

Université René DESCARTES - Paris 5

École Doctorale : Cognition, Comportement, Conduites Humaines

Institut de Psychologie

Laboratoire d'Ergonomie Informatique

N° attribué par la bibliothèque

Thèse

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE PARIS 5

Spécialité : Ergonomie

Présentée et soutenue publiquement par
Marie-France DESSAIGNE

Juin 2002

**L'ergonomie des systèmes d'aides à la
conduite automobile.
Application aux autobus du futur.**

Sous la direction de
Monsieur le Professeur Jean-Claude SPERANDIO

Composition du jury :

Pr. Pierre FALZON, CNAM Paris, rapporteur

Pr. René PATESSON, Université libre de Bruxelles, rapporteur

Pr. Jean-Claude SPERANDIO, Université Paris 5, directeur de thèse

Dr. André CHAPON, Directeur de recherche à INRETS, examinateur

Guy BOURGEOIS, Directeur RATP, Président d'un groupe PREDIT, examinateur

Remerciements

L'idée de cette thèse est née au cours de mes activités d'ergonome praticienne et tout naturellement, je souhaite remercier ceux qui, dans des entreprises ou des laboratoires, ont fait appel à moi pour réaliser ces études. Tout d'abord Messieurs Lezy, Rieuneau Hordonneau et Ladreyt de la Direction de la Recherche de chez RENAULT, Monsieur Neyrière de TRANSDEV, Messieurs Lhopital et Terrier de la SEMITAG, Messieurs Darlot et Engel de RVI, Messieurs Maire et Ferbeck de MATRA Transports, Messieurs Gérard Martin et Rey d'IRISBUS, André Chapon et Maryvonne Dejeammes de L'INRETS-LESCOT et Guillaume USTER de L'INRETS-ESTAS. Sans eux, ce projet n'aurait sans doute pas abouti.

Le projet de thèse a été financé par le Ministère des Transports et plus particulièrement par le groupe PREDIT sur les autobus du futur, mais également par la RATP et la Société ALSTOM Transport. Je remercie tout particulièrement Madame Gozlan, Messieurs De Briey, Bourgeois, Julian et Mouton, de la confiance qu'ils m'ont accordée.

Les travaux ayant conduit à la rédaction de cette thèse ont été réalisés entre 1994 et 1997 grâce à la contribution de mes collaboratrices, Valérie FOUET et Sabine KAPLAN. Je tiens à les remercier pour le travail accompli ensemble.

Ma plus vive gratitude va à mon Directeur de Recherche, le Professeur Sperandio, qui a accepté de diriger cette thèse en supportant mon rythme, mes humeurs et parfois même ma désobéissance légendaire. Je n'ai pu qu'admirer sa patience et je dois lui dire que j'ai beaucoup appris au cours de cet exercice.

Je suis très honorée d'avoir dans mon jury les Professeurs Pierre Falzon et René Patesson, le Docteur André Chapon et Monsieur Guy Bourgeois. Merci à eux pour leur lecture, leur attention et leurs critiques constructives.

Mes lecteurs attentifs, Thierry Bellet et André Chapon, se voient gratifiés de ma reconnaissance profonde pour avoir relu et discuté avec moi de l'avancement de ces travaux et m'avoir ainsi aidée dans les moments de doute.

Enfin, il aura fallu deux correctrices attentives, Antoinette Charpenne et Jacqueline Lodovicci pour la relecture et la mise en forme de cette thèse. Que toutes deux acceptent mes sincères remerciements.

INTRODUCTION GENERALE.....	5
PARTIE I – LE CONCEPT D'ASSISTANCE.....	11
CHAPITRE 1 : REVUE SUR LE CONCEPT D'AIDE ET D'ASSISTANCE A	
L'OPERATEUR.....	13
1.1. Revue sur le concept d'aide et d'assistance à l'opérateur.....	14
1.1.1. Vers une approche technique et humaine du concept d'aide et d'assistance.....	15
1.1.2. Aide et assistance à l'activité : définitions.....	16
1.1.3. Les notions d'opérateurs, d'instruments et d'objet de l'activité.....	17
1.1.4. Evolution de la notion d'aide.....	18
1.1.5. Des systèmes d'aide adaptés, adaptables et adaptatifs.....	20
1.1.6. Les formes d'assistances.....	21
1.1.7. L'assistance entraîne un processus de collaboration entre l'homme et l'outil.....	24
1.1.8. Les effets de l'assistance.....	25
1.1.9. La notion d'aide dans le domaine de la conduite de processus.....	25
1.1.10. Des critères généraux pour l'évaluation des systèmes d'aides.....	28
1.1.11. Méthodologies pour concevoir des systèmes d'aides.....	34
CHAPITRE 2 : LES AIDES A LA CONDUITE DE VEHICULES.....	39
2.1. Qualification de l'activité de conduite dans un contexte routier.....	40
2.2. Les formes d'assistance dans le domaine de la conduite automobile.....	45
2.3. Les systèmes d'aide à la conduite pour véhicules de particuliers.....	50
2.3.1. Un système d'aide à la conduite pour les véhicules de particuliers : l'aide à la navigation.....	53
2.3.2. Les systèmes de régulateurs de distances et de vitesse et de contrôle longitudinal.....	57
2.4. Les systèmes d'aide à la conduite dans les transports collectifs.....	60
2.4.1. Les différents systèmes d'aide à la conduite dans les transports collectifs.....	60
2.4.2. Des systèmes d'aide et de guidage à l'accostage pour les autobus du futur.....	60
2.4.3. A quoi et à qui servent ces systèmes.....	62
2.4.4. Etat de l'art des différents systèmes existants d'aide à l'accostage et au guidage.....	64
2.5. Synthèse et conclusions.....	68
2.5.1. Synthèse sur le concept de système d'aide.....	68
2.5.2. L'intérêt d'une analyse ergonomique.....	70
2.5.3. Intérêt de l'utilisation de scénarios de différents types pour la conception.....	73
2.5.4. Les systèmes d'aide : des instruments qui devraient faciliter la conduite.....	75
PARTIE II : EVALUATIONS EXPERIMENTALES DE SYSTEMES D'AIDES AUX	
CONDUCTEURS DE BUS.....	77
CHAPITRE 3 : ETUDE PREALABLE.....	79
3.1. Une étude préalable pour connaître l'activité des chauffeurs à l'accostage.....	80
3.2. Étude ergonomique de la fonction accostage manuel des bus.....	80
3.3. Utilisation « d'un modèle de l'opérateur » représenté sous forme d'algorigramme.....	81
CHAPITRE 4 : LES SYSTEMES D'AIDE A L'ACCOSTAGE ET LE PROJET GIBUS.....	85
4.1. Historique de la participation Ergonomos au projet GIBUS.....	86
4.2. Accompagnement de la phase d'essais « Petit GIBUS ».....	86
4.3. Évaluation du prototype d'aide à l'accostage.....	88

4.4. Une ligne aménagée pour tester GIBUS en situation réelle de conduite	89
4.5. L'étude GIBUS phase A	90
4.6. L'étude GIBUS phase B.....	94
4.7. L'étude GIBUS phase C.....	100
4.8. Conclusion pour le système GIBUS.....	104
CHAPITRE 5 : LES SYSTEMES DE GUIDAGE A L'ACCOSTAGE, LE PROJET VISEE	
.....	107
5.1. Description du fonctionnement de VISEE	109
5.2. . Méthodologie générale pour le projet VISEE	109
5.3. Le système VISEE testé en site fermé	111
5.4. Méthodologie pour la mise au point des scénarios	115
5.4.1. Construction et structuration des scénarios	115
5.4.2. Réutilisation du modèle des conducteurs	116
5.4.3. Hiérarchisation des scénarios	118
5.5. Le système VISEE testé sur les sites de la Valbonne et de Grenoble.....	120
5.5.1. Les résultats des scénarios expérimentaux	121
5.5.2. La perception des informations VISEE.....	124
5.5.3. Recommandations pour l'interface et certains paramètres	125
5.6. Construction du modèle de l'activité VISEE	128
5.7. A quoi servent les modèles ?.....	130
5.8. Conclusion générale sur le système VISEE	133
CHAPITRE 6 : LE SYSTEME DE GUIDAGE CIVIS	135
6.1. Méthodologie générale pour le projet CIVIS	137
6.2. L'étude bibliographique	138
6.3. Premières préconisations ergonomiques pour la maquette CIVIS.....	141
6.4. Analyse de l'activité de référence des conducteurs de tramway.....	142
6.5. Analyse prédictive pour la conception de CIVIS.....	144
6.6. Synthèse des recommandations pour le poste de conduite et l'interface	150
6.7. Conclusion de l'étude CIVIS	153
PARTIE III : INTERET ET LIMITES DES SYSTEMES D'AIDES POUR LES	
CONDUCTEURS D'AUTOBUS DU FUTUR	157
CHAPITRE 7 : LES SYSTEMES A L'EPREUVE DES CRITERES ERGONOMIQUES ..	159
7.1. L'utilité des systèmes GIBUS, VISEE et CIVIS	161
7.2. L'utilisabilité des systèmes GIBUS, VISEE et CIVIS	162
7.3. L'efficacité des systèmes GIBUS, VISEE et CIVIS	167
7.4. La non-dangérosité des systèmes GIBUS, VISEE et CIVIS	168
7.5. La fiabilité des systèmes GIBUS, VISEE et CIVIS.....	170
7.6. La satisfaction des opérateurs pour les systèmes GIBUS, VISEE et CIVIS.....	170
CONCLUSION GENERALE	173
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	181
ANNEXE 1-ALGORIGRAMMES	191
ANNEXE 2 : GIBUS	195

ANNEXE 3 : VISEE	203
ANNEXE 4 : CIVIS	215

INTRODUCTION GENERALE

Depuis les années 80, une importante entreprise de recherche, initiée à un niveau international, est menée sur la conception et l'évaluation de systèmes d'aide dans le domaine de la conduite de véhicules. Si dans le domaine de la sécurité routière, les études ont visé à améliorer les infrastructures et les véhicules conduits pour répondre au nombre croissant d'accidents, chez les concepteurs de systèmes, l'objectif a été avant tout d'apporter sur le marché des systèmes qui pourraient pallier des déficiences du conducteur ou encore l'assister dans certaines tâches jugées critiques. Il est alors demandé aux ergonomes de participer soit à l'évaluation, soit à la conception de ces systèmes.

Cette thèse d'ergonomie a vu le jour à la suite de ma participation à de nombreux travaux de contribution à la conception (plus rarement d'évaluation) concernant les systèmes d'aide à la conduite de véhicules, tant auprès d'industriels comme Renault, RVI, Matra, Alstom, qu'auprès d'organismes publics ou semi-publics qui ont financé et/ou dirigé des projets de recherches appliquées sur les différents types de systèmes à la conduite, comme l'INRETS, le Ministère des Transports, SEMITAG, TRANSDEV, au sein de programmes nationaux, par exemple, le PREDIT pour les autobus du futur, ou dans le cadre de programmes européens, par exemple CED 5 pour le contrôle de vitesse intelligent et autonome, Hardie et Drive II pour d'autres systèmes.

Depuis 1994, ma participation à diverses études, par le biais du Cabinet ERGONOMOS que je dirige, s'est axée sur la conception des autobus du futur. J'ai ainsi collaboré aux projets GIBUS, système d'aide d'information pour l'accostage des autobus, VISEE et CIVIS, ce dernier étant l'aboutissement de VISEE. Ces deux derniers systèmes semi-automatiques d'aide au guidage optique sont innovants puisqu'ils s'affranchissent du guidage matériel en continu pour les autobus du futur. Après sept années à travailler sur ces projets, par intermittence mais parfois avec plusieurs collaborateurs, j'ai ressenti le besoin de réfléchir à l'avancement de mes travaux et de capitaliser mes connaissances sur ce sujet sachant qu'elles peuvent intéresser les constructeurs. En effet, même si nos expériences sur ces systèmes sont limitées au nombre de trois, nous savons que la plupart des constructeurs¹ travaillent actuellement sur un mode innovant de transports en commun terrestre urbain, mettant l'accent sur leur compétitivité, les modes de guidage possibles, la modularité des véhicules proposés et l'accessibilité pour les voyageurs. En plus des technologies nouvelles pour le guidage, chacun de ces systèmes repose sur l'utilisation par l'opérateur d'un système d'aide à l'accostage qu'il convient d'étudier avec attention. J'ai ainsi déposé un projet de thèse au Ministère des Transports, auprès du PREDIT, dans le cadre du programme "Matériel urbain" et du sous-groupe "autobus du futur". Ce projet ressort en effet d'un intérêt aux "transports au quotidien" et aux attentes concrètes des usagers en se rapprochant d'autres objectifs de ce groupe thématique : améliorer les conditions de circulation en ville, renforcer la sécurité routière, trouver des moyens de transports adaptés aux villes moyennes et aux besoins des usagers. Le PREDIT, dans ses objectifs de recherches, s'intéresse également à l'élaboration de cahiers des charges de ce que pourrait être un bus du futur. Mon projet "L'ergonomie des systèmes d'aide à la conduite pour les autobus du futur" a été présenté à la commission composée de différents

¹ Nous avons recensé 9 constructeurs travaillant sur des projets innovants d'autobus du futur : IRIS BUS et MATRA transports, GEC ALSTOM, VEVEY TECHNOLOGIE, DE DIETRICH-COGOFER, LOHR INDUSTRIE, BOMBARDIER, BRED A et ADTRANZ .

partenaires du monde du transport public et celui-ci a été retenu. La RATP et ALSTOM ont eux aussi décidé de le financer car ce thème, qui considère le facteur humain dans la conduite de nouveaux systèmes d'aide à l'opérateur pour les moyens de transports du futur, est apparu comme important aux yeux des concepteurs, des exploitants et des différents organismes de tutelle des pouvoirs publics.

En dehors des phases introductive et conclusive, cette thèse est composée de trois parties. La première fait le point sur le concept d'assistance à l'opérateur. La suivante relate les différentes expériences menées avec divers partenaires pour la conception des trois systèmes GIBUS, VISEE et CIVIS. Enfin, une troisième partie passe au crible ces systèmes sous les critères d'évaluation ergonomique.

La partie I regroupe deux chapitres qui établissent une revue sur le concept d'aide (ou d'assistance) à l'opérateur. Dans le premier, le concept d'aide est défini dans une perspective ergonomique, et est soulignée la diversité des types d'aides et des domaines d'utilisation (par exemple, le contrôle de processus qui comporte des points communs avec la conduite de véhicules), ainsi que l'intérêt que l'on peut avoir à les étudier. Nous verrons que, si les systèmes d'assistance sont "des instruments censés assister l'individu qui les utilise", ils peuvent prendre différentes formes qui seront discutées. Il était nécessaire de mieux situer ce concept dans la triade bien répertoriée en ergonomie, de "l'homme, l'instrument et l'objet de l'activité" pour montrer que ces systèmes d'aides sont de fait de nouveaux instruments pouvant aller du simple outil jusqu'à la prothèse cognitive, mais aussi qu'ils risquent de modifier son activité et d'ajouter une charge supplémentaire à l'opérateur. Notamment, leur utilisation entraîne une tâche supplémentaire de coordination qui revient en général au sujet humain. Ensuite, nous examinerons les formes d'aides répertoriées à ce jour, sachant que celles-ci ne sont pas exclusives : les assistance informatives, collaboratives et palliatives, afin de les définir et en discuter la pertinence vis-à-vis des actions de conception. Se dégage l'idée que, quelle que soit la forme d'aide développée, il ne faut pas perdre de vue que, de nos jours, certains systèmes regroupent plusieurs formes d'assistances. Ce sont les collaborations que l'homme va mettre en place avec son système qu'il est intéressant d'analyser pour nous guider lors de la conception. Enfin, pour clore ce chapitre, sont recensés les critères ergonomiques qui permettent au final d'évaluer les systèmes d'aide. Il faut préciser que, si ces critères sont des moyens rapides et efficaces pour leur évaluation, ils ne sont pas toujours adaptés aux phases de la conception, principalement quand le prototype n'existe pas encore. D'autres recours méthodologiques sont alors capitaux et seront abordés dans la partie II de la thèse.

Le second chapitre de cette première partie sera consacré plus particulièrement à l'étude de ce concept d'assistance dans le domaine de la conduite de véhicules, tant pour les véhicules de particuliers que pour ceux des transports collectifs, essayant ainsi de retirer des pré-requis quant à la conception de tous les types de véhicules. Une qualification de l'activité de conduite sera retracée dans un premier temps afin de montrer les principaux modèles et les mécanismes humains afférents, bien que l'objectif visé ne soit pas l'exhaustivité tant est grande la diversité. En effet, je ne tenterai pas d'exposer et de discuter les apports et limites de chacun de ces modèles, mais plutôt de focaliser la revue sur les connaissances les plus significatives que ceux-ci apportent à la description des comportements de conduite et sur les mécanismes cognitifs et physiologiques qui en sont à l'origine. Dans un deuxième temps, sera abordée la question des formes d'assistances répertoriées en conduite de véhicules pour constater que plusieurs catégorisations, parfois antinomiques, existent. Au-delà des éventuelles polémiques quant à ces catégories qui pourraient être soulevées, nous retiendrons que celles-ci se réfèrent à deux types de philosophies de conception distinctes, selon que l'on considère une "logique substitutive", visant à remplacer l'homme par la machine, ou une volonté de "couplage homme-machine" qui viserait à instaurer une relation plus "coopérative" entre l'homme et son

système. C'est à cette dernière que nous vouons évidemment nos travaux. Comme exemple de conduite automobile, seront développés, parmi la longue liste des systèmes possibles, deux exemples de systèmes d'aide au conducteur, l'un concernant l'aide à la navigation, l'autre relatif aux systèmes de régulation de distance, de vitesse et de contrôle longitudinal. Pour chacun, mon souhait est de présenter l'apport d'une conception centrée sur l'homme (analyse des raisonnements et leur prise en compte dans la conception, entre autres) sans toutefois exposer l'intégralité des études les concernant puisque l'objet de cette thèse porte plutôt sur les systèmes d'aide à l'accostage des autobus du futur. Nous serons plus exhaustifs pour les systèmes d'assistance aux transports collectifs, et plus particulièrement pour les systèmes d'aide à l'accostage qui feront l'objet des études expérimentales de la deuxième partie de cette thèse. Nous pourrions distinguer les systèmes d'aides à l'accostage de type informatifs et dits "embarqués" qui fournissent une information de position du bus par rapport au trottoir, avec pour exemple, le système GIBUS, et les systèmes de guidage à l'accostage, qui sont des systèmes semi-automatiques. Un inventaire des systèmes existants, des nouvelles techniques et des capteurs utilisés pour permettre l'accostage et des études engagées jusque-là sera dressé. Un questionnaire plus large sur ces systèmes montre que, jusqu'à un passé récent, peu de chercheurs et de concepteurs s'étaient centrés sur la question de l'aide pour la personne réalisant réellement la tâche d'accostage ; on préférerait souligner les avantages de l'accessibilité pour les voyageurs. Notre opinion va à l'encontre de ce dernier point : ces systèmes d'assistances, qui peuvent être dangereux, doivent être éminemment adaptés en fonction de ceux qui les utiliseront.

Pour conclure cette première partie, je propose une synthèse sur le concept d'aide qui aboutit à des questions sur l'intérêt de l'ergonomie à la conception. En dehors des aspects méthodologiques classiques (par exemple, l'analyse de l'activité dite "réelle" des opérateurs) en ergonomie qui seront rappelés, c'est l'analyse des Interactions Homme-Machine qui apparaît comme essentielle pour réaliser la conception et non seulement celle de l'interface. Par ailleurs, j'insiste sur l'avantage d'apports complémentaires utilisés dans mes études de conception des trois systèmes d'aide à l'accostage : la mise au point d'un modèle descriptif de l'activité d'accostage (avec et sans système), l'utilisation des spécifications techniques du futur "produit" pour parvenir à la logique d'utilisation de l'activité future (et non pas à la logique de fonctionnement du système), l'utilisation de "scénarios", bâtis par nos soins, tant pour étudier le premier prototype VISEE en version expérimentale, qu'en activité réelle pour GIBUS ou sous une forme prédictive de l'activité future pour CIVIS. Ainsi, il me semble que, pour concevoir l'activité future des conducteurs, le trio "analyse de l'activité réelle, analyse "du produit" et analyse des scénarios du futur" est indispensable et constitue à la base un repère à l'analyse des Interactions Homme-Machine qui permettront une bonne conception.

La partie II est dédiée aux études expérimentales liées à la conception des trois systèmes d'aide à l'accostage et au guidage. Le chapitre 3 de la thèse relate tout d'abord l'intérêt d'une étude préalable permettant de connaître l'activité réelle des conducteurs d'autobus sans système, comme étant une référence - pour les concepteurs - de leur activité. Cette étude répond à un questionnaire de chercheur quant à une représentation possible des connaissances de la conduite d'autobus, tout d'abord sans système, mais dans le dessein de réutiliser ce modèle pour décrire aussi les activités avec le ou les systèmes. L'originalité de cet apport réside dans l'utilisation d'un modèle descriptif de l'activité qui permet de représenter l'activité globale du conducteur, et notamment ses raisonnements, ses choix de stratégies, mais également ses actions engagées. Ce modèle peut ainsi être réutilisé pour les activités "avec système" sur les trois systèmes étudiés. Je présente et discute ce modèle, issu du fameux modèle de la double tâche de Rasmussen qui décrit les tâches de contrôle comme des

séquences d'activités allant de la détection au raisonnement puis à l'action, afin d'en montrer le bénéfique dans la conception.

Le chapitre 4 traite du système d'aide à l'accostage GIBUS, système d'information embarqué dans le véhicule. Paradoxalement, tout d'abord mon intervention consiste en l'évaluation ergonomique d'un prototype qui a été conçu par des ingénieurs comme étant adapté à l'homme. Je présente diverses expériences que j'ai menées justifiant ou non la conception du système. Ces expériences réalisées en situation réelle, nous permettront de juger si les différentes variantes - près du rétroviseur droit ou au centre du tableau de bord - du système proposé autorise à conclure à une bonne adaptabilité du système à l'homme. Les apports du modèle de l'activité seront prégnants pour cette analyse, mais il convient également de souligner l'importance de la méthodologie (enregistrement des regards sur le système en phase d'accostage et analyse des raisonnements des conducteurs) sur les deux dernières expériences pour la conclusion quant à "l'utilisabilité" du système. Enfin, la finesse des résultats met en valeur l'existence de deux types de regards : pour vérification finale de l'accostage ou comme aide réelle à l'accostage, dont le premier ne répond pas, notons le, à un besoin pour les opérateurs, pendant la conduite.

Le chapitre 5 est consacré aux études liées au système de guidage VISEE. Ce prototype de système de guidage semi-automatique sera testé expérimentalement sur différents sites, fermés puis ouverts, ce qui permettra de vérifier un nombre important de scénarios. Les premiers scénarios seront mis au point à partir de nos connaissances de la conduite des autobus et de celles du système. Ces expériences "par scénarios" permettront, dans un premier temps, d'enregistrer les réactions des conducteurs pour un grand nombre de situations d'Interactions Homme-Machine liées principalement au mode incidentel du système. Dans un deuxième temps, ces scénarios sont enrichis de contraintes de situation connues et possibles et ainsi, nous nous rapprocherons plus de l'activité future possible des conducteurs. Puis, ceux-ci étudiés, ils sont hiérarchisés en fonction de leur dangerosité. Enfin, le modèle de l'activité, "sans système", sera réutilisé pour aider à l'enrichissement et à la structuration des scénarios futurs à tester, après l'étude sur site fermé. Ensuite, je propose un modèle de l'activité du conducteur "avec système" pour montrer en quoi cela modifie l'activité du conducteur et voir si cela est acceptable pour la réalisation de sa tâche. Ce nouveau modèle sert de base de connaissances pour la démarche d'ingénierie cognitive liée à la conception future du système. Les résultats des scénarios expérimentaux permettent de conclure quant aux interactions possibles pour les opérateurs et le modèle nous guide pour les recommandations générales d'une interface mieux adaptée au conducteur. Cette démarche permet de respecter la logique de fonctionnement cognitif des opérateurs et de l'assister dans ses besoins réels.

Le chapitre 6 est centré sur le système de guidage CIVIS, prolongement de VISEE. Pour compléter les phases d'études à entreprendre pour sa conception (le prototype possède maintenant ses spécifications techniques), nous pourrions envisager les études qui permettent de finaliser la conception : une analyse bibliographique complémentaire sur les systèmes annexes sera engagée. Nous ferons également une étude approfondie d'une autre activité de référence, qui est celle des tramways, car celle-ci est très proche de l'activité future du nouveau système. Nous en ré-utiliserons les résultats, liés principalement aux variables situationnelles et environnementales que les conducteurs rencontreront avec le nouveau système dont on a alors une plus fine définition. Cette approche nous permet de bâtir des scénarios prédictifs de l'activité future possible, afin d'en dégager les recommandations indispensables pour la construction de l'interface du système. Cette analyse cognitive prédictive nous incite à cerner les situations d'interactions virtuellement délicates ou dangereuses pour les conducteurs et ainsi de prévoir ce qui sera à modifier ou ce qui est acceptable pour l'activité future avec le système.

La partie III analyse l'ensemble des trois systèmes selon une critériologie ergonomique permettant d'évaluer in fine si le système est ou n'est pas adapté aux conducteurs. L'évaluation porte sur l'efficacité et l'acceptabilité des actions et opérations engagées par le conducteur "in situ". Elle s'exécute avec des méthodes qui ont été décrites à la fin de la partie I, tout comme les six critères principaux qui la définissent : utilité, "utilisabilité", efficacité, non-dangerosité, fiabilité et satisfaction des opérateurs. Notons que l'évaluateur n'est pas aussi contraint que le concepteur par le déroulement temporel et logique des phases d'un projet et par la coordination d'une équipe d'ingénierie concourante. Les critères d'évaluation sont en effet concis et sériés, alors que les concepteurs doivent coordonner différents points de vue sur l'objet à concevoir, effectuer une analyse complète du but et des sous-buts (phase d'analyse du problème) et des solutions à trouver (phase de recherche de solutions). Cette troisième partie estimera donc, sur des critères précis et fiables, si ces systèmes sont acceptables et utilisables pour les conducteurs "d'autobus du futur".

PARTIE I – LE CONCEPT D'ASSISTANCE

CHAPITRE 1 : REVUE SUR LE CONCEPT D'AIDE ET D'ASSISTANCE A L'OPERATEUR

1.1. Revue sur le concept d'aide et d'assistance à l'opérateur

Cette thèse a pour objet la conception des systèmes d'aide à la conduite de véhicules. Elle s'inscrit dans la perspective du concept d'assistance technique à l'homme qui prend en compte de manière ciblée les caractéristiques de l'opérateur réalisant son activité. Notre apport à l'analyse et à la conception de systèmes d'aide à l'accostage d'autobus du futur est une approche "centrée sur l'homme", approche qui n'est pas toujours mise en valeur dans les études du domaine, par exemple l'expérience VOLVO en Suède pour l'accostage par filoguidage (1982).

Le concept d'assistance se réfère au besoin de pallier certaines limites à nos capacités, que celles-ci soient physiques, physiologique ou psychologiques, qu'elles soient momentanées ou définitives, naturelles ou accidentelles. Trouver le moyen d'être aidé est une préoccupation des hommes qui a existé de tout temps, que ce soit depuis l'invention des premiers outils à l'histoire récente des technologies dites "avancées", (Spérando, 2001).

Une autre cause de l'intérêt porté aux systèmes d'assistance technique à l'opérateur est liée aux dysfonctionnements constatés, voire aux incidents graves ou légers qu'ils ont pu entraîner. Dans le domaine du transport public, plusieurs études accréditent cette idée, par exemple Van Elslande (1992).

Certes, il faut souligner la diversité des types d'aides et sans vouloir les recenser tous, il est intéressant d'en présenter succinctement l'étendue étant donné la divergence entre des aides techniques de différentes provenances, telles une assistance pour grands handicapés ou une aide en ligne sur l'ordinateur qu'on utilise quotidiennement ou encore un moteur d'inférence sur Internet, un système d'aide au diagnostic médical ou un système d'assistance à la navigation aérienne. Même, au sein des systèmes d'aide à la conduite de véhicules, il existe des dissimilitudes certaines entre par exemple, un système d'aide à l'accostage et un système adaptatif de régulation de vitesse. Les contenus, les buts, les utilisateurs, les contextes d'utilisation, les moyens technologiques utilisés sont trop différents pour que l'on puisse les réunir dans une même famille. Néanmoins, tous sont rattachés au concept d'assistance technique à l'opérateur et de nombreux auteurs ont essayé de les différencier par catégories sans pour autant en retirer une classification consubstantielle. Spérando (2001) a suggéré quelques critères de différenciation pour les classer :

On peut s'intéresser au mode d'intervention de ses aides auprès de l'homme. Quelques unes d'entre elles sont destinées à remplacer l'humain pour certaines tâches (elles font "à la place") mais les systèmes complexes laissent toutefois "l'opérateur dans la boucle" puisque tout ne peut être automatisé, d'autres coopèrent directement en complément (elles font "avec" ou en plus). On utilise alors, même pour les aides cognitives, les termes médicaux de prothèse (en remplacement de) ou d'orthèse (en renforcement de) pour signifier ces deux types d'aides. Du point de vue de l'évaluation ergonomique, on va s'attacher à montrer leur utilité, leur "utilisabilité", leur efficacité et leur dangerosité.

Il peut s'agir également de la cible de l'aide : l'opérateur ou la tâche. Il existe en effet des aides permettant de surmonter des déficiences individuelles (par exemple pour une personne handicapée) et d'autres permettant d'assister l'opérateur humain dans l'accomplissement de son

travail, tant pour des tâches habituelles qu'exceptionnelles. Dans les deux cas, il s'agit de dépasser des limites mais celles-ci ne sont pas de même niveau. GIBUS, VISEE et CIVIS, les trois ensembles qui font l'objet de cette thèse, sont évidemment à inclure dans cette deuxième catégorie.

Une troisième catégorisation est relative à la permanence de l'aide : est-elle occasionnelle ou permanente, activée automatiquement ou à l'initiative de l'opérateur. Les auteurs recensent alors des assistances qualifiées de discrétionnaire, autonome ou imposée.

Une autre classification peut être envisagée selon l'exhaustivité du champ couvert par l'aide : totale ou partielle, selon sa profondeur ou encore son niveau "d'intelligence" implémentée dans le système.

Les aides peuvent également être recensées selon les fonctions humaines qui sont aidées : assistance à la force musculaire, assistance cognitive, physique ou mentale, au raisonnement... Les approches seront alors différentes selon les fonctions impliquées et les spécialistes concernés seront également différents du fait de l'étendue des compétences requises. Ainsi, on pourrait établir une typologie des systèmes d'aide en fonction du niveau d'intervention des aides dans la chaîne du traitement de l'information par un humain, celles-ci allant des processus élémentaires de la perception à ceux de l'action.

Nous verrons dans les chapitres qui vont suivre que des classifications ont également été établies pour les systèmes d'aide à la conduite de véhicules, le chercheur essayant toujours de donner sens et explication aux données observées ou recueillies.

Quelque soit l'intérêt de la classification des aides requise par celui qui les étudie, il convient de remarquer l'importance du rôle de l'homme dans son utilisation. En effet, les évolutions technologiques de ces dernières décennies ont modifié en profondeur le rapport entre l'homme et l'instrument, passant d'une situation où l'homme était utilisateur d'une machine à une situation où l'un et l'autre coopèrent maintenant pour atteindre un but commun (Falzon, 1992). Cependant, les approches rationnelles ou classiques de la conception des nouvelles technologies s'inscrivent trop souvent dans une pensée techniciste de la réalité qui dissocie le facteur technique du facteur humain, affirme Brangier (2000). Cette centration sur les seules dimensions techniques nous semble toujours présente et est probablement à l'origine d'erreurs, d'insuffisances, de dysfonctionnements, voire d'accidents. Au cours de ce dernier demi-siècle, beaucoup ont pris conscience qu'une approche basée uniquement sur la rationalité technique était un handicap pour une bonne conception. Néanmoins, subsiste toujours chez les concepteurs l'idée qu'il est peu utile de s'intéresser au Facteur Humain puisque les hommes s'adaptent à la technologie. Nous ferons, avant de définir le concept d'aide, un succinct tour d'horizon du domaine ergonomique pour montrer qu'une autre approche, celle considérant le point de vue de l'homme au travail en symbiose avec "l'outil", existe.

1.1.1. Vers une approche technique et humaine du concept d'aide et d'assistance

Une quinzaine d'approches, recensées sous des terminologies distinctes (Brangier, 2000) et véhiculant certains types de concepts, basées sur des recherches dans des disciplines connexes (psychologie, sociologie, physiologie, économie, ergonomie) ont concouru à défendre le point de vue de l'intérêt d'une étude de la relation de l'homme et de la technologie quand cette dernière l'assiste dans le travail à accomplir. La communauté ergonomique (par exemple,

Rabardel, 1995) qui considère les instruments de travail en fonction de leur usage par les utilisateurs n'a pas failli à montrer l'importance du facteur humain pour la conception des assistances à l'opérateur.

Plus qu'une approche particulière, depuis de nombreuses années déjà, des chercheurs considèrent que les tâches confiées aux opérateurs apparaissent marquées par l'importance du travail cognitif effectué et tous s'accordent à penser, comme Normam (1986) qu'il faut spécifier les interfaces conçues et les systèmes d'assistance en fonction d'études de la cognition de l'homme sur l'outil technique, au delà de l'étude des comportements², et révélée au moyen d'analyses des Interactions Homme- Machine³ existantes (Boy, 2000). D'autres soulignent aussi, comme par exemple Green & Jordan (1999), le rôle du facteur social dans la réalisation du travail. Diverses dimensions de l'homme sont donc à considérer quand on s'intéresse à leur activité de travail mais nous allons, dans un premier temps, donner quelques définitions à la notion de "système d'aide".

1.1.2. Aide et assistance à l'activité : définitions

Nous informons le lecteur que, tout au long de ce chapitre, nous emploierons indifféremment le mot aide et assistance car nous pensons que, dans le contexte des systèmes d'aide, ces deux mots sont équivalents.

Dans une thèse sur l'assistance à la conduite de situations dynamiques, Grosjean (1999) définit les systèmes d'aide comme des instruments censés assister l'individu qui les utilise. Pour lui, il y a "aide" quand il y a interaction de trois éléments : une tâche à réaliser et deux agents, le premier, celui qui est chargé de la réalisation de la tâche et le second celui qui assiste le premier dans cette réalisation. On distinguera donc la tâche du système aidé et du système aidant. Mais la notion d'aide recouvre des formes d'assistance différentes.

Différentes formes d'aide sont répertoriées dans le Petit Larousse (1996) qui les définit comme suit :

- Elles peuvent, par exemple, pour les aides concernant le travail physique, être composées "d'un dispositif destiné à amplifier, réguler ou répartir l'effort exercé par l'utilisateur du fait d'un apport extérieur d'énergie" .
- Elles sont également susceptibles, grâce à l'apport d'une technologie dite "intelligente" donc plus sophistiquée, de procurer une assistance à l'opérateur, par l'intermédiaire d'un ordinateur. Ces types d'aides, parfois issues de l'intelligence artificielle, sont en fait des formes de "coopération cognitive".

D'autres définitions complètent ce rapide répertoire quand on élabore un tour d'horizon des domaines de travail et d'activités :

² Le comportement est la partie observable de l'activité globale du sujet dans son interaction avec l'environnement. (Piéraud- Le Bonniec G. dans De Montmollin, 1995).

³ IHM : on définit l'Interaction comme le processus de confrontation entre l'homme et la machine, alors que l'interface n'est que la partie concrète de la "machine" (logiciel par exemple) servant aux échanges des informations avec l'utilisateur, De Monmollin, (1995). Cette confrontation peut dénoter des aspects divers tels les communications engagées et les raisonnements, l'apprentissage du fonctionnement de la machine, les compétences et expertises de l'opérateur.

- Hoc (1988) qualifie certains types d'aides comme des "aides contextuelles". Ce sont, par exemple, des aides informatives délivrées sous forme de texte à l'opérateur pour le seconder dans sa tâche de planification. Ainsi, un mode opératoire peut être affiché sur sa console de travail en fonction de la procédure qu'il est en train de traiter. Une notice d'utilisation peut, également être fournie comme assistance.
- Enfin, certaines aides peuvent provenir de collaborateurs placés pour pallier les déficits d'une personne handicapée (Grosjean, 1998). Ces collaborateurs pour pallier les déficits humains (physiques ou mentaux) peuvent également intervenir dans la mise au point d'une interface communicante (Spérandio, 1991), (Dessaigne, 1995).

Nous reviendrons dans la suite de ce chapitre sur les différentes formes que peuvent prendre les systèmes d'assistance et leur éventuelle catégorisation. Auparavant nous allons préciser, afin de mieux cerner les systèmes d'aide à la conduite, ce que sont les rapports entre l'opérateur, l'instrument et l'objet de l'activité, trois éléments qui composent le système homme - tâche dans lequel va s'insérer le nouveau système d'assistance. Nous empruntons les éléments qui suivent à une synthèse réalisée par P. Falzon (1997) sur les activités cognitives au travail.

1.1.3. Les notions d'opérateurs, d'instruments et d'objet de l'activité

Ces trois éléments concourent à la réalisation du travail par l'intermédiaire de ce que l'on peut nommer un système "homme – machine". L'homme est celui qui effectue les différentes tâches sur lesquelles porte l'objet de son activité. L'instrument, au sens large du terme, permet à l'opérateur d'exercer son activité. L'objet de l'activité doit également être compris au sens large du terme puisque celui-ci peut être soit physique soit conceptuel, sachant que de nombreuses activités complexes sont de nos jours conceptuelles. Par exemple, si nous considérons le cas de l'industrie chimique, l'objet de l'activité de l'opérateur porte sur le processus à surveiller plutôt que sur le produit utilisé ou les machines-outils pour réaliser la tâche.

On constate aussi qu'il existe des cas où le travail s'effectue sans l'intermédiaire d'un instrument. Il faut donc donner au mot "instrument" un sens très extensif. Les instruments qui permettent le travail de l'homme sont nombreux et variés. Ceux-ci peuvent représenter un simple outil, par exemple un tournevis, mais aussi une machine-outil, un véhicule, un système-expert, voire un système d'aide. Ils sont potentiellement reconnus pour avoir des finalités différentes. Certains d'entre eux peuvent être considérés comme des extensions du corps, par exemple une clef à mollette va permettre une meilleure préhension de certaines pièces et d'autres, comme des extensions du cerveau réalisant différents traitements d'informations à la place de l'opérateur (système d'aide à la décision ou au diagnostic médical, par exemple). On peut alors parler d'instrument en forme de "prothèse cognitive". Depuis environ vingt ans, en raison des évolutions technologiques, les instruments deviennent plus souvent des systèmes symboliques que des objets physiques. Enfin, ils ont une place variable dans l'activité, selon qu'on les envisage comme moyens d'actions et/ou d'information sur l'objet de l'activité ou comme objet de l'activité. Par exemple, certains considèrent la voiture comme une sorte d'extension du corps qui permettra de se déplacer plus rapidement sans trop se fatiguer. On peut également juger qu'une voiture est un système à contrôler. Le conducteur de celle-ci réalise en fait deux tâches : l'une, la principale, consiste à se rendre d'un point de départ à un point d'arrivée en ayant planifié son trajet auparavant, en effectuant plusieurs tâches sensori-motrices pour le maintien du véhicule sur la bonne voie ; l'autre, la tâche secondaire, consiste alors à surveiller que le véhicule fonctionne correctement. On peut considérer que le développement technologique de ces dernières

décennies a renforcé le nombre de tâches qui impliquent une double activité, souvent en compliquant la seconde.

Rabardel (1993), évoque la complexité des liens entre l'objet de l'activité et l'instrument. L'instrument utilisé contraint la représentation mentale de l'objet de l'activité construite par l'opérateur. L'objet de l'activité détermine les fonctionnalités des instruments. Ainsi, il distingue la notion de "fonctionnalité à remplir" de celle "d'objet matériel" que l'on confond trop souvent. Il semble qu'un objet matériel acquiert le statut d'instrument lorsqu'une fonctionnalité lui est attribuée. Un instrument peut donc avoir, de fait, différentes fonctionnalités. L'auteur distingue donc l'objet, des usages qui en sont faits et souligne que c'est l'interaction objet-usage qui crée l'instrument :

- Les tâches peuvent impliquer un choix de l'outil approprié, on parle alors d'accès, par la fonction, à l'instrument.
- Une vocation secondaire à un outil peut lui être attribuée : il s'agit d'une fonctionnalité supplémentaire, a priori, à une orientation technique bien précise (par exemple, un téléphone pour maintenir une pile de documents sur votre bureau).
- En l'absence de l'objet attendu pour une tâche spécifique (un marteau pour planter un clou), on peut en utiliser un autre (une chaussure), ce qui suppose que n'importe quel objet peut être "instrumentalisé".

Enfin, il faut rappeler que le changement d'instrument pour réaliser une même tâche modifie l'activité et pour se recentrer sur la conduite de véhicules et ses différents systèmes d'aide, on peut indiquer que les diverses études relatées dans cette thèse (§ 2.3.1, 2.3.2, 4.6, 5.6, 6.5) montrent effectivement les variations de l'activité des conducteurs en situation de conduite avec un système d'aide.

1.1.4. Evolution de la notion d'aide

Un système d'assistance est un nouvel instrument pour le travail à réaliser. La notion d'aide technique s'est construite historiquement plus particulièrement au cours des dernières décennies. Elle découle directement des rapports que l'on a instaurés entre l'opérateur, l'instrument et l'objet de l'activité, et ceci, du fait des évolutions technologiques qui ont eu lieu au cours de ce dernier demi-siècle.

Ces trois éléments sont donc les parties principales qui composent un système homme – tâche dans lequel le système d'aide va être inséré. Selon la place que l'on accorde à l'instrument dans le travail quatre points de vue structurels sont repérables. Le premier a consisté à penser que l'on pouvait remplacer l'homme par les automatismes. Les trois suivants ont été fondés sur les concepts développés dans l'approche "système homme machine" et notamment sur l'idée d'une bonne communication entre l'homme et la machine. Le problème ergonomique principal ainsi rencontré est finalement celui qui nous concerne pour notre sujet de thèse, à savoir, l'adaptation des dispositifs de contrôle – commande à l'opérateur dans l'espoir de permettre une bonne émission, une bonne compréhension, une bonne réception des informations et une exécution aisée de la tâche. Voici un résumé des quatre hypothèses envisagées :

Remplacer l'homme par les automatismes, une utopie ?

L'idée principale de l'ère du machinisme consistait à penser qu'il fallait remplacer l'homme par des automatismes qui auraient supprimé certaines tâches difficilement réalisables. L'idée sous-jacente était que les automatismes allaient se substituer à l'homme pour certaines tâches car il était insuffisamment rapide et compétent pour ces activités dites "productives". Nous

passerons sur tous les développements de ce type d'idée dont plusieurs auteurs ont dressé un inventaire rigoureux. Bainbridge (1983-1987) a très bien su expliciter ce qu'elle appelle "les ironies de l'automatisation". Celles-ci peuvent se résumer en perte de compétences, en création de nouvelles activités se surajoutant et surchargeant le travail originel, par des débrayages d'automatismes qui entraînent des erreurs nouvelles sur les machines non surveillées, enfin, par la création d'activités de surveillance inappropriée à l'intelligence humaine. Aujourd'hui, un bilan sur les effets de l'automatisation à outrance a été établi, notamment dans les travaux de Clot (1995) qui montrent que remplacer complètement l'homme par les automatismes est utopique avec de nombreux exemples à l'appui. L'homme serait dans une boucle de décisions où il ne possède pas tous les éléments pour agir. Enfin, l'auteur pense que la notion d'aide est née de ces expériences passées, en révisant le concept d'assistance, non pas comme une suppression d'une quote-part du travail humain, mais comme devant être vu dans son rapport avec "le tout" de l'activité réelle des personnes.

L'instrument est un intermédiaire entre l'opérateur et l'objet de l'activité

Dans les années 70, une des problématiques pour l'ergonomie était l'adaptation des dispositifs de commande - contrôle à l'homme. L'instrument est alors considéré comme un intermédiaire entre l'opérateur et l'objet de l'activité. Il se doit d'être "transparent" pour permettre un accès facile à l'objet de l'activité. Il doit également être "compatible", c'est-à-dire assurer une bonne représentation de l'objet à la représentation mentale de l'opérateur. Ses différentes propriétés sont l'utilité (définir si l'instrument apporte quelque chose d'intéressant pour la réalisation de la tâche), "l'utilisabilité" (facilité d'utilisation, compatibilité à l'homme, tolérance aux erreurs) la dangerosité (l'outil ne va-t-il pas produire des effets secondaires à risque pour l'homme et le travail), l'efficacité (qui se mesure en terme de but visé, de temps gagné, d'erreurs évitées, de charge de travail et de confort), la fiabilité (le composant humain, caractérisé par ses capacités et limites) et la satisfaction des opérateurs. De nombreuses études ergonomiques corroborent ces principes et nous verrons que ces critères sont toujours ceux qui nous permettent d'évaluer les systèmes d'assistance au travail.

L'ère de la tâche principale et de la tâche subsidiaire

Dans cette nouvelle approche, par ailleurs citée dans notre thèse (§ 1.1.9), l'instrument apparaît comme l'une des conditions d'exercice du travail. On y distingue deux tâches : la tâche principale portant sur l'objet de l'activité et la tâche subsidiaire qui rend compte de la manipulation de l'instrument. On a étudié "l'utilisabilité" de ce dernier, tout d'abord dans le cadre des systèmes homme - machine, puis dans le domaine de l'ergonomie des interfaces et/ou de l'ergonomie des logiciels. Un autre point important à souligner dans cette approche est que l'instrument détermine le travail et influe sur l'activité. En changeant celui-ci, on change le travail. Tout changement doit donc être envisagé avec prudence et être contrôlé quant à ses impacts sur l'opérateur. Par ailleurs, il faut être attentif au fait que les systèmes d'aides modifient souvent l'activité, c'est-à-dire qu'une dégradation de l'activité principale est souvent constatée et une activité secondaire s'ajoute pour l'opérateur, ou bien encore une partie de la charge de travail est déplacée sur l'activité annexe qu'est la tâche subsidiaire. Par exemple, dans l'utilisation d'un système d'aide d'accostage d'autobus, on peut se demander si la tâche secondaire sur le système d'aide (prélever de l'information sur la distance au trottoir) va être bénéfique (elle sera alors subsidiaire) ou contraignante pour le conducteur, elle sera alors parasite. On peut envisager différentes formes de réponses à cette question selon la conception de l'interface, mais également selon l'objectif poursuivi ou encore en fonction du moment d'utilisation ou des événements liés à l'environnement. Nous verrons que certains systèmes d'aides à l'accostage permettent d'améliorer l'accessibilité mais ne sont pas pour

autant reconnus comme "utilisables" par les conducteurs (voir chapitre 4 à propos du système GIBUS).

Vers une coopération "intelligente"

Le dernier type d'approche concerne les études dont nous avons déjà parlé dans les paragraphes précédents, la coopération intelligente. Les développements technologiques de cette dernière décennie nous ont conduits à la conception de systèmes dits "intelligents" (systèmes avec base de connaissances). L'homme n'est plus un simple utilisateur de la machine mais elle coopère avec lui pour la réalisation d'une tâche. L'instrument devient une véritable assistance cognitive à l'opérateur. Il peut alors y avoir coopération de deux systèmes cognitifs pour la réalisation du travail. Les ergonomes ont à définir, quand ils interviennent sur les projets, les modalités de ces coopérations. Les prémisses de leurs études sur cette question sont en général l'étude détaillée des activités de collaborations verbales entre opérateurs. Ces connaissances permettent de mieux concevoir car elles permettent de bien connaître l'activité mise en jeu, ses difficultés, les pratiques verbales à reproduire, celles permettant des collaborations possibles et efficaces. Nous soulignons le fait que l'étude des activités de collaborations verbales peut également être réalisée pour des systèmes qui ne sont pas qualifiés de totalement coopératifs car elle peut permettre une bien meilleure connaissance des stratégies mises en œuvre par les opérateurs et ainsi aboutir à un meilleur couplage du système à l'activité de l'homme. Différents exemples peuvent être cités :

- Dans le domaine de l'ingénierie des systèmes intelligents, les développements de certains systèmes dits "par la réponse" qui consistent à donner à l'opérateur les renseignements dont il a besoin pour résoudre une question, apparaissent très critiquables comme le soulignent Woods & Roth (1988). Ces auteurs notent que ce mode interdit l'apprentissage, que leur conception est mal faite dans le sens où les experts humains sont rarement consultés pour tenir le rôle imparti aux systèmes experts (fournir des solutions), mais doivent plutôt aider d'autres opérateurs à trouver des solutions aux problèmes qui les concernent. Enfin, les solutions proposées semblent parfois inappropriées et l'intervention de l'homme devient alors de nouveau nécessaire.
- D'autres systèmes basés sur l'assistance aux stratégies de résolution sont en cours d'études et montrent à ce jour leurs limites car ils contraignent parfois trop l'opérateur au suivi d'un plan déterminé et rigide (Visser, 1989), indépendant de l'essence même du raisonnement humain, plus proche d'une heuristique.
- Enfin, l'idée d'une allocation des tâches en fonction des capacités de chacun (la machine et l'homme) est une idée récurrente (Falzon, 1992). L'adaptation à l'opérateur se ferait en fonction d'un modèle de ses compétences et de la représentation du problème. Néanmoins, il semble difficile dans cette perspective dynamique d'allocation des tâches, de définir qui va être à un instant "t" celui qui mène le jeu (Milot, 1988).

