaires à une gestion optimisée. Le service planification établit des plannings théoriques et le service régulation y introduit les con-

traintes journalières d'indisponibilité véhicules ou conducteurs, de surcroît d'activité et notamment l'occasionnel pour aboutir à un planning opérationnel. Toutes ces informations génèrent automatiquement la pré-paye, la paye, la facturation, la comptabilité et permettent l'utilisation immédiate des statistiques générales et analytiques.

Cela permet entre autres de mieux répartir les horaires de travail des conducteurs, de suivre avec précision le coût kilométrique de chaque véhicule, d'isoler les chiffres d'affaires par ligne, par client et par

type d'activité. Le module commercial permet de gérer un portefeuille de clients. Il assiste complètement l'utilisateur au cours de la chaîne contacts, commandes, réalisation, facturation. La gestion du parc fournit des informations (coût kilométrique en fonction du type, de l'âge, de l'activité ou des contraintes géographiques des services qu'ils assurent) qui permettent d'optimiser les choix d'investissement, d'entretien et de définir avec précision la politique de vente. Enfin, 1994 sera l'année de l'intégration d'Hastus, logiciel d'optimisation conçu par la société Giro.

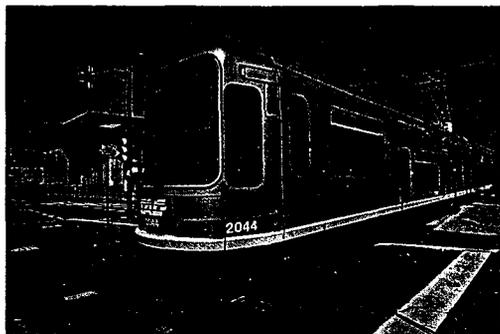
# transport public

N° 947  
AVRIL 1996  
48 F

A Auguste Delaune



UN RESEAU "ACCESSIBLE"



Les 9 kilomètres de la première ligne du tram grenoblois ont été mis en service en 1987. 1990 voyait l'ouverture de la deuxième ligne gare-campus sur 6 kilomètres.

sion pour desservir un ensemble immobilier de 1000 logements à Echirolles, qui sera mise en service en 1997, et du prolongement de la ligne B, au nord, pour desservir Europole. «Mais la décision de Grenoble est attendue en mai. A son arrivée, l'équipe municipale de Michel Destot a gelé tous les projets», explique Gilbert Biessy. A plus long terme, d'autres projets sont dans l'air :

- une ligne est-ouest de 8,6 km pour soulager le trafic automobile sur les grands boulevards. Le tracé reste à définir, les études de réflexion sont lancées. Fin juin, les corridors devraient être choisis avant le lancement des études de faisabilité. Le démarrage des travaux pourraient intervenir en 2001,

- prolongement de la ligne A vers Sassenage au nord ouest de l'agglomération,

- connexion de la ligne de bus n° 8 (alors électrifiée), la plus chargée du réseau, avec le tramway à Pont-de-Clais, au sud de l'agglomération,

- la liaison entre le campus universitaire et la gare SNCF de Gières. Aujourd'hui, une desserte de rocade baptisée Laser est assurée par autorail. Il est prévu de construire des gares, dont une à Echirolles, en connexion sur le tram pour rejoindre le campus sans passer par le centre de Grenoble avec des parkings de rabattement.

**Louise Waks**

## UN RESEAU DE PLUS EN PLUS

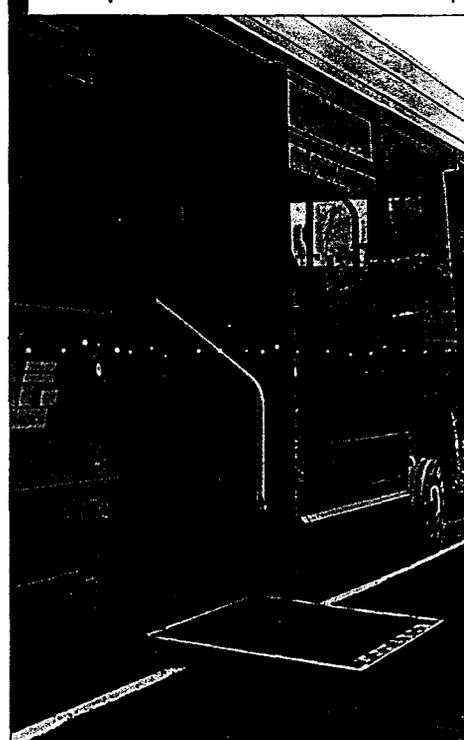
**E**n semaine, 110 personnes en fauteuil roulant empruntent chaque jour le tramway. Elles sont 150 le week-end. Depuis l'extension sud de la ligne A, des dalles podotactiles ont été posées sur les quais devant lesquelles viennent se positionner les portières avant du tram. Son plancher bas permet l'accès sans difficulté d'un fauteuil roulant ou d'une poussette d'enfant.

Qu'en est-il pour se hisser à bord des bus ? depuis 1979, un service PMR (personnes à mobilité réduite)

## Le réseau en chiffres

- 380 000 habitants sur 23 communes desservies (212 km).
- 50,1 millions voyageurs/an (tram : 22,6, bus 27,5).
- Longueur du réseau : 227 km.
- Offre kilométrique : 11,5 millions (dont tram : 1,6 million).
- 16 lignes de bus (dont 4 affrétées aux Voies ferrées du Dauphiné), 2 lignes de trolleybus, 2 lignes de tramway (ligne A : 13 km, ligne B : 5,8 km).
- Déplacements banlieue à banlieue : + 30 % selon la dernière enquête ménages.
- 20 % des déplacements motorisés.
- Parc de véhicules : 119 bus standard dont 6 à plancher bas intégral, 83 bus articulés, 32 trolleybus, 53 rames de tramways, 12 minibus.
- Taux de couverture : 63,6 %.
- Effectifs : 798 personnes dont 527 à l'exploitation.
- Plein tarif. A l'unité : 7,50 F., carnet de 10 : 51 F., carte hebdomadaire : 70 F., abonnement mensuel : 175 F. ou 250 F.

Bus à plancher surbaissé dotés de rampes



# U PLUS ACCESSIBLE



te) en minibus existe à la demande. Une nouvelle ligne (n° 11) a été inaugurée le même jour que l'extension du tramway. Petite ligne de rocade (5 à 6 voyages/jour de personnes handicapées), elle est équipée de quatre bus Heuliez GX 317 à plancher bas intégral dotés d'une palette d'accès. 70 % des arrêts de la ligne ont un trottoir surélevé à 21 centimètres. A la station La Rampe, cette ligne est en correspondance avec le tramway. «Nous avons travaillé avec des associations de handicapés, l'agence d'urbanisme, les services de voirie mu-

nicipaux et les constructeurs qui ont concocté une palette particulière (palette qui se loge sous le châssis) et un système d'agenouillement pour les trottoirs non aménagés. C'est tout l'intérêt d'un mode de décision participatif», estime Louis Lhopital, chargé de la mission «accessibilité» à la Semitag. Cette ligne a valeur de test, l'objectif est de mettre en accessibilité tout le réseau bus, à commencer par la ligne 8, la plus dense du réseau bus qui traverse Grenoble du nord au sud sur des boulevards haussmanniens toujours encombrés. En 1997, le SMTC doit équiper cette ligne de trolleybus à plancher bas, en site propre. Mais comme ces engins n'existent pas encore sur le marché français, la Semitag commencera par y faire rouler des bus à moteur thermique, le SMTC voulant acheter français. Mais en attendant, comment gérer un réseau mixte et comment traiter les correspondances pour offrir aux personnes à mobilité réduite un mode d'emploi lisible de tout le réseau ? «Normalement, dans 10 ans, tout le réseau devrait être accessible», promet la direction. Ce qui représente 1000 points d'arrêts. Coût : 100 000 francs par arrêt et 1,4 million par autobus.

Parallèlement, le groupe Transcet développe un projet de guidage automatique des bus avec un prototype Renault VI. actuellement testé à Grenoble. Ce guidage automatique aiderait sensiblement l'accostage des bus le long des trottoirs surélevés. Mais Gibus coûte la ba-



... tramway entièrement accessible. La politique de Grenoble en la matière est exemplaire.

gabelle de 100 000 francs par bus. En attendant, Petit Gibus (10 fois moins cher) vient à la rescousse. Il s'agit d'un voyant lumineux posé à l'intérieur du bus qui permet au conducteur d'évaluer à quelle distance il se trouve du trottoir. Les premiers essais in situ se dérouleront en juin, à Grenoble. Ce système devrait permettre d'accoster à 15 centimètres du trottoir. D'après l'Inrets, 95 % des gens peuvent franchir un fossé de 25 centimètres.

L.W.