Il en résulte que la notion "d'utilisabilité" des instruments d'aide de ces systèmes coopératifs, de même que pour les autres systèmes collaboratifs doit être largement étudiée. Nous reviendrons sur celle-ci dans les prochains chapitres.

1.1.5. Des systèmes d'aide adaptés, adaptables et adaptatifs

L'ergonomie a, entre autres, pour objectif la conception de systèmes d'assistance "adaptés". De nos jours, les concepts de systèmes dits "adaptables" et "adaptatifs" sont introduits (Falzon, 1997) par différents auteurs. Une revue rapide des concepts sous-jacents entre ces différents pôles peut s'avérer pertinente pour la compréhension du concept de système d'aide.

Des systèmes "adaptés"

Les auteurs défendant l'idée de systèmes dits "adaptés" se situent dans une approche "statique" de l'homme au travail. Celle-ci suppose que la situation de travail est "figée". Dans ce cadre là, à l'issue de son étude, l'ergonome aurait accompli l'analyse complète de la situation approfondie et serait capable de fournir des recommandations uniques pour la conception du système.

Des systèmes "conçus dans l'usage " et "adaptables"

Dans la notion "d'adaptable", c'est l'utilisateur qui règle certains paramètres, de manière plus ou moins consciente d'ailleurs. Rabardel (1995) a défendu l'idée d'une "conception dans l'usage", c'est-à-dire qu'il faudrait établir à partir des usages des opérateurs avec leur nouvel outil. L'idée sous-jacente est de faire remonter "l'usage" dans la conception. Cette approche, pourtant classique sur l'apport de solutions en ergonomie, n'est pas toujours appliquée dans le monde de la conception du fait de l'impossibilité des phases suggérées par le concept énoncé. L'idée de base intéressante quant aux systèmes "adaptables" est que l'on doit tenir compte tant de l'évolution des systèmes que de celle des personnes. Comme il semblerait difficile de tout prévoir au niveau des usages qui devraient encore évoluer après la mise en service du système, il faudrait ainsi continuer la conception après la production de ces systèmes. L'idée de "la conception continue" en est issue (Rabardel, 1995). Celle-ci nous semble néanmoins difficilement organisable dans le monde industriel aussi suggérons nous de réaliser les études préconisées en amont, c'est-à-dire pendant les différentes phases de la conception, ce qui nous semble alors plus facilement réalisable.

Des systèmes "adaptatifs"

La notion de "systèmes adaptatifs", introduite par Cahour & Falzon (1991) est pertinente dans le cadre des systèmes coopératifs. Elle renvoie à l'idée de dispositifs capables de s'adapter à leurs utilisateurs mais à partir d'une modélisation de l'activité possible et plus ou moins complexe. Un système adaptatif va fournir une aide adéquate en fonction de son niveau de connaissance (inféré) et de son expérience dans le domaine. L'opérateur y apparaît aussi changeant, variable, apprenant. Une autre notion de l'adaptabilité est développée dans Bellet, Tattegrain-Veste et Chapon (2001). Il s'agit de s'adapter soit au contexte soit aux usages de l'utilisateur d'un système que l'on va observer "en activité". La question actuelle à propos des "systèmes adaptatifs" est celle d'une éventuelle utopie de conception quant à ces systèmes remplaçant ou prolongeant la mode des systèmes experts de la décennie précédente. On manque encore de données, d'expériences et de modèles pour parvenir à bien les concevoir.

1.1.6. Les formes d'assistances

Après avoir expliqué comment se situaient les systèmes d'aide dans la triade opérateur/activité/instrument et quelles en sont les conséquences sur la notion d'aide technique, revenons à la caractérisation des formes de l'assistance à l'opérateur.

Brangier (2000) a répertorié, à la suite de nombreux auteurs les dispositifs d'assistance, en fonction du but qu'on leur assigne :

- Informer l'opérateur,
- Collaborer avec l'opérateur,
- Pallier les déficits de l'opérateur.

L'auteur liste les formes d'assistances et leurs caractéristiques afin d'établir un répertoire complet. Il distingue les aides informatives, celles "collaboratives" et d'autres palliatives. Nous enrichissons ce répertoire de nos analyses et remarques personnelles.

L'assistance informative

Elle permet de donner à l'opérateur des informations pour la tâche à réaliser, parfois sous une forme procédurale. C'est l'individu qui choisit néanmoins de l'employer ou pas.

Dans le domaine de la conduite de véhicule, les systèmes d'information routière font partie des aides informatives. Le système GIBUS, présenté au chapitre II.1. est également un système informatif. Dans l'exemple que nous développons par ailleurs au paragraphe I.1.3, nous montrerons que certains systèmes d'aide à la navigation sont considérés, à tort pensons-nous, comme des aides informatives. L'assistance propose en effet au conducteur des informations (textes, images, messages audio) interactives et autorise des collaborations pour suivre l'itinéraire le menant jusqu'à la destination envisagée.

Il existe également dans le domaine de l'assistance informative, des aides textuelles mais aussi des aides logicielles de type hypertextuel.

Les aides textuelles renvoient à une multitude d'activités et de situations de travail diverses. Elles peuvent remplir différents rôles : memorandum des activités de contrôle, médiateur entre l'homme et sa tâche, support à la sécurité des individus, circulation de l'information dans l'entreprise, consignes. Elles évitent à l'utilisateur une activité de planification trop contraignante au cours de l'exécution rapide d'une tâche et les guides schématiques permettent de définir le problème posé au niveau des fonctions à prendre en considération et des contraintes utilisées (Hoc,1988).

Les aides logicielles de type hypertextuel sont plus complexes que les précédentes et sont issues de la logique HTML du Web. Elles permettent, en plus d'explorer le contenu d'une page de texte, d'y réaliser des opérations et commandes, par le biais de liens relatifs au contenu de la page elle-même. Le sujet doit au préalable repérer les buts correspondant aux tâches à effectuer (sélectionner et mémoriser des informations, en faire une synthèse...).

L'assistance collaborative

Ce genre d'assistance permet la collaboration entre un agent d'assistance (humain ou technique) et un opérateur disposant de ressources limitées. En principe, dans ce type d'aide, l'assistant pose des questions, participe au diagnostic et éventuellement à la résolution de problèmes en secondant l'opérateur dans la décision qu'il doit prendre. Il ne se contente pas de présenter des informations comme cela est le cas dans les aides informatives. Ces assistances sont basées sur des applications informatiques plus symboliques que numériques ; il s'agit en général d'outils d'aide à la décision d'une personne jugée insuffisamment experte pour résoudre seule la question. Elles ont également pour objectif de réduire la charge de travail de l'opérateur, d'améliorer la performance et d'éviter les erreurs. Les applications développées modélisent et simulent des comportements dits "intelligents" dans un domaine bien défini. Elles manipulent des bases de connaissances construites avec des algorithmes de raisonnement ou de savoir-faire en utilisant des principes liés à l'intelligence artificielle, souvent basés sur des heuristiques relatives au problème à traiter. Plusieurs de ces systèmes à bases de connaissances, par exemple un certain nombre de systèmes experts liés au diagnostic médical, développés dans le passé, se sont malheureusement avérés simplistes, inadaptés ou inutiles de par leurs lacunes. Les plus récents le sont moins.

Au cours de cette dernière décennie, les études réalisées ont montré les difficultés de ces systèmes quant à la formalisation des communications entre l'expert et le système :

- Comme le souligne Salembier (1992), il faut savoir dissocier la compétence de communication avec le système de celle du domaine de connaissances référé, ce qui n'est pas toujours le cas.

- Plusieurs auteurs, par exemple Grunsenmeyer et Trognon (1997) ont souligné la question de la différence de représentation du problème à inclure dans le système conçu selon que l'on est expert ou novice. Il s'agit de fait de savoir représenter dans la base une divergence des points de vue entre novices et experts d'un domaine pour la résolution d'un problème.

Nous préférons parler "d'assistance coopérative" pour ce type d'aides car nous pensons qu'une confusion s'installe trop aisément sur les termes "collaboratif" et "coopératif". Il nous semble donc nécessaire de préciser notre définition des termes "collaboration" et "coopération", sachant que leur étymologie⁴ ne les distingue guère et que ces termes peuvent s'appliquer à des registres très différents ce qui entraîne les confusions souvent relevées : relations sociales, traitements cognitifs et actions de l'opérateur mais aussi systèmes d'intelligence artificielle d'un formalisme particulier utilisés par des hommes, tels ceux cités ci-dessus.

Dans la littérature scientifique, on note (C. Martin, 1998) que l'on a pour habitude d'utiliser le terme "collaboration" quand des individus dans leurs relations sociales, sans travailler habituellement sur un même objet, mettent en commun leurs connaissances ou leurs compétences pour traiter une situation particulière. Il faut pour le faire, une représentation suffisante du travail de l'autre et un référentiel commun minimum. Pour Bannon et Schmidt (1991), collaborer est l'une des formes du travail coopératif. Il semble donc qu'il faille distinguer la collaboration de la coopération, cette avant-dernière n'étant qu'une des formes possibles de cette dernière. En effet, comme le précise De la Garza (1995), la coopération met en jeu des opérateurs travaillant sur un même objet, ou un objet qui leur est proche, dans une relation de dépendance mutuelle. Il faut surtout qu'il y ait un but commun entre les deux partenaires, le partage des moyens n'étant ni nécessaire, ni suffisant.

Ainsi pour nous, dans les systèmes d'aide, le terme "coopératif" dénote bien les fonctions réalisées par un système à intelligence intégrée : il s'agit, comme la définition le précise, d'un système bâti à partir d'une base de connaissances qui permet à l'opérateur d'agir ensemble pour atteindre un but commun.

Mais dans la littérature, certains ne distinguent pas les systèmes coopératifs des mécanismes cognitifs (la coopération et la collaboration) engagés par l'homme utilisant un système d'aide ou tout autre instrument de travail. On peut en effet penser qu'un travail tant cognitif (analyse de la situation, interprétation, synchronisation avec l'outil, planification de l'action...) que d'exécution d'actions soit collaboratif et engagé par l'homme pour mieux utiliser son système, qu'il soit palliatif, informatif ou "coopératif". On devrait alors parler de la collaboration engagée par l'homme sur ce système qui peut lui-même collaborer sur certaines sous-tâches s'il est coopératif. Cette collaboration peut aller jusqu'à la coopération totale si les objectifs des deux protagonistes (autant hommes que système) concordent. Il faut donc convenir que des collaborations et parfois des coopérations (au sens cognitif) peuvent exister entre l'homme et un système. Favoriser les collaborations relatives à l'intelligence humaine sur une machine même limitée (par exemple un système en partie automatisé auquel l'homme doit s'adapter) est là tout l'enjeu de l'intervention de l'ergonome pour la conception des systèmes d'aide.

⁴ "cum operate" pour coopérer et "cum laborate" signifient tous les deux travailler avec. La distinction entre ces deux termes tient au fait que le premier signifie travailler dans le sens de "faire une œuvre" alors que le second indique la notion de labeur, de souffrance et de peine. On retrouve ici les deux sens fondamentaux de "travail".

L'assistance palliative

Elle a été développée pour remédier aux difficultés des handicapés moteurs et cognitifs afin de les assister sur des tâches qu'ils ne peuvent accomplir eux-mêmes. Ces aides peuvent être composées d'automates qui vont se substituer à la personne pour accomplir un travail qu'elle ne peut réaliser elle-même du fait de son handicap ; par exemple, un bras manipulateur permettra de saisir les objets environnants ou un logiciel rappellera des données à un amnésique qui ne peut les mémoriser du fait de son handicap. Notons que ces aides palliatives peuvent être composées d'aides informatives et d'aides physiques ou automatiques, telles que celles que nous avons définies dans les exemples de l'introduction de ce chapitre.

La catégorisation des aides énoncée par Brangier (2000) nous semble en partie juste, comme nous venons de l'expliquer ci-dessus. Nonobstant, nous tenons à préciser qu'il faut, pour bien comprendre, savoir que ces catégories ne sont pas mutuellement exclusives. En effet, nous allons montrer dans notre domaine que certains systèmes d'aide à la conduite recouvrent plusieurs d'entre elles.

1.1.7. L'assistance entraîne un processus de collaboration entre l'homme et l'outil

L'un des fondements de l'assistance à l'opérateur est liée au fait que l'on peut penser ou que l'on constate qu'il rencontre des difficultés dans l'exécution de son travail. Une aide pourrait lui permettre de mieux atteindre son objectif.

Selon Grosjean, (1998), les systèmes d'assistance technique apparaissent de nos jours comme participant directement à la réalisation de la tâche de l'opérateur :

"L'assistance est alors appréhendée comme un processus, un résultat liés à un mode de coopération entre une aide et un opérateur. Cette coopération provient généralement de l'incapacité de l'un ou de l'autre des agents à réaliser à lui seul la tâche de manière satisfaisante".

Nous pouvons préciser que la collaboration qui, quand elle est totale devient une coopération entre l'assistant et l'assisté est bien un processus et que celui-ci implique une tâche complémentaire : la coordination des deux agents, c'est-à-dire la gestion des échanges d'information et la répartition judicieuse des tâches entre eux. Nous constatons en effet que la coopération, au sens strict du terme, n'est pas toujours totale puisque, comme nous l'avons dit déjà, le but n'est pas toujours partagé jusqu'à la fin de l'activité. Néanmoins, les collaborations sur l'ensemble de l'activité à réaliser incluent une tâche complémentaire que l'ergonome doit savoir appréhender pour mieux concevoir.

Dans la littérature scientifique, nous relevons que si la collaboration qui, quand elle est totale devient une coopération entre l'assistant et l'assisté est bien un processus et que celui-ci implique une tâche complémentaire : la coordination des deux agents, c'est-à-dire la gestion des échanges d'information et la répartition judicieuse des tâches entre eux. Millot, (1988) ajoute des éléments supplémentaires quant à la compréhension de ces mécanismes d'interférence et de coordination en énonçant qu'ils peuvent être positifs auquel cas, ils contribuent au "savoir coopérer" ou qu'ils peuvent être négatifs car concurrents ou antagonistes, ce qui provoque des conflits que le "savoir coopérer" devra résoudre. Les processus de collaboration et de coopération à l'outil sont donc importants à analyser dans le cadre d'une conception de systèmes d'aide et d'assistance.

1.1.8. Les effets de l'assistance

En général, les systèmes d'aides sont des instruments conçus pour améliorer la performance, le confort, la sécurité et l'efficacité de travail de l'opérateur. Dans la réalité, les constats sont parfois différents ou sont à pondérer quant aux bénéfices recueillis. Trop souvent, on constate que la charge de travail de l'opérateur bénéficiant, a priori, de l'aide n'a pas diminuée. Si le système d'aide est plus ou moins bien adapté, il arrive que l'aide génère une tâche supplémentaire. En effet, il est difficile de concevoir des systèmes entièrement adaptés aux hommes, aux stratégies qu'ils mettent en œuvre et aux situations qu'ils conduisent.

Brangier (2000) synthétise les effets d'une assistance, tantôt positifs, tantôt négatifs en les répertoriant comme suit :

- "Les aides modifient l'activité des individus, leurs représentations, leurs compétences, leurs processus cognitifs, leurs performances.
- Ces modifications ne sont pas toujours positives en termes d'acquisition de nouvelles compétences et d'accroissement au niveau des performances. Il subsiste des difficultés d'ordre cognitif et psychosocial.
- Les changements observés semblent dépendre des caractéristiques des aides (leur contenu, leur forme, leur qualité, etc.), de la situation d'utilisation et de la perception que les opérateurs en ont.
- La performance que les aides permettent d'atteindre est liée aux caractéristiques de ces dernières mais ne semble pas déterminée strictement par celles-ci. D'autres facteurs interviennent, provenant de la situation, de l'organisation, des interactions entre l'homme et le système d'assistance."

Les effets de l'aide ne sont donc pas à l'avance autodéterminés et dépendent entre autres de trois facteurs qu'il faut analyser pour chacun des systèmes :

- De la pertinence des fonctionnalités qui lui sont assignées. Par exemple, pour GIBUS on verra qu'il faut vérifier (§ 4.6) que la planification des actions à engager pour l'utilisation du système, telle que donnée par l'écran situé au centre du tableau de bord, est adaptée aux capacités de l'homme et appropriée aux objectifs de tâche de l'opérateur.
- De leur niveau "d'utilisabilité" (facilité, compatibilité, tolérance aux erreurs de l'opérateur...) auquel il faut veiller. Les trois systèmes que nous avons étudiés seront passé au crible de cette liste de critères.
- Des modes de régulation qui se développent entre l'organisation possible pour l'homme et son assistance technique. Il nous faudra ainsi analyser les Interactions Homme-Machine pour montrer que l'aide permet des régulations dans les limites temporelles qui lui sont mandées.

Ces trois derniers facteurs ne sont ni indépendants ni disjoints.

Pour ce qui concerne la conduite de véhicules, un exemple négatif mais souvent constaté que nous pouvons donner quant aux effets des aides en service actuellement est leur sous-utilisation ou leur rejet, quand l'un d'eux s'avère mal adaptée au conducteur.

1.1.9. La notion d'aide dans le domaine de la conduite de processus

L'étude des systèmes d'aide dans le domaine du contrôle de processus nous a paru intéressante car, à certains égards, l'activité de conduite de véhicules se rapproche de celle de contrôle de processus. Dans les deux cas, elle se déroule dans un contexte dynamique à

maîtriser et les aspects de prise et de traitement d'information sont souvent identiques (diagnostic par exemple). On peut également noter comme caractéristiques communes la présence d'incertitudes relatives aux données provenant de différentes sources, et enfin la présence éventuelle de risques nécessitant l'attention de l'opérateur pour savoir les analyser et les évaluer rapidement dans le but de les maîtriser. On a souvent tendance à rapprocher les activités du contrôle aérien, de la conduite de train et de navire et les processus industriels du fait des caractéristiques communes relevées. Passons en revue différents travaux de ce domaine pour discerner en quoi ils peuvent nous être utiles quant à la compréhension des systèmes d'aides à la conduite.

Norman (1986) avait précisé les caractéristiques des deux parties du système d'aide : la mise en place de système aidant est liée au fait que l'un et l'autre (l'homme ou le système aidé) sont incapables de réaliser seul, l'opération demandée, concept que l'on retrouve dans le domaine du contrôle de processus. En agissant seul, l'homme ou le système risqueraient de rencontrer des difficultés que l'on espère améliorer avec la conjonction des deux entités. Deux points de vue différents pour l'activité effectuée grâce à l'aide :

- Pour certains, aider consisterait, pour le système aidant, à participer à la réalisation de la tâche assignée au système aidé. La tâche globale resterait la même et serait simplement répartie entre deux agents.
- D'autres, c'est-à-dire la majorité des auteurs, tel Millot, (1988), affirment que cette aide implique l'adjonction d'une tâche complémentaire : gérer la répartition, coordonner les deux acteurs, leurs interférences et leurs conflits éventuels, en quelque sorte réaliser une tâche de coordination souvent prise en compte par l'opérateur. Cette dernière ne serait pas à négliger car elle est source de travail supplémentaire pour l'opérateur.

Nous faisons ici référence aux fameuses "tâches principales et secondaires" (la coordination n'étant qu'une partie de la tâche secondaire) mentionnées précédemment dont la démonstration de l'existence a été faite sur un grand nombre de systèmes d'aide. Nous insistons sur le fait que la coordination entre l'homme et le système est donc incluse dans cette partie de tâche secondaire qu'il faut analyser. Actuellement, dans un système d'aide, la tâche de coordination revient en général au système humain.

Il est important de bien percevoir l'ensemble des dimensions d'une tâche pour évaluer quelles parties le système aidant réalise, ou mieux encore, devrait réaliser. À ce niveau, l'analyse de l'activité pratiquée par les ergonomes peut devenir pertinente : savoir prendre en considération la tâche et l'activité réelle, ses objectifs et ses conditions de réalisation (en quelques sortes, préciser les aspects liés à l'Interaction Homme-Machine) permet de montrer la part de coordination que l'on peut confier à l'homme mais aussi les caractéristiques de l'interface pour que celle-ci soit adaptée à l'homme et aux besoins du travail. Les concepteurs ayant négligé ces points ont souvent échoué, d'une part parce qu'ils n'ont pas toujours su bien répartir les sous-tâches entre les deux partenaires et d'autre part, du fait de la méconnaissance des limites et capacités diverses d'un individu, par exemple, celle liée au fait de traiter beaucoup d'informations en peu de temps. Enfin, certains ne se sont attachés qu'aux aspects limités de l'interface et ont également échoué car pour bien concevoir une interface, il faut avoir, en préambule, étudié les Interactions Homme-Machine, ce qui n'est pas toujours le cas, notamment quand les ingénieurs se réfèrent à une liste de recommandations ergonomiques générales.

Certains des auteurs montrent que la notion d'aide dans la conduite de processus est très proche de la notion de travail en coopération. Pour que celle-ci se réalise, il faut combiner les trois points suivant :

- 1) la nature des deux systèmes cognitifs en présence,
- 2) la répartition des responsabilités et des compétences entre les deux partenaires,
- 3) la décision de l'agent à prendre en charge la coordination des activités entre les deux partenaires.

D'autres auteurs décrivent des systèmes d'aides liés au contrôle de processus et nous apportent des éléments essentiels pour la compréhension de ces systèmes en conduite de véhicules :

- De Keyser (1988) a établi une catégorisation des aides qui permet la caractérisation de la conduite de processus et tient également compte des niveaux de traitement cognitif de l'information. Elle souligne que, même si le degré d'assistance est sur un support d'aide dite "informative", différents niveaux d'intelligence (au sens de diagnostics cognitifs divers) peuvent se retrouver sur celui-ci. Pour l'auteur, c'est plus dans la phase de conception de l'outil qu'au cours de son fonctionnement que cette intelligence doit être considérée pour être utile et efficace. Ce dernier point semble intéressant à retenir pour les concepteurs, d'ailleurs, nous y prêtons toujours une attention réelle lors de nos participations à la conception de systèmes. Pour transposer vers un exemple nous concernant, par exemple la conception du système GIBUS, nous montrons que "l'intelligence" a été précodée, même si elle est présentée sous une forme "informative" aux conducteurs. Nous soulignons le fait que, bien que GIBUS ne soit pas un système coopératif, la forme sous laquelle va être présentée l'information à l'opérateur a été réfléchi pour s'adapter à ses modes de raisonnement et ses réactions : on essaie d'intégrer son "intelligence" dans l'écran informatif pour que la tâche qui lui est confié soit compatible avec ses capacités et limites temporelles. On va en effet monter (paragraphe 4.6. et 4.7.) que présenter "une tâche de poursuite" sur l'interface de l'aide informative, (l'écran se colore progressivement pour montrer qu'on se rapproche du trottoir) ou présenter un résultat ("6" qui signifie vous êtes à 6 cm du trottoir) à l'opérateur est une forme d'aide informative mais le diagnostic effectué est différent pour aider à l'accostage. Les effets du choix de l'un ou l'autre diffèrent sur la maîtrise de la conduite. Le premier détourne plus longtemps l'attention du conducteur et l'empêche de se livrer à d'autres tâches plus urgentes à cet instant précis de l'accostage. Nous verrons cependant que cette adaptation particulière aux raisonnement et réactions de l'homme n'étaient en fait pas suffisante pour maîtriser tous les paramètres de l'interaction et ainsi préjuger du choix définitif de l'interface. En effet, nous verrons qu'un certain nombre de critères doivent être balayés pour bien concevoir.

D'autres approches existent quant à la notion d'aide. Il s'agit de celle des défenseurs de la cognition distribuée (Hutchins, 1995) et de celle de la Théorie de l'activité (Lontiev, 1981), (Nardi, 1996), (Kuuti, 1996).

- Concernant la cognition distribuée étudiée sur des projets où plusieurs opérateurs collaborent (par exemple dans l'aéronautique), la frontière entre les outils techniques et les processus cognitifs de l'opérateur est fortement réduite. Les auteurs insistent sur le fait qu'une même fonction peut se trouver tout à tour sur un outil (appelés aussi artefacts) et dans la mémoire de l'agent humain du fait de paramètres comme de la charge de travail, le niveau de compétence ou de familiarité avec la tâche. L'idée est

de faire circuler dynamiquement les informations entre les deux systèmes selon les contraintes de la situation. Il ne faut pas figer la répartition des rôles entre les agents. Les artefacts servent de prothèses cognitives aux pilotes et interviennent également dans l'organisation de l'action en transformant le fonctionnement du système cognitif que l'on veut restructurer globalement. Notons que ce qui est à ce jour possible dans l'aéronautique ne l'est pas forcément en conduite de véhicules terrestres.

- Dans la théorie de l'activité, les interactions sociales sont considérées comme l'élément déterminant du développement cognitif et l'on se questionne sur les relations entre les individus et l'artefact, notamment sur "le processus de médiation et d'intériorisation des artefacts". Les organes fonctionnels deviennent "des configurations de ressources internes et externes", tournées vers un but.

Ces différentes approches des systèmes d'aides à la conduite de processus permettent de montrer que la frontière entre l'aide, l'outil, l'interface et la situation de travail s'estompe (Grosjean, 1998). L'auteur craint qu'on ne définisse comme assistance tout élément d'une situation susceptible de faciliter la tâche de l'opérateur. La situation de conduite de processus pourrait alors apparaître comme une superposition de couches successives d'outils la dernière conservant, du fait de sa nouveauté, le statut d'aide.

Selon les auteurs évoqués ci-dessus, c'est donc le statut de l'interface, mais aussi la situation de conduite dans son ensemble (nous appelons cela l'interaction entre l'opérateur, l'outil et l'environnement) qui différencient les acceptions du terme aide. Ces différentes approches soulignent la complexité des systèmes d'assistance. Il faut constater que la définition de l'aide à l'opérateur dans le domaine du contrôle de processus peut varier selon les différentes opinions évoquées.

Pour conclure ce tour d'horizon du domaine de contrôle de processus et pour établir le parallèle avec les systèmes d'aides de la conduite de véhicules, nous soulignons qu'il semble très important de préciser, en conception, pour chaque type de systèmes et aux vues de leurs versions possibles (car ces ensembles évoluent rapidement), leurs caractéristiques techniques et humaines. Il faut étudier entre autres, quelles fonctions (informative, substitutive, coopérative) y sont intégrées et à quels niveaux, quelle forme d'intelligence y est inscrite, si celle-ci a été modélisée suite à une analyse de l'activité des opérateurs pour déterminer les besoins réels de l'assistance. Il faudra aussi établir clairement les modes de collaborations cognitives utilisés par les conducteurs pour s'adapter à leurs nouveaux systèmes d'assistance. Enfin, il faudra veiller à la phase d'appropriation de ce nouveau système d'aide. En quelque sorte, il convient de s'intéresser aux aspects de l'Interaction entre l'Homme et la Machine avant ceux de l'interface.

1.1.10. Des critères généraux pour l'évaluation des systèmes d'aides

L'usage en ergonomie consiste à contrôler que les systèmes répondent à plusieurs critères d'évaluation afin de vérifier qu'ils soient adaptés à l'opérateur et à l'activité à effectuer. Ce contrôle sera réalisé pour nos systèmes dans l'analyse conclusive de cette thèse, partie III.

En général, pour évaluer des systèmes, on identifie et examine six critères qui sont l'utilité, "l'utilisabilité", l'efficacité, la fiabilité, la dangerosité et la satisfaction des opérateurs. Voici commentée ci-dessous, la liste des critères d'évaluation que nous avons utilisée pour valider les systèmes d'aide à la conduite conçus.

L'utilité des aides

L'utilité des aides consiste à identifier l'intérêt réel pour les opérateurs d'un produit, de l'interface ou du système d'assistance conçu. Il s'agit de vérifier si les fonctionnalités

nouvelles apportées par le système d'assistance correspondent aux besoins de l'activité de l'opérateur. Pour juger ce critère, on rencontre en général deux types de difficultés : tout d'abord, on se heurte à l'hétérogénéité des populations concernées (une assistance n'est pas toujours utile pour tous) et enfin la croyance que l'utilisateur est bon juge de sa situation de travail. Pour juger de l'utilité des aides, notre opinion est que diverses contraintes relatives à l'homme doivent être passées en revue : contrainte biomécanique, physique et physiologique, contrainte cognitive, contrainte psychologique et sociale de l'individu. Quelques problèmes sont en effet rencontrés :

- L'élaboration de nouveaux produits ou systèmes provient rarement de la demande d'utilisateurs, mais plutôt d'une analyse de "besoins" ou d'une étude de marchés (marketing) qui traduisent deux approches distinctes avec des objectifs différents. Les concepteurs fabriquent de nouveaux produits pour diverses raisons. Tout d'abord, parce qu'il existe un marché potentiel (raisons économiques), parfois peu défini mais à satisfaire, ensuite, pour ne pas être devancés par des concurrents.
- L'impact du développement de nouvelles technologies est à considérer. Il faut rappeler que les produits sont parfois conçus sans référence aux besoins réels, tout simplement du fait de l'émergence et de la disponibilité de nouvelles technologies. Quelquefois, ils deviennent inutilisables, voire inutiles.
- Ces nouveaux outils doivent être construits pour améliorer les performances humaines ce qui n'est pas toujours le cas. Une technologie émergente et disponible à un instant "t" pour la conception d'un artefact se doit, de notre point de vue, d'être centrée sur l'homme qui va l'utiliser, même s'il ne faut pas occire l'innovation.
- Enfin, on peut également considérer des différences liées à l'utilité sociétariaire et à l'utilité pour un individu ou un groupe d'opérateurs. Par exemple, un produit peut apparaître comme très utile pour la société mais néfaste pour ceux qui l'utilisent directement. Il faut donc également distinguer ce qui est de l'ordre de l'utilité sociologique et de l'utilité individuelle.

Vérifier l'utilité d'une aide consiste donc à définir si l'instrument conçu est nécessaire à la réalisation de la tâche. L'assistance opérée est-elle un gain pour le travail à accomplir, est-elle sans coût nocif supplémentaire pour l'homme ? Décharge-elle l'opérateur ou lui rend-elle la tâche impossible ? Comment peut-on dès lors juger de l'utilité des aides en dehors de l'analyse marketing et des besoins sommaires qui ont pu être réalisés ? Il nous semble que deux approches sont possibles.

- Recueillir l'avis des utilisateurs : il s'agit souvent d'une enquête après la mise en service du produit. Il faut savoir que les avis relèvent quelquefois de l'expertise technique de l'opérateur mais parfois de leur subjectivité. Très souvent, nous constatons une résistance au changement de l'opérateur qui n'est pas toujours empreinte d'objectivité. Par ailleurs, les enquêtes "utilisateurs" sont souvent réalisées pendant ce que l'on nomme la phase "d'appropriation du système". Au cours de cette phase, les intéressés vont devoir passer par plusieurs étapes avant de pouvoir réellement utiliser correctement et sans fatigue le nouvel outil dont on ne sait pas encore s'il correspond aux besoins et s'il ne va pas entraîner des effets non désirés. Les avis prélevés à ce moment-là peuvent donc être très fluctuants selon la compétence acquise ou non. D'autres enquêtes "utilisateurs" peuvent être faites en amont du projet, lors de l'analyse des besoins. Hormis le fait que celles-ci doivent être bien réalisées pour être utiles à la conception, ce qui n'est pas acquis au premier abord, il faut savoir que l'on peut être confronté à deux problèmes cruciaux. Tout d'abord, l'échantillon des utilisateurs de référence peut ne pas exister, notamment pour la conception d'un nouveau produit. Enfin, pour des raisons diverses (mauvaise

démonstration ou explication du concepteur, imprégnation de l'outil actuel...), les opérateurs ne projettent pas toujours le futur projet correctement (par manque de connaissance ou du fait de l'imprégnation de routines antérieures liées au métier) pour avoir un avis que l'on peut qualifier de fiable. Existe en effet ce que l'on pourrait appeler un syndrome de résistance au changement.

- Engager une expertise ergonomique quant à l'activité actuelle et future pour en vérifier l'adéquation au travail de l'homme et en corriger ou en diminuer les défauts constatés. La méthodologie empruntée par les ergonomes permet de rendre compte des situations d'usage des systèmes d'assistance et de leurs fonctionnalités. Elle facilite la reconnaissance et un bon recouvrement entre la tâche réelle et la tâche future assistée. Cette analyse est a priori une "description logique et normative des activités de l'opérateur visant l'éclaircissement de leur travail réel" (Bisseret, 1982). L'ergonome devra également recueillir des informations sur le champ social et psychologique de l'opérateur, car ces dimensions ne sont pas sans incidence sur le déroulement de l'activité. Cette analyse souscrira enfin à mesurer l'adéquation du système d'aide futur à la performance, au confort et à l'efficacité du travail de l'opérateur. Elle permettra de préciser si les fonctionnalités développées sont ou non utiles pour le travail à accomplir. Le diagnostic basé sur une analyse objective et subjective sera peut-être plus complet qu'un simple avis d'opérateur. Nous illustrerons ce point dans le chapitre réservé aux études du système GIBUS.

Au final, l'ergonome pourra juger de l'utilité ou non de l'aide apportée, mais il devra aussi jauger, par la précision de son étude, de son "utilisabilité", de son efficacité, de sa fiabilité et de sa dangerosité quant à la sécurité des personnes transportées et de celles localisées dans d'autres véhicules.

"L'utilisabilité" des aides

Il s'agit de déterminer si les compétences et capacités physiques, psychologiques, sociales et cognitives des individus censés réaliser la tâche sont suffisantes pour le faire sans difficulté. "L'utilisabilité" d'un système est caractérisée par la facilité avec laquelle on apprend à s'en servir en toute sécurité (Boy 1999). Un certain nombre de critères, notamment issus de l'ergonomie des logiciels d'interfaces, par exemple Scapin (1990) et Patesson (1996), mais applicables aux systèmes d'assistances, permettent de passer en revue les fondements liés à "l'utilisabilité" des aides conçues. Notons que si nous utilisons ces critères liés aux interfaces Homme-Machine pour préciser le champ restreint de "l'utilisabilité" des aides, nous ne perdons pas de vue, comme Boy (1999) qu'une conception doit se réaliser dans le contexte plus large de l'Interaction Homme-Machine. L'auteur souligne la nécessité de ne pas confondre Interaction Homme-Machine et interface Homme-Machine. L'étude des interactions doit en effet amener, entre autres, à l'analyse, la conception puis l'évaluation d'une interface.

Nous recensons ci-dessous les sous-critères à vérifier lors d'une évaluation de l'interface :

Facilité d'utilisation: Il s'agit de donner un accès aisé à l'objet de l'activité. Dans la conception, il faut vérifier l'optimisation des actions de l'opérateur au détriment des actions relatives à l'application elle-même.

Capacité suggestive : On doit comprendre facilement (affordance) quelles sortes d'opérations et de manipulations sont possibles sur le système d'aide. Il s'agit donc d'une propriété de l'objet conçu.

Visibilité ou accessibilité : Il doit exister une bonne relation entre les commandes de l'interface et leurs effets, entre les buts et les besoins du pilote et les fonctions disponibles, (Norman,1986). Une commande doit, la plupart du temps, avoir une seule fonction et le feedback du système doit être compréhensible aisément. En fait, les relations entre les buts de l'utilisateur, les actions requises et les résultats ne doivent pas être arbitraires ou opaques. Il faut savoir que l'utilisabilité d'un système n'augmente pas avec le nombre de fonctions différentes dont il dispose.

La lisibilité : Celle-ci survient après le processus de visibilité. La lisibilité consiste à identifier un message ou symbole quelle que soit la modalité sensorielle utilisée (auditive, visuelle, tactile). Nous verrons au chapitre III quels sont les points précis qui la rendent optimale.

L'attention : Il s'agit d'une tâche de surveillance dans laquelle on inclut l'inspection et la détection d'un signal. En ergonomie, on peut parler des exigences de l'attention et des erreurs dites d'inattention. Celles-ci sont parfois liées aux excès de taux d'occupation de l'opérateur à une autre tâche, point qui nous intéresse plus particulièrement. Dans ce cadre, l'opérateur est contraint de prendre en charge plus de tâches que le temps dont il dispose ne lui permet. De ce fait, on parle alors d'indisponibilité sensorielle pour l'accomplissement de la nouvelle tâche. On peut en déduire que, pour l'activité de conduite avec système d'aide, il faut vérifier que l'attention à l'activité principale soit toujours suffisante. Les paramètres à passer en revue sont sa localisation dans le champ de travail, l'intensité des alarmes (quelle que soit la modalité sensorielle utilisée : auditive, visuelle, tactile) et la saillance. L'un des remèdes est donc de veiller à libérer l'attention du conducteur, au bon moment.

Flexibilité : C'est la capacité d'adaptation du système aidant aux utilisateurs : le nombre d'options, de procédures différentes mises à la disposition de l'utilisateur pour atteindre un même objectif.

Complexité : La complexité d'une application doit découler des seules caractéristiques déterminées par la tâche de l'utilisateur. En aucun cas, elle ne doit se baser sur l'éventail de possibilités fournies par l'environnement technique de développement. On cherchera, d'une manière générale à minimiser le nombre d'options redondantes permettant, en un point donné du dialogue, d'aboutir à un même objectif, sauf si ceux-ci s'avèrent sécuritaires. En ce qui concerne la complexité, la composition des informations données, visuellement ou auditivement pendant la conduite doit être étudiée. Par exemple, il faut juger si la proposition d'une carte géographique pour se localiser lors du parcours d'itinéraire répond à un besoin réel ou à une possibilité offerte par l'environnement technique de développement. Les éléments apportés à ce propos dans le paragraphe 2.3. 1. sont probants. Il peut être dangereux d'utiliser une carte, certes attrayante visuellement, mais pouvant distraire le conducteur de son activité principale (conduire pour se rendre à une destination choisie) et secondaire (suivre un itinéraire programmé). Le conducteur doit piloter son véhicule en priorité, et donc prélever les informations nécessaires sur l'environnement extérieur en veillant avant tout à sa sécurité et à celle des autres. Poursuivre son itinéraire doit donc être une tâche qui nécessite peu d'attention et peu de détournement du regard. Un système tel que celui de CARIN (sans cartographie pendant la conduite jusqu'à la destination programmée) peut permettre d'atteindre l'objectif car la tâche est isomorphe à la représentation mentale du conducteur, sans information supplémentaire et inutile comme le procure une carte dans ce cas-là.

Compatibilité : Il faut que le système soit compatible avec l'opérateur, c'est-à-dire qu'il respecte ses capacités de divers ordres à effectuer la tâche ; par exemple il doit laisser à l'opérateur suffisamment de temps pour prélever l'information sur la route sans trop détourner son regard, sinon il sera déclaré incompatible avec l'activité à réaliser.

D'autres auteurs, tels Wiener et Curry (1991), ont classé ces critères en insistant sur la répartition des fonctions de contrôle et surveillance entre l'homme et la machine. Pour eux, l'affectation des fonctions reste le problème fondamental à résoudre dans le domaine des systèmes à risques. Celle-ci doit être guidée par des critères "d'utilisabilité" basés sur des heuristiques.

Nous concluons par trois remarques :

- D'une part, plusieurs disciplines (par exemple l'ingénierie, l'ergonomie, les sciences sociales, la psychologie cognitive) concourent à la conception et à la validation de ces systèmes. Cet objectif nécessite de trouver des solutions qui intègrent tous les aspects du travail, tant ceux cognitifs que sociaux. Le temps où l'on pouvait trouver des solutions par l'intermédiaire d'un simple modèle mathématique relevant d'une complexité restreinte, traitant d'un problème lié à la machine ou d'une simple adaptation de l'homme (par exemple biomécanique), semble révolu.
- D'autre part, que ce soit pour des interfaces informatiques ou des systèmes d'assistances embarqués dans un véhicule, il est nécessaire de passer en revue les différents critères liés à "l'utilisabilité" d'un produit. Néanmoins, si l'on souhaite que l'évaluation soit complète, il faut réaliser malgré tout l'analyse des scénarios d'utilisation donc faire au préalable l'analyse des Interactions Homme-Machine ce qui n'est pas toujours réalisé.
- Souvent appelé en phase finale de conception pour une simple évaluation des systèmes, l'ergonome ne peut plus alors faire effectuer les modifications nécessaires. Dans le travail exposé dans la partie II de cette thèse, nous réalisons d'abord les études de conception (sauf pour l'étude succincte de GIBUS, § 4.3) puis nous réalisons l'évaluation de ces systèmes en les passant au crible des critères d'évaluation répertoriés en ergonomie (partie III de la thèse).

L'efficacité des aides

L'efficacité résulte des moyens et plus particulièrement de la mise en œuvre de ces moyens. Elle dépend donc assez largement de "l'utilisabilité". L'efficacité se mesure en termes de buts atteints, de temps gagnés, d'erreurs évitées, de charge de travail diminuée, de confort. Elle peut varier selon les compétences de l'opérateur.

La fiabilité des aides

Nous préférons considérer, comme Kasbi-Prost, dans De Montmollin, (1995), le point de vue de la participation humaine à la fiabilité du système qui doit aussi être considéré avec l'incidence du contexte et de la situation car la fiabilité ne doit pas être réduite à la question de la "non défaillance" du système seul ou de la récupération possible des erreurs. Ainsi, les capacités de confiance, d'anticipation, de prévention, d'intervention humaine dans les situations non prévues, qui sont l'expression des compétences de l'homme, représentent une composante centrale de la fiabilité.

La dangerosité des aides

Rappelons que la conduite automobile peut être, par nature, dangereuse. Les accidents de la route entraînent, en effet, plus de 8000 morts par an (8264 en 1997). Les aides à la conduite projetées par les concepteurs devraient donc être des instruments qui diminuent cette dangerosité.

Par ailleurs, d'après Gaillard & Cuny, (2002), la principale information à retenir des Statistiques Nationales de la CNAMTS (Caisse Nationale d'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés) est que près de la moitié des accidents mortels déclarés en accidents du travail (45%) sont des accidents de véhicules en circulation au sein des entreprises. Il faut néanmoins considérer que les accidents du travail représentent une petite part des accidents (600 morts par an) qui surviennent chaque année. Là aussi, des systèmes d'aide sont utilisés (contrôle de processus, avionique, assistance médicale...) et on ne sait pas, aujourd'hui qu'elle est leur incidence dans les accidents du travail. Dans les deux cas, il faut que les concepteurs de systèmes d'aides soient attentifs à la dangerosité potentielle des outils qu'ils développent et mettent sur le marché. La question récurrente quant à ces systèmes est la suivante : du fait d'une éventuelle mauvaise adaptation à l'homme ou à son activité, l'outil ne va-t-il pas produire des effets directs ou secondaires comportant des risques pour l'homme, son travail et les autres personnes ? Il existe, en effet, une crainte réelle de créer de nouveaux risques ou de nouveaux dangers à cause de ces systèmes. L'émergence du Principe de Précaution, énoncé dans la loi Barnier de 1995, mise sur un nouveau rôle de l'action et de la prévention vis-à-vis du risque. Dans le domaine du transport, ces principes ne sont pas suffisamment appliqués pour les nouveaux systèmes, bien qu'évoqués par les Pouvoirs Publics ou par les ergonomes qui soulignent la notion de conflit possible entre l'assistance préconisée et le conducteur.

Pour les systèmes d'aides à la conduite de véhicules, les principaux dangers que nous répertorions sont les suivants :

- Focalisation sur le système trop prégnante (détournement de l'attention), même si elle paraît réalisable en polarisant peu le regard ou par le biais de phases découpées de fixations oculaires.
- Temps de prélèvements de l'information trop longs qui contribuent à détourner l'attention du conducteur et l'empêche d'accomplir une partie de sa tâche, ce qui peut être plus ou moins grave. Les concepteurs omettent parfois de quantifier ces possibles scénarios quant à l'utilisation du système d'assistance.
- Temps de réponse demandés aux conducteurs trop courts.
- Charge de travail accrue par l'utilisation du système, et notamment en phase d'appropriation de celui-ci, qui peut entraîner fatigue, stress, inattention et provoquer des accidents.
- Concernant les ensembles substitutifs, les situations de reprise en main du système, doivent faire l'objet d'une analyse sérieuse qui n'est pas toujours réalisée.
- Le système est dangereux dans certaines conditions critiques d'utilisation, par exemple à trop grande vitesse ou dans certains virages.

D'autres dangers peuvent encore être répertoriés selon la spécificité des systèmes. Il convient à l'ergonome de savoir les lister et de préparer les scénarios de son activité future pour les tester expérimentalement afin d'en vérifier le risque potentiel.

La satisfaction des opérateurs

Nous résumons succinctement les points importants :

- La satisfaction est liée à l'expérience limitée des opérateurs,

- Les opérateurs se satisfont parfois de systèmes médiocres du fait qu'ils ne vont pas à l'encontre de leurs habitudes,
- Les nouveaux systèmes nécessitent souvent des changements d'habitudes alors que les opérateurs aiment en général conserver leurs habitudes, c'est la fameuse question de la résistance au changement. Il est donc conseillé d'être prudent sur cette question.

En ergonomie, la satisfaction d'un opérateur doit être considérée après la prise en main réelle du système, après la phase d'appropriation du système.

Ces différents critères évaluatifs sont en principe passés en revue par l'ergonome après les phases de conception, celles-ci étant souvent réalisées par des ingénieurs. Nous avons déjà souligné qu'il est important de réaliser et de participer aux phases de la conception d'un produit car leurs évaluations arrivent souvent tardivement, à un moment où l'on ne peut plus agir sur la conception si des problèmes sont constatés.

1.1.11. Méthodologies pour concevoir des systèmes d'aides

Il est en général plus aisé d'évaluer un système que de le concevoir (le doute est toujours présent quant au résultat) car l'évaluation porte sur l'efficacité et l'acceptabilité des actions et des méthodologies proposées (Falzon 1997). Par ailleurs, l'évaluateur n'est pas aussi contraint que le concepteur par le déroulement temporel des phases d'un projet. Enfin, les critères d'évaluation sont sériés et concis, tels ceux auxquels nous nous référons au § 1.1.10. Il arrive néanmoins qu'on réalise des évaluations (parfois partielles) au cours de la conception.

Participer à la conception de systèmes est très différent. Des études, par exemple, Darses (2001) ont montré que les concepteurs opèrent en mettant en œuvre des mécanismes et des méthodes singulières pour concevoir des systèmes. Il s'agit de coordonner des points de vue différents, nombreux et parfois incompatibles sur l'objet à concevoir, en entremêlant des niveaux d'abstraction d'ordre divers. Une analyse complète du but et des sous-buts (phase d'analyse du problème) est effectuée, les solutions trouvées ou à trouver (phase de recherche de solutions) ne se développent pas toujours au travers de transformations successives des données sur un axe allant simplement du conceptuel au physique de l'objet comme on pourrait l'attendre.

L'une des questions fondamentale abordée dans cette thèse souligne la discussion du choix des méthodologies pour la conception de produits ou de systèmes en ergonomie. Galinier (1996) parle de "la méthode théorique concernant la manière d'aborder la pratique de la conception de "produits". Cette méthode doit développer, d'après l'auteur, une approche centrée sur l'utilisateur, l'utilisateur étant lui-même "concepteur du produit" par le fait que la conception se poursuit dans l'utilisation, ce deuxième point nous semblant discutable au regard du cycle d'étude et de production des systèmes conçus. En effet, nous pensons qu'après la mise en service d'un produit, il devient difficile de modifier quoi que ce soit. Pour revenir au premier point, l'une des difficultés majeures dans la conception des artefacts (objets susceptibles d'un usage) nous semble résider dans le fait que les logiques d'utilisation des opérateurs (qui, de plus, évoluent elles aussi avec les produits) ne sont pas, en partie, celles des concepteurs fortement axées sur la technique qui transcrivent plutôt la logique de fonctionnement des systèmes. Pour intégrer la diversité, la multiplicité et la variabilité des utilisateurs et des contextes, il faudrait penser les objets différemment. Pour cela, il faut concevoir autour des schèmes d'utilisation⁵, ce qui revient à considérer "la dimension

⁵ Le schème d'utilisation se construit à partir de la notion de schème d'action (Piaget). Celui-ci apparaît comme un instrument des échanges entre le sujet et le milieu, un instrument d'assimilation mentale. L'assimilation se manifeste par la «reconnaissance des situations où le

évolutive des artefacts au travers de celle des utilisateurs et implique une gestion du rapport aux schèmes existants, de la structuration des artefacts en fonction des classes de situations significatives et de la dimension individuelle de l'usage". Il faut donc, entre autres, tenir compte de la culture existante de la population des utilisateurs, en l'occurrence, les habitudes de conduite et de l'aménagement des postes de travail actuels. Cette culture existante se caractérise par la présence de schèmes structurant les activités des conducteurs. Ces schèmes impliquent une logique propre à l'utilisateur, qu'il convient de connaître. Notre analyse par "scénarios" permet cette approche structurante. Ainsi, tenir compte de la variabilité des utilisateurs est l'un des enjeux de la conception, cela permet également de se centrer sur ses collaborations avec le système. Enfin, pour appréhender l'usage, il convient de le faire sur des situations dynamiques, ce que nous proposons par les diverses formes que nous donnons à ces scénarios : scénarios expérimentaux, de situations réelles quand cela est possible, et scénarios prédictifs. Galinier considère deux approches en ergonomie pour apporter une aide efficace à la conception :

- la voie rétroactive qui s'apparente à une approche évaluative de la situation en cours de conception, consistant à formuler des pronostics afin de réorienter le processus en cours, de manière à replacer la dimension humaine au sein du processus de conception.
- la voie proactive, qui suggère qu'il faut compléter l'analyse de l'activité par "la définition de classes de situation significatives pour l'opérateur du point de vue de l'activité qu'il a à mettre en œuvre".

Notons que cette deuxième voie correspond à ce que nous appelons " l'analyse par scénarios" dans notre approche. On peut de la sorte observer, dans des classes de situations étudiées, plusieurs modes opératoires. On se réfère alors à l'usage, ou plutôt "aux usages" quant à l'outil mis en œuvre alors que souvent, dans la conception rétroactive, un seul est considéré (l'on se base sur la procédure de travail). Ainsi, la réalisation de nos modèles de l'activité (annexe1, § 5.4.2, § 5.6) permet de bien décrire ces usages différents. Cependant, contrairement à l'auteur, nous pensons, notamment du fait des contraintes réelles de conception imposées par les industriels, que ces usages peuvent (et doivent) être définis avant et pendant la conception. Même si l'opérateur "attribue des significations particulières aux propriétés fixes de l'artefact définissant à l'origine sa fonction". Les usages doivent être cernés avant la conception et non lors de la mise en service (ou après) du système ou du produit, comme le suggère l'auteur. Pour nous, "la diversité d'instruments propres à chaque utilisateur lui permettant de répondre à ses objectifs dans des contextes diversifiés" doit en effet être cernée en amont si les ergonomes souhaitent participer à la conception des produits. L'analyse par "scénarios", expérimentaux sur site fermé pour tester la dangerosité des systèmes conçus, la connaissance approfondie de l'activité réelle de référence par un modèle descriptif et l'utilisation de "scénarios prédictifs" pour finaliser les études quand on connaît les contraintes situationnelles et les spécifications du système (mais que l'on peut encore agir sur elles) sont là pour le montrer. Ces outils permettent en fait de cerner raisonnablement les situations d'Interaction Homme-Machine, pour nous véritable enjeu de la conception. C'est en effet par leur analyse détaillée que nous pouvons apporter des recommandations finales pour la conception d'interfaces adaptées à l'homme. Nous considérons ainsi que définir une interface adaptée ne consiste pas à définir la couche superficielle d'un artefact quelconque ni à établir une relation binaire entre l'artefact et l'opérateur. Si l'essentiel de l'interaction réside pour la conception,

schème est applicable c'est-à-dire reproductible, et par sa transposition généralisatrice à des situations nouvelles », Cellérier (1979).

dans la définition d'une interface adaptée, il est nécessaire de la penser de façon à ce qu'elle englobe à la fois ce avec quoi les opérateurs agissent, et ce sur quoi ils cherchent à agir, ce que nous essayons de réaliser dans nos travaux. Il s'agit en fait de tenir compte des situations d'interactions, des collaborations entre l'homme et la machine pour adapter ces systèmes d'aide, même ceux qui ne sont pas "intelligents" ou "coopératifs" et qui concernent seulement la semi-automatisation d'une tâche. Enfin, tenir compte du contexte apparaît comme une priorité dans les études sur les systèmes, quels qu'ils soient. Etudier le contexte consiste à envisager les différentes situations possibles (normales, critiques, incidentelles), même si l'exhaustivité de tous les cas ne peut pas être atteinte. Notre démarche s'inscrit donc dans une approche proactive. On pourrait également la qualifier "d'anthropocentrée" à l'homme (Chapon A., Tattegrain-Veste H., Bellet T., 1995). Elle répond cependant à une demande des industriels dans des phases de conception détaillées puis finales d'un système où il nous semble important que les ergonomes interviennent en tant que concepteur.

Notre démarche de concepteur de systèmes d'aide comprend néanmoins quelques limites : lors de l'approche par modèle descriptif (et non explicatif) de l'activité, nous avons tenté d'apporter une base de connaissances sur l'activité précise de conduite qui permettra d'énoncer des éléments pour la conception des systèmes eux-mêmes. Celle-ci devant être utilisée directement pour les recommandations liées à la conception, elle n'a néanmoins pas été formalisée pour servir de base à la réalisation d'un simulateur informatique. Cette démarche de recueil de connaissances pour la réalisation d'un simulateur pourrait cependant être envisageable et utile si un projet de recherche était, à cet effet, bâti suffisamment en amont du projet de conception du système. Cette base de données descriptives de l'activité pourrait toutefois être utilisée dans cette optique (à condition d'être formalisée différemment) car elle reflète les données réelles et fines pour une bonne réalisation de l'outil simulateur (être réaliste). Elle pourrait ainsi contribuer à concevoir des nouvelles techniques d'aide intelligente soucieuse de respecter la logique de fonctionnement de l'opérateur (Bellet, 1998) pour l'assister selon ses besoins réels et coopérer avec lui de la façon la plus harmonieuse possible. Par contre, pour ce type de projets, les délais de réalisation sur la définition d'un projet industriel sont à situer à beaucoup plus long terme.

A propos des méthodes permettant la conception, on peut constater, sans être péremptoire, qu'elles sont à ce jour non stabilisées. Si certains auteurs ont recensé les méthodes d'analyse et d'évaluation des systèmes, par exemple Specht (1996) qui liste cinq groupes de méthodes (que l'on utilise également en conception) pour leur évaluation et inventorie les techniques d'entretiens et de questionnaires, les expérimentations, les simulations, les analyses d'accidents et les observations en conduite réelle, nous pensons qu'elles sont parfois insuffisantes si on les utilise une à une. Il faut souvent les combiner (par exemple, expérimentation sur site fermé, puis en situation réelle) pour faciliter la conception. Nous considérons que l'utilisation de modèles descriptifs de l'activité des opérateurs (modèles d'ailleurs tant descriptif que prédictif pour le système CIVIS) et l'utilisation de "scénarios" d'activités (tant expérimentaux, que de situations "réelles" et d'autres "prédictifs") peuvent être des outils complémentaires qui aideront à mieux concevoir.

Enfin, concernant l'état des connaissances sur le fonctionnement cognitif de l'homme, notamment en situation de travail et plus particulièrement pour le domaine de la conduite de véhicules, nous savons que des résultats sont encore attendus pour bien le décrire et bien le comprendre. Un répertoire sommaire de ces connaissances sur la tâche de conduite et ses mécanismes est dressé au chapitre I.2.1 de cette thèse. Notre contribution aura été de tenter de décrire finement l'activité d'accostage des autobus (modèle descriptif de l'activité) pour mieux la cerner mais encore une fois, notre but était de concevoir des systèmes d'aides adaptés. Nous soulignons en l'occurrence que notre objectif n'était pas celui d'une recherche fondamentale. Néanmoins, ce modèle descriptif avait pour ambition de ne pas se borner aux comportements

observés mais bien de décrire l'ensemble des données que l'on puisse recueillir (même si elles ne sont pas visibles) sur l'activité (anticipations, raisonnements, perception des informations, diagnostic, choix de solutions, actions et commentaires personnels sur les contraintes de travail, les styles de conduites) de l'homme au travail. Nous considérons en effet que "l'homme est un tout", ce dont nous essayons de tenir compte pour que la conception soit véritablement "anthropocentrée". Les méthodes utilisées, par exemple la Technique des Protocoles Verbaux (TVP) de Ericsson & Simon (1984) pour l'analyse des verbalisations et des raisonnements peuvent paraître fastidieuses pour ce type d'études mais elles garantissent, pensons-nous, l'objectivité des données recueillies. Elle nous permettent d'avoir une vision qui rend compte correctement de la variabilité humaine (effectif : 30 personnes pour l'établissement du premier algorigramme, 10 pour chacune des expériences suivantes).

CHAPITRE 2 : LES AIDES A LA CONDUITE DE VEHICULES

Dans ce chapitre, nous précisons, dans un premier temps, pour une meilleure compréhension des systèmes d'aide à la conduite, ce qu'est l'activité de conduite de véhicules et dans un deuxième temps, nous reviendrons sur les formes d'assistances mais cette fois-ci, plus précisément dans le domaine de la conduite de véhicules.

2.1. Qualification de l'activité de conduite dans un contexte routier

Plusieurs approches sont dénombrées quant à la description de l'activité de conduite. Elles aboutissent parfois à des modèles de conducteur ayant évolué avec les années : modèle du risque zéro, modèle de l'évitement de menace. D'autres approches, qui ne synthétisent ni les différentes possibilités de la tâche de conduite, ni les différents modèles existants du conducteur, demeurent. Seule est exposée dans ce chapitre l'approche la plus récente et la plus complète qui décrit le mieux l'activité de conduite dans son ensemble en tenant compte de tous des processus humains, notamment les processus cognitifs de l'opérateur. Pour une revue élargie, le lecteur intéressé peut se reporter à la thèse de Bellet (1998) traitant de ces approches.

La conduite dans un contexte routier a fait l'objet de nombreuses études. Beaucoup l'ont décrite sous la forme d'un enchaînement d'actions et de perceptions à réaliser. Des études psychophysologiques ont contribué à l'avancée des connaissances sur cette question : Tarrière et Hartemann (1966), Pottier A. (1984), Neboit (1980), Malaterre et Saad (1986), etc. Elles ont porté sur l'étude des performances des conducteurs, sur leur sécurité physique et leur confort mais également sur la fatigue, l'attention et l'hypovigilance.

Si l'activité biomécanique et kinesthésique dans la conduite n'est pas à négliger, Michaut (1968) a été l'un des premiers à l'ONSER à avoir tenu compte des capacités du conducteur à traiter l'information et du contrôle de sa charge mentale de travail. C'est l'un des précurseurs de l'analyse cognitive de l'activité de conduite.

Les travaux de Neboit (1980) sont riches de plusieurs points de vue ; d'abord, il essaie de détailler l'activité de conduite puis, grâce à des études sur les mouvements oculaires de l'opérateur, il apporte des éléments importants quant à la description de l'exploration visuelle perceptive et cognitive pendant la conduite automobile. L'auteur donne, dans un premier temps, une définition de la conduite : conduire un véhicule, c'est effectuer un déplacement dans un environnement complexe en perpétuelle évolution. Le conducteur est orienté vers un but, est soumis à des règles précises tant explicites qu'implicites : avoir une vitesse réglementaire, être attentif à l'environnement, connaître l'état du véhicule. L'auteur s'intéresse aux activités perceptivo-cognitives à travers l'exploration visuelle. Il démontre, grâce à des enregistrements effectués avec un Nac eyes recorder, que les informations sont prélevées par le biais de schémas de balayages oculaires plutôt stéréotypés mais différents en fonction de l'expérience des sujets. C'est pourquoi, pour la tâche de dépassement d'un véhicule, l'effet de l'expérience peut être d'accorder une importance plus ou moins grande à la source d'information prélevée (nombre de fixations oculaires sur la chaussée, sur le véhicule). Elle se manifeste également par des changements de modes de consultation de ces sources d'information ; c'est ainsi qu'un conducteur expérimenté regardera plus le véhicule venant en sens inverse (durée moyenne de fixation). Neboit propose donc un modèle des activités perceptivo-cognitives en situation de conduite dans lequel il définit l'exploration perceptive : l'ensemble des procédures utilisées par le conducteur pour recueillir les indices

nécessaires à l'exécution de la tâche de conduite. Il décrit également l'identification, la prévision, la décision et le rapport entre connaissances, représentations et comportement du conducteur :

- L'identification permet de reconnaître un indice et de le rapporter à une classe d'événements. La reconnaissance perceptive va permettre de classer les indices identifiés : lorsque l'expérience est bonne, le conducteur sait regrouper les traits pertinents, n'enregistre plus la somme de tous les indices et il sait sélectionner ceux nécessaires pour la tâche.
- La prévision s'effectue à partir des indices prélevés, par anticipation aux événements futurs et aux actions à réaliser. L'opérateur sait alors se représenter mentalement, à partir des indices perçus, l'état du système futur.
- La décision inclut les processus précédemment cités. Les choix retenus le sont en fonction des hypothèses et des prélèvements d'indices. Ils vont générer l'action à venir.
- L'apprentissage et l'expérience entraînent des comportements adaptatifs où les connaissances acquises sur le milieu routier peuvent se compléter et se transformer pour construire des représentations de la situation. Ces représentations permettent ensuite de définir les actions régulatrices de la conduite à tenir. Ces connaissances et représentations sont en fait à la base des mécanismes d'anticipation que le conducteur va pouvoir ainsi réaliser (les événements qui pourront se produire, les évolutions de la situation routière, les effets de son action...).

Une description complémentaire (Lindsay & Norman, 1980) s'impose quant au prélèvement de l'information. De même que dans d'autres types de tâches, l'opérateur humain peut rechercher de l'information sous deux formes distinctes :

- Soit il prélève un stimulus très "prégnant", par exemple un piéton sur la chaussée, bien que l'information ne soit pas spécifiquement recherchée. Le stimulus va alors restructurer ses hypothèses. Il s'agit d'information "dirigée par les données". Ses stratégies visuelles se concrétisent alors en comportement "pour l'action".
- Soit l'information est recherchée activement par l'opérateur et dépend des hypothèses qu'il s'est fixées et de ses connaissances activées pendant la situation de conduite. Il s'agit là d'information "dirigée par les concepts", eux-mêmes issus des raisonnements de l'opérateur.

D'autres auteurs ont participé à la description et à la compréhension de ce qu'est la conduite automobile dans le contexte routier. Pour Tétard (1987), il s'agit de prendre connaissance des états de l'environnement pour maintenir le véhicule sur sa trajectoire et appliquer les règles de sécurité que se fixe l'intéressé. Celui-ci est dans un contexte d'une grande diversité : conducteurs (âge, expérience), véhicules (différents types) et environnement (infrastructures, trafic). Le conducteur doit s'adapter en permanence à des situations en évolution : il est soumis à des contraintes dynamiques et temporelles liées aux déplacements des véhicules et aux usagers de la route, ce qui rend sa tâche particulièrement complexe.

Saad (1992) emploie également le terme de complexité pour l'activité cognitive des usagers. Ce dernier point semble discutable, puisqu'un certain nombre d'entre eux obtiennent leur permis de conduire sans grande difficulté apparente. L'auteur cite pour exemple la question du franchissement d'une intersection : l'activité revêt un aspect cognitif important, le conducteur prélève de l'information, relativise son importance par le biais de ses connaissances personnelles, l'interprète, prend des décisions pour les actions qu'il va réaliser, les planifie avant de les exécuter.

On sait, par ailleurs (voir ci-dessous, le modèle de Rasmussen), que certaines de ses actions sont entièrement automatisées (actions réflexes sur les commandes diverses, c'est-à-dire qu'elles sont guidées par des habiletés alors que d'autres, plus rares, dépendent de son attention qui consomme des ressources cognitives non négligeables (raisonnement, analyse de connaissances sur la situation, prise de décisions). Cependant, la majorité de ses comportements est régie par l'utilisation de règles acquises lors de l'apprentissage de la conduite et sont plutôt "aisées" à déclencher.

Il est un modèle fondateur qu'on ne peut oublier dès lors qu'il s'agit d'une activité de surveillance dynamique. Il s'agit du modèle de la prise de décision dit de "l'échelle double", Rasmussen (1986). Ce modèle permet de montrer que l'opérateur humain doit sans cesse s'adapter à des situations en perpétuelle évolution. Rasmussen décrit les tâches de contrôle comme des séquences d'activités qui vont de la détection, au raisonnement, puis à l'action (notamment régulatrice) par l'intermédiaire de trois phases qui sont le reflet de différents niveaux de contrôle de l'activité. Il distingue :

- une phase d'analyse de la situation avec les processus d'activation, d'observation, d'identification et d'interprétation.
- une phase de planification de l'action comprenant l'évaluation, la définition de la tâche et la formulation des procédures.
- une dernière d'exécution de l'action, où l'opérateur va mettre en œuvre les opérations prévues par la procédure.

Rasmussen analyse ce modèle en montrant qu'il existe trois registres de fonctionnement chez l'individu suivant la familiarité que celui-ci a avec la tâche à réaliser. Ces trois registres de fonctionnement permettent parfaitement de décrire l'activité de conduite de véhicules dans laquelle on rencontre :

- 1) Un fonctionnement basé sur des connaissances où l'opérateur se trouve face à une situation inconnue qui requiert un traitement d'information "en profondeur" pour résoudre le problème posé.
- 2) Un fonctionnement basé sur des règles, que le sujet utilise lors d'activités de diagnostic, dans des situations plus ou moins atypiques, mais non inconnues. Les représentations qu'il utilise ici sont opérationnelles et déclenchent souvent des actions concrètes.
- 3) Un fonctionnement basé sur des "habiletés" qui correspondent en fait à des procédures extrêmement automatisées, quand la personne agit dans le cadre d'opérations très familières et qui se déclenchent sur un simple signal (par exemple : au vert, je passe). Il est clair que le degré d'automatisme (habiletés) des procédures dépend de l'expérience acquise par la pratique, celle-ci les ayant transformées en routines. Ces activités nécessitent peu de contrôle attentionnel et elles peuvent être réalisées en parallèle à d'autres activités qui demandent de l'attention pour effectuer des opérations de traitement mental. Typiquement, ce modèle corrobore les activités de la conduite de véhicules. Il s'établit parfaitement sur ces trois registres, ceux-ci pouvant d'ailleurs fonctionner en parallèle.

Van der Molen & Bötticher, (1988), ont mis au point un modèle "hiérarchique du risque" qui permet de décrire les processus de perception, de jugement et de décision à tous les niveaux de la tâche de conduite. Les auteurs en distinguent trois : un niveau stratégique, un tactique et opérationnel. Le niveau stratégique correspond à la finalité même de la tâche de conduite. Il s'agit de la tâche de navigation du conducteur, regroupant une activité de planification en amont du départ (choisir l'itinéraire, gérer le temps et les aléas pour le trajet...). Le niveau tactique comporte les activités nécessaires à la réalisation de la tâche de conduite : prise

d'information, interprétation des événements, choix stratégiques et décisions des actions à exécuter. Enfin, le niveau opérationnel permet la mise en œuvre des actions définies aux niveaux supérieurs. Il correspond principalement à l'usage des commandes. C'est un niveau d'exécution souvent traduit par l'intermédiaire d'actes automatiques du conducteur. Il va de soi que ces trois niveaux sont complémentaires et peuvent interférer parfois négativement. Les auteurs amorcent un rapprochement entre leur approche et celle de Rasmussen (1986) à propos des niveaux de contrôle de l'activité. Néanmoins, ils précisent que ces deux lectures à trois niveaux hiérarchiques ne se superposent pas directement car des exceptions sont possibles. Par exemple, le changement de vitesse peut apparaître comme opérationnel sauf pour un conducteur expérimenté pour qui cela sera une habileté. Hale, Stoop et Hommels (1990) rédigent alors une synthèse des points communs et divergences stipulées entre ces deux lectures hiérarchiques de l'activité. En voici ci-dessous, présenté par tableau, le résumé.

	Niveau stratégique	Niveau tactique	Niveau opérationnel
Niveau basé sur les connaissances	Naviguer en site inconnu	Carrefour atypique et complexe	Conducteur novice
Niveau basé sur les règles	Choix entre routes familières	Dépassement de véhicule	Usage véhicule non familier
Niveau basé sur les habiletés	Usage itinéraire quotidien	Négocier intersections familières	Contrôle de la trajectoire

Comparaison des niveaux hiérarchiques de Rasmussen et Van der Molen & Bötticher, par Hale, Stoop et Hommels (1990).

Dans ce chapitre, nous avons insisté sur la description cognitive du travail de conduite de véhicules, celle-ci étant généralement moins connue, mais il est certain que les aspects perceptifs (de premier niveau) et biomécaniques sont tout aussi importants puisque l'activité de conduite d'un véhicule par un homme est indubitablement globale. Les réactions biomécaniques décrites dans la conduite sont liées aux habiletés acquises, elles-mêmes commandées par l'apprentissage des règles et guidées parfois par des raisonnements de plus haut niveau quand les situations le nécessitent. Enfin, sans entrer dans une description détaillée puisque celle-ci est acquise à la communauté depuis deux décennies déjà, nous savons que la perception s'établit sur un continuum physiologique facilitant le traitement cognitif de l'information (Lindsay & Norman, 1980).

La question temporelle semble parfois poser des contraintes lourdes à l'opérateur d'autant plus que la charge de travail de celui-ci peut être saturée. Pour nous, la complexité liée à la conduite tient surtout à ces contraintes et à notre difficulté à savoir décrire l'ensemble de ces opérations mentales (nombreuses et non visibles quant à leur ordre d'apparition) puisqu'elles sont peu "accessibles".

Bellet (1998) synthétise l'activité de conduite dans son contexte dynamique. Nous le citons :

"La conduite requiert de la part de l'opérateur :

- 1) de sélectionner, dans l'environnement, les informations pertinentes en vertu de ses objectifs et des exigences de la tâche.
- 2) d'interpréter la situation immédiate et d'anticiper son évolution à plus ou moins long terme.
- 3) de prendre des décisions en vue de s'adapter ou d'interagir avec son environnement (via un dispositif particulier) de façon adaptée au contexte situationnel.

4) de gérer ses propres ressources et limites de manière à satisfaire les contraintes, notamment temporelles, inhérentes au caractère dynamique de la situation."

Cette description se rapproche du modèle simplifié que nous utilisons (voir chapitre II de cette thèse) pour la description des tâches de conduite. Dans notre approche des processus de conduite, nous relevons en effet :

- une phase de prise d'information et/ou d'anticipation,
- une phase pour établir le diagnostic de la situation qui peut d'ailleurs être construit à partir de ses anticipations,
- une troisième phase de choix de stratégies,
- une dernière phase de réalisation des actions ; celle-ci peut provenir d'un choix de décision suite au diagnostic élaboré ou à la suite d'actions réflexes.

Cette forme de modélisation de l'activité du conducteur pendant la conduite sont proches du niveau tactique décrit par Van der Molen et de ce que décrit Rasmussen (1986) dans la modélisation qu'il propose : description des buts et objectifs à atteindre (niveau 1) pour l'opérateur en phase de diagnostic (détection, identification, interprétation du problème), puis choix d'une stratégie pour déclencher une action (définition du but, planification de l'action (niveau 2), enfin, exécution de la procédure ou de l'action (niveau 3 des habiletés). L'auteur note que le caractère sélectif de la prise d'information n'est pas effectué au hasard et résulte des connaissances et intentions du conducteur, de son interprétation des événements dynamiques et temporels (sa représentation de la situation). En effet, il ne peut prélever toutes les informations de l'environnement sous peine d'être débordé. Ces représentations relèvent partiellement des connaissances permanentes stockées en mémoire à long terme (Richard, 1990), et constituent des structures transitoires activées et actualisées en mémoire de travail, utilisées lors de l'exécution d'une tâche particulière. Pour un conducteur, comprendre une situation, c'est se la représenter. Ces représentations ne sont pas totalement isomorphes à la réalité, elles sont souvent simplifiées, déformées, finalisées par l'action. Vergnaud (1985) explique que "la fonction principale des représentations est de conceptualiser le réel pour agir efficacement." L'intéressé se trouve agent dans un processus dynamique à court délai de réponse dont on sait que, même s'il n'intervient pas, le processus continue à évoluer. Sa tâche principale consiste dans le maintien (régulation) du processus pour le rendre optimal et dans la mise en œuvre d'éventuelles actions correctrices. Tous les auteurs s'accordent à penser que, pour être efficace, l'opérateur gérant une situation dynamique doit être à même d'anticiper et de prévoir son évolution dans le temps (Amalberti, 1996). Pour y parvenir, il utilise les représentations qui lui permettent aussi de se projeter dans une situation future.

Il faut noter également que l'une des caractéristiques de la conduite de véhicules est de dépendre des changements très rapides des contextes. Les représentations bâties à partir de ces derniers doivent donc évoluer très vite. C'est là une des difficultés de la conduite : le conducteur doit toujours très rapidement savoir appréhender l'environnement pour être prêt à prendre des décisions et réagir afin d'éviter l'accident. Concevoir des systèmes coopératifs consiste, en partie, à trouver les moyens techniques et logiciels pour produire ces bonnes représentations dans des temps équivalents à ceux des comportements humains. Ce n'est pas chose faite à ce jour !

Enfin, l'opérateur doit gérer ses propres ressources, sachant qu'elles sont parfois limitées : vigilance, attention, fatigue... Il en est de même pour ses autres capacités d'ordre physiologique, psychologique et cognitive et les contraintes dynamiques et temporelles locales. Ainsi, à propos de la contrainte temporelle, ses effets se ressentent à différents niveaux. Dans le domaine perceptif, elle impose d'être sélectif dans la recherche

d'information afin d'être bref. Au plan des traitements cognitifs à effectuer, il faut établir son diagnostic rapidement pour être efficace.

En conclusion, il faut rappeler que la tâche de conduite se situe dans une perspective de prise de risque permanent. Les travaux de Delorme (1994) montrent que cette activité a lieu dans un contexte d'estimation et de prévision, de décisions prises parfois dans l'incertitude, ce qui est une des particularités de la conduite.

Bien sûr, pour considérer les situations avec systèmes d'aide embarqués dans le véhicule et repositionner la place de l'instrument dans ce contexte, soulignons que la voiture est l'instrument qui permet de se déplacer. Le ou les systèmes d'aide sont des instruments de deuxième niveau (Pauzié, 1995) permettant d'assister le conducteur dans certaines sous-tâches : par exemple, de navigation (se diriger dans la ville), ou de sécurité (freiner et/ou réguler les distances, éviter les collisions), etc...

2.2. Les formes d'assistance dans le domaine de la conduite automobile

Des auteurs ont largement contribué à la question de la modélisation de l'activité de conduite: Michon (1979), Van der Molen et Botticher (1988), Bellet (1998), mais peu ont contribué à établir un catalogue des types d'aides à la conduite en évaluant les degrés "d'intelligence" à fournir pour réaliser une conception adaptée aux besoins des conducteurs.

Dans un article à paraître, Bellet, Tattegrain-Veste & Chapon (2001), précisent que l'on peut envisager deux types de philosophie de conception pour l'assistance à la conduite. La première, souvent choisie par les industriels qui développent les systèmes consiste en une conception à "logique substitutive", visant à remplacer partiellement ou totalement l'homme par la machine car celui-ci serait trop souvent faillible. La seconde relève d'une volonté de "couplage homme-machine" et vise à instaurer une relation plus "coopérative" entre l'homme et la technologie, en quelque sorte une vision plus "anthropocentrée". La question qui se pose concerne alors les rôles respectifs de l'homme et de la machine, ainsi que celle des modalités d'interactions entre ces deux entités.

Les auteurs font état d'une catégorisation des ensembles d'aide à la conduite. Elle repose sur l'idée de l'évolution future des véhicules et sur les exigences ergonomiques pouvant se poser pour chacune de ces classes. En partant de l'actuel au plus futuriste, les auteurs distinguent les systèmes d'information, d'alerte, de conduite automatique et les systèmes coopératifs :

- Les systèmes d'information, représentés par les systèmes de navigation, d'information trafic ou les aides de proximité. Ceux-ci donnent des renseignements sur ordre des conducteurs et produisent en fait une nouvelle source d'information contribuant à modifier la tâche de conduite. Du point de vue ergonomique, on peut s'interroger sur leurs fonctions (le type d'information fournie) et leurs rendus (modalité de diffusion ou d'accès à l'information). Il faudrait pour eux, veiller à optimiser l'ergonomie des commandes, les restitutions et les dialogues interactifs.
- Les systèmes d'alerte agissent en l'absence de demande du conducteur et le préviennent d'un danger possible. Selon leur degré "d'intelligence", ils peuvent alerter par rapport à un simple niveau de fonction (par exemple "120 kms /h.") ou par

une interprétation plus fine de la situation. Ce peut être des systèmes d'alerte anti-collision ou de dépassement de vitesse. Les critères de conception ergonomique à prendre en considération sont notamment la fiabilité, l'absence de fausse alerte, le moyen d'alerter (canal visuel, auditif ou kinesthésique). La coopération entre l'homme et le système est très souvent nulle et se résout, par le fait, à limiter son rôle à celui d'un avertisseur, alors que de l'intelligence pourrait être implémentée au niveau de cette fonction.

- Les systèmes de conduite coopérative : les auteurs précisent qu'ils relèvent encore de la prospective dans le contexte routier, contrairement à d'autres secteurs où ils sont mieux développés. Si leur développement se réalise, ils seront alors de véritables copilotes intelligents ce qui n'est pas le cas à ce jour. Une logique de coopération dite "pure", où le partage des tâches serait évident entre l'homme et la machine n'existe pas actuellement : on ne voit pas encore de copilote prendre le pas sur l'homme, ni interpréter ses intentions ! Pour y parvenir, il faudrait un système doté de connaissances et de capacités de raisonnement approchant celles de l'humain, aussi bien sur les actions à entreprendre que sur l'environnement. Il faudrait un sérieux effort de recherche sur le conducteur et la mise au point de modèles computationnels.
- Les dispositifs de conduite automatique : sont à développer dans le futur, entraîneraient la réalisation des systèmes embarqués et d'importants aménagements des infrastructures routières. L'homme serait, en théorie, exclu de la boucle information-réaction et le système devrait assurer le guidage longitudinal et latéral du véhicule. En réalité, l'utilisateur devra tout de même assumer les transitions puisque toutes les voies ne seront pas équipées. Il devra aussi réaliser les reprises en main en cas de dysfonctionnement. Ce dernier point, bien répertorié dans d'autres domaines, par exemple en conduite de processus, se pose de façon prégnante pour la conduite de véhicule, la contrainte temporelle étant plus importante que dans les autres secteurs.

Cette catégorisation nous semble intéressante même si elle ne considère pas en tant que telle celle des copilotes, disséminée entre les systèmes d'alerte et ce que nous appelons les systèmes automatiques et substitutifs.

Nous énonçons ci-dessous la classification des systèmes d'aide à la conduite de véhicules particuliers établie dans Dessaigne & al. (1996) pour tenter d'établir un répertoire des technologies utilisées.

- Un premier type d'assistance à la conduite est composé d'aides dites "informatives" intégrées dans les véhicules. Celles-ci permettent de donner à l'opérateur des informations quant à sa tâche, parfois sous une forme procédurale, notamment dans le cas des systèmes d'information routière où l'individu choisit de l'utiliser ou non. En conduite automobile, sont regroupées dans cette typologie des systèmes d'information sur les conditions de circulation et certains systèmes d'aide à la navigation. Notre système GIBUS est également un système d'aide à l'accostage informatif. D'autres systèmes sont parfois rassemblés par erreur dans cette catégorie, il s'agit également d'aides à la navigation, tel le système CARIN que nous présentons au paragraphe 2.3.1. Celui-ci va plus loin dans l'assistance à l'opérateur qu'une simple restitution d'informations bien planifiées. En effet, nous avons constaté qu'il relève plus de systèmes dits "collaboratifs" car il propose au conducteur des enchaînements d'actions pour parcourir un itinéraire que celui-ci a sélectionné et validé afin d'arriver à sa

destination, a priori sans faillir. Cet ensemble est interactif quant au déroulement de la tâche pour laquelle un but commun entre le système et l'opérateur est démontré : arriver à la destination programmée. Si le conducteur ne suit pas l'une des directives, il s'éloigne de son itinéraire et le système le sait et lui signale. A tous moments, la tâche de coopération peut être arrêtée si le conducteur le souhaite.

- Un deuxième type d'assistance à la conduite est composé de systèmes d'alerte. Ce sont des systèmes installés à bord des véhicules : affichages d'informations routières, mais également alarmes de différents modèles. Il s'agit également d'aides de la catégorie "assistance informative" même si, au premier abord, elles participent au déclenchement de l'activité du conducteur. Une information, éventuellement d'alerte, est donnée, mais le système ne va pas pour autant proposer des actions ou agir à la place de l'opérateur. Certains auteurs appellent les systèmes d'alerte des copilotes passifs.
- Un troisième type d'aide à la conduite est constitué par des systèmes de copilottage⁶ "actifs" permettant également le contrôle des véhicules. Ce sont des automates qui réalisent à la place de l'opérateur tout ou une partie des tâches à réaliser. Ce sont plutôt des systèmes que l'on peut qualifier de "substitutifs". Il faut être réservé vis-à-vis du terme de "système actif" car il peut entraîner des confusions (actif, donc il collabore, c'est ce que l'on peut lire dans certaines publicités). En fait, ces systèmes ne sont pas véritablement coopératifs ni intelligents comme on le croyait dans certains cas cités il y a quelques années (à ce propos, l'AICC est un exemple célèbre, voir chapitre 2.3.2). La plupart du temps, la suppléance est réalisée par une fonction technique physique telle qu'un automatisme, par exemple, freiner quand le véhicule dépasse un certain seuil de vitesse. De fait, il s'agit bien d'une aide automatique substitutive pour l'homme. Cependant, d'un strict point de vue formel, les choses sont plus complexes car il est néanmoins possible d'allier des formes d'intelligence à un automatisme comme cela a déjà été montré pour des formes d'aides, par exemple dans le contrôle de processus.
- Un quatrième type d'assistance à la conduite est constitué par "les copilotes intelligents". Ils prennent en charge tout ou partie d'une tâche de contrôle du véhicule afin d'en décharger l'opérateur ou de l'assister. Si l'on s'en tient à la définition du terme "copilottage intelligent", il devrait y avoir partage non seulement des tâches, mais également d'un but, entre le système et l'homme, ce qui est encore rarement le cas dans ce domaine. Néanmoins, dans d'autres domaines, tels que l'avionique militaire, par exemple pour le développement du copilote du Rafale (Amalberti et Deblon, 1992) ou dans celui du contrôle de processus (Decortis et Cacciabue, 1991) pour la mise au point d'un système d'aide au diagnostic d'incidents en centrale, des cas répertoriés existent. Il semble que le choix crucial entre "décharger le conducteur" de certaines sous-tâches techniques ou "l'assister réellement pour tendre à un but commun" est actuellement lié non seulement aux choix technologiques caractéristiques de ces ensembles, mais également aux limitations des spécificités du domaine concerné. C'est pourquoi, en conduite de véhicules, le changement permanent de la représentation de l'environnement et la contrainte temporelle sont des

⁶ Les copilotes embarqués sont des aides intégrées dans le véhicule. La plupart ont pour mission de suppléer le conducteur en exécutant à sa place tout ou parties des tâches à réaliser. Elles peuvent aussi proposer des informations utiles pour l'activité de conduite.

contraintes difficiles à formaliser dans un système coopératif. Toutefois des expériences sont en cours. Certains systèmes proposent des traitements d'informations utiles pour l'activité de conduite : à titre d'exemple, le projet PROLAB (prototype de laboratoire) vise la réalisation d'un copilote intelligent dont l'objectif est d'aider le conducteur dans différentes situations telles qu'un changement de voies, un franchissement de carrefours, un contrôle latéral et longitudinal du véhicule. Le système possède une intelligence embarquée et peut être qualifié de coopératif. Pourtant, selon l'analyse des tâches réalisées après la conception de l'ensemble (pourquoi pas avant ?), les niveaux de collaboration se révèlent plus ou moins bons. Certains résultats d'évaluation de systèmes le démontrent à ce jour. Nombre de ces ensembles sont encore réalisés sans qu'on apporte une réelle attention à l'activité des chauffeurs en situation de conduite, pourtant plus ou moins perturbée par le nouveau système qu'ils doivent, de plus, s'approprier.

En conclusion, il faut être prudent vis-à-vis des définitions données au terme "copilotes". Il s'agit parfois de simples systèmes d'alerte, ce sont souvent des systèmes substitutifs, ils ne sont jamais coopératifs en conduite de véhicules mais permettent des couplages de l'opérateur vers l'outil. S'en tenir à une analyse plus rigoureuse tant de l'ensemble lui-même que des besoins réels (cognitifs ou non) des conducteurs et des formes d'interactions qu'il est souhaitable ou non de favoriser, semble à ce jour nécessaire. Cette analyse doit découler d'une étude approfondie de l'activité de référence (avant et pendant l'utilisation du futur système), et non d'une typologie simpliste de la tâche comme cela est trop souvent le cas. Dans le domaine du transport, un nombre important d'aides est réalisé par une fonction automatique (copilote) se substituant en partie à la tâche de l'opérateur, qui, en quelque sorte, l'assiste sur une tâche jugée élémentaire. Nous appelons ces copilotes des aides automatiques et substitutives. Ces agents, appelés copilotes, ne forment pas un ensemble d'agents flexibles (susceptibles de changer de rôle), auto-organisés et coopérants au sens d'un système de pilotage informatique capable de dialoguer avec l'opérateur (Evrard & Awada, 1994). Il faut donc être vigilant sur la notion de pilotage et penser que ces copilotes automatiques dits "substitutifs" s'apparente à des aides palliatives. Néanmoins, ceux-ci impliquent que les conducteurs vont devoir collaborer avec le système pour un meilleur contrôle du véhicule.

À la suite de Bellet, Tattégren-Veste & Chapon (2001), il nous semble que les systèmes d'alerte et les copilotes répondent à une philosophie de logique "substitutive" visant à remplacer partiellement ou totalement le conducteur humain par la machine. Par ailleurs, certains systèmes d'aide informatifs, des systèmes de pilotage actif et les systèmes coopératifs proviendraient d'une logique de "couplage homme-machine" tendant à instaurer une relation plus "coopérative" entre l'homme et la technologie. Dans les deux cas, nous pensons qu'il ne faut pas oublier de considérer pour toutes conceptions de systèmes, l'acte cognitif de la collaboration par rapport à ces derniers, que celui-ci soit coopératif ou non.

Il est donc primordial de procéder, avant toute conception de systèmes d'aide, à une étude systématique de l'activité réelle et future indiquant aux réalisateurs quels niveaux d'intelligence distribuer aux systèmes ou à l'homme afin qu'ils soient le plus efficaces possibles pour la sécurité de l'homme. Il faut donc définir le meilleur couplage homme-machine à réaliser. Celui de CIVIS (chapitre 6), montre un système répondant tout à fait à cette problématique.

Il existe des collaborations qui s'établissent entre l'opérateur et le système qui leur est confié pour accomplir le travail. Ces dernières relèvent tant des niveaux stratégiques que tactiques et

opérationnels et s'apparentent à différentes formes de travail mental de l'opérateur sur son système en vue d'une synchronisation cognitive et opérationnelle : anticipation sur les dangers de la route mais aussi sur les limites du système auquel l'opérateur doit s'adapter, prise d'information, diagnostic de l'environnement, mais également actions à engager pour être parfaitement adaptées à l'activité et contribuer à son bon déroulement. Elles ne sont pas pour autant totalement coopératives bien que les deux parties travaillent ensemble car le but poursuivi n'est pas commun.

Enfin, il ne faut pas oublier que certains ensembles possèdent deux catégories d'aides, telles celles informatives et collaboratives, ou, pour d'autres (conducteurs handicapés), palliatives et collaboratives. Ces systèmes peuvent avoir plusieurs finalités différentes et ne sont en rien exclusifs. Il s'agit encore de bien décortiquer les sous-systèmes concernés.

Cette étude (Dessaigne & al., 1996) permet de montrer que l'adaptation des systèmes d'aides liés aux véhicules est parfois complexe. La prégnance des automatismes dans le domaine de la conduite de véhicules ne devrait pas interdire de mieux définir le niveau d'assistance cognitive qui a été insuffisamment étudié jusqu'à ce jour. Certains concepteurs nomment improprement leurs systèmes "copilotes intelligents". Ce sont en fait des systèmes automatiques, sans injonction d'intelligence particulière. D'autres systèmes, de type informatifs, sont parfois plus efficaces car la présentation des renseignements a été conçue sous une forme opératoire, apportant à l'opérateur une véritable assistance collaborative. Enfin, certains ont conçu des systèmes collaboratifs, mais la collaboration reste difficile entre l'homme et le système car l'analyse du besoin cognitif de l'assistance au conducteur n'a pas été réalisée ou incorrectement conçue. On s'est parfois basé sur des pré-requis liés à la tâche prescrite, plutôt que sur l'activité réelle ou future des utilisateurs qu'il convient d'analyser finement.

Par ailleurs, le nombre de systèmes possibles sur un véhicule augmente et tend à en alourdir la gestion. Les processus mis en jeu nécessitent d'allier plusieurs formes d'assistance, où le conducteur devrait garder la maîtrise alors que sa tâche est déjà pénible. La juxtaposition de ces aides mériterait une analyse car elle ne simplifie pas le travail et n'assiste pas toujours le conducteur pour lequel aucune intelligence coordinatrice (créer un superviseur?) n'a été envisagée à ce jour.

Il s'agit donc, pour l'ergonome, de réaliser correctement les analyses des Interactions Homme-Machine pour bien concevoir les systèmes, que ceux-ci soient substitutifs, informatifs ou coopératifs.

Etablissons, dès lors, un premier parallèle avec les systèmes d'aide et de guidage à l'accostage pour les autobus du futur :

- Certains systèmes sont informatifs, par exemple GIBUS. Il est primordial que le couplage avec la machine soit bien conçu pour être efficace. Cela dépend bien sûr de la manière de présenter l'information à l'opérateur mais également de ses capacités cognitives et physiologiques à réagir qu'il faut valider. D'autres critères que celui unique de la présentation de l'information sont donc importants pour la conception de ce genre de système, ce que nous montrerons dans le chapitre 4. qui relate les études de conception.

- Des systèmes de copilottage actifs, moins nombreux et moins étudiés à ce jour, tels VISEE et CIVIS, sont des systèmes substitutifs et semi-automatiques. Ils se développent actuellement pour les véhicules de transport public. Ces systèmes d'aide au guidage semi-automatique seront analysés dans les chapitres 5 et 6. Le copilottage s'organise par la prise en main automatique de certaines fonctions du système lors de l'arrivée à quai pour l'accostage. Les interactions avec le système engageant les raisonnements et les actions de l'opérateur sur celui-ci vont devoir être considérées pour une conception adaptée des ensembles.

2.3. Les systèmes d'aide à la conduite pour véhicules de particuliers

Les systèmes d'aide à la conduite de véhicules comprennent ceux correspondants aux véhicules pour particuliers et ceux pour véhicules de transports collectifs. Bien que notre sujet de thèse se confine plus particulièrement sur les seconds, ce sont des premiers dont nous ferons état dans ce chapitre. Notre objectif est double, tout d'abord réaliser un tour d'horizon complet du domaine et ensuite pouvoir en dégager les questions communes.

Afin de donner une vue panoramique des études menées depuis environ vingt ans sur les systèmes d'aide à la conduite pour véhicules particuliers, nous reprenons des éléments de synthèse d'une large étude bibliographique (Dessaigne & al., 1996). Centré sur l'évaluation ergonomique des systèmes d'aide existants ou en cours de conception et leur catégorisation, ce travail a été financé par le Ministère chargé des Transports, et plus particulièrement par la DRAST suite à un Appel d'Offre public.

Cette revue réalisée par plusieurs collaborateurs, fondée sur l'analyse de 169 articles de recherche parus en Europe, aux USA et au Japon, montre qu'une importante entreprise de recherches, initiée à un niveau international, débute dès les années 80 dans le domaine de la sécurité routière et veut contribuer au développement des aides à la conduite. Ces dernières concernent non seulement l'amélioration des véhicules conduits mais également celle de infrastructures pour diminuer le nombre important d'accidents et leur gravité.

Les objectifs de ces programmes ont été donnés conformément aux orientations des pouvoirs publics et se résument comme suit :

- Optimiser les véhicules en facilitant leur pilotage, quelle que soit l'aide concernée ; ainsi, par une assistance au contrôle des vitesses et des trajectoires, il peut s'agir de faciliter les prises d'informations sur le tableau de bord et de prendre en charge certaines tâches de la conduite comme la définition et le repérage d'un itinéraire.
- Pallier les insuffisances actuelles des infrastructures (systèmes d'information routière ou de signalisation, aménagements des voies et des carrefours).

De nombreux travaux ont été menés sous l'égide de programmes ambitieux, financés notamment au plan international. Parmi eux, ont été sélectionnés 169 articles parus entre 1992 à 1996, représentatifs des études en cours sur les différents systèmes d'assistance. Dans les programmes cités, trois sont européens (ATT, PROMETHEUS, DRIVE I et II), un est américain (IVHS), trois sont japonais (RACS, AMTICS, VICS) et trois sont indépendants (INRETS : ARCHISIM, COSMODRIVE et CEE : SARTRE). Vous trouverez ci-dessous un rapide résumé de ces projets et leur contenu.

Les trois programmes Européens de recherche sur les systèmes d'aide à la conduite

- Le programme ATT (Advanced Transports Telematics) regroupant 16 projets ayant pour objectif commun d'aider à la conception d'aides intelligentes en spécifiant et en réalisant des évaluations des fonctions à réaliser. La plupart des aides visées font partie des programmes PROMETHEUS et DRIVE.
- Le programme PROMETHEUS (Programme for European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety) est dédié à la conception d'un "copilote intelligent" aidant le conducteur pendant son activité et le remplaçant partiellement ou totalement.
- Le programme DRIVE (I et II) est dédié lui aussi à la conception de systèmes d'aide, mais limité aux systèmes d'informations aux conducteurs. Les principaux projets sont HARDIE pour la conception d'aide à la navigation, IDS pour la conception d'un système multifonctions, HOPES pour l'évaluation des systèmes de navigation et de guidage, SANE pour les systèmes d'informations anti-collision, de priorité aux bus et d'informations aux voyageurs des transports publics.

Le programme américain regroupe plusieurs projets :

IVHS (Intelligent Vehicle / Highway System) est un programme de conception d'un véhicule intelligent pour grandes routes utilisant des technologies de pointe. Il vise l'amélioration de la sécurité des routes, l'efficacité des déplacements et la qualité de l'environnement en terme d'interaction entre les routes, les véhicules et les conducteurs. Ce programme rassemble de nombreux projets dont un groupe de travail sur les systèmes CAS (Collision Avoidance System), ICC (Intelligent Cruise Control), AST (Active Technology Security) et "boîte noire", le projet TELEMATICS qui étudie plus particulièrement les interfaces, ITS America / NHTSA ITS qui évalue la sécurité des systèmes intelligents, USCAR visant la conception des véhicules de nouvelle génération, HDA (Highway Driver's Assistant), etc.

Plusieurs programmes japonais sont répertoriés :

Ces programmes sont dédiés à la conception de véhicules ou d'infrastructures intelligents. Citons par exemple RACS (Road Automobile Communication System), AMTICS (Advanced Mobile Traffic Information and Communication), VICS (Vehicle Information and Communication System), etc.

Des programmes indépendants sont également passés en revue :

- ARCHISIM (INRETS) ayant pour objectif d'élaborer une architecture informatique parallèle qui permet la simulation fine du trafic, à partir du comportement individuel de mobiles, dans des conditions diverses.
- COSMODRIVE (INRETS) développe un modèle de simulation cognitive du conducteur qui permet la simulation des processus perceptifs et cognitifs avec, pour perspectives, la conception, l'intégration et l'évaluation de systèmes d'aide.

- SARTRE (FERSI-Forum des instituts européens de sécurité routière, CEE) est un projet d'étude comparée des conducteurs et de leur activité selon les pays d'origine.

Pour réaliser l'étude bibliographique sur les systèmes d'assistance à la conduite (Dessaigne & al.,1996) nous avons recensé une multitude de systèmes renvoyant chacun à certaines fonctions d'aide et permettant une catégorisation de ces aides à la conduite. Afin d'en montrer la variété, en voici la liste :

- Les systèmes d'aide au contrôle du véhicule
- Systèmes de copilote actifs :
 - contrôle intelligent des manœuvres
 - contrôle autonome et intelligent de la vitesse et des distances
 - contrôle anti-collision
 - aide au contrôle de la trajectoire
 - aide au contrôle du freinage
- Systèmes de copilote passifs (informatifs) :
 - information intelligente sur la vitesse
 - alerte anti-collision
 - information sur les comportements des conducteurs et sur les performances des véhicules.
- Les systèmes d'information sur les conditions de conduite
 - information sur le temps et l'état de la route
 - amélioration de la vision
 - alarme en cas d'accidents ou d'incidents sur la chaussée
 - panneaux intelligents de pré-information.
- Les systèmes d'aide à la navigation
 - Systèmes embarqués de navigation et de guidage
 - Système d'information pour la navigation (trafic, météorologie, cartographie, bureautique, service, etc.).
 - Les systèmes de communication embarquée
 - D'appel d'urgence automatique
 - De conduite coopérative.
- Les systèmes multifonctions

Systèmes intégrant des aides à la régulation de la vitesse, à la navigation, à l'anti-collision active et des aides informatives.
- Les systèmes annexes
 - De feux stops supplémentaires
 - Systèmes embarqués de traduction des messages
 - De paiement par cartes à puces.
- Les systèmes dédiés aux transports publics
 - De gestion des véhicules de transports
 - De gestion des flottes de véhicules

De priorité donnée aux transports publics (bus)
D'informations pour les voyageurs.

Nous ne rentrerons pas dans le détail de la définition de chacun de ces types de systèmes pour véhicule privé puisque l'objet de notre thèse porte sur les ensembles d'aides à l'accostage et au guidage des autobus du futur. Néanmoins, il était nécessaire de souligner le large éventail et la diversité des fonctions assistées pour les véhicules particuliers et leur affluence sur le marché actuel qui propose parfois pour un même véhicule, plusieurs systèmes différents, à logiques quelquefois peu compatibles.

Les ouvrages et articles compulsés pour cette étude bibliographique montrent néanmoins quelques particularités :

- L'évaluation des systèmes d'aide constitue aujourd'hui un axe important de recherche mettant à contribution des disciplines d'études variées comme l'ingénierie, l'ergonomie, la psychologie ou encore la sociologie. Les nombreuses études réalisées récemment mettent en évidence des problèmes particuliers à chacun des systèmes étudiés ou communs à plusieurs d'entre eux et posent ainsi des questions générales qui renvoient aux méthodologies utilisées et aux résultats obtenus.
- L'analyse de ces dernières montre que beaucoup d'études se rapportent à des évaluations de systèmes, peu étant relatives à la participation des ergonomes à la conception elle-même. Il s'agit probablement d'un manquement actuel de l'ergonomie.
- Au niveau de l'ergonomie cognitive, les méthodes visent surtout l'analyse fine de l'activité de conduite dont tous les composants ne sont pas directement observables ni totalement ré-utilisables d'un système à l'autre. Les indicateurs miracles, à tous égards pertinents et fiables, n'existent pas. Il est avant tout nécessaire d'adapter la méthode au système étudié et au problème à résoudre. Pour limiter les dérives interprétatives, la combinaison de plusieurs approches rendant compte d'une activité nous semble indispensable. Par exemple, nous pensons que nous pouvons progresser par le biais de modélisation de l'activité de conduite telle que nous l'avons pratiquée aux chapitres 4 et 5 à propos des systèmes GIBUS et VISEE mais également par l'utilisation de méthode prédictive (scénarios envisagés) de l'activité future quand l'activité de référence a bien été analysée au préalable.

2.3.1. Un système d'aide à la conduite pour les véhicules de particuliers : l'aide à la navigation

Nous donnons ci-dessous deux exemples : aide à la navigation et système de régulateurs de distances et de vitesse pour montrer l'incidence d'une bonne conception.

Les demandes actuelles formulées aux ergonomes pour la conception des systèmes ne sont plus seulement de peaufiner l'interface mais également de pouvoir donner des recommandations sur la définition de l'ensemble lui-même pour qu'il soit mieux adapté à l'homme. Ces différents aspects nécessitent d'après nous que l'ergonome procède à l'analyse des Interactions Homme-Machine qu'il peut réaliser par l'intermédiaire de deux études distinctes : connaître l'activité réelle des opérateurs, notamment l'activité cognitive puis prédire l'activité future en construisant, par différentes méthodes, les scénarios de cette activité future. Par ailleurs, il convient de bien maîtriser le fonctionnement des systèmes (analyse des spécifications techniques) à créer pour donner des recommandations au plus tôt

et au plus juste pour leur conception. Les recommandations ne sont alors plus de "simples toilettages graphique" d'un système pensé par l'ingénieur, mais doivent aller jusqu'à la réalisation de la forme informative et collaborative du système.

Les systèmes d'aide à la navigation

Les aides à la navigation se répartissent en deux catégories selon leurs fonctions :

- les aides à la navigation facilitant la préparation et le suivi d'un itinéraire,
- les systèmes d'information renseignant sur les conditions de trafic, par exemple lors d'embouteillages.

Cet exposé se limite à la première catégorie, c'est-à-dire les aides à la navigation, pour parler plus particulièrement du système CARIN présenté dans le programme CARMINAT qui regroupe quatre systèmes de guidage et de navigation (Dessaigne, 1994). Nous avons, en collaboration avec d'autres chercheurs de l'INRETS-LESCO, expertisé ces systèmes en situation de conduite réelle en région parisienne au cours de l'année 1994.

Les avantages et inconvénients, répertoriés dans la bibliographie spécialisée des systèmes de navigation et de guidage (Dessaigne & al., 1996), s'avèrent être les suivants :

- L'utilisation d'aide à la navigation diminuerait les tâches d'orientation réalisées pendant l'activité de conduite, en particulier celles de recherche d'informations dans l'environnement pouvant perturber l'activité de conduite en distrayant le conducteur quant aux renseignements nécessaires au contrôle du véhicule. Néanmoins, les informations routières, et en particulier les choix d'itinéraires et les détournements, sont peu incitatifs pour les conducteurs sur leur trajet de travail.
- L'utilisation d'un système d'aide à la navigation a été comparée, en conduite réelle, à l'utilisation d'une carte conventionnelle et à l'assistance d'un copilote humain par Fastenmeier, Haller et Lerner (1994). Les résultats indiquent que le premier engendre plus d'erreurs de navigation et des parcours plus longs que le copilote, mais moins que la carte.
- Une évaluation globale des bénéfices a été faite en situation réelle (1994) lors d'une campagne d'essais du système TRAVTEK. Les gains de temps, l'évitement des encombrements et les gains potentiels pour l'ensemble du trafic ont été évalués. La conclusion est très positive. Les durées de trajets sont réduites et la circulation est globalement meilleure.

En résumé, les différences entre tous les systèmes testés sont à prendre en compte plus finement. Par exemple, les modalités d'information utilisées par les ensembles et la gestion du dialogue avec les conducteurs varient entre les systèmes, alors que l'interaction entre ces modalités et les conditions de circulation (densité du trafic, complexité de l'infrastructure) peut avoir des répercussions importantes sur l'efficacité de l'aide. D'une manière générale, les analyses de l'activité des conducteurs utilisant les deux premiers types de systèmes ont été insuffisamment détaillées. On manque encore actuellement de données précises et circonstanciées concernant les répercussions de l'utilisation des aides sur l'ensemble de la conduite (Smiley & Vernet, 1994) : détournements des regards, perception des indices environnementaux pour la conduite, qualité du contrôle de la trajectoire, comportement de régulation de vitesse, etc. Toutefois, on peut noter les conclusions de nombreuses études soulignant les bénéfices potentiels des systèmes d'aide à la navigation plutôt que leurs inconvénients. Ils réduisent le temps et la distance du trajet, permettent aux conducteurs d'éviter les embouteillages, diminuent les erreurs d'orientation et les comportements sont moins risqués (Färber, Färber & Popp, 1986), et augmentent la sécurité en réduisant l'attention portée à la navigation aux dépens de la conduite.

Différentes interfaces ont été développées pour ces systèmes d'aide. En voici quelques exemples :

- Les prototypes d'aide à la navigation ETAK et TravelPilot utilisent la cartographie et un zoom. Ils permettent de consulter une carte électronique dans laquelle le conducteur peut agrandir les zones qui l'intéressent.
- LISB oriente le conducteur en présentant les directions à suivre et les distances à parcourir par des flèches pour les premières et des barregraphes pour les secondes (la distance est représentée par un rectangle dont la surface se colorie en partie ou totalement en fonction de la mesure indiquée).
- Ces deux systèmes sont apparus comme très difficiles d'utilisation en situation de conduite du fait de la complexité de la tâche demandée au conducteur pendant la conduite (par exemple lire une carte).

CARIN semble être le prototype le plus performant car il réunit l'expérience et les recommandations acquises sur les précédents systèmes. Contrairement à ce qui est écrit par certains, ce système va bien au-delà d'un simple système d'information. Il s'agit d'un ensemble de guidage autonome conçu avec une base de données cartographiques et équipé d'un GPS⁷. Le conducteur entre sa destination avant le départ et le système calcule l'itinéraire à suivre. Des informations symboliques (très peu cartographiques, car celles-ci sont trop longues à lire pendant la conduite) sont affichées tout au long du parcours et apparaissent à deux reprises pour chaque nouvelle directive du système au conducteur (en pré-information et information). Un message vocal double également le message visuel annonçant la préparation et l'action à enchaîner.

Dans le cas particulier de CARIN, il est intéressant de souligner certains points (Dessaigne, 1994) :

- En conduite, le système de guidage semble correspondre à l'activité séquentielle des conducteurs particulièrement pour ceux qui ne connaissent pas l'itinéraire tracé. Ce type de système n'est pas une aide utile pour des conducteurs habitués à un itinéraire.
- Le système a fait l'objet d'études ergonomiques à la Direction des Etudes et Recherches chez Renault et chez les concepteurs, notamment des études portant sur l'activité de recherche d'itinéraires par un conducteur ignorant le trajet.
- La fiabilité de l'ensemble est très correcte. Sur une semaine d'itinéraires parcourus en région parisienne, près de 99 % était juste. Nous avons repéré deux cas avec erreurs minimales, dues à un léger manque de précision métrique du GPS (à 5 mètres près) où le système nous a amenés soit dans une impasse dans la même rue, soit dans la rue d'à côté.
- Le guidage apparaît pour le conducteur par étapes successives, en fonction du but à atteindre (la destination), les opérations s'enchaînent au rythme de la conduite, quand le conducteur a terminé une directive, la suivante est annoncée. Ce système est de type procédural. Les directives sont très claires, simples et directionnelles (allez tout droit, au deuxième carrefour tournez à gauche...).
- Nous notons seulement quelques erreurs dans la base de données, n'ayant pas encore engrangé dans sa base de données les sens interdits, ce que nous avons signalé aux conducteurs. Depuis, ce point a été rectifié.

⁷ Il s'agit d'un Global Positionning System qui effectue un suivi des itinéraires par satellite et qui permet de localiser en permanence le véhicule.

- Il faut souligner que cette forme de navigation est plus adaptée à l'activité qu'une carte électronique sur laquelle le conducteur doit en permanence se situer, ce qui est très gênant pendant la conduite du fait de ses capacités visuelles limitées et de son attention détournée de la route. Un certain nombre de systèmes de guidage avait pourtant été envisagé sous cette forme.

Une discussion récente (2000) avec les concepteurs des logiciels de navigation souligne les points suivants :

- GPS localise le véhicule et la demande d'itinéraire du conducteur est enregistrée dans la base de données. Le système, par le biais d'un algorithme de calculs, va rechercher le chemin le plus court et commencer la planification de l'itinéraire.
- Au cours du trajet, les cas particuliers sont traités en fonction des réactions habituelles des conducteurs et non seulement en fonction de la logique d'enchaînement des rues de l'itinéraire. En quelque sorte, une forme d'intelligence liée aux habitudes de l'activité des conducteurs a pu être implémentée dans un module "heuristique", ce qui rend l'ensemble plus adapté aux besoins et à l'activité du conducteur.
- La conception logicielle du sous-système Rout's Planer pour le guidage est intéressante. La programmation faite selon un algorithme déterministe avec règles de calcul, possède des bases modulaires dans lesquelles sont implémentées d'autres heuristiques pour les cas particuliers rencontrés au cours des trajets :
- L'une intègre des données bâties à partir de l'expérience du réseau routier et de particularités législatives de chaque pays.
- D'autres modules ont été construits à partir du recueil d'expériences de sujets en situation de conduite et de tests utilisateurs, en quelque sorte en fonction de relevés de l'activité réelle.
- De même, le système sait donner les indications pour l'itinéraire, il le fait en fonction de pondérations temporelles appelées "fenêtres de temps" construites selon diverses caractéristiques : longueur du message, distance par rapport aux virages ou courbes rencontrés par le conducteur, ce qui conditionne son comportement et ses réactions d'adaptation à la tâche (résultats relevés lors des tests utilisateurs).
- Les critères de vitesse du véhicule, le type de routes et les comportements des conducteurs sont également pris en considération pour les propositions d'opérations de guidage à effectuer. Par exemple, si le conducteur est sur une autoroute et que la prochaine sortie proposée pour son itinéraire est à 3 km, on la lui indiquera à cette distance même, puisqu'il n'en croise pas d'autres et il aura ainsi le temps de se préparer.
- Les concepteurs ont donc opté pour "des instructions d'anticipation" à donner au conducteur plutôt que des actions de dernières secondes qui correspondent moins aux comportements humains : par exemple, l'instruction sera " préparez-vous à tourner dans 300 m à gauche", "changer de file" plutôt que de le laisser arriver au croisement et de dire alors "tournez à gauche". Ces stratégies s'apparentent aux formes de raisonnement humain qui anticipent les changements de file pendant la conduite pour ensuite tourner aux carrefours.
- D'autres caractéristiques intégrant des modèles de réactions du conducteur sont implémentées dans la base de connaissances heuristiques. Il s'agit des réactions habituelles de conducteurs circulant sur un rond-point ou rencontrant des sens interdits. Pour ces deux situations, l'activité des opérateurs a été analysée pour implémenter les meilleurs choix de procédures à proposer, celles se rapprochant des réactions observées.

De notre point de vue, ce système est coopératif car il dit au conducteur ce qu'il va rencontrer pour les prochaines manœuvres et lui propose une manière de l'appréhender en fonction de connaissances recueillies sur son comportement, pour ce type de situations. Évidemment, l'intéressé reste maître et décide de son trajet. Ainsi, le système est très tolérant vis-à-vis du conducteur pour lequel, il recalcule un nouvel itinéraire si celui-ci change de direction sans même l'avoir prévenu. Il s'adapte véritablement aux stratégies du conducteur, ce en quoi il coopère.

Il s'agit à notre avis d'une assistance qui n'est pas seulement informative contrairement à ce que disent certains auteurs. En effet, ce système est un système collaboratif. Bien que la coopération ne soit pas totale, il réalise une partie (composante stratégique) de la tâche à accomplir. Pour qu'il devienne réellement un système coopératif, il faudrait des modules d'Intelligence Artificielle, mais les concepteurs pensent, à ce jour, que ces ensembles, qui évolueraient et apprendraient en fonction des réactions des conducteurs, sont trop lourds, trop coûteux et probablement inexploitable en raison des temps de réaction en conduite automobile. Néanmoins, si l'on parvenait à les concevoir, on pourrait alors aboutir à des tâches qualifiées de "coopération pure".

2.3.2. Les systèmes de régulateurs de distances et de vitesse et de contrôle longitudinal

Ce sont des systèmes qui régulent les distances et/ou la vitesse par rapport à un véhicule situé devant soi. D'autres permettent l'assistance au contrôle longitudinal uniquement. Certains alertent le conducteur, d'autres agissent pour éviter la collision.

L'idée sous-jacente de ces systèmes est que le conducteur sous-estime ou ignore involontairement les risques de collision à certains moments, ou bien encore qu'il peut être hypovigilant, ou gêné par des conditions climatiques dégradées, il faut donc l'assister.

Pour éviter les collisions, les aides à la régulation de vitesse et de distance recensées se différencient selon trois axes : leurs fonctions, leurs interfaces et certaines options techniques (Dessaigne & al., 1996). Sans une analyse technique minimale des quatre types d'ensembles existant, il semble difficile de pouvoir mesurer l'incidence au niveau de l'activité des conducteurs tant les paramètres sont nombreux. Les deux premiers systèmes sont des systèmes anti-collision, pas les suivants.

Le système CAS (Collision Avoidance System) a pour fonction d'avertir le conducteur lorsque celui-ci se trouve en situation de risque de collision. CAS doit aussi empêcher ou limiter les actions qui pourraient être dangereuses, par exemple s'approcher trop près d'un autre véhicule. Du point de vue de l'interface, le système CAS durcit la pédale d'accélération et présente au conducteur un signal d'alerte lorsque le risque de collision est important.

Le système CW (Collision Warning) doit seulement alerter le conducteur dans les situations de risque de collision. Son interface alerte visuellement ou auditivement le conducteur dans les circonstances impliquant un risque de collision.

Le système ICC (Intelligent Cruise Control) fournit des informations de façon continue, et régule les distances qui séparent le véhicule conduit de ceux en circulation. Différent, son interface présente en permanence, les distances inter véhicules afin de pallier une déficience générale des conducteurs dans la perception et l'évaluation des risques de collision.

Le système AICC (Autonomous Intelligent Cruise Control) est le plus automatique. Il contrôle la régulation des vitesses et des distances : le conducteur n'a plus qu'à surveiller les déplacements de son véhicule et maîtriser son contrôle latéral. Plus complet, l'interface AICC présente au conducteur la vitesse qu'il maintient dans des conditions de circulation libre, c'est-à-dire sans véhicule à suivre ou à éviter (vitesse de consigne). Il signale ceux en circulation qu'il détecte (détection d'un véhicule à suivre) et les inter-distances à ces véhicules qu'il maintient (mode de suivi rapproché ou confortable). Il avertit aussi le chauffeur lorsque la situation nécessite une intervention (reprise en main du contrôle), par exemple, en raison des dépassements des capacités de ralentissement et de freinage du système. Toutes ces informations sont destinées à favoriser la compréhension et la surveillance du système par le conducteur mais le système n'intervient pas quand un obstacle apparaît.

Les constructeurs et les équipementiers ont développé ces systèmes en diversifiant les options techniques :

- Le risque de collision et les distances de sécurité peuvent être estimés à partir de différents "Temps Inter Véhiculaire" (T.I.V.). Ce temps représente, dans une situation de suivi d'un véhicule, celui de rattrapage du véhicule suivi par le véhicule conduit, si les vitesses et les trajectoires ne changent pas. Lorsqu'il est faible, la collision est imminente. Lorsqu'il est important, un ralentissement ou éventuellement un freinage peut rétablir aisément la situation. Chaque ensemble définit son seuil de sécurité à respecter.
- Pour le système AICC, le dispositif de détection des véhicules avant est primordial et, en particulier, la portée et la précision de ce dispositif sont déterminantes pour son efficacité.
- Une autre caractéristique technique importante pour le contrôle automatique des vitesses et des distances est l'utilisation ou non des freins qui est capitale pour les capacités d'action du système. Certains systèmes freinent automatiquement, tandis que d'autres laissent l'initiative du freinage au conducteur.

Face à ces multiples systèmes, associés chacun à maints prototypes munis éventuellement de plusieurs interfaces différentes, de nombreuses évaluations ont été réalisées (par exemple, Vernet & Labiale, 1994). Certaines visent globalement l'aide apportée, d'autres précisent les gains en sécurité, d'autres encore s'attachent au respect des réglementations (normes d'interface, de communications, etc...). Les évaluations ergonomiques portent plus spécifiquement sur l'interaction entre le conducteur et le système d'aide ou sur l'interaction entre le conducteur et le véhicule équipé, ainsi que sur la qualité des interfaces (présentation des informations, position et disposition des affichages, voyants et commandes, types de fonctionnalités offertes, etc.). Il semble important, dans une étude ergonomique, de passer en revue les fonctions d'aides apportées par le système pour vérifier si elle sont adaptées à l'activité souhaitée donc aux interactions entre l'homme, le système et le véhicule pour envisager de faire ou non des recommandations pour les améliorer. Par exemple, L'AICC considéré comme le système de confort le plus "intelligent" de la gamme a néanmoins des fonctions intelligentes qui restent à démontrer. Le système n'est, en effet qu'un système automatique substitutif qui alerte le conducteur dans certaines conditions. Ces fonctions (régulation de la vitesse et de distance) ne sont en fait que de simples automatismes. Bien que le système soit dit "intelligent", il ne fait pas tout lui-même : il exécute certaines tâches à la place de l'homme, mais ne le décharge que de certaines sous-tâches techniques, par exemple il prévient d'une vitesse atteinte et d'une distance à tenir. Cette fonction allège, d'une certaine façon, l'activité du conducteur mais n'est pas pour autant une tâche de "copilotage intelligent"

comme le soulignait ses promoteurs car elle ne permet pas de considérer certains critères essentiels pour la maîtrise du véhicule : par exemple, dans ce cas précis, considérer aussi la contrainte latérale. Il n'y a donc pas de fonction intelligente intégrée qui permette d'une part, le partage de tâches et d'autre part, l'atteinte d'un but commun entre l'homme et la machine. Le système est monocible. De fait, l'analyse des raisonnements cognitifs de l'homme n'a pas été exécutée finement ni implémentée dans le système, ce qui génère des impondérables évidents pour son utilisation.

Une analyse des raisonnements des conducteurs réalisée pour Renault SA, en collaboration avec l'INRETS, faite par Dessaigne, Kaplan, Dionisio & Vernet, (1996), a montré que si la régulation effectuée par le système automatique ne se fait que sur la composante longitudinale de la conduite (entre le véhicule possédant le système et le véhicule situé devant), pourtant le raisonnement du conducteur pour décider de sa stratégie de conduite est aussi fondé sur des événements liés à l'axe latéral : les usagers venant en face, certains obstacles possibles. De fait, le "diagnostic" du système est insuffisant et génère une activité supplémentaire pour l'opérateur qui doit contrôler la tâche automatique mais tout de même, réfléchir, superviser et agir : il va aussi devoir anticiper plus ou inventer de nouvelles stratégies de conduite :

- L'étude montre en effet que les conducteurs choisissent de déboîter plus en amont pour éviter les fausses détections du système.
- Voulant montrer l'intérêt de l'analyse cognitive fine d'une activité de conduite et de ses stratégies, nous notons par ailleurs, pour une situation de déboîtement et de rapprochement à grande vitesse du véhicule situé devant, que le système n'est pas capable de distinguer entre un risque de collision et une intention de dépasser, ce que fait aisément le conducteur et ce qui conditionne nettement ses choix stratégiques.
- En plus de générer plus d'activité pour l'opérateur en termes d'anticipation et de maîtrise, le système va également contraindre celui-ci à mettre au point de nouvelles stratégies selon ses habitudes de conduite. En particulier, les conducteurs ayant l'habitude de déboîter de loin pour dépasser apprécient les accélérations modérées du système et l'aide qu'il apporte dans l'anticipation des manœuvres, mais ils estiment qu'ils s'approchent trop des véhicules à doubler.
- À l'inverse, les opérateurs ayant l'habitude de s'approcher des véhicules et d'accélérer pour dépasser regrettent que le système ne s'approche pas plus et décélère, rendant les dépassements plus difficiles et les obligeant à reprendre la main, en particulier pour compenser l'inertie du véhicule.

D'une part, ces résultats soulignent l'importance de l'adéquation de l'aide aux stratégies de conduite, cette dernière devant intervenir dans le sens des attentes des intéressés qui ne sont pas toujours identiques. D'autre part, les reprises en main montrent (Kaplan, Dessaigne & Vernet, 1997), dans quelles situations les conducteurs considèrent l'aide comme potentiellement dangereuse, ou du moins indésirable, et quelles situations sont non-prises en compte ou le sont insuffisamment par le système. Par exemple, l'inertie du véhicule peut, notamment lors d'un dépassement, limiter les insertions de celui-ci dans un flux de trafic rapide ou, si ces insertions sont malgré tout entreprises par les conducteurs, peuvent générer des perturbations, notamment avec des véhicules rapides arrivant à l'arrière. Ces systèmes, insuffisamment adaptés à ce jour sont finalement peu utilisés.

2.4. Les systèmes d'aide à la conduite dans les transports collectifs

Comme pour les véhicules de particuliers, on voit arriver sur le marché des transports collectifs une myriade de systèmes d'aide plus ou moins opérationnels. Nous les listons succinctement dans le paragraphe suivant.

2.4.1. Les différents systèmes d'aide à la conduite dans les transports collectifs

D'après un entretien avec Alain Bourillet, responsable des études techniques et essais à la RATP, il ressort que les principaux objectifs de systèmes d'aide à la conduite pour les autobus seraient de permettre l'accessibilité, de gagner du temps sur les temps de parcours et enfin d'alléger la demande attentionnelle des conducteurs, ce que devrait autoriser l'acceptation de tous les systèmes conçus.

Actuellement, si l'on recense les différents types de systèmes d'aide dans les transports collectifs dits "intermédiaires", on repère trois catégories différentes :

- les systèmes d'aide à l'exploitation autorisent tant le conducteur que le Poste de Commandes Centralisées à se localiser dans le flux des bus d'une ligne particulière et accroît ainsi la régularité de la gestion des lignes par le biais d'une assistance "par intervalle".
- les systèmes d'aide à la maintenance sont des assistances qui sondent les informations relatives aux véhicules dans un but soit préventif soit curatif.
- les système d'aide à l'accostage et au guidage devraient favoriser une meilleure accessibilité pour les passagers. C'est cette dernière catégorie qui nous intéresse plus particulièrement.

2.4.2. Des systèmes d'aide et de guidage à l'accostage pour les autobus du futur

Les systèmes d'aide à l'accostage

L'accostage peut se définir comme étant " l'action de diminuer " l'espace ou la lacune existante entre le quai et le véhicule afin de faciliter l'échange des voyageurs ". On peut noter qu'en anglais, le terme d'aide à l'accostage est "docking aid ", c'est-à-dire l'équivalent du terme français. En allemand, par contre, la traduction est plus précise, plus pragmatique puisqu'il s'agit de "abstandshilfen ", qui veut dire aide à la distance ou la lacune, lacune signifiant espace vide entre le bus et le trottoir.

L'aide à l'accostage est l'une des formes d'aide à la conduite. Depuis deux décennies est née l'idée de donner aux conducteurs des informations pertinentes qui lui faciliteront la tâche, et en l'occurrence, les aideront à optimiser leur conduite.

Pour l'accostage des autobus, l'idée sous-jacente est que l'on fournirait aux conducteurs des informations sur sa position par rapport au trottoir, alors qu'il effectue habituellement la tâche d'ajustement en agissant simplement sur la direction du véhicule grâce à son volant et en prélevant de l'information sur le trottoir ou sa bordure, ce qui ne s'avère pas toujours efficace.

Pour aider l'opérateur à accoster, certains ont pensé à des aides situées au sol, d'autres ont envisagé un système "embarqué" installé à l'intérieur de la cabine du conducteur. Ces systèmes fourniraient l'information de la position du bus par rapport au quai de la station pour

lui permettre d'ajuster au mieux l'accostage. Éventuellement, des données sur la vitesse pourraient lui être communiquées.

Les études sur les systèmes d'aide à l'accostage

Nous repérons deux catégories de systèmes d'aide à l'accostage, soit ils sont situés sur la chaussée ou à l'arrêt, soit ils sont embarqués dans le véhicule.

On parle alors de systèmes fixes d'aide à l'accostage ; par exemple, la proposition d'un marquage au sol que nous avons faite au cours des premières études sur GIBUS.

On parle aussi de systèmes embarqués d'aide à l'accostage tel celui conçu par l'INRETS : GIBUS, pour lequel nous avons également réalisé des études ergonomiques.

Mais une différence est à noter selon les systèmes dont on parle : systèmes d'aide à l'accostage et systèmes de guidage à l'accostage.

Les systèmes d'aide à l'accostage

Ce sont des systèmes embarqués ou au sol, dits "légers", c'est-à-dire, sans partie automatisée. Dans ce cadre, l'usage du terme "systèmes d'aide à l'accostage" devient presque générique et exclu les systèmes d'aide à l'accostage automatisés que l'on nomme alors "système de guidage à l'accostage". Les systèmes d'aide à l'accostage fournissent une information de position du bus par rapport au trottoir. Plusieurs modèles différents sont apparus sur le marché des prototypes cette dernière décennie pour être testés. Ces systèmes sont des systèmes d'assistance dite "informative".

Les systèmes de guidage à l'accostage

L'idée que préconise les concepteurs est probablement de remplacer, en partie, l'homme chargé de cette activité. Il s'agit en fait d'exercer au final, par l'intermédiaire d'un automatisme, une action sur le volant qui permet d'amener l'autobus le plus près possible du quai. Du point de vue des systèmes, les processus liés à l'utilisation d'automatismes ont été modélisés dans le but de connaître les lois de commandes à lui appliquer afin de lui assurer un comportement précis. Au cours des dix dernières années, lors de leur modélisation, est rapidement apparue la nécessité de prendre en compte les facteurs liés aux réactions des utilisateurs qui, souvent, ont rejeté les premiers prototypes. On peut comparer ce qui s'est passé sur cette question avec ce qui s'est déroulé dans d'autres domaines liés au développement des automatismes. On a vu, en effet, des hommes se démarquer quant à la possibilité d'utiliser des automatismes à outrance du fait qu'ils jugeaient "ces systèmes non opérationnels" : expérience d'HALMSTAD en Suède relatée dans Uster, (1996). Ces systèmes d'assistance incluent des fonctions de copilottage lors de l'accostage. A l'arrivée au quai, le système prend la main sur le chauffeur pour exécuter la manœuvre mais ce dernier est seul maître et peut, à tout instant, décider de reprendre la main s'il présente que l'automatisme ne peut agir seul à ce moment. Du fait de ces fonctions, on peut dire que ces systèmes sont substitutifs (en partie) à l'homme. Si l'on considère, pour exemple, le cas particulier du guidage des autobus, les avancées de la technique ont permis d'intégrer différents types d'automatismes dans les dispositifs conçus pour le guidage de l'accostage. Nous verrons que pour les cas particuliers de VISEE et CIVIS, ceux-ci ont néanmoins pu être pensés en fonction de la manière dont l'homme envisageait la manœuvre d'approche du trottoir.

Les premiers systèmes mis au point, par exemple, les expériences de filoguidage entièrement automatique menées à HALMSTAD en Suède sur des autobus VOLVO entre 1979 et 1982, ont cependant été refusés par les conducteurs car ils intégraient une assistance quasiment totale à la tâche : les conducteurs n'avaient plus le contrôle de la direction, de l'accélération et

du freinage. La réflexion engagée au cours de plusieurs études a montré qu'une part indéniable du refus était à attribuer à l'aspect psychologique de cette question de la conduite. En effet, les conducteurs ne voulaient pas de ces systèmes car ils se sentaient "déresponsabilisés et dépossédés" (Uster, 1996) de leur outil de travail et des opérations de conduite qu'ils avaient à effectuer pour se garer.

Les systèmes suivants ont permis la gestion par l'opérateur de l'accélération et du freinage, des actions possibles relatives à la sécurité et la reprise en main sur le système de guidage à tout moment par l'homme qui le conduit (par exemple les systèmes VISEE et CIVIS). Ces conditions de "partage des tâches", de copilottage seulement sur certaines fonctions sont apparues comme acceptables pour le conducteur qui reste alors le maître à bord. À notre connaissance, au cours des études réalisées ces cinq dernières années sur les systèmes de guidage, on rencontre moins ce phénomène de rejet des systèmes notamment pendant la phase de mise au point. Ces derniers ont été améliorés en essayant de prendre en compte non seulement les critères liés à la sécurité, mais également ceux liés à l'ergonomie (adaptation à l'activité des opérateurs) et à la fiabilité humaine. Ainsi, dans les systèmes de guidage pour l'accostage d'autobus, le guidage latéral du véhicule est assuré par action automatique sur l'organe de direction depuis la phase d'approche de la station jusqu'à son arrêt. Le conducteur peut être informé du guidage par différents canaux sensoriels et il reste responsable des paramètres cinématiques du bus (vitesse, freinage) et de la sécurité.

Les ergonomes, quand ils sont associés à ces projets de conception, ne travaillent pas seulement à la définition des interfaces mais également à la prise en compte des stratégies et des raisonnements des opérateurs pour conduire les systèmes. Par leurs méthodes diverses, ils analysent les Interactions Homme-Machine, ce qui tend à concevoir des systèmes mieux adaptés à l'activité de l'homme.

2.4.3. A quoi et à qui servent ces systèmes

Les recherches relatives aux systèmes d'aide à l'accostage dans le secteur du transport collectif soulignent fortement les questions d'accessibilité des voyageurs. Le point de vue des conditions de travail du conducteur et notamment sa facilitation par l'intermédiaire d'un système d'aide avait, jusque-là, été éludé. Néanmoins, d'autres acteurs, tels l'Etat et les usagers ont un point de vue qu'il faut également considérer.

Faciliter l'accessibilité des voyageurs

Rendre accessibles les transports en commun, c'est "permettre d'accéder, d'arriver, d'entrer" (Mitchell, 1995). On peut penser, comme Uster, (1996) que " l'accessibilité se doit d'être intégrée au transport, tant au niveau des infrastructures que des véhicules."

L'accessibilité aux Personnes à Mobilité Réduite (PMR), personnes ayant des difficultés à se déplacer pour des raisons de handicap physique, sensoriel, permanent ou temporel, ou des raisons de circonstances, a été l'un des objectifs des pouvoirs publics de cette dernière décennie.

On s'est en effet aperçu qu'un nombre beaucoup plus important d'usagers que ne le laissait supposer la notion restrictive de handicap, avait besoin d'aide dans les situations de transport. En fait, la population de personnes à mobilité réduite, voire en partie invalide, est plus conséquente que celle des personnes notoirement handicapées : parents avec poussette ou enfants en bas âge, personnes avec bagages, personnes âgées, soit au total environ 25 % de la population transportée.

Plusieurs programmes, tant nationaux (guides et actions du COLITRAH : COmité de LIaison pour le TRAnsport de personnes Handicapées), européens (groupe COST 322, Euroteam transports publics) qu'internationaux (loi ADA aux USA, projet ACTION...) ont contribué à améliorer l'accessibilité.

Si les véhicules avec systèmes de transports guidés comme les tramways et les métros automatiques ont pris en compte, dès la conception, la contrainte liée à l'accessibilité, il n'en est rien en ce qui concerne les autobus.

Cependant, de nombreuses études engagées ces dernières années ont abouti et ont permis d'améliorer l'accessibilité par l'intermédiaire de "planchers surbaissés" et par la mise en rapport de la surélévation de quai (diminution de la lacune verticale) et de systèmes d'agenouillement du bus à cette hauteur. Par contre, la distance entre la bordure du quai et le seuil du véhicule, autrement appelée "lacune horizontale", restait un problème qu'il convenait d'étudier. Un programme de recherches auquel nous avons participé, appelé GIBUS (guidage de bus en station), a été développé par le groupe TRANSDEV et ses partenaires, dont la SEMITAG qui était très intéressée à avoir des autobus accessibles comme l'est son tramway. L'objectif visé, hormis d'autres avantages ou intérêts pour les conducteurs, était d'arriver à minimiser cette lacune horizontale en amenant l'autobus le plus près possible du quai de station pour permettre un accès facile à l'intérieur des bus par les usagers.

Il se dégage de ces études que trois types de systèmes ou d'aménagement peuvent faciliter les opérations d'accostage, donc permettre une meilleure accessibilité :

- aménagement des bordures de quai,
- dispositif automatique de guidage à l'accostage,
- système d'aide à l'accostage.

L'aide à l'accostage comme aide réelle à la conduite

L'art de l'ergonome consiste à vérifier que les propositions faites pour aider un opérateur sont de véritables aides, n'entraînant pas de coûts supplémentaires pour lui, ceci tant en charge physique pour penser à sa santé, qu'en charge mentale (Spérando, 1972), cognitive et sociale. Il considère même parfois les conflits psychologiques propres à l'individu qui aurait alors des difficultés à assumer la réalisation de son travail. Dans le domaine de la conduite de véhicules, on peut raisonnablement penser qu'une aide à la conduite bien conçue peut permettre de réduire la charge de travail des conducteurs et ainsi lui faciliter la tâche. Il s'agit donc de se décentrer du critère d'accessibilité des voyageurs, pour passer en revue d'autres critères indépendants. Selon notre point de vue, un système d'aide ou de guidage à l'accostage bien conçu peut permettre de :

- gagner ou maîtriser les temps de la cadence d'un tour, ce qui est évidemment bon pour l'exploitant de la ligne mais également pour le stress et la charge de travail du conducteur. Il peut aussi contribuer à :
- diminuer la charge physique,
- libérer l'attention au bon moment s'il est bien conçu,
- faciliter la tâche du conducteur,
- soulager la charge cognitive.

Le point de vue sécuritaire de l'Etat

Pour l'Etat, c'est la sécurité qui prime. Les aides doivent contribuer à l'amélioration des véhicules et des infrastructures pour pallier le nombre important des accidents de la route et leur gravité.

Les systèmes doivent pallier les insuffisances actuelles des infrastructures (systèmes de signalisation et d'informations routières, aménagement des voies et des carrefours, etc.) Ils doivent optimiser les véhicules en facilitant leur pilotage (aide au contrôle des vitesses et des trajectoires, facilitation des prises d'informations sur le tableau de bord, prise en charge de certaines tâches liées à la conduite, par exemple le repérage d'un itinéraire, l'accostage).

Le point de vue des usagers

Les usagers attendent certains services. Il semblerait que des systèmes bien conçus reflèteraient trois critères de plus que celui de l'accessibilité qui néanmoins est le premier cité :

- **Accessibilité** : les usagers souhaitent utiliser les transports en commun sans rencontrer de difficulté pour accéder ou rentrer dans les véhicules.
- **Ponctualité** : la ponctualité est un des services qu'apprécient fortement les usagers car elle leur permet d'être à l'heure à leurs rendez-vous et de tenir leurs engagements de divers ordre. Un système d'aide qui permet une meilleure régularité permettra d'être plus ponctuel.
- **Sécurité** : ce critère, souvent énoncé par les pouvoirs publics l'est également par les usagers. On a envie de voyager dans de bonnes conditions, c'est-à-dire en évitant les dangers et les accidents. Un système d'aide peut éventuellement fiabiliser donc sécuriser certaines opérations.
- **Confort** : l'attente à ce niveau est la même que pour le critère précédent. Les voyageurs sont d'autant plus exigeants que le fait de ne pas utiliser leurs véhicules personnels les rend plus pointilleux sur cette question. Ils perdent du temps, mais si le confort du véhicule est correcte, ils peuvent utiliser agréablement leur voyage à d'autres tâches. Un système d'aide bien conçu peut améliorer la qualité de l'accostage, donc rendre le bus plus confortable.

2.4.4 Etat de l'art des différents systèmes existants d'aide à l'accostage et au guidage

Nous empruntons à Uster (1996) l'état de l'art rédigé pour sa thèse afin de réaliser la synthèse qui suit et dans le dessein de donner un aperçu des différentes expériences menées sur cette question.

Expériences en Allemagne

Plusieurs expériences ont été menées en Allemagne. La première d'entre elles est celle d'un système de guidage mécanique O-Bahn possédant une seule roulette située au niveau de la roue avant droit. Celle-ci entrainait en contact avec le quai et permettait d'assurer des lacunes de moins de 5 centimètres de manière reproductible.

La RATP s'est inspiré de ce système et a réalisé un prototype du même genre, mais les essais effectués en 1994 ont été abandonnés du fait de difficultés d'ordre mécanique.

Le premier bus à plancher surbaissé, NEOPLAN, équipé de système d'agenouillement a permis de réaliser des expériences d'accessibilité à Herten près de résidences de personnes âgées et d'hôpitaux. Le Ministère des Transports a alors décidé de financer un projet d'aménagement de 20 arrêts dans la commune de Boltrop. Les trottoirs d'une hauteur de 20 centimètres ont provoqué une certaine appréhension chez les conducteurs de bus car ils étaient trop hauts. La qualité des lacunes verticales était donc médiocre.

Une nouvelle étude, également financée par le Ministère des Transport, a été confiée à Stuva & Vestische (1993) dans le but de réaliser une étude bibliographique sur ce sujet. L'objectif principal était de réaliser un système bon marché et qui fonctionne.

Deux systèmes ont alors été mis au point :

- Le système de guidage MAN reposant sur le principe de filoguidage, avec un marquage au sol pour trajectoire et une antenne embarquée sous le bus, a finalement été abandonné, avant d'être réellement testé.
- Le système BOSCH, équipé d'un dispositif à ultrasons situé proche du rétroviseur droit, donne une information au conducteur sur l'éloignement du trottoir par l'intermédiaire de trois lampes de couleurs différentes symbolisant des distances différentes.

Ce prototype a été repris par WIEGAND suite à des difficultés de mise au point par BOSCH. Il a été abandonné, dit-on, pour des raisons liées à l'emplacement de l'afficheur et des problèmes d'intégration du système dans la tâche de conduite. Nous ne manquerons pas, dans la suite de ce chapitre, de parler de cette expérience puisque l'une des versions de GIBUS est assez proche et nos analyses et conclusions pourront, peut-être, éclairer celle-ci.

Ces deux solutions ayant été abandonnées, l'étude a été poursuivie sur une troisième possibilité proposant une bordure lisse contre laquelle s'approcherait progressivement les pneumatiques de l'autobus pour réaliser une lacune minimale, Grossmann & Kramer, (1994). Les entreprises CONTINENTAL et DUNLOP ont alors assuré que les frottements à répétition contre les flans des pneus n'étaient pas un problème puisque leur conception était prévue à cet effet. Des essais ont été réalisés et ont montré la bonne tenue des matériaux des pneus allant jusqu'à une température de -10°C . La forme particulière des trottoirs permettait de minimiser le contact roue - bordure. Les conducteurs ont répondu à un questionnaire et les résultats étaient globalement positifs. Cette solution a été adoptée en Allemagne comme étant la solution à l'accessibilité dans plusieurs villes (Boltrop, Kassel, Aix-la-Chapelle, Herten...). Les hauteurs de quais de 16 à 18 cm sont maintenant reconnues en tant que norme en Allemagne et les lacunes réalisées se situent entre 6 à 8 centimètres.

Nous verrons dans les chapitres suivants que certaines stratégies des conducteurs de bus de Grenoble se rapprochent fortement de celles-ci puisque environ un tiers d'entre eux (avec ou sans système GIBUS) vont toucher légèrement le trottoir pour réaliser leur accostage, alors que la hauteur des trottoirs est également de 18 centimètres. Ce point très intéressant sera donc prochainement évoqué.

Expériences en Suède

VOLVO a réalisé en 1982 un système d'aide à l'accostage reposant sur des techniques électroniques permettant d'approcher l'autobus, qui n'était pas à plancher surbaissé, le long du quai par l'intermédiaire d'une action automatique sur le volant. Comme nous l'avons dit précédemment, la manœuvre était réalisée de manière entièrement automatique, par l'utilisation d'un filoguidage relié au couple du volant. Les conducteurs n'avaient ni le contrôle de la direction, ni celui de l'accélération, ni même celui du freinage et ont donné une opinion très hostile au système car ils se sentaient déresponsabilisés. Des études complémentaires ont été engagées car l'opinion des voyageurs était plutôt favorable, notamment celle des personnes à mobilité réduite. Des améliorations au système ont été apportées : possibilité de freinage, responsabilité du conducteur pour reprendre la main ; néanmoins elles n'ont pas suffi. L'opposition a été si forte (manque de fiabilité ou peur de voir le métier de conducteur disparaître, les raisons précises n'ont pas été publiées) que le système d'aide a été supprimé. Depuis 1990, la Suède a opté pour une autre optique, des autobus à planchers surbaissés.

Expériences en France

Les projets GIBUS, VISEE et CIVIS feront l'objet d'un exposé détaillé dans les chapitres suivants. Nous les présentons succinctement dans cette partie.

Le système d'aide à l'accostage GIBUS

Après plusieurs variantes, GIBUS est devenu un système embarqué dans le bus. C'est un système dit "léger". Il fournit, par l'intermédiaire d'un écran situé sur la planche de bord ou vers le rétroviseur droit, une information sur la position du bus par rapport au quai de la station. Le but est de permettre au conducteur d'ajuster au mieux l'accostage. Le système est utilisable par le conducteur pendant la phase finale d'accostage, c'est-à-dire au cours des 40 derniers mètres.

On peut retenir qu'il se compose :

- d'un capteur de vitesse permettant de déclencher l'afficheur du système seulement quand l'opérateur roule entre 0 et 18 Km/h, c'est-à-dire lorsque l'opérateur est en phase finale d'accostage,
- d'un capteur de position à ultrasons qui mesure la distance entre le véhicule et le quai de l'arrêt,
- d'une unité centrale placée sur la plage avant du bus ou vers le rétroviseur, contenant l'électronique et l'afficheur,
- l'afficheur avec un affichage sur écran qui schématise le rapprochement de la bordure de trottoir et donne une indication d'atteinte d'objectif ou qui peut afficher le résultat de la lacune.

Le système est fonctionnel dès que le contact du véhicule est mis. Ce système est un système d'aide informatif.

Le système d'aide au guidage VISEE

VISEE est un projet développé dans un premier temps par Renault Véhicules Industriels en partenariat avec la Direction de la Recherche de Renault. Ce système à guidage latéral immatériel, reposant sur des techniques électroniques ne nécessitant pas d'infrastructure lourde, devait assister le conducteur pendant la phase d'accostage du bus. Les études ergonomiques ont montré qu'il fallait situer l'enclenchement du système dans la phase de pré-accostage. Le guidage du bus est effectué grâce à un système de vision embarquée. Une caméra réalise la détection d'une ligne de référence tracée au sol et un calculateur embarqué traite les images collectées pour générer une consigne de couple à appliquer à la colonne de direction afin de faciliter l'aide à l'accostage en optimisant la trajectoire. Un autre capteur mesure la distance du bus par rapport au quai. Le système peut posséder plusieurs niveaux d'information à l'opérateur (visuel, sonore et kinesthésique) que les ergonomes ont dû étudier pour savoir où les situer au cours du déroulement de l'activité. En réalisant une manœuvre d'accostage, le bus suit une trajectoire idéale l'amenant à une lacune minimale, inférieure à 8 centimètres. Le système a été monté sur un bus R312, prototype qui a été testé sur site fermé, puis semi-ouvert, puis ouvert, possédant différentes formes d'arrêts (en ligne, en encoche en saillie), tout d'abord avec des essayeurs, ensuite avec des conducteurs de ligne. Des scénarios de mode nominal et incidentels ont été mis au point suite à l'analyse de l'activité réelle des conducteurs dans le but de tester les conditions d'utilisation par des conducteurs professionnels. Les critères physiologiques, cognitifs et psychologiques des conducteurs pendant la réalisation de la tâche ont été passés en revue pendant ces phases expérimentales du prototype pour appréhender les risques professionnels.

Ce système est un copilote ayant une logique de conception "substitutive". Les formes d'assistances sont informative et collaborative.

Le système d'aide au guidage CIVIS

CIVIS est né de la réunion des compétences de MATRA et RENAULT. Il est le prolongement des études de VISEE. C'est un système de transport urbain léger qui circulera en site propre ou semi-ouvert et destiné aux agglomérations moyennes. L'insertion de ce site

propre dans la ville est facilitée par une voie adaptée à l'environnement, combinaison de guidage matériel et immatériel, d'une captation électrique aérienne possible et interrompue aux passages critiques, d'un mode de propulsion optionnel : électrique (perche ou batterie autonome) ou thermique (diesel ou gaz) et d'un roulement pneumatique autorisant de fortes déclivités. Il existe en fait différentes tailles de véhicules pour ce système : véhicules standard (12 m), articulés (18 m) ou constitués de 3 caisses (24 m). Ils sont équipés d'un plancher bas intégral à 320 mm du sol. Différentes versions de postes de conduite sont également proposées : soit en cabine, avec confort individualisé pour le conducteur, soit ouvert, avec ou sans protection anti-agression combinée avec la manœuvre des portes. Le véhicule équipé du système CIVIS devait disposer de trois types de guidage :

- Le guidage optique mis au point pour le projet VISEE assurera le guidage nominal partout où une précision de trajectoire est nécessaire.
- Un guidage mécanique qui à ce jour n'a pas été développé car non demandé par les clients : des murets ou des barres de guidage latéraux d'environ 20 cm de hauteur, sur lesquels peuvent venir porter des galets d'axe vertical fixés aux roues avant du véhicule et aux essieux arrière et intermédiaire.
- Un guidage manuel lors de la conduite du chauffeur.

Les études ergonomiques réalisées pour ce système ont été composées de plusieurs phases : analyse bibliographique des systèmes semblables existants, analyse de situations identiques de référence sur les tramways de Grenoble et de Strasbourg, cahier des charges ergonomiques prenant en compte l'activité prédictive des conducteurs pour le produit futur, recommandations pour l'implantation des commandes et informations sur le poste de conduite dans ses versions "maquette" et "démonstrateur".

Le projet "chasse roue" de CAEN

Ce projet a été mené par la CTAC (Compagnie des Transports de l'Agglomération Caennaise) et expérimenté à partir de l'année 1990, Frey. & Vuailat. (1992). Il associe des bus à plancher surbaissé à des arrêts aménagés en surélévation. La CTAC a souhaité développer un système polyvalent pouvant accueillir tous types d'autobus, qui soit fiable et durable, l'idée étant d'éviter le contact du bus contre le quai, en assurant néanmoins une lacune inférieure à 10 centimètres. Le système est composé de deux parties :

- un dispositif placé le long du quai de la station, composé lui-même d'un tube métallique de forme arrondie inséré dans la bordure, les flans du pneu s'appuient alors sur le tube en acier sans créer de dommage sur les enjoliveurs.
- un système d'aide visuelle au conducteur.

Le système d'aide visuelle est lui-même composé de trois parties :

- un système de visée placé sur le pare-brise permet au conducteur de suivre un repère au sol représentant la trajectoire optimale pour un bon accostage,
- le repère au sol constitué d'une bande rouge,
- un rétroviseur d'accostage dans lequel le conducteur peut vérifier sa position en fin d'accostage. Il a d'ailleurs fallu rajouter un repère latéral à hauteur du passage de la roue droite pour que le conducteur puisse véritablement juger du résultat.

L'évaluation du système a été réalisée à l'INRETS par M. Dejeammes .& Carvalhais (1993) tant auprès des voyageurs que des conducteurs. En conclusion, ce système ne permettrait pas d'atteindre les objectifs de très faible lacune, une moyenne de 15 centimètres est en effet relevée lors de l'expérience. Le temps d'approche a augmenté par rapport au temps usuel sans système. Ceci ne semble pas étonnant étant donné la complexité de la tâche demandée au conducteur au cours de la phase terminale de l'accostage. L'arrêt surélevé (25 à 28 cm) entraîne également une certaine crainte d'endommager le véhicule. Cette expérience a

démontré qu'un système mécanique ne se suffisait pas en lui-même et qu'il fallait y adjoindre un système d'aide à l'accostage pour le conducteur. Ce dernier doit parfaire son entraînement et suivre une formation au système. Nous ne savons pas où en est actuellement ce projet.

Le projet de la RATP

La RATP a proposé aux constructeurs qui ont en projet la réalisation des autobus du futur de les tester en vraie grandeur sur une portion de sa ligne de bus en site propre intégral (Kaplan, 1996). Cette expérimentation concerne le TVR, construit par ANF-Bombardier, le Translohr, développé par le constructeur alsacien Lohr, et Renault, associé à Matra Transport International, qui travaille sur un projet de tramway sur pneus à guidage optique.

Cette expérimentation est financée à parts égales par le PREDIT, les exploitants (RATP, Via-GTI, CGEA, Agir, Transdev et Cariane) et les industriels (France TVR, Lohr, Renault V.I. et Michelin). Elle a lieu sur une portion de 6 km du TVM dont 1,5 km au niveau de la côte de Thiais équipé d'un rail de guidage. Ce site a été retenu parce qu'il offre le profil idéal avec une courbe, une contre-courbe, une montée et un accostage. L'un des intérêts de cette expérimentation sera en effet de contribuer au débat guidage intégral ou guidage discontinu. On pourra par ailleurs vérifier la qualité technique des véhicules avec ou sans guidage, mais aussi la réaction des conducteurs et des passagers, voir les réactions quand il ne sera plus guidé, si le véhicule se met à zigzaguer ou non, si le conducteur est angoissé, si les passagers notent une baisse de confort. On pourra également contrôler la hauteur à standardiser pour les quais. Ce dernier objectif permettrait à un élu de réaliser son infrastructure avant même d'avoir choisi le type de véhicules qu'il y fera circuler. Les innovations à tester portent sur les différents moyens de guidage possible et sur la modularité des véhicules proposés. Le choix possible entre une structure légère n'ayant pas besoin d'un guidage matériel continu au sol ou une structure plus classique de type tramway devrait être tranché lors des expérimentations prévues sur le site RATP.

Notre rencontre avec Alain Bourillet du Département Matériel Roulant Bus de la RATP, chargé de l'organisation des expérimentations ne nous permet pas d'apporter les éléments de synthèse de ces études car celles-ci ne sont pas terminées et un rapport officiel devrait être livré courant 2002.

2.5. Synthèse et conclusions

2.5.1. Synthèse sur le concept de système d'aide

Pour qu'il y ait "aide" à l'opérateur, il faut que trois éléments apparaissent ensemble : une tâche, un opérateur devant réaliser cette tâche et un assistant pouvant lui-même être soit humain, soit technique, et aidant le premier. À propos de la tâche, il est permis de distinguer la tâche principale, portant sur l'objet de l'activité, et la tâche secondaire rendant compte de la manipulation de l'instrument. Concernant l'opérateur qui utilise l'aide, une dégradation de l'activité principale est souvent constatée et une activité secondaire s'ajoute pour lui. On constate aussi qu'une partie de la charge de travail peut être déplacée sur cette activité annexe et parasite qu'est la tâche secondaire. Au sujet de " l'assistant" , il faut retenir que ce sont des instruments à adapter à l'activité future de l'opérateur.

Les aides sont donc des instruments de travail. Pour être utile à l'homme, elles doivent être adaptées aux activités à réaliser, efficaces, utilisables et n'occasionnant ni gêne ni danger.

Cependant, l'instrument détermine le travail et influe sur l'activité. En changeant celui-ci, on change le travail. Toute modification doit donc être envisagée avec prudence et contrôlée quant à ses impacts sur l'opérateur.

L'assistance est appréhendée comme un processus lié à un mode de collaboration entre une aide et un opérateur. Celle-ci provient généralement de l'incapacité de l'un ou l'autre des agents à réaliser seul la tâche de manière satisfaisante. La collaboration entre l'assistant et l'assisté implique également des tâches complémentaires : la maîtrise du nouvel "outil" et la coordination des deux "agents" (gestion des échanges d'information, répartition des tâches...). Nous soulignons le fait qu'il faut veiller à étudier les interactions plus que les interfaces pour bien concevoir ces aides.

Selon les auteurs, trois catégories d'aide sont répertoriées en fonction du rôle qu'on leur assigne. Brangier, (2000) considère les aides informatives, les collaboratives et les palliatives. Bellet, Tattegrain-Veste & Chapon (2001), axés plus précisément sur les aides à la conduite de véhicules, répertorient les aides informatives, les automatiques ou substitutives et les coopératives. Chacun sait que ces aides n'en excluent pas d'autres. Des débats sont évoqués à propos du classement des copilotes dans un type d'aide ou dans un autre tout comme à propos de la relativité des aides collaboratives et coopératives. Nous pensons que l'essentiel des choix possibles pour trancher ces débats découle de la philosophie sous-jacente quant à la logique de conception retenue : s'agit-il d'une logique "substitutive", où l'on veut remplacer partiellement ou totalement l'homme par la machine ou s'agit-il d'une logique de "couplage homme-machine" qui vise à instaurer une relation plus "coopérative" entre l'homme et la technologie? En quelque sorte, la conception peut être décidée dans une vision technocentrée ou anthropocentrée.

Il nous semble qu'il faille distinguer pour toute conception de systèmes, l'acte cognitif de la personne, indépendamment de la cognition utilisée dans le cas d'un système dit "coopératif". Il y a en effet souvent amalgame entre l'aspect "coopération" d'un système et celles engagées par l'homme même quand le système n'est pas dit "coopératif". Cette distinction est importante bien que les processus mentaux de collaboration et de coopération soient situés sur une même échelle de la cognition. Ils ne sont néanmoins pas au même degré de complétude des actions et anticipations réalisées. En dehors des systèmes coopératifs, la coopération et la collaboration sont donc deux mécanismes cognitifs à distinguer. Nous donnons à collaborer un sens plus restrictif que celui de coopérer. Il s'agit, selon la définition usuellement retenue de "travailler avec". Il existe donc des mécanismes de collaboration et d'autres de coopération humaine face à un système qui peut, lui-même, être coopératif si une coopération est directement implémentée dans le système dit alors "intelligent".

Il y a, en dehors des systèmes, nécessaire collaboration entre l'agent et l'instrument "système d'aide", même si celle-ci n'est pas une coopération totale. Il peut y avoir confusion entre le développement d'une technique coopérative de type "système coopératif" et la collaboration /coopération s'instaurant entre l'homme et l'instrument "système d'aide" quelque soit son niveau d'assistance. S'ils ne collaboraient pas, on rencontrerait alors des situations de refus du système ou sa sous-utilisation !

il est intéressant et nécessaire de concevoir ou d'adapter une aide à l'homme qui l'utilise. Intervention et analyse de l'ergonome ne sont donc pas inutiles car elle permettent de dissocier les niveaux requis et de montrer ce que l'on peut adapter pour chacun. Il s'agit de

bien concevoir non seulement l'interface mais aussi l'Interaction Homme-Machine, l'assistance étant utilisable dans des contextes variables et dynamiques.

Nous notons que peu de systèmes sont "coopératifs" dans le domaine de la conduite de véhicule à ce jour ou ne le sont que partiellement. La notion "d'adaptabilité" de l'instrument ne doit pas s'envisager uniquement sur le système lui-même car cela ne suffit pas. Il ne faut néanmoins pas conclure hâtivement que le problème est cognitif et que les formes d'intelligence sont à mettre au niveau de l'homme uniquement. L'intelligence est à répartir chez les deux protagonistes pour que l'activité future soit réalisable : les aspects de risques encourus donc de temps de réaction, d'attention disponible et de détournement du regard, de durée de traitement et d'enchaînement des opérations doivent donc être considérés pour établir les choix à retenir. En conduite de véhicules, dans certaines situations, la contrainte temporelle est parfois plus forte que dans d'autres domaines (avionique, contrôle de processus). Ceci explique probablement pourquoi les systèmes coopératifs sont peu développés. Le danger y est très fort, les représentations mentales de l'environnement changent en permanence et prouvent que la fiabilité humaine est meilleure dans ces cas-là qu'un système dit "intelligent". Enfin, les diverses dimensions de l'homme au travail (physiologique, psychologique, cognitive et sociale) doivent être envisagées, même si elles ne seront jamais exhaustives. A nos yeux, la nécessité d'une étude ergonomique approfondie est donc essentielle.

2.5.2. L'intérêt d'une analyse ergonomique

La méthodologie préconisée par les ergonomes permet en effet de repérer et d'analyser les situations d'usage liées à l'accomplissement du travail pour faire ensuite des recommandations concernant la conception des systèmes. L'ergonome tente de confirmer par des méthodes éprouvées (observations, entretiens...) et de décrire la tâche prescrite, l'activité réelle ou effective, les contraintes, les astreintes et la charge de travail qui pèsent sur l'individu pour la réalisation de son travail. En quelque sorte, l'analyse du travail effectuée correspond dans un premier temps "à la collecte d'un savoir sur les conditions de sa réalisation et de son opérationnalisation" (Brangier, 2000). Les conditions physiques et physiologiques de l'activité, l'organisation du travail, son déroulement temporel, son contenu, la clarté et la classification de l'information des interfaces ou assistances utilisées, les caractéristiques des postes de travail (par exemple l'habitacle du poste de conduite) sont passés en revue. L'analyse des possibilités d'actions et les modes opératoires, les fonctionnalités envisagées, les raisonnements et anticipations de l'opérateur pour parvenir au but sont également recherchés. L'ergonome va également s'efforcer de recueillir des informations sur le champ social et psychologique de l'opérateur car ces dimensions ne sont pas sans incidence sur le déroulement de l'activité.

Dans un deuxième temps, il définit les écarts entre la tâche prescrite et l'activité, ce qui le guidera pour émettre des recommandations tant pour des situations à corriger que pour celles qui sont à concevoir. Cette analyse traditionnelle doit permettre de mesurer l'adéquation du système d'aide à la performance, au confort, à l'efficacité et à la sécurité de l'opérateur.

Nous soulignons ci-après l'intérêt de plusieurs apports complémentaires, non répertoriés classiquement en ergonomie mais qui, de notre point de vue, sont indispensables pour des projets de conception. Nous avons réalisé les études concernant les systèmes d'aide à l'accostage GIBUS, VISEE et CIVIS grâce aux approches suivantes qui seront par la suite détaillées au chapitre II de cette thèse.

- S'il est indispensable de considérer l'activité globale des opérateurs pour bien concevoir un système de travail (ou une assistance), nous en proposons une restitution par le biais d'un

modèle de l'activité le plus complet possible (§ I.1.2.). Certains auteurs se sont trop souvent axés sur les aspects cognitifs uniquement (anticipation, raisonnement...) sous prétexte que ceux-ci ont été oubliés ces dernières décennies. Il faut donc répertorier au mieux les différents aspects liés à l'activité : la perception, l'enchaînement des actions, leur synchronisation, les retours d'efforts, le temps qu'il reste avant d'agir, l'organisation possible, les aspects sociaux et psychologiques... Un individu est un tout, même si des raisons méthodologiques nous obligent à dissocier ses différents aspects. Ceux-ci ont néanmoins chacun leur importance dans la réalisation du travail. On ne peut en négliger aucun, même si la modélisation du tout semble difficile ou improbable. Dans la réalisation de nos études pour GIBUS, VISEE et CIVIS, nous nous attachons à considérer l'ensemble des critères relatifs à l'homme, ce qui consiste en une approche holistique, même si nous insistons pour montrer que les critères cognitifs guident l'action. Les algorigrammes que nous avons utilisés pour modéliser l'activité d'accostage permettent de représenter et de tenir compte de l'ensemble des points de vue dont ceux psychologiques et sociaux qui sont aussi restitués dans le modèle de l'activité réelle que nous utilisons.

- Au cours de la phase d'analyse de l'activité réelle, il est néanmoins intéressant de réaliser l'analyse des raisonnements de l'opérateur en situation de travail car cela permet d'élaborer un modèle de l'opérateur plus juste (les raisonnements guident l'action) pour nous aider à mieux concevoir. En ergonomie, l'analyse des raisonnements est rarement réalisée par des praticiens car souvent longue et fastidieuse. Nous verrons qu'en utilisant des heuristiques diverses, nous avons mis au point un modèle descriptif, inspiré de celui de "l'échelle double" de Rasmussen (1986). Le notre permet de décrire l'activité globale qui prend en compte les trois registres de fonctionnement du conducteur (sans pour autant les distinguer dans la restitution du modèle car notre objectif n'est pas une démonstration ou une explication de la théorie sous-jacente), ce qui apporte plus de précisions pour envisager la conception.

- Faire de la conception, consiste en partie à effectuer une analyse du futur produit pour savoir comment l'adapter à l'homme. Travaillant depuis quinze ans au sein de projets de conception et ayant débuté dans une équipe d'ingénierie, nous avons appris qu'il était important d'étudier de manière détaillée le futur produit ou processus à concevoir. En effet, la connaissance et l'analyse des spécifications détaillées du futur produit ou système nous semblent un minimum pour envisager le lien entre l'activité actuelle et celle à venir pour ainsi contribuer à une meilleure conception. L'ergonome doit être capable, dans la conception, de faire le lien entre la technique et les meilleures possibilités d'utilisation de l'instrument. L'une des difficultés dans la conception des artefacts de formes diverses réside dans le fait que la logique d'utilisation des opérateurs n'est pas toujours celle prise en compte par les concepteurs qui, eux, sont plutôt axés sur la technique, autrement dit, la logique de fonctionnement du système. Il nous semble donc indispensable que l'ergonome collabore avec les ingénieurs pendant la conception pour que soit considéré le point de vue de l'utilisateur.

- Après l'analyse détaillée de l'activité réelle et celle du futur produit, l'ergonome doit, de notre point de vue, procéder à une analyse systématique de l'activité future possible (Daniellou,1987). Au cours de cette phase, celui-ci devra lister, puis analyser, ce que nous appelons les scénarios de l'activité future (Dessaigne,1989). Ceux-ci permettront d'émettre des prédictions sur les comportements futurs ce qui permettra d'affiner les recommandations pour la conception. Nous appelons "scénario" le déroulement d'une scène de travail comportant des actions et des opérations diverses et enchaînées, liées à une classe d'événements pour une situation répertoriée, liée à l'activité de travail. Ces scénarios peuvent être testés par le biais d'un prototype du futur produit. Il faut tendre à les expérimenter le plus

possible dans des situations proches de la réalité, ou en simulation si cela n'est pas possible dans un contexte écologique. Certains auteurs, par exemple Galinier, (1996), appellent cette phase, phase de "conception par la voie proactive". Elle semble se rapprocher fortement de ce que nous proposons sous la notion "analyse des scénarios futurs" puisqu'elle consiste à compléter l'analyse de l'activité par la définition de classes de situations significatives pour l'opérateur du point de vue de l'activité qu'il devra déployer. En quelque sorte, que ces scénarios soient expérimentaux (sur site fermé, par exemple), en activité réelle ou ceux envisagés pour l'activité future, trois variantes que nous utiliserons dans nos expériences, ils nous permettent de bien cerner les questions liées aux interactions entre l'homme et la machine qu'il faut savoir analyser pour bien concevoir.

Ainsi, pour la conception d'une assistance, il est nécessaire de prendre en considération les activités cognitives diverses de l'opérateur dans l'idée de faciliter ou d'approcher ses modes de traitement de l'information et de raisonnement pour l'activité future et cela, pas seulement sur l'instrument lui-même. Pour concevoir cette activité future, le trio "analyse de l'activité réelle, analyse du produit (ou de l'instrument ou du processus projeté) et analyse des scénarios du futur" nous semble indispensable. Il contribue, à la base, à ce que nous appelons l'analyse des Interactions Homme-Machine⁸. Une revue des connaissances utilisées auparavant par l'opérateur, des anciennes routines, des règles (stratégies) peut alors être effectuée pour conserver le maximum de ses usages et habitudes bien que cela ne soit pas toujours indispensable. Celle-ci doit être réutilisée en fonction des possibilités offertes par le nouvel instrument que l'ergonome peut encore améliorer ou changer à ce stade de conception. Nous savons en effet, que ce qui est acquis, tant au niveau des routines que des règles est plus facilement ré-exploitable par l'opérateur qui n'aura pas à s'appropriier totalement le nouvel outil, à condition de veiller à l'adéquation avec le nouvel outil. Néanmoins, l'appropriation d'un nouvel outil est toujours nécessaire, même si les précautions citées ci-dessus peuvent la faciliter. Il faut en tenir compte avant de porter un jugement sur le couplage homme-machine de l'outil ou de l'interface nouvelle. L'appropriation d'un nouveau système se décline en plusieurs phases dont nous reparlerons dans la partie II de cette thèse.

La conception doit d'abord porter sur les Interactions Homme-Machine avant de se focaliser sur l'interface du système lui-même, c'est pourquoi le chapitre II de cette thèse montrera le détail de l'analyse de ces Interactions pour l'ensemble des trois systèmes étudiés. Celles-ci nous permettra d'avoir une vision plus holistique et considérer les situations complexes rencontrées, notamment les aspects liés aux situations imprévues, imprécises voire inconnues ou non répertoriées (Boy, 2000). On sait en effet que ces situations doivent être situées dans leur contexte dynamique. Cette notion de contexte est fondamentale dans l'approche cognitiviste que nous défendons en partie (puisque l'homme est un tout qui a également des composantes sociale, psychologique et physiologique), car elle permet d'analyser le point de vue de "l'intelligence" de l'homme dans son travail. De fait, au cours de ce chapitre II, les aspects reposant sur des critères liés à la compréhension, la confiance, le naturel, l'accessibilité, l'interprétation des situations, c'est-à-dire des aspects cognitifs mais également les aspects sociaux, conatifs et culturels liés à l'opérateur seront abordés. Les ergonomes essaient en fait de prendre en compte, pour la conception, les exigences, les besoins, les

⁸ Définition IHM : on définit l'Interaction comme le processus (abstrait) de la confrontation entre l'Homme et la Machine, alors que l'interface n'est que la partie concrète de la "machine" (logiciel par exemple) servant aux échanges des informations avec l'utilisateur, De Montmollin, (1995). Cette confrontation peut dénoter des aspects divers tels les communications engagées et les raisonnements, l'apprentissage du fonctionnement de la machine, les compétences et expertises de l'opérateur.

caractéristiques et les capacités des utilisateurs. Pour eux, le principal problème consiste à trouver une bonne répartition des fonctions et des rôles entre l'homme et la machine.

Au-delà de l'étude ergonomique classiquement énoncée, nous proposons d'utiliser pour les études des systèmes GIBUS, VISEE et CIVIS relatées dans le chapitre II suivant, d'autres approches pour l'analyse de ces Interactions Homme-Machine :

- La première d'entre elles est la mise au point d'un modèle descriptif de l'activité réelle de conduite lors de l'accostage qui servira de situation de référence tout au long des différentes études. Ce modèle nous permet de détailler et connaître les anticipations, les prises d'information, les choix de stratégies mais aussi les actions engagées par les conducteurs lors de l'accostage. Il permet de bien appréhender les choix effectués par ceux-ci et il montre également les limites de ses capacités diverses dans les actions accomplies. Ce modèle nous donne ainsi des indications précieuses pour éditer par la suite, les recommandations de conception des systèmes.
- La deuxième, plus classique en ergonomie, utilisée pour les trois dernières phases de conception du système GIBUS, consiste en l'analyse de l'activité "en situation réelle". Elle nous permettra d'établir que ce système n'est pas suffisamment performant pour être une aide utile à l'opérateur en situation d'accostage. Du fait de la richesse des résultats directs obtenus, nous n'avons pas réutilisé le modèle descriptif de référence ici mais nous aurions néanmoins pu le faire si notre objectif avait été purement académique. Nous rappelons, en effet, que notre position était celle d'un praticien devant concevoir ou formuler des recommandations pour améliorer un système.
- La troisième approche, classique a priori, concerne l'utilisation d'un plan expérimental à tester sur site fermé (puis semi-ouvert) pour l'étude du système VISEE, puisque nous étions au début de la conception du prototype dont nous voulions tester "l'utilisabilité" et la dangerosité. L'originalité de ce plan expérimental réside dans le fait que nous avons mis au point des scénarios possibles de l'activité (en mode normal et incidentel) à tester que nous avons établis en fonction de notre connaissance du système projeté, de l'activité d'accostage (modèle, par exemple) et des réactions attendues des conducteurs.
- La dernière, relative à l'étude du système CIVIS, admet l'utilisation d'un modèle prédictif de l'activité avec le futur système, selon des activités de conduite "de référence" (bus et tramways) puisque ceux à concevoir n'existe pas encore. L'analyse recense donc des prédictions de "l'activité future probable" des différentes situations rencontrées avec le nouveau système. Ces prédictions seront justifiées par une somme d'arguments. Elles permettent d'aborder les situations de conduite future et devront être vérifiées avant ou lors de la mise en service du système.

Pour concevoir, il nous semble primordial d'analyser ces situations d'interactions avant de formuler des recommandations pour la conception des interfaces. Le chapitre II expose les analyses liées aux choix d'interactions à retenir pour la conception des systèmes GIBUS, VISEE et CIVIS.

2.5.3. Intérêt de l'utilisation de scénarios de différents types pour la conception

Il s'agit de montrer dès lors, pour les études de conception, l'importance de l'utilisation de scénarios de différents types que nous avons qualifiés. Nous proposons en effet sous cette notion de compléter "l'analyse de l'activité" bien connue des ergonomes par la définition de classes de situations significatives pour l'opérateur du point de vue de l'activité qu'il devra

déployer avec son nouveau système. En quelque sorte, nous recensons des scénarios expérimentaux du prototype (sur site fermé, par exemple), ceux, d'activité réelle et d'autres dits "prédicatifs" de l'activité future. L'ensemble des trois catégories va nous permettre de bien envisager les questions liées aux Interactions entre l'homme et la machine, questions principale pour bien concevoir. Les scénarios sont parfois élaborés à partir du modèle de référence construit à partir de l'activité réelle, ici, d'accostage des bus. Ils permettent d'émettre des prédictions affinées sur les comportements attendus, ce qui nous guidera ensuite pour la conception des interfaces. Nous utilisons, tout au long de nos expériences, différentes formes de scénarios :

- des scénarios de situation réelle. Le moyen le plus simple pour tester un prototype est de le tester "en situation réelle", comme nous le faisons sous des versions différentes (§ 4.6 et 4.7) pour le système GIBUS. Cependant, la plupart du temps, cela est impossible du fait de la complexité du prototype à développer ou de la dangerosité des situations nouvelles à tester. On peut noter que les situations à étudier nécessitent, du fait du milieu naturel, une forte maîtrise des différentes variables, si l'on souhaite pouvoir les exploiter. En quelque sorte, l'analyse de ces cas dits "cliniques" et situés en milieu naturel, doit aussi être associée à une démarche expérimentale.
- des scénarios expérimentaux : Ils doivent couvrir de façon exhaustive la gamme des incidents susceptibles de se produire avec le nouveau système VISEE et seront testés par le biais d'un prototype (de premier niveau) du futur produit. A ce stade de développement des études, la composition des scénarios s'appuie sur la combinaison de deux données principales : la connaissance des types de défaillances du système susceptibles de se produire et les hypothèses formulées sur le comportement à venir des conducteurs pour essayer de prendre en compte toutes les caractéristiques des conducteurs accomplissant cette manœuvre : contraintes physiologiques, psychologiques, sociales et cognitives. Pour le scénario de mode nominal (quand tout va bien), l'ergonome portera son attention sur le moment de l'accrochage du système afin de repérer éventuellement une situation conflictuelle entre le conducteur et le système. Pour un scénario incidentel, par exemple quand le système «décroche», l'ergonome centrera ses observations essentiellement sur la phase de guidage, et plus particulièrement sur le moment de décrochage du système. Il relèvera l'enchaînement des opérations du conducteur, dès la détection de la défaillance du système (regard vers les rétroviseurs, reprise en main et récupération de la situation). Différents scénarios seront ainsi testés en site fermé. L'objectif suivant est d'intégrer, dans leurs formes abouties, des contraintes "situationnelles", c'est-à-dire des contraintes environnementales et temporelles qui seront testées en site semi-ouvert sur une ligne de Grenoble pour se rapprocher des situations naturelles. En principe, les variables : passagers et leurs caractéristiques (adulte, personne âgée, enfant), leurs mouvements (déplacement sur le trottoir...), la signalisation routière avant l'arrêt (feu, passage piétons...), les gênes occasionnées avant l'arrêt (voiture en stationnement gênant, arbres, sorties diverses), les courbures de la route et le respect des horaires seront considérées.
- Les scénarios prédictifs de l'activité future : D'une part, les spécifications techniques du futur système sont enfin connues, ce qui permet de mieux appréhender les interfaces alors proposées et d'autre part, nous balisons l'approche des scénarios en analysant une autre tâche de référence, celle de la conduite de tramways, le produit "nouveau" se situant entre le tramways et le bus. La connaissance et l'analyse des

situations proches et des "comportements" des deux référentiels (qui ont une forte probabilité d'être rencontrées) mises au regard des spécifications de l'outil futur nous permettent de balayer un ensemble large de situations qui devrait permettre de passer en revue toutes les situations possibles liées au nouvel outil. On peut alors y adjoindre des variables situationnelles du futur site réel, et raisonner sur la(es) situation(s) qui semble(nt) la(es) plus complexe(s) dans la classe considérée. Pour bâtir ces scénarios prédictifs, on passe alors en revue les particularités du parcours et l'implantation du système sur le parcours (marquage au sol, bordures, type d'alimentation électrique). Puis, pour chacune d'entre elles, nous donnons les hypothèses de départ sur l'état de l'environnement, sur l'état des différents systèmes (guidage, alimentation électrique) et sur la position du véhicule. En fait, ces données restent des hypothèses fortes quant aux comportements attendus. Ils devront être validées par une phase d'expérimentations avant la mise en service mais elles permettent de justifier les choix d'interface à retenir avec des arguments plausibles. En plus de ceux répertoriés habituellement en ergonomie, ce sont nos outils pour la conception des systèmes d'aide.

2.5.4. Les systèmes d'aide : des instruments qui devraient faciliter la conduite

La voiture ou le bus sont considérés comme des instruments permettant à l'individu de se déplacer. Les systèmes d'aide à la conduite sont des instruments dont le but est d'assister le conducteur dans l'utilisation de son véhicule sur une fonction précise. Ainsi, ces instruments de deuxième niveau permettent de prendre en charge certains aspects de la tâche qui, jusque-là, était assurés par le conducteur. Le système aidant va, par exemple, orienter l'itinéraire ou assister le conducteur dans la régulation des distances et vitesses par rapport au véhicule qui le précède. L'ergonome doit tout faire pour arriver à l'objectif d'assistance sans que cela nuise à l'opérateur et à son environnement. Il doit parfois reconnaître ou démontrer que le système est inutile ou inutilisable.

Par l'installation de systèmes d'aide dans les véhicules, quels qu'ils soient, on se rapproche en partie d'activités dans lesquelles certaines sous-tâches sont assistées par des automates ou des aides de formes diverses. Ainsi, le conducteur n'assumerait plus la quasi-totalité des opérations nécessaires à ses déplacements. Cette aide va entraîner des modifications de l'activité à réaliser à laquelle il va falloir être attentif (analyse de la tâche secondaire) pour pouvoir bien concevoir les interfaces de ces assistances techniques.

Cela amène à considérer avec beaucoup d'attention l'une des composantes de la conduite de véhicules, c'est-à-dire la contrainte temporelle, celle-ci étant a priori beaucoup plus forte que dans le suivi de processus industriel. La dimension temporelle est un facteur très important dans la conduite de véhicules car les réactions attendues sont de l'ordre d'une demie seconde, et parfois moins. C'est probablement l'un des premiers critères dont il faut tenir compte pour la conception des instruments d'assistance à la conduite, nous en verrons l'incidence dans les études menées au chapitre 4 pour le système GIBUS.

Nous devons par ailleurs, avant d'envisager pour l'avenir la réalisation de réelles coopérations cognitives, vérifier la concordance possible des schèmes opératoires et des actions du conducteur qui se réalisent par le biais de routines et réactions rapides aux événements sous contrainte de temps. La conduite peut donc apparaître en premier lieu, du fait du critère de sécurité, comme une activité avant tout perceptive et biomécanique. Elle est également cognitive puisque l'on sait que l'homme réfléchit et agit en fonction de trois registres (Rasmussen, 1986) plus ou moins activables et activés en parallèle (voir § 2.1) selon les situations. Si ces différents critères ne sont pas considérés, il est probable que le système ne soit pas totalement adapté à l'homme. La conception des systèmes est encore, à ce jour, trop souvent marquée par ce manquement.

Enfin, si avant tout, il est nécessaire de réaliser pour la conception l'analyse des Interactions Homme-Machine (IHM) plus que celle des interfaces qui survient à la suite et qui représentent la touche finale des recommandations de l'ergonome, on peut également entreprendre, après coup, une évaluation des systèmes étudiés par des critères ergonomiques spécifiques, ce que nous ferons au chapitre III de cette thèse. Les critères généraux d'évaluation des systèmes d'aides sont répertoriés à la fin du chapitre I (§ I.1.10).

PARTIE II : EVALUATIONS EXPERIMENTALES DE SYSTEMES D'AIDES AUX CONDUCTEURS DE BUS

Nous développons dans cette partie les aspects expérimentaux de la thèse. Elle regroupe quatre chapitres relatifs aux expériences menées pour les trois systèmes d'aide et de guidage à l'accostage. Vous trouverez tout d'abord dans le chapitre 3 les travaux corrélatifs à une étude préalable sur l'activité d'accostage des conducteurs en situation réelle mais "sans système" d'aide ; cette étude servira de référence aux études suivantes "avec système". Le chapitre 4 relate les études liées au système GIBUS. Le chapitre 5 expose celles du système VISEE, prélude du système CIVIS. Enfin, le chapitre 6 fera la synthèse des études du système CIVIS.

CHAPITRE 3 : ETUDE PREALABLE

3.1. Une étude préalable pour connaître l'activité des chauffeurs à l'accostage

Connaître l'activité des conducteurs à l'accostage n'a pas été une préoccupation principale lors des études préliminaires sur ces systèmes. Les modalités techniques et l'accessibilité ont d'abord fait l'objet des premières investigations. En effet, ces premières études ont montré qu'un certain nombre de techniques et de types de capteurs, Uster (1996), pouvaient être utilisés pour la conception de ces aides : vision embarquée, systèmes magnétiques, filoguidage, radar latéral, télémètre à ultrason, télémétrie optique. GIBUS est l'un de ces systèmes d'assistance : il repose sur la technique du télémètre à ultrasons.

Il émane des expériences précédentes menées sur des prototypes issus des techniques citées ci-dessus que celles-ci n'ont pu aboutir : expérience de filoguidage menée à HALMSTAD en Suède en 1985, prototype WIEGAND (1992) abandonné pour des raisons liées à l'emplacement de l'afficheur mais aussi à des problèmes d'intégration du système dans la tâche de conduite et, dans une moindre mesure, le projet "chasse roue" de CAEN (1993), trop complexe pour les utilisateurs.

On remarque dans la littérature qu'une revue de questions de Florès (1990) sur les systèmes d'aide à la conduite concluait qu'il fallait considérer les modes d'usage réel des conducteurs de ces nouveaux systèmes pour bien les concevoir. L'auteur préconise d'étudier de manière détaillée l'activité des conducteurs en phase d'accostage car ceux-ci doivent recueillir et assimiler une masse importante d'informations avant de prendre des décisions sur le choix du mode d'accostage, à des vitesses relativement élevées et dans des temps très courts pour la manœuvre. C'est à partir des constats cités ci-dessus que l'INRETS et le groupe de travail TRANSDEV nous ont demandé de réaliser une première étude quant à l'accostage manuel des bus : le point de vue de l'utilisateur devenait un critère à prendre en considération.

3.2 Étude ergonomique de la fonction accostage manuel des bus

Une analyse de la tâche de conduite en phase d'accostage (sans assistance) nous a ainsi été demandée par l'INRETS. Notre proposition a été d'intégrer non seulement une analyse ergonomique classique, considérant l'activité physique et gestuelle, l'enchaînement des actions, l'attention et l'activité visuelle des conducteurs mais aussi de faire un repérage de leurs stratégies mentales quant aux choix des manœuvres adoptées. Nous avons préconisé de réaliser une étude du travail cognitif effectué par les chauffeurs en situation de conduite, parce que cette activité de traitement des connaissances par anticipation nous semblait devoir être identifiée du fait d'effets non négligeables sur les stratégies retenues par les opérateurs. Connaître ces stratégies et raisonnements permettrait ainsi de mieux concevoir. Nous avons utilisé des méthodes d'analyse des verbalisations (spontanées et provoquées) et des raisonnements des conducteurs et nous avons formalisé nos résultats (relevés d'observations et analyse des raisonnements) sous la forme d'algorigrammes représentant l'activité réelle des conducteurs en situation d'accostage manuel. Nous avons appelé ces algorigrammes « modèles de l'opérateur ». Nous les avons dérivés à partir de modèles descriptifs de l'activité que nous avons précédemment conçus pour décrire l'activité des régulateurs de

méto (Dessaigne, 1987). Ces modèles sont inspirés du modèle basé sur les trois types de comportements de Rasmussen (1983).

3.3. Utilisation « d'un modèle de l'opérateur » représenté sous forme d'algorigramme

L'analyse détaillée des comportements et raisonnements des conducteurs au cours de la phase d'accostage en mode manuel avait deux objectifs : tout d'abord, comprendre comment les conducteurs effectuent un accostage, puis produire des recommandations pour la conception de deux systèmes futurs permettant de réaliser l'accostage des autobus. Il s'agit d'un système d'aide à la conduite de type informatif, appelé "Petit GIBUS" et d'un autre, plus automatisé, appelé "Grand GIBUS", qui deviendra par la suite le système de guidage à l'accostage nommé VISEE (voir chapitre 5). Celui-ci se transformera par la suite en système CIVIS (chapitre 6).

L'algorigramme est un arbre décrivant le déroulement des comportements et raisonnements des conducteurs pendant la réalisation de la tâche d'accostage décomposée en phases de pré-accostage, d'accostage et d'arrêt. Il donne par l'intermédiaire de symboles particuliers une représentation détaillée des raisonnements, des diagnostics, des choix tactiques et des actions du conducteur liés aux variables de l'environnement (véhicules, passagers, infrastructures routières, etc.).

Il s'agit d'un modèle descriptif dont le but est de représenter les comportements observés et les choix énoncés "ou raisonnés" par les opérateurs selon leur logique propre et le déroulement temporel de la conduite. L'objectif n'était pas d'implémenter ce modèle pour une simulation informatique, comme l'aurait souhaité le Groupe Sécurité de Fonctionnement de Renault. L'algorigramme est construit à partir d'une analyse de l'activité de travail des conducteurs de bus pendant un accostage.

Plusieurs méthodes de recueil des données ont été combinées pour aboutir à une chronique détaillée de l'activité : recueil séquentiel des actions par une méthode d'observation, recueil des verbalisations du conducteur pendant l'accostage ou juste après, analyse des raisonnements sous-jacents aux stratégies de l'opérateur (après la conduite). L'observation détaillée est ainsi enrichie par le recueil de verbalisations des conducteurs. Certaines sont émises spontanément par le conducteur pour exprimer ses pensées pendant l'accomplissement de l'accostage. D'autres sont issues d'un questionnement par l'ergonome pendant ou après l'accostage, orienté par l'observation détaillée effectuée initialement. L'analyse des observations et des verbalisations recueillies a permis, dans un premier temps, l'élaboration d'algorigrammes préliminaires décrivant pas à pas l'activité des conducteurs pendant l'accostage. Il a ensuite été procédé à une série d'entretiens avec chaque conducteur pour obtenir des explications sur leurs stratégies. Au cours de ces entretiens, l'ergonome n'utilise pas les algorigrammes directement, mais des « scénettes » pour retransmettre l'activité dans laquelle était impliqué le conducteur et lui demander des explications quant à son raisonnement et ses choix. Celles-ci sont des histoires écrites par l'ergonome à partir du relevé des algorigrammes afin que la compréhension soit plus claire pour l'opérateur. Chaque scène représente, en fait, une branche de l'algorigramme. Cette démarche a permis tout d'abord de mettre en évidence puis de valider l'enchaînement des actions, mais aussi la variété des raisonnements des conducteurs pendant l'accostage.

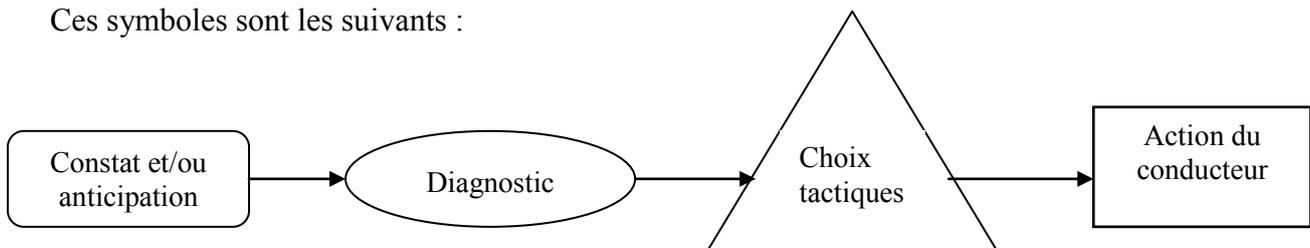
La première étude a donc permis de distinguer, sur 30 conducteurs testés, les différentes phases de l'accostage (pré-accostage, accostage, arrêt, départ) quels que soient les types d'arrêts rencontrés (en ligne, en saillie, en alvéole) sur la ligne 8 des autobus de Grenoble.

Notre analyse sur le terrain (Kaplan & Dessaigne, 1994) a été faite en deux phases. Une première phase consiste en une observation globale qui nous a permis d'effectuer sur une ligne de bus le repérage, à chaque arrêt, des composants principaux de l'activité du conducteur. Une deuxième phase d'observation détaillée a permis d'affiner l'étude des stratégies des conducteurs à l'accostage de bus et de repérer les paramètres entraînant certaines variations de ces stratégies. L'analyse a permis de décomposer l'activité d'accostage en sous-tâches et d'en étudier l'enchaînement.

Nous avons relevé des indicateurs de l'activité tels que postures, gestes, contraintes physiques, prise d'information visuelle et auditive, contraintes attentionnelles liées à la tâche et à l'environnement, verbalisations spontanées et provoquées. Ces dernières ont permis, dans un deuxième temps, de montrer, par l'utilisation de méthodes d'extraction de connaissances (Technique des Protocoles Verbaux (TVP) de Ericsson & Simon (1984)) et d'analyse des raisonnements mis en œuvre pendant et après la tâche, les stratégies retenues par les conducteurs et les modes opératoires détaillés qu'ils réalisent suite aux choix tactiques effectués mentalement. En quelque sorte, nous produisons un modèle "élargi" de l'activité du conducteur.

Les algorithmes retraçant chronologiquement l'activité des conducteurs ont été établis. Nous y avons inclus des symboles particuliers pour spécifier et repérer les activités cognitives des conducteurs. Ceux-ci permettent de visualiser non seulement l'enchaînement des prises d'informations ou anticipation, mais également les diagnostics effectués par l'opérateur, les choix de stratégies ou tactiques retenues et les actions engagées. Notre objectif était descriptif et avait pour visée de concevoir. Il n'était pas de comprendre ou d'expliquer comme aurait pu le faire un chercheur. De fait, il ne nous a pas semblé nécessaire de distinguer les trois niveaux de comportements de Rasmussen car ceux-ci permettent d'expliquer et comprendre les comportements d'un homme mais n'aident pas forcément à concevoir.

Ces symboles sont les suivants :



Nous avons ensuite réalisé un algorithme par type d'arrêt (arrêts en alvéole, en saillie, en ligne) mettant en évidence les choix des différents opérateurs. Il apparaît que les décisions individuelles peuvent dépendre de l'importance que chaque conducteur accorde à certains critères. Des choix a priori objectifs, par exemple "respecter le temps du tour", ne sont pas toujours prépondérants. La motivation, l'état psychologique ou la fatigue du sujet font que, parfois, d'autres critères sont valorisés.

Les algorithmes (3) représentant les différentes situations d'accostage relevées lors de l'activité réelle des conducteurs de bus de la ligne 8 à Grenoble sont présentés dans l'annexe 1 de cette thèse.

Les résultats de cette étude détaillée peuvent être consultés dans le rapport LESCO 9413 : (Kaplan & Dessaigne, 1994). En voici une synthèse :

- Il apparaît que le nombre total d'opérations n'est pas le même selon que l'on arrive sur un arrêt en alvéole, en saillie ou en ligne. Globalement, la charge de travail est plus forte pour un arrêt en alvéole et moindre pour un arrêt en saillie. S'arrêter en ligne semble être une tâche plus aisée pour les conducteurs car, bien que nécessitant plus d'opérations que pour les arrêts en saillie, la charge physique y est moindre et l'anticipation moins complexe.
- La charge de travail des opérateurs quantifiée ici par le nombre de prises d'informations, de raisonnements, de choix de stratégies et d'actions apparaît ainsi sur les algorigrammes que nous avons pu établir en tenant compte des types d'arrêts et des contraintes environnementales.
- Elle est plus forte selon les types d'arrêts (en alvéole). Elle l'est également pendant la phase finale d'accostage (pour l'ensemble des types d'arrêts). Cette dernière phase est la phase où le canal visuel est fortement sollicité pour des raisons de sécurité. Les conséquences liées à ce point semblent indéniables et sont corroborées par les recommandations que nous avons finalement formulées (voir ci-dessous).

La connaissance approfondie des modes opératoires et raisonnements afférents nous montre les stratégies utilisées par les conducteurs en fonction de deux phases bien identifiées de leurs accostages :

- Pendant le pré-accostage (entre 100 m et 40 m avant l'arrêt), le conducteur définit et affine sa stratégie d'accostage en prenant des points de repères : contraintes liées au type d'arrêt et à la circulation, catégories de voyageurs se préparant au mouvement sur le quai et dans l'autobus. Par la distance qui le sépare de l'arrêt, l'opérateur travaille souvent en vision périphérique.
- Pendant l'accostage, l'opérateur met en œuvre la stratégie qu'il a déterminée précédemment selon des éléments perceptifs prélevés dans son environnement. Son attention est plutôt centrée sur le quai et la sécurité des voyageurs. Juste avant l'arrêt, son regard est également tourné sur le rétroviseur droit pour surveiller la position de son bus par rapport au quai. Il travaille alors principalement en vision centrale.
- Au cours des cinq derniers mètres, en plus de la surveillance forte des réactions des voyageurs, il affine le positionnement de son bus en fonction du trottoir et améliore sa lacune sur la partie avant du bus en donnant un coup de volant à droite juste avant d'arrêter son bus.
- La recommandation principale formulée pour l'utilisation d'un système d'aide à l'accostage est qu'il faut éviter de solliciter l'attention visuelle du conducteur pendant cette dernière phase. Nous préconisons un système d'aide à utiliser en phase de pré-accostage car l'attention du chauffeur est plus libre, d'autant plus qu'il peut alors travailler aisément « en vision périphérique ».
- Enfin, à partir des 10 derniers mètres, le canal visuel étant très sollicité, une autre solution consisterait alors à prévoir une information de type somesthésique, par exemple, une résistance du volant ou des vibrations engendrées par un marquage en relief ou en pointillé sur le sol.
- Nous proposons également un marquage au sol figurant la trajectoire idéale à partir de 40 mètres en amont de l'arrêt pour aider l'opérateur à réaliser une meilleure lacune. Le bus serait alors positionné à l'avance et le conducteur, libéré de cette tâche, pourrait se consacrer aux activités liées à la sécurité et l'accessibilité sur les 20 derniers mètres.
- Après le constat que certains types d'arrêts (plus particulièrement les arrêts en alvéole) sont plus denses en quantité de prises d'informations, de raisonnements, de

diagnostics et d'actions à réaliser, nous suggérons un réaménagement des arrêts. Nous donnons des recommandations pour la forme de l'arrêt et du trottoir, une refonte de l'environnement, de la voie de circulation, des abris, du marquage au sol dans l'objectif d'en faire des arrêts presque parfaits. Nous faisons des préconisations pour standardiser la géométrie des arrêts contribuant ainsi à alléger la charge mentale mais aussi la charge physique des conducteurs. En effet, il apparaît que le nombre de manœuvres est important pour les arrêts en alvéole, tant pour l'accostage lui-même que pour la réinsertion dans la circulation, ce qui, de notre point de vue, complique nettement et inutilement la charge physique du conducteur. Dans l'expectative, tous les arrêts mériteraient d'être simplifiés tel que nous le préconisons pour soulager la tâche des conducteurs.

Dans un article intitulé « Le développement d'une aide à l'accostage », (Uster, Kaplan, Dessaigne et Dejeammes, 1997), nous soulignons de nouveau la prudence nécessaire pour la conception d'un système d'aide embarqué mais le conseil n'a pas été écouté, les concepteurs étant probablement guidés par la volonté d'explorer les différentes pistes pour arriver à une solution permettant de réduire la lacune et améliorer l'accessibilité des voyageurs. Les recommandations des ergonomes abordaient les points suivants :

"Dans tous les cas, les conclusions de l'étude ergonomique conseillent la prudence quant à l'implantation d'un système d'aide à l'accostage fournissant une information embarquée par exemple au tableau de bord ou vers le rétroviseur de droite, qui augmenterait la charge du conducteur et le nombre d'informations à traiter. D'une part, les informations seraient à traiter en vision centrale et d'autre part, le temps de prélèvement serait trop long, le détournement d'attention et l'accommodation visuelle risqueraient d'augmenter le coût de traitement à effectuer par le conducteur."

Cette étude détaillée de l'activité réelle des conducteurs soulignait déjà les difficultés liées à « l'utilisabilité » des systèmes dans certaines conditions d'utilisation.

CHAPITRE 4 : LES SYSTEMES D'AIDE A L'ACCOSTAGE ET LE PROJET GIBUS

Ce chapitre regroupe les études liées plus spécifiquement au système GIBUS, l'étude préalable que nous avons restituée ci-dessus servant de repère tant à l'étude GIBUS qu'à celles des autres systèmes, VISEE et CIVIS.

4.1. Historique de la participation Ergonomos au projet GIBUS

Notre cabinet d'ergonomie est intervenu en plusieurs phases et sur différentes expériences. Après la première étude décrite au paragraphe 3.1, demandée par l'INRETS et le groupe de travail TRANSDEV qui a consisté à étudier l'activité des conducteurs lors de l'accostage manuel des bus, d'autres ont suivi.

Elles ont permis de participer au choix du prototype GIBUS. Il s'agit principalement d'évaluation rapides de prototypes proposés par les industriels. La première d'entre elles étudie l'accompagnement de la phase d'essais « Petit GIBUS » (paragraphe 4.2), puis vient celle de « l'évaluation du système d'aide envisagé par les ingénieurs, en site semi ouvert sur la ligne 11 de Grenoble » (paragraphe 4.3) et celle liée aux recommandations pour l'aménagement de la ligne 1 (paragraphe 4.4). Pour ces trois études, nous avons accompagné les ingénieurs dans le choix des prototypes à retenir pour GIBUS. Soulignons la courte durée de nos interventions au cours de ces études mais également notre opinion négative sur la réussite du projet. Ces remarques seront explicitées dans les chapitres concernés.

Enfin, après le choix d'un prototype retenu par les ingénieurs, nous avons accepté de tester le système GIBUS sous plusieurs variantes expérimentales : conduite sans le système, GIBUS placé au centre de la planche de bord, à proximité du rétroviseur droit (paragraphe 4.5, 4.6 et 4.7). Le but était de valider ou non l'utilité et l'utilisabilité de ce système, dans des conditions d'expériences réalisées dans un contexte naturel de conduite. Le plan expérimental élaboré devait nous permettre de mieux appréhender l'ensemble des paramètres à tester. Des recommandations pour l'optimisation du système phase C ont été formulées.

4.2. Accompagnement de la phase d'essais « Petit GIBUS »

Suite à l'étude sur les stratégies d'accostage manuel, Uster (1995a), (1995b) de l'INRETS a envisagé et élaboré trois dispositifs d'aide à l'accostage dits « embarqués », par opposition à des dispositifs de marquage au sol dits « fixes ». Il s'agissait de deux systèmes reposant sur la perception visuelle des conducteurs (à LED et à affichage sur écran déporté) et d'un autre reposant sur la perception auditive. Ce dernier n'a pas été testé pour des raisons principalement techniques. Il existait par ailleurs un a priori particulièrement défavorable de la part des conducteurs quant au choix d'une information sonore supplémentaire dans un environnement déjà bruyant. L'objectif était pour l'INRETS, d'une part, de prouver la faisabilité technique de telles aides à la conduite et de recueillir des données quantitatives sur les lacunes réalisées et d'autre part, de comparer les modes opératoires des conducteurs pour valider ou non la faisabilité ergonomique.

La prestation ergonomique sur cette phase d'études a été courte (cinq journées) et a consisté en un recueil des verbalisations des trois conducteurs participant à l'expérience de trois jours en site fermé dans le but d'aboutir à des recommandations générales pour l'amélioration de l'interface graphique proposée aux conducteurs (positionnement des équipements indiquant la valeur de la lacune horizontale sur le poste de travail du conducteur).

Sur cette étude encore, l'ergonome a émis un certain nombre de réserves qui n'ont probablement pas suffisamment été écoutées car nous ne détenions pas, à cette époque, " une preuve " suffisante de nos propos, nous citons Uster, Kaplan, Dessaigne, Dejeammes (1997) :

" L'expérimentation ayant lieu sur site protégé, le conducteur n'a pas à gérer les voyageurs dans le bus et sur le quai, et non plus les problèmes liés à la circulation. De ce fait, l'objectif principal de l'arrêt, qui est de faire monter et descendre des voyageurs, n'est pas conservé. Cela implique que l'attention du conducteur est libérée et qu'il peut se focaliser entièrement sur l'objectif d'accoster au plus près du trottoir en utilisant l'aide à l'accostage qui lui est proposée.

De plus, les conducteurs ne connaissant pas ces systèmes, les observations portent essentiellement sur une phase d'apprentissage, ce qui est à prendre en compte pour l'évaluation des systèmes et la valeur des lacunes. Notamment, lors de la phase d'apprentissage, la charge de travail est plus importante que lorsque l'on maîtrise l'outil utilisé.

Ayant fait part de ces remarques préalables, l'ergonome est en mesure de comparer les modes opératoires des conducteurs d'un système à l'autre, sachant que les conducteurs ont pour consigne d'accoster au plus près du trottoir à l'aide du système testé.

Il apparaît que pour les deux systèmes embarqués, leur utilisation n'étant possible que sur les dix derniers mètres, on obtient une lacune très faible à l'avant. Pour les conducteurs, parmi les interfaces d'information proposées, c'est l'écran déporté sous forme d'un rectangle qui a été le plus apprécié. L'information sous cette forme semble en effet plus facilement exploitable principalement à cause des couleurs, du caractère progressif de l'affichage qui reflète la réalité du rapprochement au trottoir et de la grande taille de l'écran, ainsi plus rapide à décoder sans trop focaliser l'attention.

Mais ces remarques restent hors du contexte d'une utilisation du système en situation réelle de travail, avec la circulation et les voyageurs. Dans ce cas, durant les dix derniers mètres, le conducteur s'attache à observer la position de son bus par rapport aux voyageurs, son regard va et vient entre le rétroviseur de droite et le pare-brise.

Concernant le système fixe de marquage au sol, il s'avère qu'il permet, lui, d'obtenir le parallélisme à l'arrêt puisqu'il guide le conducteur durant la phase de pré accostage. Ensuite le conducteur utilise la bande jaune du trottoir comme point de repère pour se positionner correctement. Il est délicat d'interpréter la valeur de lacune plus élevée à l'arrêt par rapport aux deux autres systèmes. Il est possible que le temps d'apprentissage soit plus long pour intégrer ce nouveau repère situé en champ visuel périphérique."

Dans une note de synthèse de l'expérimentation établie par l'exploitant, il est noté 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."

L'auteur de cette expérimentation pense avoir démontré la faisabilité technique d'un système d'aide à l'accostage et en avoir vérifié les performances. Le système d'aide à écran déporté est retenu pour être réalisé par un industriel, un cahier des charges est établi et testé, il repose sur la transmission au conducteur d'une information de type écran se colorant progressivement en fonction de la réduction de la lacune.

4.3. Évaluation du prototype d'aide à l'accostage

Un prototype de pré série a été réalisé par un industriel et évalué auprès de huit conducteurs en octobre 1996 sur la ligne 11 de la SEMITAG qui exploite les transports en commun de la Ville de Grenoble. Les conditions d'environnement se rapprochent des situations d'exploitation en ligne : certains des arrêts sont aménagés selon des critères d'accessibilité mais pas tous. La densité de circulation est faible, il y avait peu ou pas de fréquentation des voyageurs au niveau des arrêts.

Le rapport LBSU 9702 réalisé par Dejeammes, Dessaigne, Fouet, Dolivet, Zac et Uster, (1997) livre les conclusions suivantes :

- Ces essais ont permis d'évaluer l'ensemble "quai aménagé - autobus à plancher surbaissé - système GIBUS". Ils ont montré que l'objectif de lacune horizontale fixé entre 6 et 10 cm est atteint et que la lacune tend à être plus faible lorsque le conducteur utilise l'afficheur.
- L'étude ergonomique (observations, recueil des verbalisations et entretiens avec les conducteurs) souligne néanmoins plusieurs points contradictoires :
- L'introduction des quais aménagés et du système GIBUS entraîne une adaptation de la stratégie d'accostage du conducteur. Certains conducteurs n'ont pas l'impression d'améliorer leurs performances, mais leur appréciation n'est pas toujours en corrélation avec les résultats obtenus. Même si trois d'entre eux ont eu un jugement négatif sur GIBUS, deux sur trois ont pu atteindre une qualité d'accostage très satisfaisante.
- Les arrêts aménagés jouent un rôle très important pour faciliter la tâche d'accostage, comme un meilleur repérage amont et une moindre crainte de heurt contre la bordure. Cependant, les résultats de mesures de lacune ne donnent pas de gains statistiquement significatifs.
- L'information est fournie dans la phase d'accostage proprement dit, alors que le conducteur doit privilégier les tâches de sécurité. Ainsi, il apparaît que la charge de travail des conducteurs est parfois limite et que le système GIBUS est alors utilisé comme moyen de contrôle de son accostage final plutôt que comme une aide en phase dynamique. Gibus ne décharge pas le conducteur durant sa tâche d'accostage.
- Les conducteurs n'utilisent pas le système petit GIBUS comme les concepteurs l'avaient prévu. Les conducteurs ne se préoccupent pas du système durant les derniers 20 mètres avant l'arrêt, pour positionner correctement le bus, mais seulement une fois que le bus est à l'arrêt, pour vérifier leur performance. Cette déviation de l'utilisation par rapport à l'objectif initial vient du fait que le conducteur est déjà sollicité par ailleurs pour des tâches visuelles prioritaires liées à la sécurité durant les 20 derniers mètres avant l'arrêt.
- Il existe des disparités liées aux contraintes environnementales. Les essais ont montré que l'afficheur ne pouvait pas toujours être utilisé efficacement dans des cas d'arrêts situés après un rond-point, en sortie de virage à droite, lors d'arrêts non précédés d'un trottoir ou en retrait à droite par rapport à la voie de circulation.
- Enfin, l'étude révèle que le système GIBUS, qui ne peut pas être systématiquement utilisé par les conducteurs durant les accostages, peut aussi être utilisé comme un outil de sensibilisation et de formation pour les conducteurs et leur faire acquérir rapidement de nouvelles stratégies adaptées à un accostage de qualité.

Néanmoins, des recommandations sont formulées afin d'améliorer l'interface et réduire le détournement de l'attention du conducteur lié à l'utilisation de GIBUS. La présentation de

l'information sur l'afficheur et son positionnement peuvent en effet être améliorés en cherchant à répondre aux deux critères :

- Permettre une lecture rapide de l'information,
- Eviter les allers-retours du regard entre le rétroviseur droit et l'afficheur.

Malgré les améliorations possibles, il ne semble pas évident qu'elles soient suffisantes pour permettre une aide réelle à l'accostage. L'ergonome se doit malgré cela de vérifier ce point par les expériences à venir.

4.4. Une ligne aménagée pour tester GIBUS en situation réelle de conduite

Cette nouvelle ligne va permettre d'envisager les études ultérieures. Les ergonomes, suite à un nouveau contrat, pourront ainsi tester les opérateurs dans un contexte de "validité écologique" que nous pensons préférable pour une meilleure conception des systèmes. En 1996, la SEMITAG de Grenoble a pris la décision de refondre et d'aménager une nouvelle ligne de Bus, la ligne 1, en respectant les recommandations énoncées à propos de l'aménagement des arrêts d'autobus, dans les différentes études citées précédemment, et particulièrement celles développées dans le rapport INRETS n° 9413 (Kaplan & Dessaigne, 1994). L'ensemble de la ligne, comprenant 24 arrêts et deux terminus, a été repensé et aménagé dans une configuration "arrêts en ligne", type d'arrêts plus faciles à utiliser pour les conducteurs de bus, comme l'avait montré l'étude de 1994.

La configuration des arrêts de bus et trottoirs a donc été complètement revue pour améliorer la qualité de service et permettre une meilleure accessibilité. Les recommandations préconisées en 1994 ont été retenues :

- La longueur de quai aménagé est standardisée pour les arrêts : 20 mètres quand une seule ligne circule, 32 mètres quand deux lignes croisent sur cet arrêt.
- La largeur minimale de l'arrêt est de 3,25 m.
- Une bande de 0,65 m de large est requise comme bande de passage minimale pour les piétons. L'objectif était pour l'INRETS d'une part, de prouver la faisabilité technique de telles aides à la conduite et de recueillir de données quantitatives sur les lacunes réalisées et d'autre part, de comparer les modes opératoires des conducteurs pour valider ou non la faisabilité ergonomique, autrement appelée "zone de sécurité" le long du bord du quai jusqu'au marquage pododactile pour non voyants et la zone "sortie palette" située en face de la deuxième porte du véhicule.
- Le repère d'arrêt, en brique rouge, est positionné dans l'alignement du montant avant de l'abri bus. Il est déterminé de manière à avoir la porte avant du bus devant les plaques podotactiles destinées aux déficients visuels.
- Les arrêts possèdent des abris simples ou éventuellement deux abris quand la station est longue.
- La taille des abris bus est également standardisée : ils mesurent au sol 1,60 m par 4 m "hors tout".
- Le trottoir est incliné, de type dit "Aix-la-Chapelle", la bordure est gris clair, la hauteur de la bordure est maintenant de 21 cm, ce qui permet une bonne accessibilité des personnes dans le bus.
- La bordure "fil de l'eau" de couleur gris très clair est d'une largeur de 10 cm à partir du bas de la bordure que les conducteurs utilisent parfois comme ligne de guidage pour l'accostage.

A la suite de cette étude, un nouveau contrat a, cette fois-ci, été signé entre ERGONOMOS et SEMITAG pour l'accompagnement et la réalisation d'investigations visant la conception de GIBUS. Il reposait sur un financement PREDIT.

Lors de la précédente étude (4.3), des réserves avaient été émises sur la question des essais réalisés en site fermé, qui ne permettent pas de relever toutes les contraintes de la conduite réelle. D'une part, l'effectif restreint (3 personnes) utilisait le système dans des conditions qui n'étaient pas exactement celles d'une situation réelle de conduite, ce qui pouvait avoir faussé les résultats. D'autre part, les trois conducteurs avaient par ailleurs testé un système de guidage d'accostage (VISEE) et nous pensions qu'il pouvait exister des effets induits par l'utilisation de VISEE sur la population testée. Il a donc été décidé d'organiser une nouvelle série de tests de GIBUS, en situation réelle, afin de valider ou non son intérêt mais aussi de faire des propositions pour l'améliorer.

Pour les trois phases (A,B,C) qui vont suivre, nous avons expérimenté le système GIBUS auprès d'opérateurs agissant dans un contexte de "validité écologique", c'est-à-dire en circulation sur une véritable ligne de bus en exploitation.

La phase A (pré-expérimentation) va permettre de repérer les stratégies habituelles de conduite des chauffeurs sans le système GIBUS sur cette nouvelle ligne.

En phase B, nous recourons aux mêmes conducteurs pour tester le système situé au centre de la planche de bord. Cette expérimentation se déroule en situation réelle de conduite, sur une vraie ligne de bus, la ligne 1. Elle va permettre de comparer le même échantillon de personnes qu'à la phase A et de repérer également les types de stratégies relevées au cours de cette phase.

Après les recommandations pour améliorer le système, une phase C suivra. Elle nous permettra de tester une nouvelle version de GIBUS fixé dans l'axe du rétroviseur droit. Dix chauffeurs conduiront également avec ce système GIBUS « amélioré ».

Il faut préciser qu'une phase intermédiaire entre les phases B et C consistera à étudier les différentes solutions techniques pour mieux concevoir GIBUS, bien que nous émettions des réserves sur son adaptation possible qui intervient en phase finale d'accostage du bus. Après un inventaire des avantages et inconvénients techniques et opérationnels de chacune d'elles, il a été procédé, avec SEMITAG, à une étude des coûts de faisabilité des différentes solutions pour ne retenir que celle effectuée en phase C de l'étude. Les autres solutions apparaissaient comme trop coûteuses car se rapprochant trop de solutions de type « guidage automatique » ou trop incertaines quant à leur faisabilité technique (par exemple projection tête haute sur le pare-brise).

4.5. L'étude GIBUS phase A

Cette étude (Dessaigue, 1999a) demandée par la SEMITAG a été réalisée intégralement sur la ligne 1 des bus de la ville de Grenoble. L'objectif pour les phases A, B et C est, cette fois-ci, de tester le système GIBUS, en situation réelle (ce qui innove par rapport aux expériences précédentes), après une phase d'appropriation du système par dix conducteurs, et ceci, sur un échantillon représentatif des conducteurs de la ligne. Au cours de l'étude phase A, nous avons évalué ces conducteurs sans le système GIBUS, en situation normale de conduite, sur la "nouvelle ligne". Dans un premier temps, nous avons donc observé l'activité réelle des conducteurs sur cette nouvelle ligne en service depuis un an et demi, sans le système.

Présentation du protocole expérimental

Pour cette phase de l'étude, nous avons observé les opérateurs « en situation réelle » pendant deux journées de façon à établir une référence nouvelle pour la suite de l'étude (4.6 et 4.7). Nous recourons à de vrais conducteurs de la ligne 1 et l'échantillon est composé de 10 conducteurs. Ils ont l'habitude de conduire des bus articulés longs à quatre portes. Au cours des observations réalisées pendant ces journées sur la ligne "sans système", nous essayons de mettre en évidence l'enchaînement des opérations et actions auprès des conducteurs sur ce nouveau type de ligne, mais aussi sur les performances d'accostage (position latérale du bus par rapport au quai). L'objectif est double : tout d'abord obtenir un échantillon de référence "sans système" pour les expériences qui vont suivre, mais également comparer les modes opératoires et le modèle de l'opérateur actuel à celui établi par Kaplan & Dessaigne (1994) pour voir ce qui a évolué.

Choix et typologie des arrêts

Cette étude se déroule sur la ligne 1 des bus de la ville de Grenoble. Cette ligne comporte 24 arrêts et deux terminus. Les deux terminus ne font pas partie des arrêts observés. Les bus conduits journallement sont des bus articulés de 18 mètres de long possédant quatre portes.

Échantillon de conducteurs

Notre échantillon est composé de 10 conducteurs de la SEMITAG. Les dix conducteurs connaissent tous le bus et la ligne 1 créée depuis environ deux ans et ses arrêts aménagés. Ils travaillent effectivement sur cette ligne depuis au minimum 6 mois pour les derniers arrivés.

Déroulement des essais de la phase A

La pré-expérimentation a duré deux jours. L'objectif était de relever l'enchaînement des opérations, des actions et le raisonnement des conducteurs au cours d'une tâche d'accostage dans les contraintes réelles du cadre de leur activité de travail. Nous avons observé chacun des dix conducteurs pendant un aller-retour, soit une heure d'observation, avec des entretiens de formes diverses réalisés parfois après l'heure de conduite. Nous relevons à la fois des données objectives et des données subjectives. La première catégorie de données comprend, d'une part, des observations effectuées par l'ergonome au cours de la tâche d'accostage du conducteur et, d'autre part, des verbalisations, c'est-à-dire les raisonnements émis par les conducteurs (éventuellement suite à nos questions) quant à la tâche à accomplir. Ces verbalisations peuvent être spontanées et/ou provoquées, émises par le conducteur pendant et après la tâche. Nous utilisons, entre autres, la Technique des Protocoles Verbaux (TVP) de Ericsson & Simon (1984) pour les recueillir. Ces verbalisations étant relatives à la tâche, l'ergonome les aura systématiquement validées par rapport à ses observations. De fait, nous rangeons ces données dans la catégorie des données objectives puisque l'ergonome les a confrontées à ses propres observations. D'autres données, des estimations de performances, sont relevées. Il s'agit d'une estimation par l'ergonome de la lacune, c'est-à-dire une estimation de la distance du bus (porte avant) par rapport au quai, ceci après chaque accostage. L'ergonome a également relevé, pour chacun, la vitesse d'approche mais il convient de préciser que, pour cette phase de l'étude, l'objectif de mesure de performance n'était pas notre principal objectif. La deuxième catégorie de données comprend des appréciations du conducteur sur ses stratégies personnelles, ses commentaires.

Résultats et analyse de l'expérience

Le tableau référencé en annexe 2 fait état des résultats par conducteur : lacune, vitesse moyenne, modes opératoires et stratégies utilisées. Divers résultats sont à souligner :

A propos des lacunes

L'objectif de cette expérience n'était pas une mesure précise et une analyse détaillée des lacunes réalisées. Néanmoins, pour l'ensemble des 10 conducteurs, la lacune moyenne sur la porte avant est de 12,25 cm, l'écart-type est de 4,5 cm. La conclusion principale est que les arrêts aménagés en ligne auront permis un large gain pour l'amélioration des lacunes.

Vitesses

On assiste à une sorte de standardisation des vitesses quelque soit les conducteurs et les différents repères par rapport au point d'arrivée de l'accostage : en général, ils sont à 40 km/h au feu situé en amont ou 100 m avant, 30 km/h à 30-20 m de l'arrêt, 20 km/h au début de l'arrêt et 10-15 km/h à 10 m de l'arrivée. Il apparaît que les contraintes liées aux aménagements de ligne et à la signalisation afférente constituent des facteurs explicatifs de la régularité de ces vitesses.

Stratégies des conducteurs au cours de la phase A :

Nous enregistrons de nouvelles stratégies par rapport à l'étude de 1994. En phase d'accostage final (à partir de 40-30 m de l'arrêt), les opérateurs ont modifié leurs stratégies par rapport à 1994. Paradoxalement, la standardisation offerte par ces nouveaux arrêts aménagés et le fait d'être souvent "en voie réservée" permet aux opérateurs trois types de stratégies distinctes, alors que seule la première existait en 1994 sur un arrêt en ligne :

Stratégie de type 1

Pour accoster, l'opérateur vise un point particulier du trottoir de l'arrêt, puis affine l'accostage "au volant" par rapport à ce point. Il termine son accostage (les 10 derniers mètres) en regardant dans le rétroviseur droit pour parfaire l'alignement.

Stratégie de type 2

Le conducteur essaie de s'aligner en regardant "droit devant" par rapport à la rectitude de la voie. La configuration amont /aval des arrêts en ligne actuels joue un rôle principal pour la réalisation de cette sous-tâche. Les points de repères peuvent être différents. Ils sont situés en avant, la position est estimée en fonction des deux lignes encadrant le véhicule, pas seulement par rapport à un côté du trottoir. Ils ont mémorisé antérieurement tous les aléas de l'arrêt et il est possible qu'ils s'alignent bien en amont de celui-ci. L'opérateur termine parfois avec le rétroviseur.

Stratégie de type 3

L'opérateur donne un léger coup de volant à droite, vise le trottoir et va taper un petit coup avec le pneu avant. Il "lâche le volant", c'est-à-dire qu'il le laisse glisser entre ses mains et sent parfaitement la secousse et le couple dans le volant. D'après l'opérateur, le bus "se met droit tout seul " mais de fait, il le maîtrise.

On peut conclure de cette étude que de nouveaux modes opératoires et stratégies sont apparus depuis 94, ce que nous développons dans le paragraphe suivant.

Analyse et comparaison des modes opératoires et stratégies des conducteurs avec ceux de l'étude de 1994 pour les "arrêts en ligne".

Le modèle qui a été établi en 1994 est toujours valide. Les diverses opérations relevées (actions, choix de stratégies, raisonnements, état de l'environnement) tant pour le pré

accostage que pour l'accostage sont globalement les mêmes (voir présentation du modèle en annexe 2, GIBUS A). Néanmoins, la tâche a été simplifiée, allégée du fait de la standardisation des aménagements des "arrêts en ligne". Par rapport à la description détaillée effectuée dans le rapport LESCO n° 9413, on peut noter les différences suivantes :

- L'aménagement avant l'arrêt est très standardisé : ligne droite "parfaite", peu de gêne de visibilité sauf les contre-allées qui sont, en général, situées un peu plus en amont, position des feux et du passage piétons, voie réservée, alignement du fil de l'eau et de la bordure du trottoir avec la bordure du trottoir amont. Tout cela ralentit le conducteur qui, de fait, a plus le temps d'anticiper ses prises d'informations pour une meilleure qualité de service. Il peut veiller à la sécurité et ressent moins de stress, ce qui lui donne de meilleures conditions de réalisation de la tâche.
- En 1994, l'opérateur regardait attentivement le quai à partir de 40 m (pour la sécurité des voyageurs), c'est-à-dire pendant la phase d'accostage final. Il arrivait rarement à anticiper cette prise d'information en phase de pré-accostage. Actuellement, cette opération est réalisée bien en amont, en phase de pré-accostage car la courbe de la ligne est meilleure. La visibilité s'est nettement améliorée du fait du tracé de la ligne.
- Ainsi, des opérations de positionnement pour l'accostage peuvent être effectuées en amont. Il n'est pas nécessaire, comme auparavant, de les réaliser en deux phases: premier repérage en phase de pré-accostage, affinage en phase d'accostage. Ces faits simplifient la tâche de l'opérateur et lui permettent de travailler plus en sécurité. Parfois néanmoins, les deux phases sont nécessaires, principalement pour des raisons de sécurité des voyageurs. Dans ce cas-là, il faut noter que la prise d'information est tout de même largement améliorée par rapport à 94, les points de repères sont moins nombreux, plus fiables car standardisés, ce qui est aussi moins coûteux en temps et en traitement mental pour l'opérateur.
- Les opérations de vérifications diverses effectuées par les conducteurs dans le rétroviseur droit sont réalisées bien plus tôt qu'en 1994. L'opérateur pouvait alors effectuer cette tâche à environ 4 mètres de l'arrêt. Selon les stratégies retenues par chacun (1,2,3), l'opérateur regarde maintenant son rétroviseur à environ 10 m de l'arrêt. Dans certains cas favorables (peu de passagers sur les quais ou passagers hors d'atteinte de zones jugées dangereuses), il le regarde même à partir de 15-20 m, ce qui n'était pas possible en 94. Cela signifie que la tâche des conducteurs s'est modifiée positivement pour eux depuis l'utilisation des arrêts en ligne.
- Les difficultés rencontrées par les conducteurs pour l'appréciation de la lacune longitudinale « L » se sont estompées. D'une part, la vitesse est réduite ; d'autre part, la standardisation de l'arrêt et la signalétique sont meilleures même si cette dernière pourrait encore être améliorée.
- La rectitude de la ligne étant meilleure, les chauffeurs doivent moins tourner leur volant à droite ou à gauche pour repartir. Un gain en coût physiologique et en temps est certain par rapport à 94 où ces opérations étaient coûteuses, plus d'ailleurs pour les arrêts en alvéoles et en saillies.

En 1994, on notait déjà de meilleurs résultats sur les arrêts en ligne par rapport à ceux qui étaient en alvéole et en saillie : ils permettaient d'évaluer la distance au trottoir pendant la phase d'accostage, ou même, parfois de manière anticipée, pendant la phase de pré-accostage tout en réalisant de meilleures lacunes. Leur standardisation sur cette ligne 1 aura montré tous les autres avantages que les conducteurs en ont retiré pour la conduite et l'accostage, leurs commentaires étant d'ailleurs explicites à ce sujet.

Les commentaires des conducteurs : données subjectives

L'ensemble des 10 conducteurs est très satisfait de ce type d'arrêt. Ils soulignent l'intérêt et la facilité d'usage à conduire par rapport à ce qu'ils connaissaient sur d'autres lignes auparavant. La tâche est qualifiée de moins fatigante, plus facile et plus rapide. L'ergonome ajoute que cette configuration permet en effet de travailler dans de meilleures conditions de conduite, elle nécessite moins d'opérations sensori-motrices à réaliser, plus de visibilité qui permet plus d'anticipation, l'attention nécessaire entraînent moins de stress et plus d'économie cognitive pour la réalisation de la tâche dans son ensemble. Néanmoins, le même soin n'a pas été apporté à la conception de tous les arrêts de la ligne, ce qui est préjudiciable pour la qualité des accostages. Certaines bordures amont et aval sont quelquefois mal alignées et le lissage des bornes entre elles est parfois mal fait. Les opérateurs sont obligés de modifier leurs stratégies pour s'adapter aux imperfections de la conception. La gêne occasionnée est forte et mériterait d'être corrigée.

Les diverses améliorations signalées ci-dessus pour l'amélioration des arrêts en ligne ont simplifié la tâche d'accostage et permettent l'utilisation de nouvelles stratégies par l'opérateur (stratégies 2 et 3 décrites ci-dessus). Il est intéressant de souligner ce phénomène car il montre qu'en allégeant une tâche, on peut également l'enrichir, ce qui n'est pas toujours le cas et peut même apparaître comme un paradoxe en ergonomie. Le travail est ainsi plus varié pour l'opérateur. On constate par ailleurs que les opérateurs passent parfois de la stratégie 1 à la 2 ou l'inverse. Enfin, il faut considérer que les stratégies 2 et 3 nous semblent plus économiques pour l'opérateur que la stratégie 1. Il faudrait probablement envisager ou réfléchir à une utilisation systématique de ce type de procédures, notamment la 3 qui libère nettement l'attention visuelle du conducteur.

Il conviendra de vérifier, dans la phase d'étude suivante, si ces stratégies subsistent avec l'utilisation de GIBUS.

4.6. L'étude GIBUS phase B

L'objectif de cette étude (Dessaigne, 1999b) était de tester le système GIBUS en situation réelle, après une phase d'appropriation du système sur le même échantillon représentatif de 10 conducteurs afin d'évaluer si le système est une aide à l'accostage ou non. Pour cette phase, les ergonomes observent les opérateurs "en situation réelle" pendant plusieurs journées. Le bus est équipé du système GIBUS qui est placé sur la plage avant droite du bus en bas du pare-brise. Sa dimension est de 206 mm x 53mm x 82 mm. Il a été conçu par Guillaume USTER de l'INRETS-ESTAS, plus particulièrement.

Avant la phase B de l'expérience et pour veiller au critère de "validité écologique", une phase à l'appropriation du nouveau système a été programmée. Elle a été réalisée la semaine précédant l'étude d'apprentissage du système. Elle se compose de trois étapes qui vont de la familiarisation phase B, sans intervention a priori de l'ergonome. Lors de la phase B de l'étude, le système est le même que celui réalisé par les concepteurs et implanté lors de la pré-expérience de 1996. Nous effectuons des enregistrements vidéos afin de mieux cerner les stratégies visuelles des conducteurs.

Déroulement des essais de la phase B

Une phase d'apprentissage du système avant l'expérience nous a semblé nécessaire car nous savions que sans elle, les résultats obtenus seraient biaisés. Elle se compose de trois étapes :

familiarisation, apprentissage sensori-moteur et cognitif, puis appropriation du nouveau système. On appelle "phase d'appropriation" finale le processus d'intégration du nouvel outil dans un mode opératoire bien maîtrisé.

Ce processus s'effectue en trois sous-phases :

- phase de familiarisation qui consiste à comprendre et mémoriser les fonctions du système.
- phase transitoire qui se résume en l'apprentissage sensori-moteur et cognitif du système, c'est-à-dire en l'affinement du mode opératoire et l'automatisation des actions,
- phase d'intégration ou de rejet dans les modes opératoires : On peut alors noter une amélioration en termes d'efficacité et/ou de coût en ressource attentionnelle. Il s'agit en général d'une phase "en plateau" ou à évolution très lente.

La phase de familiarisation a lieu lors du démarrage de l'apprentissage, après les consignes données aux conducteurs. On estime qu'après une demi-journée d'utilisation du système, les conducteurs sont en phase d'appropriation du système, ce qui permet, si cela est le cas, d'avoir des résultats plus fiables. Dans l'hypothèse inverse, à l'observation et au relevé des verbalisations de conducteurs, l'ergonome sera en mesure de discerner où l'opérateur en est de son apprentissage. L'ergonome tient également compte du fait que, bien que le conducteur puisse s'être approprié le système, il n'est pas rare que des automatismes antérieurs surgissent de nouveau pendant la conduite post-appropriation. Ce dernier point est en général constaté pendant une durée certaine bien après "l'intégration totale" dans les modes opératoires.

Cette phase d'appropriation est réalisée sans intervention, observations et mesures de l'ergonome. Le conducteur se voit confier un autobus "avec système" pendant une demie journée. Une consigne pour l'utilisation lui est remise.

Méthode de recueil de données

En plus des relevés que nous avons décrits sur la phase A (observations, verbalisations et raisonnements, mesures de performances), nous avons pratiqué des enregistrements vidéos afin de vérifier quelles étaient les fixations oculaires des conducteurs pendant l'accostage.

Enregistrements vidéo

Une caméra est placée sur l'avant intérieur du véhicule de façon à enregistrer les fixations oculaires des chauffeurs pendant la durée d'un aller-retour sur la ligne 1, soit au total 50 arrêts et environ une heure d'enregistrement : ne seront dépouillées que les périodes d'accostage.

Le logiciel de traitement des données, A.V.A.C (Analyse Vidéo de l'Activité et du Comportement) est un logiciel mis au point par le LESCO. Il nous permet d'enregistrer et quantifier les regards et fixations oculaires en fonction des points visés par les conducteurs pendant la conduite de l'accostage : devant, rétroviseur droit, rétroviseur gauche, rétroviseur central, trottoir, GIBUS. Le souhait de saisir la complexité liée aux types de regards en situation de conduite (Zaidel & Noy, 1994) nous fait retenir cette méthodologie. Le logiciel effectue des traitements statistiques élémentaires pour chacun des paramètres quantifiés : effectifs, % effectifs, % temps, moyenne, médian, écart-type.

Un exemple d'analyse des résultats recueillis est fourni en annexe 2 relative au système GIBUS B. Le tableau, également situé en annexe 2 présente de manière synthétique l'ensemble des résultats des conducteurs.

Synthèse des résultats et analyse

1. Les performances de lacune

Pour cette phase B, l'ensemble des conducteurs a une lacune moyenne sur la porte centrale de 8,36 cm et un écart-type de 3,80 cm. Les lacunes relevées dénotent de bonnes performances comparativement à l'ensemble des études réalisées depuis 1994. Il ne faut pas conclure pour autant que l'utilisation de GIBUS est l'unique élément explicatif, la configuration de la ligne, avec "arrêts en ligne" joue un rôle indéniable. La lacune a, cette fois-ci, été mesurée sur la porte centrale, car celle-ci serait un point de référence plus fiable sur les bus articulés.

2. Les performances de vitesse

Nous retrouvons globalement les mêmes résultats que ceux de la phase A, sauf pour deux cas. Par rapport au nombre d'accostages effectués, peu d'opérateurs ont regardé et utilisé GIBUS, ce qui peut expliquer que les conducteurs n'aient pas plus réduit leur vitesse lors de l'approche avec ce système. Il faut néanmoins rappeler que cette vitesse est peu élevée et "standardisée" depuis la mise en place de la ligne 1.

3. Les "regards" sur le système GIBUS

- Les "regards" conducteurs ont été dépouillés sur la dernière phase de l'accostage (à partir de 100 m environ avant le point d'arrêt). La durée moyenne de ce parcours est d'un peu moins une minute (57 secondes). Cette durée est à interpréter avec précaution car elle prend en considération les temps d'attentes à certains feux rouges ou des véhicules stationnés et gênants, ce qui fausse la durée réelle du parcours pour l'accostage.

- Six directions ont été déterminées pour qualifier les regards des conducteurs : devant, rétroviseur droit, rétroviseur gauche, rétroviseur centre, système GIBUS et trottoir. Nous appelons "regard" une fixation oculaire dirigée sur un point précis de la scène avant du conducteur (les six repères cités ci-dessus). On peut constater par la mesure précise de cet enregistrement que certains regards sur GIBUS sont courts (de 0,5 à 1 sec.) alors que d'autres sont plus longs (environ 2 sec.). Ce sont sur ces derniers qu'une réelle activité d'aide est engagée par le conducteur.

Le tableau qui suit présente les pourcentages des différents types de fixations sur l'ensemble des 50 accostages et ceux en temps pour les 10 conducteurs :

Type de fixations oculaires	Pourcentage moyen d'activité des fixations	Pourcentage moyen en temps de fixation
Devant	47,2 %	63,30 %
Rétro Centre	0%	0%
Rétro Droit	21 %	20,80%
Rétro Gauche	13,7 %	3,60%
GIBUS	6 %	1,40%
Trottoir	14,9 %	14,40%

Le pourcentage de regards effectués sur GIBUS est bas, soit 6 %, c'est-à-dire 16 fixations GIBUS par conducteur sur 50 arrêts et 163 fixations au total. En durée, le pourcentage représente seulement 1,40 % du temps total, ce qui est également peu. L'écart-type varie de 0 % à 15 % selon les personnes. Il est révélateur des variations liées aux types de stratégies utilisées par les conducteurs (Stratégies de type 1, 2, 3, 4, cette dernière étant relative à la stratégie utilisant GIBUS). Nous estimons que si GIBUS avait été un système d'aide

réellement utilisé, voire efficace, on aurait dû trouver des valeurs aux alentours de 15-20 %. Notre estimation combine l'emprunt de fixations oculaires sur d'autres points qui aident à l'accostage (trottoir, rétro D, devant...). C'est une estimation moyennée par rapport aux différents types de stratégies (1, 2, 3 et 4) qui, nous le savons, ne nécessitent pas la mise en jeu des mêmes fixations.

- L'analyse détaillée des scénarios GIBUS montre que de nombreuses fixations GIBUS (102 sur 163) sont réalisées en fin d'accostage, "pour vérification" du résultat de la stratégie du conducteur et non pour une réelle aide à l'accostage. Ceci tend à minimiser encore le faible pourcentage moyen obtenu. D'autres paramètres semblent démontrer que les opérateurs utilisent GIBUS comme un moyen de vérification de l'accostage réalisé et non pas comme une aide réelle à l'accostage :

- la localisation (environ à 3 mètres du point d'arrêt),
- le moment où il se produit : à la fin de l'enchaînement des regards,
- la durée (en moyenne 1,17 seconde).

- Le nombre de fixations GIBUS par conducteur pour aide réelle à l'accostage est de 61 sur 163. Ce type de fixations est effectué par 8 sur les 10 conducteurs. Néanmoins, l'effectif de ce type de "regards" est peu élevé, pour chacun sauf pour le conducteur A4 qui en réalise 48 en plusieurs séquences pour un même accostage. Ce conducteur va finalement abandonner la stratégie 4, c'est-à-dire utiliser GIBUS. Le résultat "nombre de fixations réelles" en est d'autant diminué. L'analyse du protocole de ces fixations montre que pour la plupart, elles ne sont pas effectuées en fin de course mais à d'autres moments du séquençage des regards de l'accostage. Le moment où se produisent ces fixations est en fait différent selon les types de stratégies (1, 2, 3, 4).

- La séquence GIBUS pour une réelle aide à l'accostage peut aussi être segmentée en plusieurs fixations, mais il est très important de retenir qu'elles se produisent en grande partie pendant des périodes jugées de faible trafic ou sans danger relatif à la sécurité des voyageurs. Ce dernier point nous semble expliquer la non-utilisation du système.

- Sur les 163 fixations GIBUS répertoriées, il apparaît que les fixations "pour vérification" (102) sont plus courtes (1,17 seconde) que les fixations pour aide réelle à l'accostage (61 d'une durée de 1,85 seconde). et l'on peut raisonnablement penser que les opérateurs effectuent plus de traitements mentaux sur ces dernières qu'une simple vérification, ce que corroborerait l'allongement de ce temps. A priori, les traitements d'information liés à la perception et aux raisonnements des opérateurs pour planifier la conduite de leur bus sont plus nombreux dans les situations de fixations oculaires pour l'aide réelle à l'accostage.

- Soulignons enfin que, dans la majorité des cas, les conducteurs n'utilisent pas GIBUS comme une aide à l'accostage car ils n'ont pas toujours le temps pour le faire. Ce point se dégage de l'analyse des verbalisations mais également de nos observations. La variable temporelle est donc très importante dans l'utilisation du système. D'une part, pour utiliser le système en tant qu'aide, il faut du temps (environ 2 secondes) et d'autre part, il n'est pas évident de prendre ce temps-là pendant la phase finale d'accostage. Il est donc confirmé (nous l'avons montré par nos études réalisées en 1994) qu'une aide serait plus "utilisable" pour l'opérateur lors de la phase de pré-accostage car à ce moment là, il dispose de plus de temps et sa charge de travail est moins forte (et moins risquée) qu'en phase finale. Pendant la phase finale d'accostage, la surveillance des passagers et leur sécurité priment avant tout. Dès

que le trafic est dense ou que le nombre de passagers est élevé, l'opérateur se donne pour priorité leur sécurité et de fait, n'a plus le temps nécessaire pour utiliser GIBUS comme une aide à l'accostage. Ce dernier choix serait probablement trop coûteux en temps et en traitements mentaux par rapport à leurs stratégies habituelles car l'attention nécessaire serait probablement trop grande.

- La localisation du système GIBUS au milieu du tableau de bord correspond à une opération de prise d'informations de plus, en un lieu supplémentaire à balayer du regard. Dans l'enchaînement des opérations à effectuer par le conducteur, il s'agit donc d'une tâche supplémentaire, coûteuse en temps, en activité perceptive et cognitive. Plusieurs conducteurs ont suggéré, après avoir réellement essayé d'utiliser GIBUS, qu'il serait peut-être plus aisé de le faire si celui-ci était placé ailleurs, sans toutefois préciser l'emplacement idéal. Une analyse détaillée de l'enchaînement des opérations (et notamment de l'enchaînement des regards) pour les différents types de stratégies mises en jeu pour la conduite des bus nous montre que la localisation qui pourrait mieux convenir pour l'ensemble de ces stratégies (car elle minimiserait le nombre de prises d'informations dans des lieux différents) est probablement celle proche du rétroviseur droit. On note en effet que 9 conducteurs sur 10 ont 28 % d'activité regards sur le rétroviseur droit. Celui-ci est toujours utilisé en fin de course, sauf pour ceux, peu nombreux, qui utilisent la stratégie 3 et qui regardent le système en début d'accostage.

4 - Les stratégies des conducteurs

On constate que 9 conducteurs sur 10 n'ont pas modifié leur stratégie, même s'ils ont essayé d'utiliser GIBUS et y sont parfois parvenu. Un seul a modifié sa stratégie. Il effectue 48 fixations sur GIBUS, parfois en plusieurs fixations au cours d'un accostage. Ses durées de fixations sont d'environ deux secondes ce qui laisse présumer qu'il l'utilise comme une réelle aide à l'accostage. L'opérateur pondère lui-même ses résultats en affirmant qu'il a pu le faire car il y avait peu de trafic et que la sécurité des voyageurs n'était que rarement en jeu ce jour-là. On peut considérer que ce conducteur a su s'approprier le système, mais il n'est pas certain qu'il l'utiliserait ainsi s'il l'avait à sa disposition en permanence puisqu'il abandonne cette stratégie qualifiée de "trop coûteuse" en fin de parcours.

5 - Niveau d'acceptation du système par les conducteurs (données subjectives)

Du point de vue subjectif, les commentaires des conducteurs sont dans l'ensemble plutôt négatifs. Pourtant, aucun ne rejette systématiquement le système. Ils en citent les défauts ou les manques. Ils constatent qu'ils peuvent l'utiliser dans certains cas de figures, mais qu'il ne leur est pas utile dans d'autres que nous avons déjà cités tout au long de cette synthèse. Deux d'entre eux rejettent GIBUS, non pas verbalement mais plutôt dans leur façon de ne pas l'utiliser, c'est-à-dire du point de vue de leur comportement. Enfin, certains (4) pensent qu'il pourrait être amélioré, notamment quant à son emplacement.

Discussion et Conclusion de l'étude phase B

Concernant l'utilisation de GIBUS, les résultats sont surprenants. Si l'on considère une donnée fiable, le nombre de regards dirigés sur le système GIBUS, regards enregistrés par une caméra à l'intérieur du bus, on s'aperçoit que leur pourcentage est vraiment faible : 6% de l'activité totale des regards dirigés sur l'avant de la scène pendant l'accostage pour l'ensemble des conducteurs. L'étude détaillée des regards GIBUS montre précisément qu'un grand nombre (les deux tiers) de ce petit effectif de fixations GIBUS (163) est en fait consacré non pas à l'activité d'aide à l'accostage, mais à des vérifications par le conducteur en fin de course du résultat de son accostage. Seules 61 fixations GIBUS sont de réelles opérations "d'aide à

l'accostage" engagées par les conducteurs dont 48 pour une seule personne qui abandonnera cette stratégie à la fin de l'expérience. Certains conducteurs signalent (ce que nous vérifions à l'observation et par l'analyse des verbalisations) que cette utilisation n'est possible que dans certaines configurations : peu de charge trafic, peu de voyageurs, pas de risque pour la sécurité des voyageurs. Enfin, l'analyse des stratégies (comparatif avec les stratégies usuelles de la phase A) montre que les opérateurs (sauf un) n'ont pas abandonné leurs stratégies de base qui sont en fait plus aisées pour eux, plus rapides et plus efficaces. La stratégie liée à l'utilisation de GIBUS (stratégie 4) ne peut être utilisée en permanence pour les raisons de durée nécessaire au cours de la dernière phase d'accostage. La polarisation du regard sur le système détournerait l'attention visuelle du conducteur qui ne pourrait plus surveiller les passagers sur le quai.

L'une des questions qui subsiste après cette étude est : peut-on pour autant conclure que le système n'est pas bon et qu'il n'est pas utilisable ? Ce serait peut-être aller trop vite. Par cette étude, nous savons seulement que le système est très peu utilisé et qu'il est par ailleurs difficilement utilisable. A ce propos, deux points d'achoppement peuvent être mis en exergue suite à nos résultats ; il conviendra de les vérifier avant de se prononcer sur l'utilité du système :

D'une part, la localisation du système GIBUS n'est probablement pas bonne : le fait d'être positionné sur le tableau de bord, au centre, ajoute un point de fixation supplémentaire pour l'opérateur. Il serait plus judicieux d'utiliser un point déjà fixé par celui-ci. Suite à l'analyse que nous avons faite du séquençement des regards, en fonction des trois catégories de stratégies possibles, l'emplacement du rétroviseur droit semble le lieu le mieux adapté pour ce choix.

D'autre part, la durée de fixation nécessaire pour réaliser l'aide à l'accostage est probablement trop longue, voire même handicapante pour le conducteur s'il souhaite suivre réellement l'information donnée par le système. Le temps de fixation nécessaire (environ 2 sec. pour suivre le remplissage de l'écran au fur et à mesure que le bus se rapproche du trottoir) serait par exemple acceptable si nous étions sur la phase de pré-accostage et non sur celle de l'accostage. De fait, il n'apparaît pas nécessaire de donner à l'opérateur l'idée de la progression vers une lacune correcte sur l'afficheur car cette tâche, qui s'apparente à ce que nous appelons en psychologie cognitive "une tâche de poursuite", polarise trop longtemps l'attention du conducteur. L'affichage du résultat de la distance au trottoir quand on proche du point d'arrivée (par exemple "10 cm") ne suffirait-il pas ?

En conclusion, trois issues à cette étude étaient possibles :

- Engager une concertation avec les Services Formation de l'exploitant du réseau et le Service Technique pour vérifier si la solution de la stratégie 3 (aller taper contre le trottoir) est une solution viable ou non pour l'exploitant et le matériel. Il est clair que les trois conducteurs que nous avons vu procéder ainsi et les usagers étaient satisfaits. La stratégie semblait moins coûteuse pour l'opérateur car l'attention visuelle était alors libérée.

- Envisager un autre mode de présentation de l'information "bonne lacune" aux conducteurs du fait de la forte sollicitation du canal visuel sur la phase d'accostage. Nous pensons à une vibration au volant quand la lacune serait qualifiée de bonne. Les études réalisées par ailleurs sur les systèmes de guidage à l'accostage nous ont apporté des résultats satisfaisants sur ce point, mais il s'agissait de vibrations au volant au cours de la phase de pré-accostage et non pendant la phase d'accostage elle-même. Une étude de faisabilité a été engagée pour vérifier la réalisation technique (pointage extérieur du point de repère, mode et rapidité de la transmission au volant, efficacité en vitesse et en précision d'une telle information au canal kinesthésio-moteur, temps de réaction humain et temps de réaction système à ajouter...).

Cette piste, toutefois intéressante, a été suivie par SEMITAG mais le coût annoncé a fait reculé les partenaires.

Faire des recommandations au concepteur du système GIBUS pour son amélioration : emplacement vers le rétroviseur droit, taille, éclairage, durée de l'animation, choix de l'affichage et le tester en situation réelle... ce qui était théoriquement prévu pour la suite de cette étude et a finalement été engagé.

4.7. L'étude GIBUS phase C

Pour cette dernière phase de l'étude (Dessaigne, 2000), l'objectif était de tester, après une phase d'appropriation par les conducteurs, la nouvelle version du système en situation réelle sur un échantillon représentatif de 10 conducteurs. Le but poursuivi était d'expérimenter la nouvelle présentation de GIBUS (près du rétroviseur droit) afin de définir si ce système était ou non une aide efficace pour l'accostage. Deux justifications ont conduit à cet objectif :

- Nous avons retenu de tester le système d'aide à l'accostage positionné vers le rétroviseur droit car l'étude précédente (phase B) avait montré que, pour la majorité des conducteurs, l'un des derniers points de fixations oculaires lors de l'accostage se positionnait dans cette zone. L'emplacement de GIBUS au centre du tableau de bord ajoutant un point de fixation supplémentaire pour les opérateurs, nous avons pensé qu'il était souhaitable de limiter le nombre de regards pour limiter le temps de prélèvement de l'information sur GIBUS en phase finale d'accostage.
- L'information prélevée sur l'écran central s'apparentait à ce que l'on peut appeler "une tâche de poursuite" et de fait, captait et détournait trop longuement l'attention du conducteur. Il a donc été décidé de n'afficher plus qu'un résultat de l'accostage, par exemple "15" signifiant "vous êtes positionné à 15 centimètres du trottoir".

L'objectif poursuivi, bien que nous ayons émis des réserves quant à son atteinte, est de proposer des solutions d'interface Homme-Machine plus adaptées aux contraintes physiologiques et psychologiques du conducteur, c'est-à-dire de tenir compte des réalités des Interactions Homme-Machine. Ainsi, il s'agit de réduire le temps de prélèvement de l'information pour diminuer le détournement du regard du conducteur et d'alléger la charge de travail en phase finale d'accostage. Nous ne savons pas si ces améliorations potentielles seront suffisantes pour contrer les difficultés d'adaptation de l'opérateur à un tel système d'aide.

Plan expérimental

L'échantillon des 10 conducteurs est choisi parmi ceux de la ligne. Nous n'avons pas pu garder l'effectif des 10 conducteurs qui avait déjà testé le système au cours des phases A et B (un décès, deux longues maladies et deux mutations sur une autre ligne). Notre échantillon est donc composé de 5 conducteurs habitués à l'expérience GIBUS et 5 autres "nouveaux" sur GIBUS, mais néanmoins habitués de la ligne 1.

Le choix et la typologie des arrêts (avec "arrêt en ligne") est un paramètre resté constant pendant toute l'expérience. Il s'agit des arrêts de la ligne 1.

Description du système

Le bus est équipé du système GIBUS placé en haut à droite, proche du rétroviseur droit. La dimension de l'afficheur est un boîtier de 100 mn x100 mn et de 60 mn de profondeur. Il inclut un afficheur à 2 chiffres de 50 mm de hauteur. Il était situé sur le montant droit du pavillon avant de la caisse, à environ 28 cm du point central du rétroviseur. Le système a été

développé par la Société Duhamel qui l'a modifié pour l'expérience phase C. Pour une description détaillée, le lecteur peut se reporter au rapport GIBUS C (Dessaigne c, 2000).

Appropriation du système

Avant la phase C de l'expérience et pour veiller au critère de "validité écologique", une phase d'apprentissage du système a été prévue pour les conducteurs comme pour la phase B de l'expérience. Pour eux, il s'agissait d'utiliser GIBUS C pour s'habituer au nouveau système. L'appropriation est caractérisée par trois étapes allant de la familiarisation à l'appropriation du nouveau système. Elle a été réalisée par les conducteurs sans intervention "a priori" de l'ergonome.

Déroulement de l'étude

Au cours de l'expérimentation phase C, l'ergonome a procédé à l'analyse ergonomique de la conduite telle que pratiquée au cours des phases précédentes de l'étude. Nous avons observé chacun des dix conducteurs pendant un aller-retour, soit une heure d'observation et entretiens de formes diverses, sur 50 arrêts pour chacun d'entre eux. L'objectif de l'analyse est d'observer et d'enregistrer l'enchaînement des opérations, des actions et de noter le raisonnement des opérateurs au cours d'une tâche d'accostage avec le système placé proche du rétroviseur droit, dans des contraintes réelles d'activité de travail.

Méthodes utilisées

Du point de vue méthodologique, nous avons, en plus des méthodes utilisées lors de la phase A (observations, relevé des verbalisations et entretiens, analyse des raisonnements d'opérateurs), rajouté l'enregistrement vidéo des regards du conducteur et la mesure précise de leur lacune effectuée sur la porte du milieu du bus. Du fait de la proximité du système GIBUS au rétroviseur droit, il est apparu au début de l'expérimentation (test avant l'expérimentation elle-même) qu'on ne pouvait distinguer, sur l'enregistrement vidéo, un point de fixation précis pour chacun des deux "outils" (rétroviseur et GIBUS). Pour avoir cette précision, il aurait alors fallu instrumenter lourdement les opérateurs, par exemple d'un Nac Eyes Recorder, ce que nous n'avons pas voulu faire. Nous avons décidé de conserver l'enregistrement vidéo mais finalement, nous ne procédons pas au dépouillement des données vidéo car celles-ci s'avèrent peu utiles, puisque insuffisamment précises. Par contre, nous avons renforcé notre protocole d'entretiens en demandant au conducteur de valider pour chacun des arrêts ce qu'il fixait réellement (rétroviseur, GIBUS ou enchaînement des deux) à la fin de l'accostage. Dans 95 % des cas, leurs commentaires correspondaient à notre observation. Notre œil d'observateur avait en fait un meilleur champ d'observation que la caméra.

Nous avons par ailleurs donné des consignes aux chauffeurs pour l'utilisation du système pendant la conduite. Au cours de cette expérimentation, nous relevons les mêmes données objectives et des données subjectives.

Choix relatif au dépouillement des résultats

Après un premier passage en revue de nos relevés d'observation (modes opératoires, stratégies, verbalisations, enregistrements vidéo et analyse des raisonnements), nous avons décidé de ne pas dépouiller finement les données vidéo car celles-ci manquaient de précision. Le relevé précis du mode opératoire lors de nos observations et de l'analyse des verbalisations sont de fait plus explicites que la vidéo. Nous relevons donc des données sur le nombre de "regards" sur GIBUS qui diffèrent de l'étude B car elles dépendent seulement de notre observation et de la justification du conducteur. La quantité de regards relevés est probablement juste car on voit mieux à l'œil nu, les changements de direction du regard entre

les deux points différents de fixation qu'avec l'enregistrement vidéo ; par contre, la mesure exacte de leur durée n'a pu être possible. Nous soulignons ici l'une des contraintes de l'expérience en situation réelle pour rester "valide".

Synthèse des résultats et analyse

Le tableau des résultats par conducteur avec valeurs moyennes de la lacune, de la vitesse et les données à propos des regards conducteurs se trouve en annexe 2, GIBUS C.

1 - Les performances de lacune

Les lacunes relatives à la phase C sont plutôt de bonnes performances comparativement à l'ensemble des études réalisées depuis 1994. On peut considérer que la standardisation des arrêts en ligne (1998) a beaucoup amélioré les résultats liés aux lacunes. Pour la phase C, l'ensemble des conducteurs a une lacune moyenne de 6,06 cm à l'avant et de 11,01 cm sur la porte du milieu. Deux nouveaux conducteurs ont fait varier à la hausse la lacune de la porte du milieu du bus (3 cm de plus en moyenne en phase C) mais sans eux, les lacunes seraient identiques à celles de la phase B.

2 - Les performances de vitesse

En synthèse, nous retrouvons les mêmes résultats que ceux de la phase B pour les cinq conducteurs que nous avons déjà testés sur les autres phases. Pour les autres, nous notons que leurs vitesses respectives sont assez homogènes par rapport aux autres personnes de la population testée. Par rapport au nombre d'accostages effectués, les opérateurs n'ont pas (ou peu) modifié leurs stratégies, donc pas ou peu modifié leurs vitesses d'approche qui sont, lors des situations de conduite, plutôt « automatisées » du point de vue sensori-moteur.

3 - Les fixations oculaires sur GIBUS

Pour les 10 conducteurs testés sur les 50 arrêts répertoriés, nous relevons 67 cas de regards sur GIBUS. On peut considérer au vu des premiers résultats que, comme pour l'expérience B, relativement peu de regards sont opérés sur le système. Pour l'expérience B, seulement 61 avaient été enregistrés. De fait, les chauffeurs ont regardé GIBUS dans 13,4 % des arrêts effectués avec le système. Ce pourcentage est élevé mais néanmoins peu satisfaisant si l'on pense que nous avons optimisé au mieux l'interface de l'opérateur. Nous ne pouvons cependant comparer ce pourcentage (du fait de nos limites méthodologiques) à celui obtenu lors de la phase B qui montrait que 6 % de l'activité de fixations enregistrées était des fixations sur GIBUS car le référentiel n'est pas le même : nombre d'arrêts où l'on utilise GIBUS pour la phase C, pourcentage d'activité GIBUS par rapport à l'ensemble des activités répertoriées dans la phase B.

Parmi les 67 cas de regards GIBUS, 23 concernaient de simples vérifications de l'accostage, celles-ci étaient réalisées furtivement, en général sur les deux derniers mètres ou à l'arrêt du bus, ce qui signifie qu'ils ne sont pas une aide réelle à l'accostage. Par contre, 44 sont effectivement des regards où les chauffeurs utilisent le système GIBUS comme aide à l'accostage. La durée de fixation du système est alors beaucoup plus longue que pour une simple vérification bien qu'il ne s'agisse que d'une estimation (entre 1,5 à 2 sec.). Ces 44 cas représentent 8,8 % des arrêts concernés. Ce pourcentage peut paraître intéressant au premier abord car il montre que plus d'opérateurs ont utilisé GIBUS au cours de la phase C par rapport à celui de la phase B. Le système version C serait donc plus facile à utiliser car mieux situé dans l'enchaînement naturel des regards de l'opérateur pour la tâche à effectuer. Ce résultat est pourtant à pondérer car pour 38 de ces 44 arrêts, les conducteurs abandonnent la stratégie d'aide GIBUS après avoir fait la démonstration qu'ils pouvaient et savaient l'utiliser.

Nous avons constaté par ailleurs que seulement 6 sujets sur 10 avaient réellement effectué leur phase d'appropriation sur cette phase C. Nous avons en effet repéré qu'au cours des 38 arrêts cités ci-dessus, le système était utilisé comme une réelle aide à l'accostage par le chauffeur, mais que les sujets réalisaient ou complétaient trop souvent leur appropriation pendant l'expérience car ils ne l'avaient pas fait auparavant. De notre point de vue, l'entraînement n'a pas été suffisant et l'on peut se questionner sur l'organisation de la phase d'appropriation C.

La stratégie utilisée contribue à l'utilisation du système. Il est certain que les stratégies de types 1 et 2 (7 sujets sur 10), pour lesquelles le conducteur utilise le rétroviseur droit à la fin de l'accostage, favorisent l'utilisation du système, ce qui nous avait encouragé à suggérer cet emplacement qui, par ailleurs, faisait diminuer le nombre de prises d'informations et donc diminuait la charge de travail du conducteur. Le cas de la stratégie 3 « taper la roue avant contre le trottoir » (3 sujets sur 10) est très différent puisque le conducteur n'a pas la nécessité de regarder le rétroviseur droit.

L'attention détournée pour l'utilisation du système est un facteur important (bien que minimisé le plus possible pour cette phase C) qui peut contribuer au manque d'intérêt des chauffeurs, d'autant plus que les opérateurs ne s'étaient pas suffisamment appropriés le système avant l'essai enregistré.

Ce système, qui peut améliorer l'aide à la conduite pour l'accostage dans certaines circonstances, a été à l'origine d'un certain nombre de réserves de notre part depuis 1994. Notre modèle de l'activité des opérateurs montrait déjà qu'il aurait fallu l'utiliser en phase de pré accostage pour que l'attention du conducteur soit libérée en phase finale. Le temps de détournement du regard lors d'une réelle utilisation (de 1,5 sec. à 3 sec. selon les versions) est trop important quand des risques sécuritaires sont présents, ce qui se produit inévitablement en phase finale d'accostage. Il était nécessaire de tester l'optimisation possible par rapport à la phase B avant de se prononcer sur son utilité réelle auprès des conducteurs. Cette dernière expérience n'est donc pas concluante du point de vue de l'utilité et de l'utilisabilité du système. Ces derniers points seront développés au chapitre 7 de la partie III.

La formation à l'utilisation des systèmes d'aide apparaît comme primordiale et n'a probablement pas été suffisamment privilégiée lors de son apprentissage. Néanmoins, la diversité des stratégies utilisées et les gains obtenus sur des arrêts en ligne sont certains. Des orientations ultérieures de formation devraient maintenant être discutées.

Ces résultats tendent donc à minimiser le faible pourcentage obtenu pour C (pourtant meilleur qu'en B) et à démontrer que les chauffeurs utilisent peu le système. Les trois raisons essentielles semblent être que l'outil est mal adapté (utilisabilité de l'outil) au travail en phase finale d'accostage, que les opérateurs n'ont peut-être pas été assez formés, mais aussi qu'ils sont peu motivés (voir les commentaires subjectifs ci-après) pour l'utiliser.

4 - Bilan des stratégies des conducteurs

On constate que sur les 5 conducteurs ayant déjà utilisé GIBUS en phase B, 4 d'entre eux ou plutôt 3 n'ont pas modifié leur stratégie. Le quatrième avait adopté la stratégie 4 (utiliser le système GIBUS) en phase B mais est revenu à la stratégie 3 (taper le trottoir) en phase C alors qu'il utilisait déjà cette stratégie en phase A. Le cinquième a modifié sa stratégie suite à une discussion avec un chauffeur qui utilisait la stratégie 3 et qui a su lui en montrer l'intérêt :

moins de fatigue cognitive car l'attention visuelle est libérée pour surveiller les piétons sur le trottoir et le trafic. Les cinq autres personnes (nouvelles en phase) ont une stratégie personnelle que l'on ne peut comparer par rapport aux phases A et B de l'expérience mais qui s'inscrit néanmoins dans les stratégies répertoriées (1 et 2). Parmi ces cinq nouvelles personnes, aucune n'utilise la stratégie 3.

En résumé, parmi les dix conducteurs, trois d'entre eux utilisent la stratégie 3 (aller taper le trottoir), cinq (voire six) utilisent la stratégie 1 et deux la stratégie 2 (aligner le bus par rapport à la rectitude de la ligne et non par rapport à un point du trottoir comme cela est le cas pour la stratégie 1. Nous constatons enfin que sept conducteurs, après avoir essayé GIBUS, ne remettent pas en cause leurs stratégies habituelles qu'ils conservent finalement.

5 - Niveau d'acceptation du système par les conducteurs (données subjectives)

Du point de vue subjectif, les commentaires des conducteurs sont dans l'ensemble plutôt négatifs. Une personne rejette GIBUS et dit que "ce rejet est lié à tous les automatismes bien que celui-ci soit « pile » dans son regard, il le voit mais ne veut pas l'utiliser".

Les autres conducteurs citent les défauts ou les manques du système, soit par exemple qu'on ne peut l'utiliser que dans certains cas de figure mais qu'il ne leur est pas utile dans d'autres (beaucoup de trafic ou de voyageurs sur le quai).

Six personnes (dont 4 sur les 5 conducteurs qui avaient testé le GIBUS B avec le système situé sur la planche de bord) soulignent pourtant l'intérêt de l'emplacement du GIBUS phase C, "c'est mieux...".

En fait, d'autres le rejettent, non pas verbalement, comme le premier mais plutôt dans leur manière de ne pas l'utiliser. Certains disent leur désintérêt car ils auraient d'autres préoccupations professionnelles plus importantes.

Un peu plus de la moitié (6/10) a réellement essayé le système pendant la phase d'appropriation pourtant prévue à cet effet. Ils sont convaincus que GIBUS "est peu utile" puis quand ils l'essaient véritablement, ils affirment que "finalement, il est mieux placé que l'autre", "on n'a pas trop à lever le regard ici mais je dois dire que je ne m'en sers pas". Plus de la moitié d'entre eux disent tout de même qu'il est peu utile depuis que les arrêts en ligne ont été aménagés.

Des arguments quant à la formation sont aussi évoqués :

"C'est trop fatigant quand on n'est pas habitué", "GIBUS, je ne sais pas car j'ai seize ans de conduite, maintenant, c'est trop tard", "il aurait fallu mettre le système quand on a installé la ligne car maintenant, c'est trop tard, on a nos repères", "il n'y a pas eu assez de formation". Certains conducteurs semblent même un peu désinvoltes : "pour s'amuser, après, on n'y fait plus de cas", "pour vous montrer", "pour vous faire plaisir".

Le dernier point à souligner quant aux commentaires des opérateurs, est que la majorité le trouve "plutôt bien placé". Ce point nous semble être un paradoxe puisqu'en fait, ils ne l'utilisent pas ou peu. Nous pensons en effet que son emplacement est optimisé mais que malgré cela, les contraintes de temps (pour le consulter) et de détournement de l'attention à un moment crucial font que peu l'utilisent.

4.8. Conclusion pour le système GIBUS

L'utilisabilité du système GIBUS

Le système « C » est utilisé dans 13,4 % des arrêts, soit 4,6 % pour simple vérification de l'accostage et 8,8 % pour l'aide réelle à la conduite. Ce dernier pourcentage est plus élevé que sur la phase B, ce qui pourrait montrer que l'interface est mieux adaptée aux conducteurs que la précédente. Nous devons pourtant remarquer que la plupart des stratégies d'aides sont en

fait abandonnées avant la fin des essais. Les conducteurs reprennent alors leurs stratégies naturelles, ce qui tend à confirmer que, soit l'appropriation de l'outil n'a pas été réalisée pleinement, soit l'outil n'est pas aisément utilisable. Nous soulignons ici le rôle important de la formation et de l'appropriation du système qui n'ont peut-être pas été correctement effectuées dans cette dernière expérience.

Par cette étude, nous savons que malgré notre souci d'optimisation du système : localisation vers le rétroviseur droit, temps réduit d'utilisation (l'opérateur ne réalise plus « une tâche de poursuite » comme dans la version B), optimisation de l'interface, celui-ci est finalement peu utilisé.

La dernière interface produite pour la phase C ne polarise le conducteur qu'environ 1,5 sec. Il semble néanmoins que le temps requis n'est pas acceptable pendant la phase finale d'accostage. L'interface B détournait le regard des conducteurs de deux à trois secondes du fait qu'il s'agissait d'une tâche de poursuite. Ce détournement de l'attention, bien que réduit en phase C, est acceptable dans certaines conditions mais ne l'est pas en permanence, notamment lors de la présence momentanée de contraintes sécuritaires. Comme nous l'avons souligné au début l'étude en 1994, un système d'aide serait en fait acceptable en phase de pré-accostage car l'attention visuelle du conducteur y est plus "libre".

Malgré les recommandations faites au concepteur du système GIBUS pour son amélioration (emplacement, taille, éclairage, durée de l'animation, choix de l'affichage, nature de l'information), nous n'avons pas obtenu, pour les raisons évoquées ci-dessus, des résultats qui démontrent "l'utilisabilité" du système en tant qu'aide à l'accostage. Le système GIBUS n'est donc pas validé, à la suite de ces expériences, il est abandonné. Ce sont ces études sur les Interactions Homme-Machine, réalisées pour GIBUS dans le contexte de l'activité réelle, qui nous permettent de conclure à la non-utilité du système pour les opérateurs. L'économie de l'analyse de ces Interactions ne permet pas d'aboutir à une compréhension du Facteur Humain dans la conception des systèmes, que ceux-ci soient valides ou non. Les expériences liées au système de filoguidage d'HALMSTAD en 1985, celles sur le prototype WIEGAND abandonné et le projet "chasse roue" de CAEN, semblent en être les exemples démonstratifs. A l'inverse, nous essayons de montrer que l'analyse de ces Interactions Homme-Machine, qu'elles soient réalisées en situation réelle (par exemple pour GIBUS), par scénarios expérimentaux (que nous verrons dans VISEE) ou par scénarios prédictifs (dans CIVIS) nous permettent d'aboutir à des conclusions claires pour la réalisation des systèmes.

Nous verrons que la situation n'est pas la même pour les systèmes de guidage pour lesquels d'autres études ont été menées (VISEE, CIVIS). Pour ceux-ci, l'utilisation du système se fait pendant la phase de pré-accostage (avant les 40 derniers mètres). Nous avons en effet souligné que la charge de travail était moindre au cours de cette phase et que l'activité nécessitant de l'attention visuelle pour la contrainte sécuritaire pouvait ainsi s'effectuer après plus aisément. Par conséquent, l'attention du conducteur est plus libre en phase finale d'accostage, ce qui favorise un accostage confortable.

Que penser des systèmes d'aide à l'accostage de type GIBUS pour l'avenir ?

Plusieurs points nous permettent de conclure :

- Les conducteurs ne prennent pas le risque de privilégier l'utilisation du système car ils préfèrent conduire en sécurité, ce qui est probablement le bon choix. Le système d'aide GIBUS ne leur permet pas de garantir en permanence le niveau de sécurité atteint sans lui, sauf dans quelques cas de figure insuffisants.

- Il faut aussi noter que l'opinion des conducteurs sur le système GIBUS s'est radicalisée par rapport aux premières expériences. Un certain nombre (6/10) le pensent inutile du fait que leur infrastructure a été nettement améliorée. On peut croire qu'il s'agit là d'un rejet discret du système qui se traduirait probablement par sa non-utilisation s'il était mis en service.
- Ils sont une majorité à dire que ces améliorations d'aménagement systématique des arrêts en ligne "leur a enlevé leur pénibilité d'au moins 50 % par rapport à avant où ils accostaient sur des arrêts de tous types".
- Certains aménagements de l'infrastructure n'ont pas été suffisamment alignés et les gênent encore dans leur conduite journalière au point que, selon leurs dires, ils seraient responsables de leurs mauvais accostages. Néanmoins, les moyennes de lacune (6 cm à l'avant, 11 cm au milieu) sont plutôt bonnes sur cette nouvelle ligne à infrastructure réaménagée. Suite aux recommandations que nous avons faites lors des premières études, il faut insister sur le fait que les stations dont les bordures sont mal raccordées pourraient faire l'objet de modifications pour les rendre similaires aux stations existantes et ainsi améliorer encore les lacunes. L'exemple de Nantes (raccord de la bordure par le haut et le bas en contre alvéole) pourrait même être suivi .
- Une piste nous semble importante à approfondir : il s'agit de la solution où le conducteur va taper le trottoir pour accoster. Trois conducteurs sur dix utilisaient cette stratégie à Grenoble sur la ligne 1. Nous insistons sur l'idée que celle-ci est la moins coûteuse en énergie cognitive et visuelle pour le conducteur. À nos yeux, cette solution est nettement avantageuse pour les chauffeurs et sans danger pour les voyageurs. Évidemment, des conducteurs mal formés pourraient monter sur le trottoir et ainsi créer un incident, mais les trois que nous avons longuement observés possédaient parfaitement la technique, facile à acquérir. Ils s'étaient entraînés eux-mêmes et nous pouvons témoigner que "la secousse" était très souvent imperceptible pour le voyageur. En effet, lors de l'observation, nous ne ressentions pas toujours celle-ci et nous devons en demander confirmation au conducteur pour nous assurer qu'il y avait bien eu un contact. Cette stratégie nécessite une formation réelle des conducteurs et des pneumatiques adaptés. Des études similaires, répertoriées au début de ce chapitre, ont été réalisées en Allemagne et montrent que les résultats semblent probants.
- La piste avec vibration au volant lors du rapprochement satisfaisant du trottoir est également une piste à suivre si l'on souhaite persister sur l'idée d'un système d'aide en phase finale d'accostage. Elle a été abandonnée pour une raison de coût de développement du prototype, mais notre opinion est qu'elle est certainement sérieuse.

CHAPITRE 5 : LES SYSTEMES DE GUIDAGE A L'ACCOSTAGE, LE PROJET VISEE

Le système VISEE est un pilotage automatique de guidage à l'accostage de bus, développé par RENAULT V.I. Il est composé d'une caméra capable de lire des marquages au sol (ligne de référence, repère R1...), d'un calculateur de trajectoire et d'une interface donnant au conducteur des informations kinesthésiques, sonores et visuelles sur les états de fonctionnement ou de dysfonctionnement du système. Pendant la phase d'accostage et à partir du moment où le système "a pris la main", le conducteur laisse le système diriger le bus (il lâche le volant tout en gardant les mains à proximité) mais conserve les fonctions de régulation de la vitesse : freinage et accélération. En cas de nécessité, le conducteur doit reprendre la main, c'est-à-dire qu'il doit suppléer au guidage automatique défaillant ou l'interrompre s'il est erroné ou dangereux, et continuer l'accostage manuellement.

5.1. Description du fonctionnement de VISEE

L'état de fonctionnement de VISEE est indiqué au chauffeur en permanence par un voyant « R » situé sur le tableau de bord : le voyant est éteint si le système recherche un marquage au sol pour se repérer ou quand le système est déconnecté ; le voyant est clignotant orange lorsque le système a détecté un marquage ; le voyant est allumé fixe orange quand le système gère la trajectoire du bus.

En pratique, un marquage spécifique (deux lignes parallèles pointillées distantes de 10 cm) apparaît avant l'arrêt du bus. Dès que le bus aborde ce marquage, le voyant « R » se met à clignoter si les lignes sont reconnues par VISEE et si la vitesse d'approche est inférieure à 40 Km/h. Un premier plot, R1 (à gauche de la double ligne) indique la proximité de la station et initialise la prise en charge de l'accostage par le système. Dès que ce plot est reconnu, une vibration apparaît dans le volant (v1 : amplitude 3 mm, fréquence 12.5 Hz, durée 0.4 s) pour avertir le conducteur de la prise en charge par VISEE. Le voyant R reste alors constamment allumé pour confirmer l'information. A cet instant, le chauffeur se charge seulement du contrôle de la vitesse du bus et laisse agir le système. Un second plot, R2, (situé à droite de la double ligne), 20 m après le premier plot, sert à confirmer la reconnaissance de la station. Deux conditions peuvent interrompre ce guidage :

- le chauffeur reprend la main soit, en manœuvrant son volant soit, en actionnant le bouton ON / OFF. Le système se coupe (le voyant R s'éteint) : le couple s'estompe progressivement et une vibration (v2 : amplitude 4 mm, fréquence 25Hz, durée 0.5s) apparaît pour confirmer la rupture du guidage,
- une panne se produit (le voyant R s'éteint et le voyant défaut clignote rouge), le guidage s'interrompt, le chauffeur doit à ce moment reprendre en main son bus.

Dans tous les cas, un guidage interrompu pour quelque raison que ce soit (le voyant R s'éteint) ne se remettra jamais en action pendant le même arrêt. Quand le chauffeur arrête son bus (vitesse nulle), l'activation du frein d'exploitation réinitialise le système.⁹

En résumé, pour que le système d'aide VISEE soit actif lors d'un accostage, il faut :

- rouler à moins de 40 Km/h au passage du plot R1,
- être dans la voie où se trouve la ligne de référence dès l'approche du plot R1.

Quand le système est activé (guidage automatique opérationnel), le chauffeur est prévenu par une vibration v1 qui dure 0.4 s, le voyant R étant alors éclairé en fixe orange.

5.2. . Méthodologie générale pour le projet VISEE

La demande initiale formulée par Renault était de constituer un modèle du conducteur parallèlement à un modèle du véhicule, dont le constructeur disposait. Ces deux modèles devaient fournir les paramètres d'une simulation numérique (par Matlab). En dépit des études

⁹ Frein d'exploitation : frein moteur qui doit être actionné lors de chaque arrêt. Cette action sera la condition de la réinitialisation du système.

réalisées jusque-là, nous pensions que cette démarche ambitieuse dépassait les connaissances disponibles sur la totalité des facteurs humains impliqués dans la conduite des bus. Nous avons finalement proposé une démarche expérimentale permettant de tester des scénarios de l'activité future avec le prototype. Ceux-ci ont été mis au point à partir de la construction du modèle de l'activité réelle des conducteurs de bus et d'abord essayés sur un site fermé (Mortefontaine) pour en tester la validité.

Les scénarios retenus devaient couvrir de façon exhaustive la gamme des incidents susceptibles de se produire. Le principe des scénarios expérimentaux (voir leurs compositions ci-après au paragraphe 5.4.) est que tous les conducteurs de l'échantillon (représentatifs de la population des conducteurs de bus) conduisent le même bus muni du prototype d'assistance et sont soumis aux mêmes conditions expérimentales. La composition des scénarios s'appuie sur la combinaison de deux données principales : la connaissance des types de défaillances du système susceptibles de se produire et les hypothèses formulées sur le comportement à venir des conducteurs. D'un côté, les ingénieurs, ont apporté leurs connaissances sur la marche et les modes dégradés du système ; de l'autre, les ergonomes ont fourni leurs connaissances sur la tâche d'accostage de bus et ses difficultés (sans système d'aide puisque ces nouveaux systèmes n'existent pas encore) afin de prendre en compte toutes les caractéristiques des conducteurs accomplissant cette manœuvre : contraintes physiologiques, psychologiques, sociales et cognitives (§ 5.3 et 5.5). L'objectif est aussi d'intégrer dans leurs formes abouties, les contraintes situationnelles, c'est-à-dire les contraintes environnementales et temporelles, ce qui sera le cas avec VISEE testé en site semi-ouvert sur une ligne de Grenoble.

La première expérimentation, sur le site de Mortefontaine (§ 5.3.) a permis la mise au point de cinq scénarios à tester par un premier repérage des hypothèses d'Interaction Homme-Machine à valider "in situ".

A la suite de cette pré-expérience, 14 scénarios puis 20, hiérarchisés en fonction de leur dangerosité (§ 5.4.) ont été constitués.

Ceux-ci ont été expérimentés avec le prototype VISEE (§ 5.5) sur les sites de la Valbonne (site fermé) et Grenoble (site semi-ouvert en espace urbain mais sans passager) pour éprouver "l'utilisabilité" et la dangerosité de l'aide en se rapprochant des conditions et contraintes "écologiques" de la conduite.

Pour chacune des journées expérimentales qui ont suivies celle de Mortefontaine (sur site fermé, puis sur site réel), 14 scénarios de l'activité future ont été approfondis puis mis au point puis hiérarchisés en fonction de critères de criticité des défaillances (voir paragraphes 5.3. et 5.4.), définis dans des conditions nominales et incidentelles. Parmi eux, l'un est un accostage normal sans assistance, c'est-à-dire en conditions habituelles sans incident, un autre est un accostage normal avec l'assistance du prototype, et les autres représentent divers types d'incidents potentiels. Sont ainsi traitées la sécurité de fonctionnement, la disponibilité du système par rapport au conducteur et la fiabilité du comportement humain.

Les méthodes utilisées

Les méthodes employées pour mettre en évidence les comportements des conducteurs (d'abord sur site expérimental) sont les mêmes que celles décrites dans l'étude GIBUS, par exemple la Technique des Protocoles Verbaux (TVP) de Ericsson & Simon (1984) pour recueillir les verbalisations des opérateurs, à l'exception d'un ajout de mesure physiologique du stress et d'une hiérarchisation des scénarios selon une cotation AMDEC (voir paragraphe

5.4.3). D'autres seront utilisées pour circonscrire les différents paramètres expérimentaux de cette activité et permettront l'enregistrement des données relevées à chaque accostage :

- Relevé des données environnementales par caméra vidéo qui enregistre ces données en complément de l'œil de l'observateur (par exemple clients en bordure du trottoir, voiture gênante...) ayant une influence sur les choix d'action du conducteur.

- Enregistrement des paramètres vitesses et qualité de l'accostage : lacune porte avant.

- Perception de l'interface du prototype par le conducteur : à la fin de chaque accostage, l'ergonome pose des questions au conducteur sur sa perception des signaux visuels, sonores et kinesthésiques rendant compte de l'état du système, qu'il soit en mode nominal ou en mode défaut.

- La mesure physiologique du stress a été évaluée par des indicateurs de reflet de l'activité du système nerveux autonome : mesure de la résistance électrique cutanée, qui est une réponse du système nerveux sympathique à un stimulus permettant de connaître la charge émotionnelle à laquelle un conducteur est soumis lors d'un accostage avec ou sans assistance.

Comme précédemment, cette démarche a permis de retracer une chronique détaillée de l'activité de l'opérateur pendant l'accomplissement de sa tâche d'accostage, sur site expérimental puis semi-ouvert.

5.3. Le système VISEE testé en site fermé

Les membres de l'équipe souhaitent obtenir une première évaluation globale du prototype VISEE sur le site de Mortefontaine (Dessaigne, Fouet, 1996) en réalisant des essais avec quatre chauffeurs ayant un "œil neuf" sur le système. L'objectif est, d'une part, de connaître leur appréciation du système et d'autre part, d'observer leurs comportements durant la tâche d'accostage assistée par VISEE.

Protocole expérimental

L'évaluation globale du système doit porter sur les séquences d'utilisation de celui-ci (détection de la ligne de référence, accrochage du système, guidage), sur l'interface actuelle conducteur/VISEE (voyant R/ligne de référence, voyant ON, voyant défaut) et la reprise en manuel.

Quatre chauffeurs professionnels RVI ont testé le système. Les essais se sont déroulés sur deux journées. Une personne, à l'extérieur du bus, préparait les essais et une autre, à l'intérieur du véhicule, notait et contrôlait le paramètre vitesse. Un système audio a été utilisé pour enregistrer les verbalisations du chauffeur.

Cinq scénarios de tests sont définis à partir du modèle du conducteur élaboré précédemment (qui permettait d'identifier les comportements et raisonnements) et de notre connaissance du système.

Mise au point des scénarios

Pour la mise au point des scénarios, des critères d'observation pour le site expérimental ont été définis en fonction des hypothèses portant tant sur le fonctionnement ou les dysfonctionnements du système que sur le comportement attendu des conducteurs que nous pourrions observer lors des essais.

Pour le scénario de référence, en mode nominal (quand tout va bien), l'ergonome portera son attention sur le moment de l'accrochage du système afin de repérer éventuellement une situation conflictuelle entre le conducteur et le système. Pour un scénario incidentel, par exemple quand le système « décroche », l'ergonome centrera ses observations essentiellement sur la phase de guidage, et plus particulièrement sur le moment de décrochage du système. Il relèvera l'enchaînement des opérations du conducteur dès la détection de la défaillance du système (regard vers les rétroviseurs, reprise en main et récupération de la situation). Notons que dans cette pré-expérience, les variables contextuelles et environnementales ne sont pas encore considérées.

Répertoire des cinq classes de scénarios retenues

MODE NOMINAL

Groupe 0 : Conduite en guidage automatique dans les conditions nominales

MODE INCIDENTEL

Groupe I : Ensemble des scénarios avec des variations de paramètres (vitesse, déport latéral, évitement d'obstacle, activation du système par le conducteur) à l'approche du plot R1 (avant l'enclenchement du guidage).

Groupe II : Ensemble des scénarios avec une défaillance VISEE conduisant éventuellement à une reprise manuelle du conducteur (perte de détection des informations de VISEE, erreur de consigne de couple, erreur sur les informations de l'état de VISEE transmises au chauffeur).

Groupe III : Ensemble des scénarios où le conducteur est en conflit permanent avec VISEE. (par ex. La reprise manuelle ne lui est pas signalée).

Groupe IV : Ensemble des scénarios avec une reprise manuelle volontaire du conducteur.

Résultats expérimentaux

La tâche des conducteurs sur le site de Mortefontaine est simplifiée et peu complexe par rapport à une tâche d'accostage effectuée sur un site réel. Pour ces essais, en effet, l'opérateur n'a pas à surveiller la circulation, n'a jamais de véhicule devant lui ou derrière lui, n'a pas à prévoir son accostage, notamment en fonction de la position des passagers sur le quai ou dans le bus. Il ne doit pas faire face à des obstacles intervenant sur la voie d'accostage (véhicule en stationnement gênant) et n'a pas de contraintes liées à l'infrastructure urbaine. De plus, la tâche d'accostage s'effectue toujours sur une voie en ligne droite ; le chauffeur n'a pas ou très peu à contrôler la trajectoire du bus, à l'exception des essais où le bus a une position latérale imposée et ceux avec "le couloir de cônes".

On ne peut donc pas tirer de conclusion définitive sur la validité du système, mais ces essais auront permis d'apporter des points de repères sur son acceptabilité, notamment lors des dysfonctionnements et d'affiner la préparation des expériences suivantes.

1- Stratégies utilisées

Nous constatons que les chauffeurs ont des stratégies différentes qui évoluent au cours des séries. Deux d'entre eux ne regardent jamais les voyants ou seulement jusqu'au plot R1. Ils préfèrent contrôler la réaction du volant, regardent devant et vérifient la lacune. Tout en laissant le système agir, ils laissent les mains proche du volant. D'autres passent beaucoup de temps à regarder les voyants, même au cours de la phase de guidage. À la fin de la deuxième série, leur stratégie a évolué : ils regardent beaucoup moins les voyants, ils se rapprochent de la stratégie énoncée précédemment. D'une façon générale, les conducteurs commencent à décélérer dès le plot R1 et freinent progressivement. Notons que la distance avant le plot R1 est très courte. Des chauffeurs voulant «lever le pied» bien avant l'arrêt (environ 100 m avant) ne pouvaient le faire aisément. Sur ce critère, nous n'avons pas observé de stratégies différentes entre chauffeurs.

2- Familiarisation et appropriation du système

Pour tous les chauffeurs, les phases prévues en amont des essais ont été trop courtes. Pour certains, elle s'est de fait, réalisée sur la première série, voire au cours de la deuxième série d'essais. Cette expérience nous aura permis de prévoir une phase de familiarisation suffisamment longue pour les prochains essais. Aucun des opérateurs n'a eu le temps de se familiariser suffisamment avec le système. On peut estimer que l'apprentissage n'était donc pas terminé au début des essais et s'est poursuivi pendant les essais.

3- Scénarios critiques

L'expérimentation "par scénarios" permet d'approcher les situations d'interaction du conducteur avec le système, même si nous ne sommes pas en condition naturelle totale, en permettant le recueil d'informations cruciales sur les réactions et raisonnements des conducteurs face à des situations critiques dangereuses, ce qui serait difficilement réalisable dans une expérimentation en situation réelle de conduite.

Après les essais, plusieurs scénarios ont été repérés comme critiques :

- Scénarios avec une reprise manuelle volontaire

Les chauffeurs reprennent tous la main sans difficulté, même pour les deux dernières séries. La résistance ne doit pas être trop forte sur la direction. L'un d'entre eux précise qu'il ne faudrait pas que "le système laisse la main tout d'un coup".

- Scénarios avec une reprise manuelle inattendue

On a pu observer quelques reprises manuelles inattendues suite à des pertes de ligne. Dans la plupart des cas, les chauffeurs ont repris correctement la main. Nous devons de nouveau souligner le fait qu'il s'agit d'un site fermé avec très peu de contraintes. Par ailleurs, sur un arrêt en ligne, les chauffeurs n'ont qu'à regarder devant eux et contrôler les réactions du système. Certains ont détecté le décrochage uniquement par la réaction du volant (ils laissent les mains proches de ce dernier) ; d'autres, malgré l'emplacement inapproprié des voyants, se sont aperçu de l'extinction du voyant R, ce qui ne signifie pas explicitement que le changement d'état de ce voyant leur a permis de reprendre la main. On a pu également observer une reprise manuelle après un déclenchement du voyant défaut. Le chauffeur a repris la main dès la perception du signal. Notons que cette personne regardait beaucoup les voyants, même pendant la phase de guidage.

- Scénarios avec une vitesse imposée (40 km/h)

Pour certains chauffeurs, rouler à cette vitesse ne posait aucun problème, ils conservaient une bonne maîtrise du véhicule, l'accostage était correct et ils s'arrêtaient au bout du quai. Pour d'autres, la qualité de l'accostage était médiocre, en particulier, ils s'arrêtaient après le quai. On a pu constater que les opérateurs qui fixaient les voyants avaient plus de difficulté à apprécier les distances, ce qui entraînait indéniablement des conséquences sur la qualité de l'accostage.

4 – Evaluation de l'interface

Celle-ci est faite par l'observation des situations, complétée par des entretiens avec les conducteurs. Plusieurs points pourraient être améliorés :

- Les voyants sont peu utilisables du fait de leur position. Il est en effet difficile de baisser les yeux pour les regarder alors qu'en parallèle, les conducteurs doivent surveiller l'environnement. Sur un site réel, ils seraient inexploitablement en l'état. Un des conducteurs pense qu'ils ne servent à rien. Un autre, dès le début des essais, ne regarde jamais les voyants. Certains ont essayé, mais, au fur et à mesure que les essais progressaient, les regards en direction des voyants diminuaient. Ceci montre que ces voyants seraient certainement inefficaces lors d'une reprise en main, par exemple lors d'une défaillance du système, sur un site réel où les contraintes sont beaucoup plus fortes. Enfin, quand la charge de travail augmentait (une tâche simulant une défaillance du système était ajoutée), on pouvait observer que la stratégie "regard sur les voyants" n'était plus réalisable : par exemple, l'un des conducteurs demande si le voyant a bien donné l'indication de l'accrochage car il ne peut le vérifier lui-même.

- le bouton ON/OFF : deux des chauffeurs le trouvent mal situé sur le tableau de bord. Un autre ne savait plus où il était placé. Il faut rappeler que pendant ces essais, les chauffeurs n'ont pas eu à l'utiliser.

- les vibrations : tous perçoivent bien la vibration V1 à l'accrochage et ils la trouvent en général suffisante tant en amplitude qu'en durée. Toutefois, un des chauffeurs n'a pas confiance dans cette vibration, il préférerait une information visuelle, voire sonore. Faut-il alors redonder cette information ? La vibration V2 au décrochage n'est pas toujours aussi bien perçue que la précédente. Elle est même dans la majorité des cas difficilement décelable, surtout lors d'une reprise manuelle avec un coup de volant. Lors d'une reprise en main inattendue, ce fait est encore plus accentué, du fait que les chauffeurs gardent pendant le guidage les mains proches du volant sans le toucher. une redondance serait nécessaire.

- l'effort exercé au cours d'une reprise manuelle est, pour la première série, reconnu comme acceptable. Les conducteurs sentent un point dur qui ne les gêne pas. Pour les deux autres séries, certains sont gênés, voire perturbés par l'amplitude trop importante qu'ils ressentent au volant, le système ne laisserait pas assez vite la main. D'autres n'ont senti que légèrement la différence par rapport à la première série. Cette différence perceptive peut s'expliquer par une variabilité inter individuelle de perception sensitive des doigts ainsi que par la manière dont les chauffeurs tiennent le volant..

- la longueur de la ligne de référence (avant R1) et la distance de guidage ont une longueur suffisante. Un seul chauffeur souhaite une ligne plus longue. Certains jugent qu'il faudrait contrôler la vitesse. Il faut ici pondérer ces résultats : la distance de conduite avant R1 semble très courte pour une conduite en site réel où toutes les contraintes (par exemple courbe avant l'arrêt) pourraient être présentes.

Sur tous ces paramètres de l'interface, l'analyse des Interactions Homme-Machine, même sur site expérimental, nous aura permis de relever diverses anomalies ou caractéristiques à corriger.

5 - Appréciation du système par les chauffeurs

les chauffeurs (des essayeurs et non des conducteurs de bus) ont affirmé que le système était plutôt positif, appréciable, utile et même agréable. Cependant, nous remarquons dans la suite des réponses qu'il faut relativiser ces propos. A propos de l'utilité du système, certains disent que le système serait plus utile sur des arrêts difficiles d'accès, alors que d'autres présumant qu'il ne sera utilisable que sur des sites propres ou dans des arrêts aménagés. L'un d'entre eux précise que, lors d'un arrêt en ligne, le système n'est pas très utile car il est capable de faire aussi bien sans assistance.

L'analyse des premiers scénarios sur site expérimental aura permis de relever également des anomalies de l'interface proposée et de commencer à percevoir les caractéristiques physiologiques et cognitives "en souffrance" sur lesquelles il fallait approfondir l'analyse des Interactions.

5.4. Méthodologie pour la mise au point des scénarios

Le bilan de l'expérience de Mortefontaine nous a permis de détecter que certaines situations à tester devaient être ajoutées dans la liste de celles déjà expérimentées (§ 5.4.1), la catégorisation énoncée par groupes (de 0 à IV) s'avérant juste. L'utilisation de la modélisation par algorithme est également utilisée pour "approfondir" ces scénarios (§ 5.4.2). Une hiérarchisation des scénarios a ensuite été réalisée pour tester leur dangerosité (§ 5.4.3.) au cours des prochaines expériences.

5.4.1. Construction et structuration des scénarios

Au départ, le choix des scénarios est appuyé sur une connaissance de la conduite et des types de défaillances du système susceptibles de se produire, mais aussi sur les comportements des conducteurs jusque-là appréhendés dans un registre "sans système". Au cours de l'expérience Mortefontaine, de nouvelles contraintes liées soit au système, soit au Facteur Humain ont été identifiées. De nouvelles hypothèses sur les comportements du conducteur donnant lieu à des scénarios supplémentaires ont ainsi été émises en fonction des situations prévues pour être, plus exhaustif et pouvoir les vérifier expérimentalement sur un site d'abord fermé puis semi-ouvert.

L'ajout des scénarios a respecté les critères retenus précédemment sur chacun des cinq classes de scénarios déjà établies :

- physiologiques (charge physique, vigilance, temps de réaction, stress, émotions),
- psychologiques (attitudes à l'égard de la tâche, motivations),
- cognitifs (apprentissage, prise d'information et traitement de l'information : mémorisation, représentation, attention, anticipation et raisonnements).

Le tableau situé en annexe 3 montre le cadre d'analyse employé (grille générale pour l'analyse des cinq scénarios) pour approfondir les scénarios testés lors des essais de Mortefontaine et

vérifier que tous ont été envisagés. L'équipe base son raisonnement sur la cause de la défaillance et envisage les conséquences tant sur le système que sur la fiabilité humaine, la qualité de l'accostage et le confort. Cette méthodologie permet, dans un premier temps, de passer en revue l'ensemble des scénarios vérifiés sur le site et ceux possibles dans le futur.

Pour chacun, nous établissons des hypothèses sur les comportements attendus des conducteurs. Le nombre d'hypothèses est important et varié selon les situations de fonctionnement du système. Vous trouverez également en annexe 3 un exemple de mise au point d'un scénario étudié (de classe II) pour le cas d'un guidage interrompu par le système. Nous montrons qu'après avoir passé en revue les critères liés aux Facteurs Humains, nos hypothèses, au nombre de trois dans l'exemple présenté, sur les comportements attendus des conducteurs (prédictions basées aussi sur nos connaissances de l'accostage) sont détaillées pour pouvoir préparer les moyens à mettre en œuvre et tester ensuite les scénarios sur le site semi-ouvert (expérience de Grenoble) qui permettra alors de considérer des variables situationnelles¹⁰.

Nous tentons également une autre approche par le biais du modèle descriptif et prédictif (voir paragraphe ci-après) afin de renforcer cette exhaustivité.

5.4.2. Réutilisation du modèle des conducteurs

L'utilisation du modèle déjà construit (Kaplan & Dessaigne, 1994) nous permettra ici d'émettre des hypothèses quant à l'activité future et possible sur un prototype de système d'aide que nous testerons par le biais de différents scénarios sur les sites suivants. Une autre approche par un modèle prédictif (Dessaigne & Fouet, 1996) est donc réalisée. Il s'agit d'ajouter sur l'algorithme existant les phases d'activités possibles "avec VISEE". On y ajoute une partie prédictive "avec système" qui tente de définir le comportement conducteur attendu avec le système VISEE et nous nous intéressons aux modifications de l'arbre représentant les comportements liés à l'assistance. Nous procédons, notamment grâce à cette méthode exploratoire, à une identification de scénarios possibles à différents niveaux de l'arbre. On peut ainsi ajouter sur l'arbre descriptif, la partie prédictive du comportement avec VISEE. L'arbre de référence retenu est celui qui décrit l'accostage sans VISEE pour le cas des arrêts en saillie (voir annexe 1.), l'un des plus complexes pour l'homme, ce qui nous permet d'être plus exhaustif sur les situations probables. Nous y avons ajouté une partie prédictive pour les modifications envisagées dues aux différentes situations rencontrées avec VISEE. Cette deuxième analyse a permis d'identifier de nouveaux scénarios non repérés lors des premières analyses. Nous pourrions de fait les tester sur les sites de La Valbonne et de Grenoble.

Vous trouverez en annexe 3 pour exemple, la description prédictive attendue du comportement du conducteur correspondant à l'arbre d'un arrêt en saillie qui montre que nous pouvons envisager des nouveaux scénarios, des situations particulières liées aux modes dégradés du système VISEE mais surtout aux types de réactions des conducteurs. Par exemple, pour les cas de reprise en manuel du système suite à sa désactivation (composé de plusieurs scénarios dits de classe II), on identifie deux scénarios supplémentaires, non

¹⁰ En principe, les variables environnementales et temporelles qu'ils ont déjà intégrés dans leur activité : passagers et leurs caractéristiques (adulte, personne âgée, enfant), leurs mouvements (déplacement sur le trottoir...), la signalisation routière avant l'arrêt (feu, passage piétons...), les gênes occasionnées avant l'arrêt (voiture en stationnement gênant, arbres, sorties diverses), les courbures de la route et le respect des horaires.

envisagés jusque là. Il s'agit du scénario 0 bis qui décrit une situation où un véhicule mal garé gêne la reconnaissance de la ligne de référence permettant l'activation du système sur la zone d'accostage et du scénario 0 ter qui montre que le conducteur avait désarmé son système précédemment pour une cause particulière et qu'il s'aperçoit à la dernière minute que ce bouton lumineux est éteint mais qu'il peut le ré-enclencher avant l'accostage. On commence, lors de cette étape, à introduire des variables situationnelles.

En synthèse, l'arbre prédictif établi montre que l'utilisation du système VISEE modifie le modèle du comportement conducteur initial lorsque l'accostage est fait sans assistance :

- le système VISEE ne semble pas augmenter le nombre de choix de stratégie (3),
- par contre, le nombre d'actions (8 ou 9 de plus) et le nombre de raisonnements (4 de plus) augmentent,
- en plus de l'état de l'environnement (7), le chauffeur devra se préoccuper de l'état de fonctionnement du système (4 ou 5).

De nouvelles situations d'interactions apparaissent :

- des tâches de repérage : repérer la ligne de référence, les plots R1 et R2.
- des tâches de vérification : vérifier l'état de VISEE.
- des tâches de surveillance : surveiller la trajectoire du bus.

L'analyse de l'arbre montre que le système VISEE modifie parfois le mode opératoire du chauffeur. Certaines actions devront donc être anticipées :

- Pour cibler le cône d'accrochage, il devra regarder le quai, freiner progressivement et tourner légèrement le volant avant le plot R1, à environ 60 m de l'abri alors que sans l'assistance du système VISEE, le chauffeur faisait ces actions seulement à partir de 40 m avant l'abri. Celles-ci seront, après appropriation du système, automatisées.
- Après le premier accrochage du bus, les tâches qui prédomineront sont celles de vérification de l'état de fonctionnement du système et de surveillance de la trajectoire. Celles-ci seront également rapidement automatisées.
- Selon le niveau de confiance du chauffeur sur la fiabilité du système, on peut se demander si le chauffeur n'aura pas tendance à vouloir agir sur le système.

Par ailleurs, nous avons pu prédire des situations où le système VISEE ne présentait aucune défaillance, le chauffeur ne commettait aucune erreur mais des événements extérieurs (contrainte de l'environnement), pouvaient perturber voire empêcher l'accostage en guidage automatique.

L'analyse par scénarios nous aura permis d'identifier les différentes situations possibles (scénarios 0 bis et 0 ter entre autres). Nous avons ainsi pu préciser, grâce à cette comparaison au modèle descriptif de l'accostage "en saillie" sans système, les types de reprises en manuel et prévoir des scénarios supplémentaires à tester. Cela nous a ainsi permis de distinguer selon les capacités de l'homme effectuant la tâche :

- des reprises en manuel signalées au chauffeur par VISEE,
- des reprises en manuel inattendues par le chauffeur,
- des reprises en manuel voulues par le chauffeur,
- des reprises en manuel erronées par le chauffeur.

De 9 scénarios repérés au début de l'étude (après Mortefontaine), nous sommes parvenus, grâce au retour d'expérience sur la première expérimentation et à l'analyse par le modèle prédictif, à 20 scénarios, décrivant chacun des situations d'interactions particulières à étudier lors des prochaines expériences à Grenoble.

5.4.3. Hiérarchisation des scénarios

Après la revue complète de l'arbre prédictif, nous avons regroupé les scénarios et les avons hiérarchisés en fonction du niveau de risque. Cette hiérarchisation a été établie sur la base d'une cotation AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance de leurs Effets et de leur Criticité) selon une échelle de GRAVITE (indice RENAULT de 1 à 10) prenant en compte différents critères, notamment de sécurité, de fiabilité humaine et de confort.

Du point de vue de la sûreté de fonctionnement, le système sera dit de "sécurité" s'il n'engendre pas de situations de risque. La sécurité implique l'absence de danger, de risques d'accidents ou de catastrophes. Cependant l'absence absolue de danger étant illusoire, il est intéressant d'avoir une définition probabiliste de la notion de sécurité ou de la notion de risque basée sur la donnée d'un ensemble d'événements non désirés (morts, blessures graves, blessures légères, dégâts matériels importants...) et de leur probabilité d'occurrence. Nous notons que les défaillances du système global peuvent être liées soit à VISEE (défaillance système), soit au conducteur (défaillance humaine), soit à l'environnement (véhicule en stationnement gênant, passagers au bord du quai, météo...). Elles peuvent avoir des conséquences sur VISEE, sur la tâche du conducteur ou sur l'environnement.

Sur VISEE, la mise en cause de la sécurité peut entraîner des dégâts matériels légers ou importants de trois types : une indisponibilité totale quand le système ne peut plus fonctionner à un arrêt et aux suivants, une indisponibilité partielle lorsque le système a perdu des informations nécessaires à son fonctionnement au présent arrêt et des dégâts légers quand le bus peut finir sa course en guidage automatique. Il peut aussi exister des conséquences sur la qualité de l'accostage (trajectoire du bus, lacune horizontale), notamment, l'écart par rapport à l'objectif fixé peut être inexistant, léger, acceptable, inacceptable.

Une dégradation de la tâche peut aussi entraîner des défaillances humaines. La fiabilité humaine (Leplat, 1985) peut être définie comme étant l'absence de défaillance de l'homme qui réalise une tâche dans un environnement donné. Elle est considérée comme une composante de la fiabilité du système global. La défaillance humaine est la cessation de l'aptitude de l'opérateur à accomplir une tâche (Villemeur, 1988). Par défaillance humaine, on entend une défaillance physiologique (caractéristiques intrinsèques de l'opérateur), mais aussi une erreur humaine. L'erreur (Leplat, 1985) est définie comme un écart par rapport à un objectif. Les moyens mis en œuvre par le conducteur n'ont pas permis d'atteindre les objectifs de la tâche. Il peut s'agir d'erreurs de perception, de détection, de représentation, de mémorisation ou encore de raisonnements qui pourront avoir des conséquences sur l'anticipation, le diagnostic, la décision et les actions du conducteur.

La fiabilité humaine doit non seulement prendre en compte les conditions internes du conducteur, mais également les conditions externes liées à la tâche. Les conditions internes comprennent les caractéristiques physiques et physiologiques (charge physique, attention, temps de réaction), les caractéristiques affectives et sociales (attitudes à l'égard de la tâche (respect des règles de conduite et horaires), motivation, stress et émotions), les caractéristiques cognitives (apprentissage, compétences, charge mentale, prise et traitement d'informations, représentations, mémorisation, raisonnements). Les conditions externes se caractérisent par la tâche qui est variable. La tâche du conducteur est d'assurer un accostage dans de bonnes conditions, c'est-à-dire dans le respect du confort et de la sécurité vis-à-vis des passagers et des automobilistes. Pour atteindre les objectifs qui lui sont assignés ou qu'il s'est fixé, il doit veiller au maintien de la trajectoire du bus, surveiller l'environnement (notamment les automobilistes, les passagers...) et le fonctionnement ou le dysfonctionnement du système

VISEE (surveillance de l'interface). Pour analyser la tâche de l'opérateur, l'observation de l'ergonome en situation permettra de relever les différentes opérations du conducteur et leur déroulement dans le temps. Pour ce qui est des caractéristiques intrinsèques de l'opérateur (physique, physiologique, affective et cognitive), les résultats de l'observation sur certains critères devront être recouperés avec ceux d'enregistrements spécifiques et d'entretiens ou de questionnaires.

L'activité de récupération consiste à faire en sorte qu'un résultat non-acceptable par rapport aux objectifs fixés devienne acceptable avant qu'il ne soit irréversible (Faverge, 1980). L'opérateur peut récupérer un incident lié à une défaillance du système technique ; il peut aussi aider à pallier une non fiabilité du système technique et contribuer à la sécurité du système global. En règle générale, il faut prévoir dès la conception les moyens pour récupérer les erreurs susceptibles d'être commises. La fiabilité globale du système se caractérise non seulement par l'occurrence des dysfonctionnements, mais aussi par la possibilité de les récupérer.

On trouvera en annexe 3 un tableau qui récapitule un exemple de hiérarchisation d'un scénario du groupe V et des éléments sur l'indice de gravité. Nous avons focalisé notre étude sur le comportement attendu du conducteur dans des situations à risque. Nous analysons (avant l'expérimentation sur site semi-ouvert) les conséquences sur la fiabilité humaine du conducteur pour chaque situation décrite dans les scénarios. Pour cela, nous avons évalué les différents critères de la fiabilité humaine comme décrits dans le tableau. Ils seront vérifiés ensuite sur le site par des moyens d'enregistrement spécifiques, des observations, des entretiens et des questionnaires destinés au conducteur.

Voici ci-dessous l'indice de gravité que nous avons retenu pour hiérarchiser les scénarios. Le barèmes de cotation est un barème AMDEC.

INDICE DE GRAVITE (G)	DEFINITION
1	Aucune agression et aucune défaillance Système Homme/Machine
2-3	Agression ou défaillance Système Homme/Machine avec ou sans signe avant-coureur* ayant des conséquences sur le confort du chauffeur et/ou des passagers
4-5	Agression ou défaillance Système Homme/Machine avec ou sans signe avant-coureur* ayant des conséquences à la fois sur le confort et la fiabilité humaine
5-7	Agression ou défaillance Système Homme/Machine avec ou sans signe avant-coureur* ayant des conséquences sur la fiabilité humaine - dégâts matériels possibles
8-9	Agression ou défaillance Système Homme/Machine avec ou sans signe avant-coureur* ayant des conséquences sur la fiabilité humaine et la sécurité - dégâts matériels, et blessures possibles
10	Agression ou défaillance Système Homme/Machine sans signe avant-coureur* ayant des conséquences sur la sécurité - dégâts matériels importants et mort(s) d'homme(s) possible(s)

* avec ou sans signe avant coureur : ce terme signifie qu'un incident peut être accompagné d'un indice qui pourrait être utilisé par le conducteur pour anticiper son action.

Les 20 scénarios que nous avons retenus ont des indices de gravité compris entre 6 et 9 (sauf le scénario 0 du mode nominal. Leur dangerosité est donc a tester sur site.

5.5. Le système VISEE testé sur les sites de la Valbonne et de Grenoble

Le site de La Valbonne

Le site de La Valbonne est une piste d'essais appartenant à RENAULT Véhicules Industriels. L'anneau principal mesure 3250 m et la vitesse y est limitée à 70 km/h. À la demande de l'équipe Projet, deux arrêts ont été conçus : un arrêt en ligne et un arrêt en alvéole. Les essais sont réalisés uniquement sur l'arrêt en ligne (hauteur du trottoir = 21 cm) pour sérier d'abord cette problématique simplifiée. Avant chaque accostage, le conducteur est obligé de faire un tour de piste, puisqu'il est impossible de faire demi-tour.

Le site de Grenoble

Le site de Grenoble est un site semi-ouvert, c'est-à-dire une vraie ligne de bus (à l'époque, en cours de rénovation) où tous les paramètres de l'environnement sont présents : circulation, voitures en stationnement gênant, passagers sur le quai ; toutefois, l'évaluation n'a pas eu lieu sur la ligne de bus en exploitation. Les contraintes auxquelles sont habituellement confrontés les conducteurs pendant leur activité de travail ne sont donc pas toutes actives : temps de parcours, mouvement des passagers dans le bus (on ne prend pas de passagers aux arrêts, faible densité de circulation sur la ligne servant aux essais. L'objectif de cette campagne d'essais n'était cependant pas de tester l'utilisation de VISEE dans des conditions réelles de travail, mais de passer au préalable par une phase de validation du couple conducteur/système VISEE sur un site semi-ouvert, tout en ayant la facilité de faire varier et de maîtriser certains paramètres.

Le choix de 12 arrêts (grenoble) pour réaliser l'expérience dans une configuration d'arrêts aménagés à l'identique (arrêt en ligne, bordure de quai inclinée (h = 21 cm), limite de position d'arrêt...) a donc été fait par l'équipe projet. Les critères suivants ont été retenus :

- 10 conducteurs effectuent les essais,
- des marquages spécifiques à VISEE sont tracés au sol (losange et ligne de référence),
- des arrêts permettant un bon fonctionnement du système VISEE sont réservés : par exemple, les arrêts fortement incurvés ne sont pas retenus car ils dégradent les performances du système. Il conviendra donc de les tester ultérieurement.

La synthèse des essais qui suit est issue du rapport établi par Fouet & Dessaigne, (1996). Nous remarquons que c'est l'analyse détaillée des scénarios expérimentaux proche de l'activité réelle qui nous renseigne sur le déroulement des Interactions Homme-Machine et qui permettront par la suite de formuler des recommandations pour l'interface. Cette analyse des Interactions nous donne la possibilité d'appréhender diverses caractéristiques de l'homme au travail, c'est-à-dire ses anticipations, ses raisonnements, mais elle permet aussi de montrer ses choix de stratégies, ses réactions physiologiques, psychologiques et les actions engagées dans des scénarios proches de la réalité qui permettent d'évaluer les comportements attendus et ainsi valider ou non l'interface du système d'aide. En plus de l'enregistrement des diverses réactions, on analyse la perception qu'ont les conducteurs des informations VISEE et de certains paramètres qui modifient l'utilisation du système.

Dans un premier temps, nous restituons les résultats des essais liés à chaque scénario (mode nominal et incidentels) des essais. Nous en dégageons une synthèse sur les comportements observés pour l'activité d'accostage. L'ordre de restitution est alors celui du déroulement logique et temporel de l'activité. Dans un deuxième temps, nous analysons l'aspect perceptif des informations VISEE pour le conducteur en situation dynamique d'accostage. Enfin, dans

un troisième temps, nous formulons les premières recommandations pour l'interface dont celles concernant des paramètres liés au système VISEE.

5.5.1. Les résultats des scénarios expérimentaux

Nous donnons, en annexe 3, le relevé et la synthèse des comportements observés selon l'ordre de déroulement logique et temporel de l'activité en reprenant l'ensemble des résultats des scénarios, tant en mode nominal (sans incident) que lors des scénarios incidentels. Sont répertoriés ci-après, essai par essai, les principaux résultats des tests expérimentaux « par scénario ».

Résultats par scénarios expérimentaux

Essai 1 : Accostage en mode nominal avec VISEE

Ce scénario conclut sur trois points :

1) Le losange de positionnement prépare le conducteur au guidage et ne l'aide pas à centrer le bus dans la voie d'accostage. Par contre, en cas d'accostage situé après une voie incurvée, le conducteur est contraint de centrer le bus sur le losange s'il souhaite que VISEE applique une trajectoire progressive et assure un certain confort. Il faut noter que, selon les configurations au sol (ligne droite, en courbe...), les stratégies ne sont pas identiques pour réussir l'accostage. Dès lors, il est important de souligner la nécessité de l'apprentissage et d'une formation pour les chauffeurs.

2) Lorsque le conducteur a bien pris en main son système (Phase 3 de l'appropriation acquise : voir définition de l'appropriation § 4.6 dans "déroulement des essais de la phase B"), VISEE le décharge de sa tâche d'accostage 30 m avant l'arrêt. Au lieu de surveiller l'alignement du bus par rapport au trottoir, il peut concentrer son attention sur le mouvement des piétons et le trafic des véhicules. Par contre, en cas de forte fréquentation aux arrêts, le transfert de tâche de la gestion de l'alignement du bus vers une meilleure surveillance des passagers et des automobilistes n'a pas été clairement mis en évidence.

3) Un accostage en guidage dans des conditions nominales ne révèle ni rejet, ni réaction brutale du conducteur.

Essai 2 : Accostage manuel

A la suite des modifications demandées pour l'aménagement des infrastructures (Kaplan & Dessaigne, 1994), des arrêts aménagés ont été standardisés (1996). On assiste lors des essais sur site réel à une simplification de la tâche d'accostage. L'arbre des actions et des raisonnements du conducteur résultant pour l'accostage de bus est ainsi élargi :

- le conducteur n'a plus besoin de repérer longuement le type d'arrêt puisqu'il est standardisé,
- le conducteur peut facilement vérifier l'alignement du bus par rapport au trottoir parce que la bordure de quai est bien délimitée et visible,
- le conducteur suit la consigne de position d'arrêt imposée (limite tracée sur le quai). Il n'a plus à gérer la position longitudinale du bus en fonction de la situation des passagers sur le quai,
- ses stratégies peuvent varier (les 3 répertoriées dans l'étude GIBUS).

Essai 3 : Obstacle en bordure de quai placé avant le losange (60 m avant l'arrêt)

Par rapport à un accostage nominal avec VISEE, un obstacle placé avant l'arrêt ne provoque aucune appréhension du conducteur. Il agit comme s'il devait agir en conduite manuelle.

Néanmoins, pendant le guidage, cette situation demande une attention plus soutenue de la part du conducteur surtout s'il aborde l'arrêt en biais.

Il n'est pas certain que son attention soit plus élevée que celle d'un accostage en manuel avec un même obstacle. Néanmoins, l'étude ne permet pas de comparer strictement ces deux situations et de formuler des conclusions.

Essai 4 : Vitesse limite d'accrochage (35 km/h)

Par rapport à un accostage nominal avec VISEE, ni différence de comportement, ni appréhension du conducteur n'ont été mises en évidence à cet essai. Une vitesse de 25-35 km/h à 30 m de l'arrêt correspond à une pratique habituelle des conducteurs. Dès que le conducteur s'est approprié le système, la limitation de vitesse imposée par VISEE n'est plus une contrainte. Néanmoins, dans le cas de forte contrainte de temps, cette limitation peut ne plus correspondre au besoin du conducteur. Il faudrait alors envisager d'augmenter légèrement le seuil pour les essais : passer de 36 km/h à 40 km/h. De fait, la vitesse d'accostage devrait correspondre au besoin de l'exploitant ou à sa consigne car c'est lui qui définit les temps de parcours de chaque ligne de bus de son réseau. Néanmoins, il faut retenir qu'il serait préférable de donner une consigne en accord avec les limites du système. Celle-ci reste à affiner.

Essai 5 : Déport latéral du bus : deux cônes parallèles au trottoir sont posés au niveau du plot R1.

Un déport latéral limite du bus à gauche de la ligne de référence peut conduire le conducteur à reprendre la main dès l'enclenchement du guidage ou à tenir fermement le volant pendant tout le guidage pour parer à un éventuel décrochage du système. Dès que le conducteur s'est familiarisé avec la situation, un déport du bus à gauche de la ligne de référence, inférieur à 1-1,20 m, provoque un couple qui est accepté par le conducteur. Ses modes opératoires deviennent équivalents à ceux qui sont observés pendant un accostage nominal avec VISEE. Il fait confiance au système et ne vérifie plus l'alignement du bus par rapport au trottoir par le rétroviseur extérieur droit. Au-delà de cette limite, la trajectoire du bus et le ressenti du volant (couple brusque) peuvent devenir inconfortables. Une question est soulevée : ne faut-il pas aménager les voies d'accostage pour éviter un déport du bus trop important ? L'importance de l'intérêt de la formation des opérateurs est mise en évidence dans ce scénario.

Essai 6 : Activation du système par le conducteur dans des conditions perturbées

Une forte attention du conducteur pendant la tâche d'accostage peut le conduire à ne pas détecter la vibration du volant et avoir une perception dégradée du fonctionnement du système. La redondance de l'information kinesthésique par un autre moyen est donc véritablement nécessaire pour lever le doute du conducteur sur le fonctionnement de son système.

Essai 8 : Perte de la ligne après le plot R1 : passage en mode défaut

Ce scénario conclut sur quatre points :

- le conducteur récupère cette situation incidentelle sans difficulté apparente, même avec une vitesse rapide d'approche à l'arrêt.
- il peut détecter le décrochage du système avant de percevoir les informations sonore et visuelle de VISEE ; il a alors une capacité d'anticipation suffisante. Néanmoins, il ne faut pas oublier que ses contraintes d'exploitation peuvent être plus fortes (par exemple devoir surveiller les passagers sur le trottoir) ce qui pourrait détourner son attention.

- une consigne de lacune fixée à 13 cm semble être une distance satisfaisante par rapport au quai pour permettre au conducteur de récupérer la situation même si son temps de réaction est long.
- le signal sonore se révèle, dans cette situation, pertinent et est très bien perçu par le conducteur. Le voyant défaut lui sert uniquement de confirmation.

Essai 9 : Absence de détection du plot R1

Ce scénario conclut sur trois points :

- l'absence de détection du plot R1, alors que le conducteur s'attend à accoster en guidage, n'induit pas de situation à risque, même avec une vitesse rapide d'approche à l'arrêt (30-35 km/h).
- dès un apprentissage avancé, les informations transmises par le volant sont suffisamment déterminantes : la raideur ou la souplesse du volant informe le conducteur sans ambiguïté sur l'état actif ou inactif du système. Il faut veiller à garder toujours les mêmes valeurs physiques au couple du volant.
- en phase d'apprentissage ou en cas de forte charge de travail, le conducteur peut avoir besoin d'une information de confirmation sur l'état du système. Le voyant orange aurait alors son utilité, mais il faut réfléchir à une autre forme de présentation de cette information. Un voyant éteint pour confirmer l'état inactif de VISEE n'est pas prégnant et ne correspond pas à la logique du conducteur qui doit être averti d'une anomalie (absence de détection du plot R1).

Essai 10 : Guidage actif mais l'interface visuelle et la vibration ne fonctionnent pas

Ce scénario conclut sur deux points :

- même sans vibration au volant, le conducteur détecte rapidement l'état actif du système grâce à la raideur du volant liée au guidage. Néanmoins, le conducteur attend l'information kinesthésique (vibration) parce qu'elle est le premier indice « officiel » du guidage.
- le voyant orange, qui est éteint pendant le guidage, n'est pas détecté par le conducteur. Ceci ne signifie pas pour autant que ce voyant est inutile. Il sert pour les situations à risque. Dans les conditions normales, le conducteur ne voit pas la nécessité de chercher une information puisqu'il n'a aucun doute sur le fonctionnement du système. Par ailleurs, son emplacement et sa dynamique sont à étudier.

Essai 11 : Guidage actif mais le voyant R (orange) ne fonctionne pas après R1

Cet essai confirme les résultats de l'essai précédent concernant le voyant orange. Dans des conditions normales de fonctionnement du système, le conducteur n'utilise pas le voyant orange. Cette information n'est pas, en effet, essentielle, elle sert seulement de confirmation si le conducteur détecte une anomalie pendant le guidage.

Essai 13 : Guidage actif mais consigne de couple diminuée

Ce scénario conclut sur deux points :

- le conducteur n'hésite pas à reprendre la main pour corriger la trajectoire du bus.
- le temps de réaction du conducteur devient plus court et la qualité de l'accostage (lacune horizontale) s'améliore au fur et à mesure des trois essais réalisés.

Cette simulation de défaillance peut conduire le conducteur à des confusions sur la signification du voyant orange et du bip sonore court. Il assimile ces informations à une défaillance du système.

Ce résultat soulève deux problèmes, l'un relatif à la formation du conducteur sur la signification des informations de VISEE, l'autre relatif à la manière dont le système devrait informer le conducteur des différentes pannes.

Essai 15 : Guidage interrompu par le conducteur ; rétention involontaire

Ce scénario conclut sur deux points :

- la reprise manuelle n'est pas ressentie comme aisée par tous les conducteurs, ce qui n'est pas le cas lorsque leur action sur le volant pour effectuer une reprise manuelle est franche (voir essai 16).

- le bip sonore court qui avertit le conducteur d'effectuer la reprise manuelle est trop discret.

Ce bip mériterait d'être plus fort pour les cas où la reprise manuelle est involontaire.

Essai 16 : Obstacle placé sur la voie d'accostage au niveau du plot R2

Le conducteur n'hésite pas à engager le bus dans la zone d'accrochage et à reprendre la main pour éviter l'obstacle. La reprise en main n'est pas ressentie comme difficile. En situation d'urgence et sans anticipation possible pour le conducteur, l'appréciation peut être différente. Il faut être attentif au fait que cette situation n'a pas été testée lors de cette expérimentation.

Essai 17 : Guidage actif mais consigne de couple diminuée et reprise manuelle impossible

Le conducteur n'a pas eu trop de difficulté à compenser le couple continu appliqué au volant.

Les comportements observés sont relativement équivalents à ceux qui sont observés au cours de l'essai 13 (même défaillance, mais avec un décrochage du système dès l'action de reprise en main du conducteur).

5.5.2. La perception des informations VISEE

Dans un deuxième temps, nous analysons l'aspect perceptif lié aux informations VISEE en situation dynamique d'accostage (voir éléments complémentaires en annexe 3 relatifs aux types de modes sensoriels utilisés). Les informations systèmes avaient été conçues par les ingénieurs en référence à des règles et normes existantes pour la conception des interfaces. Ils n'avaient pas prêté attention aux mises en garde qui les accompagnent habituellement et qui précisent la nécessité de l'analyse des situations contextuelles et environnementales. Faire cette analyse, par le biais de scénarios, permet de mieux cerner des problèmes liés à la logique d'enchaînement des signaux, aux masquages éventuels, aux détournement des regards ou de l'attention du conducteur.

L'analyse qui suit permet de montrer les limites de la capacité visuelle du conducteur en situation de conduite. Elle ouvre des pistes de recherches sur la perception tactile. Nous faisons ressortir également qu'après apprentissage, le système libère l'attention du conducteur lors de la phase finale de l'accostage.

Plusieurs situations sont ainsi répertoriées. Les tester sur le site de Grenoble permet de tenir compte des variables situationnelles et guide nos choix futurs pour l'interface :

- En R1, trois signaux indiquent au conducteur l'état actif ou inactif du système : la vibration ou l'absence de vibration, la raideur ou la souplesse de la direction et le voyant orange allumé ou éteint. Les essais 10 et 11 montrent que, dans des conditions normales de fonctionnement, le conducteur n'a besoin ni de la vibration, ni du voyant orange pour connaître l'état du système. La raideur de la direction est une indication suffisante. Par contre, dans des conditions de forte charge attentionnelle du conducteur (essai 6), ou d'anomalie de la direction (écart de trajectoire, couple brusque ...), une information de confirmation, comme le voyant orange, prélevée ponctuellement par le conducteur peut être utile. Toutefois, la forme de présentation de cette information est à revoir. En effet, un voyant qui reste éteint ou qui s'éteint pour informer le conducteur qu'il a la main n'est pas une information prégnante. Le voyant orange qui

se mettrait à clignoter serait, nous semble-t-il, mieux adapté et plus facilement perceptible, d'autant plus s'il est mieux situé.

- Après R1

1) dans les conditions normales de fonctionnement, VISEE fournit deux informations : la raideur de la direction et le voyant orange allumé. Sur cette phase de l'accostage, la raideur de la direction suffit pour informer le conducteur de la continuité du guidage.

2) Dans des conditions normales de fonctionnement et une reprise manuelle du conducteur, VISEE fournit trois informations : la souplesse de la direction suite à l'action du conducteur, le bip sonore court et le voyant orange éteint. Dans cette situation, la souplesse de la direction indique sans ambiguïté au conducteur qu'il a la main et le bip sonore lui confirme son action ; en revanche, l'information transmise par le voyant orange n'est jamais prélevée. Le bip sonore est une information de confirmation, mais n'est pas toujours perceptible et n'est pas ressenti par le conducteur comme très utile dans le cas d'une reprise manuelle volontaire.

3) Dans des conditions de dysfonctionnement (passage en mode défaut), VISEE fournit trois informations : la souplesse de la direction suite au décrochage du système, le bip sonore long et le voyant rouge clignotant. Le conducteur détecte d'abord le décrochage de VISEE tactilement, ensuite l'émission du signal sonore et enfin, le voyant rouge clignotant. La sensibilité kinesthésique du conducteur lui permet parfois d'anticiper sa prise en charge de l'accostage. Ces observations mettent en évidence la hiérarchisation perceptive du conducteur sachant que l'information tactile est redondée deux fois. La question soulevée ici est celle de la redondance de l'information sous trois modes sensoriels : ne risque-t-on pas une surcharge sensorielle du conducteur ? La redondance d'une information est nécessaire pour attirer l'attention du sujet s'il n'a pas réagi au premier stimulus. Dans le cas présent, il s'agit de savoir quel canal sensoriel il faudrait retenir pour redonder l'information kinesthésique. Le choix dépend de plusieurs critères : le canal sensoriel le plus sollicité, les masquages possibles d'un signal sonore, le nombre de signaux visuels et sonores déjà existants, les contraintes normatives pour implanter les informations et les connaissances sur les contraintes d'implantation dans la cabine de pilotage.

Le manque de connaissances sur le poste de conduite du bus (AGORA) où VISEE devrait être implanté ne nous permet pas de répondre précisément à cette question. Une étude plus approfondie est nécessaire.

5.5.3. Recommandations pour l'interface et certains paramètres

Des suggestions concernant l'interface visuelle, les informations tactiles et sonores sont faites :

- tout d'abord, les voyants sont mal situés sur le tableau de bord. Ils ne sont pas toujours très utiles et même parfois difficilement exploitables là où ils sont positionnés.
- le bouton ON /OFF est mal placé, il devrait être situé dans le champ de vision de la conduite. Il convient donc de déplacer les voyants informant le conducteur sur l'état de fonctionnement et de dysfonctionnement du système dans le champ de vision périphérique, pour que le conducteur ne soit pas obligé de détourner son attention pour prélever l'information. Sa taille doit être suffisante en fonction de la distance d'observation.
- associer le voyant vert, annonçant que le système est prêt à fonctionner, à la commande Marche/Arrêt du système¹¹,

¹¹ Cette suggestion était admise par les concepteurs, mais du fait de contraintes techniques, l'amélioration n'a pu être apportée sur le prototype.

- redéfinir le voyant informant sur l'état de fonctionnement du système qui est parfois source de confusion pour les conducteurs.
- la vibration V2 est difficilement perceptible par tous les chauffeurs alors que la vibration V1 est bien détectée (elle n'est cependant pas toujours bien appréciée). Cette information (V2) devrait être redondée sous une autre forme de présentation (visuelle ou sonore).
- nous formulons une critique sur le fait qu'un signal sonore identique est présenté dans deux situations différentes, l'une pour confirmer la reprise en main effectuée par le conducteur et l'autre pour l'avertir qu'il a dépassé la vitesse limite acceptée par le système pour fonctionner. L'étude a d'ailleurs montré qu'un bip sonore dans la deuxième situation est inutile car le conducteur détecte sans confusion par sa perception tactile si le système s'est enclenché ou non.
- l'interface tactile est bien adaptée ; néanmoins, d'une façon générale, l'information présentée est encore complexe et pourrait être améliorée. Par exemple, lors de la reprise en main du véhicule, les conducteurs n'acceptent pas une résistance trop importante de la direction, l'amplitude trop grande est mal perçue.

Concernant la présentation des informations, une étude approfondie a été proposée pour développer une interface adaptée qui prendrait en compte plusieurs critères comme le canal sensoriel le plus sollicité, les masquages possibles d'un signal sonore liés aux bruits environnants, le nombre de signaux visuels et sonores déjà existant sur le bus, les contraintes normatives pour implanter les informations sur un bus, mais également l'existence d'autres sous-systèmes à implanter (bouton d'emperchage, rétrovision...). Elle sera réalisée dans la phase suivante, c'est-à-dire pour le projet CIVIS car nous connaissons alors le prototype réel.

Des suggestions ont aussi été données sur les paramètres vitesse d'accostage, angle de lacet et distance de guidage :

- la vitesse d'accostage imposée par le système (36 km/h à 30 m de l'arrêt) n'est pas toujours adaptée aux contraintes temporelles auxquelles sont soumis les conducteurs. À l'époque, un seuil à 40 km/h semblait répondre aux besoins de l'exploitation. Les essais engagés ont montré qu'elle peut atteindre sans difficulté 30 km/h à l'arrivée en station si la distance de 60 m est respectée pour l'accrochage du système. Nous pensons que, pour des raisons sécuritaires, celui-ci devrait donc être diminué à 30 voire 35 km/h. Une campagne d'essais, maintenant que le système est conçu serait nécessaire pour le préciser.

- l'angle de lacet : Les essais n'ont pas permis de déterminer précisément la limite acceptable pour le conducteur. Néanmoins, les résultats des essais apportent des éléments de réponse :

- un déport latéral du bus à gauche de la ligne de référence, correspondant à une mesure écart ligne de 0,80 -1,20 m peut conduire à une reprise en main du conducteur ou être ressenti comme inconfortable du fait de l'application d'un couple brusque par le système.

- un déport inférieur à cette limite peut être accepté par le conducteur. Ses modes opératoires seront automatisés lorsque cette situation lui sera familière, il faut donc l'y préparer. Par contre, au-delà de cette limite, « l'automatisation » de la tâche d'accostage peut devenir une situation à risque, d'autant plus s'il ne peut prélever dans son environnement une information l'avertissant de la situation limite de fonctionnement. Un entraînement aux situations à risque est donc vivement recommandée. Deux suggestions sont formulées : aménager les arrêts de façon à éliminer les situations limites de fonctionnement du système ou doter le système, lorsqu'il est dans des conditions limites de fonctionnement, d'un signal alertant le conducteur de cette situation.

- un engagement du bus en biais dans la zone de guidage suite à un évitement d'obstacle peut amener le conducteur à reprendre la main parce que, à juste titre, dans certains cas, il craint de percuter le trottoir. La reprise en main du conducteur dépend d'éventuelles consignes et de son appréciation du risque. Comme précédemment, le conducteur devra avoir connaissance des limites du système (formation et entraînement) pour qu'il reste vigilant pendant l'accostage.

- lacune horizontale : Deux points doivent être considérés pour savoir quelle consigne de lacune il faut intégrer dans le système. Le premier concerne l'accessibilité des passagers, le second est relatif à la sécurité.

- Concernant l'accessibilité des passagers, les recommandations émises par le Comité de Liaison pour le Transport des Personnes Handicapées du Conseil National des Transports stipulent que les lacunes horizontales devraient être de 8 cm avec une tolérance de plus ou moins 2 cm.

- Concernant la sécurité, bien que VISEE puisse appliquer une lacune de 8 cm, le conducteur peut avoir une certaine appréhension à approcher si près du quai. Dans des conditions normales de fonctionnement de VISEE, le conducteur peut, au fil du temps, s'habituer à cette distance. Cette habitude sera d'autant plus rapide que le conducteur aura une stratégie d'accostage en manuel proche du trottoir. Dans des conditions anormales de fonctionnement, cette consigne peut conduire à des situations de risque. Par exemple, si le système décroche pendant l'accostage : l'attention du conducteur peut alors être détournée par un événement extérieur. Sa reprise en main, malgré les signaux d'alerte, ne sera pas instantanée. Il faut donc établir un compromis ou faire un choix pour l'exploitation du système. En effet, une marge de manœuvre (distance suffisante entre le quai et le bus) est nécessaire au conducteur pour récupérer une situation incidentelle (défaillance système). Les résultats des essais montrent qu'une consigne de lacune de 13 cm permet cette « activité de récupération » sans difficulté. Par contre, ils ne fournissent pas de réponse évidente pour une consigne inférieure. Ce point mérite d'être approfondi pour savoir si on peut se conformer à la recommandation de 8 cm plus ou moins 2. Une étude complémentaire devrait être engagée.

- distance de guidage : après diverses expériences (§ 5.3), il a été conseillé de disposer le plot R1 à 60 m de l'arrêt et le plot R2 avant 40 m. Nos résultats et le modèle nous avaient en effet permis de suggérer cette distance car elle permettrait de décharger le conducteur de certaines tâches en amont de ce point, c'est-à-dire pendant la phase de pré-accostage et le rendrait ainsi disponible (attention visuelle) pour surveiller les piétons sur le quai et dans le bus. Positionner l'enclenchement du système avant 40 m (distance à définir par des essais, peut-être 50 m) et non à 40 m (comme c'est le cas actuellement) est une hypothèse à tester lors des prochains essais. Nous pensons que cela permettrait en effet à l'opérateur de travailler "en sécurité" pour certaines situations "à risques" : favoriser les anticipations de situations délicates, laisser un temps d'activation des réactions si l'accostage ne semble pas possible et mieux permettre la réalisation des opérations liées à l'enclenchement du système si un doute survient pour l'opérateur. Nous savons en effet qu'un bus qui roule à 40km /h. parcourt 11 m/s. Nous estimons que les temps de réaction de 1 à 2 s (22 m/s) sont nécessaires pour bien récupérer des situations dangereuses, ce pourquoi nous préconisons d'autres essais pour définir cette distance de guidage, et ce, d'autant plus pour les situations à faible visibilité ou en courbe. Si toutefois ces dernières existent sur les configurations prévues par les exploitants du système, ce qui n'est évidemment pas souhaitable, il faudra redoubler de prudence.

- Les reprises en manuel du conducteur sont la conséquence d'une combinaison de plusieurs situations :

- un déport latéral limite du bus à gauche de la ligne de référence et une vitesse élevée accentue l'impression du conducteur d'aborder le quai trop près ; sa crainte peut être encore plus forte si des passagers sont en bordure de quai.
- un engagement du bus en biais dans la zone d'accrochage couplé à une vitesse élevée conduit à la même impression.
- une lacune horizontale peut ne pas correspondre aux propres critères du conducteur ; il trouve la lacune soit trop faible, soit trop grande.
- une défaillance du système.

Ces reprises en manuel sont acceptables pour le conducteur quand il sait les anticiper et les réaliser. L'entraînement à ce type de situations s'avère indispensable.

5.6. Construction du modèle de l'activité VISEE

Nous avons proposé une approche "par modèle" permettant de mieux connaître et représenter les Interactions Homme-Machine dans le but de bien concevoir l'interface future du prototype. L'expérimentation sur site réel à Grenoble nous a ainsi permis de construire une modélisation de l'activité des conducteurs (Fouet, Dessaigne, Spérandio, 1997) avec assistance à l'accostage en mode nominal et de mettre en évidence des résultats pratiques, qui doivent toutefois être interprétés avec prudence, étant donné la taille limitée de l'échantillon de conducteurs (N=10).

Voici ci-après, l'algorithme constitué :

Une comparaison avec l'algorithme «sans système» met en évidence, après appropriation du système par les conducteurs, une simplification de la tâche d'accostage nominale réalisée grâce au système d'aide VISEE :

- En début de phase de pré accostage, les modes opératoires du conducteur ne sont pas modifiés : à l'approche de l'arrêt, le conducteur actionne son clignotant, lève le pied de l'accélérateur et regarde le quai pour prévoir son accostage, autrement dit, anticiper ses actions futures.
- L'activité d'anticipation consiste, avec un bus prêt à fonctionner en automatique, à prévoir s'il pourra accoster avec ou sans assistance en fonction de la position des passagers sur le quai (près ou loin de la bordure du quai), mais surtout du mouvement des passagers (enfant qui court sur le quai ou obstacle sur la voie).
- La prise de décision du conducteur sur le fait de laisser ou non le système guider le bus dépendra de son appréciation du risque. Signalons que cette prise de décision et anticipation existent également dans une activité sans système (elle se réalise un peu plus tard), ce qui n'ajoute pas de charge supplémentaire à l'opérateur comme on aurait pu le supposer.
- Le système a une influence indirecte sur la fonction de régulation de la décélération et surtout sur celle du freinage du bus. En effet, avec assistance, le conducteur commence à freiner plus tôt (entre 60 et 30 m avec assistance et entre 40 et 10 m sans assistance) de manière à être conforme à la vitesse limite d'accostage imposée par le système, soit 30 m avant l'arrêt. Si, au début des essais, le respect de cette vitesse est une contrainte qui se traduit par une tâche de surveillance du compteur avant l'accostage (donc augmentation momentanée de la charge de travail de l'opérateur), avec l'apprentissage, l'enchaînement des opérations devient un automatisme et le conducteur n'a plus besoin de vérifier la vitesse du bus. Cette opération n'est plus réfléchie et contrôlée visuellement, elle sera intégrée de manière sensori-motrice, à un moment où l'attention du conducteur est plus disponible et la charge de travail peu élevée, ce qui favorise son déroulement à cet instant « t ».

On peut conclure qu'il y a bonne intégration pour le conducteur de la tâche supplémentaire liée à VISEE. Dès que le bus enclenche le mode automatique, le chauffeur a la possibilité de porter son attention sur la dynamique de l'environnement et adapter ses actions à la situation. L'étude a en effet montré qu'avec l'apprentissage, le système polarise peu l'attention du conducteur mais au contraire la libère, une fois les opérations liées à l'enclenchement du système accomplies. Par ailleurs, la perception tactile et kinesthésique du conducteur s'affine avec le temps, ce qui lui permet de détecter rapidement une anomalie ou un dysfonctionnement du système tout en pouvant continuer à surveiller visuellement la voie et les passagers sur le quai. Son attention est alors libérée et sa tâche allégée. Néanmoins, ceci ne veut pas dire que l'interface visuelle n'est pas utile. En cas d'hésitation du conducteur sur l'état du système, liée notamment à une forte charge attentionnelle, une confirmation par un autre canal sensoriel que tactile est indispensable.

5.7. A quoi servent les modèles ?

L'une des questions liées à cette thèse est celle de savoir pourquoi nous avons utilisé un modèle ? La modélisation n'est pas seulement un objectif de chercheur ou d'universitaire en quête d'un formalisme. Pour Amalberti (1991), les modèles regroupent quatre fonctions principales : réduire, décrire, expliquer et simuler. Pour nous, en dehors de la simulation qui apparaîtrait comme une étape ultime à nos études, un modèle peut avoir pour but de supporter une théorie mais peut avoir aussi deux autres objectifs, poursuivis tout au long de nos expériences : tout

d'abord, décrire commodément un ensemble de données empiriques qu'il s'agit d'exprimer au moyen d'une (re)présentation claire mais descriptive, ce que nous avons fait par le biais des algorigrammes ; deuxièmement, de suppléer à des données d'observation qui font parfois défaut (Fouet V., Dessaigne M-F., Spérandio J-C., 1997), mais alors, la base descriptive du modèle devient explicative. Ce dernier cas se rencontre typiquement en conception d'un objet technique nouveau, le système n'existant pas encore, le concepteur ne disposant pas de données relatives à l'utilisation de cet objet. Un modèle théorique ou ad hoc de l'utilisateur de cet objet qui n'existe pas encore serait un outil hautement apprécié, s'il existait. Procéder par modèles plutôt que par des recueils systématiques de données est donc non seulement un objectif scientifique, mais surtout peut se révéler une approche pragmatique efficace. C'est ainsi qu'en ergonomie anthropométrique, des modèles, tel qu'ergoman ou d'autres, permettent de concevoir des habitacles ou des postes de travail non classiques pour des populations particulières, dès lors que l'on a bien circonscrit la dite population. La base de données comporte des données d'ordre physiologique et comportementale uniquement. En revanche, à ce jour, les aspects sociaux et cognitifs ne sont pas toujours suffisamment maîtrisés pour pouvoir établir de tels modèles sur des situations jugées plus complexes, hélas !

Dans l'application qui nous occupe ici, les ingénieurs auraient bien aimé que les ergonomes soient en mesure de leur fournir un modèle fiable, quantifié, paramétré, numérisé de l'activité du conducteur de bus face aux automatismes tels que ceux en cours de conception. Un tel modèle de l'Homme aurait complété le modèle de l'objet technique (c'est-à-dire, ici, le bus muni de ses automatismes de guidage) pour constituer un modèle global conducteur et bus. Mais, encore une fois, ceci n'a pas été possible parce qu'un tel modèle du conducteur de bus n'existe pas, du moins n'existe pas sous la forme numérisée attendue, bien qu'avec les algorigrammes, nous disposions de bonnes descriptions de l'activité cognitive et des comportements des conducteurs de bus. Pour les réaliser, il aurait véritablement fallu mettre au point des modèles explicatif et prédictif computationnels, ce qui n'est pas monnaie courante dans le domaine de la conduite de véhicules ni même en ergonomie où les modèles sont plutôt qualifiés de "locaux". Une tentative de ce type d'expériences est effectivement en cours par le biais de travaux réalisés à l'INRETS-LESCOT par Bellet (1998) mais elle n'est pas totalement aboutie car il s'agit d'un projet de longue haleine qui ne pourra se réaliser que sur une période étendue et qui demande des moyens matériels et humains importants. Enfin, l'une des particularités des modèles en ergonomie est que ce sont des modèles "locaux", spécifiques à un type d'activité particulière et décrivant des particularismes situationnels. Ils ne décrivent pas, comme en psychologie, le fonctionnement cognitif dans l'absolu pour dégager des invariants et appréhender le sujet humain dans sa dimension universelle, mais sont centrés sur l'activité réelle des opérateurs en situation naturelle (Amalberti, 1991). Du fait de la complexité et du nombre de variables à considérer, l'aléa est généralement de mise, il est rarement possible de toutes les contrôler et d'obtenir une précision prédictive, comme cela se fait plus facilement dans une situation de laboratoire (Bellet, 1998). Ces modèles d'opérateurs offrent une vision heuristique et explicative, plus qualitative que quantitative, ce qui les rapprochent des modèles-cadres de Reason (1990). Ils permettent des prédictions. Toutefois, leur portée prédictive reste globale car tous les paramètres prédictifs ne peuvent pas forcément être pris en compte. Ils fournissent avant tout un cadre de réflexion sur une organisation générale des conduites de l'opérateur (Amalberti, 1991), ce qui, nous semble-t-il, pour la conception, est probablement un avantage. Ces modèles en ergonomie sont donc holistiques (Falzon, 1998), tournés vers la modélisation du "tout" (l'homme est un "tout" qui travaille) plus que vers la modélisation "des parties" ou des fonctions utilisées (pour travailler, il prélève de l'information, il utilise sa mémoire, il anticipe, il raisonne pour effectuer un diagnostic...) que l'on commence à développer et implémenter dans les projets de modélisation computationnelle de simulation cognitive. Mais, si décrire le travail (et en avoir

un modèle descriptif, comme les algorigrammes) n'est pas la même chose et n'a pas la même efficacité qu'en avoir un modèle prédictif complet, c'est au moins un point de départ, qui pourrait d'ailleurs servir de base de données pour la mise au point de ses futurs modèles computationnels. Ainsi, de manière pragmatique, pour l'ergonome praticien, la modélisation possède divers avantages :

- de décrire "pas à pas" les observations relevées et les raisonnements analysés pour avoir une bonne représentation de la variabilité des conducteurs et des "comportements" (au sens élargi du terme) réels, voire attendus quand la première description a bien été réalisée (voir annexe 1 et § 5.6.).
- elle permet notamment de mettre en évidence si le système conduit à la réalisation d'opérations supplémentaires susceptibles de produire un coût pour l'opérateur (§ 5.4.2 et 6.5).
- de repérer rapidement si le système introduit des modifications importantes dans l'activité des conducteurs : § 4.8 qui montre par exemple que le système GIBUS détourne trop l'attention et § 5.4.2. mais aussi § 5.6 à propos de VISEE.
- être une aide à la conception (et sur différentes phases) pour aboutir à des recommandations au concepteur qui développera l'interface. On peut alors tester la validité d'une solution en terme de "solution d'interface" (§ 4.6, 5.5.1, 5.5.3 et 6.6) en étudiant les modifications possibles de l'algorigramme que les nouvelles situations entraînent. Il est par exemple possible de vérifier si la tâche attendue est rendue plus complexe ou appauvrie pour savoir si le risque de rejet du système par l'opérateur existe.

La modélisation de l'activité a permis de montrer que VISEE introduit une tâche supplémentaire d'identification de l'état du système (inactif, actif, défaut), mais que celle-ci doit être réalisée en phase de pré-accostage pour ne pas conduire à une polarisation excessive de l'attention du conducteur. Les opérations liées à l'utilisation du système se font alors entre 60 et 30 m, non plus sur les 40 derniers mètres, ce qui semblait naturel mais posait problème. Les recommandations formulées pour l'interface sont alors d'une bonne adéquation aux capacités "limites" de l'homme dans ce genre de situations. C'est le modèle de l'activité "de référence" qui nous avait permis de relever comme une contrainte lourde ces limites de capacités perceptives de l'homme sur la phase finale de l'accostage ; les avoir détectées aura permis que le système soit adapté à l'homme. Ainsi, il libérera l'attention du conducteur pour lui permettre d'observer plus finement les mouvements des passagers, piétons et automobilistes sur le trottoir. Avant ces études, ce résultat était loin d'être évident : pour preuve toutes les expériences déjà tentées avec d'autres systèmes (et notamment GIBUS) d'accostage et qui ont échoué, principalement du fait de ce critère.

Ainsi, l'utilisation d'un modèle de l'activité nous a aussi permis de mieux appréhender et de décrire les interactions entre l'homme et son système, interactions qui, nous semble-t-il, devaient être abordées sous l'angle de la cognition. En effet, faisant l'hypothèse que toute tâche trouve sa source dans la mobilisation de la cognition d'un individu, il nous a semblé important de pouvoir caractériser plus précisément les processus cognitifs mis en œuvre pour l'accomplissement de l'activité d'accostage. Ainsi, la description de l'activité des opérateurs dans le modèle nous semble plus complète. Ce modèle de l'activité représente, sous la forme d'algorigrammes, les comportements observés et les choix énoncés par les opérateurs selon leur logique propre et le déroulement temporel de la conduite, que celle-ci soit effectuée avec système (GIBUS, VISEE, CIVIS) ou sans système. Les algorigrammes ainsi conçus ont abouti à une chronique détaillée de l'activité : prise d'information ou anticipation, diagnostic,

choix de stratégies, enchaînement des actions. Cette restitution "descriptive" permet de bien montrer l'activité cognitive liée à l'accostage dans son déroulement logique et temporel et d'en étudier les enchaînements pour valider les propositions relatives aux interfaces à concevoir. De notre point de vue, les modèles descriptifs sont de véritables aides à la conception des systèmes.

5.8. Conclusion générale sur le système VISEE

Les deux campagnes d'essais ont permis de mettre en évidence les tendances comportementales et les raisonnements des conducteurs professionnels pendant un accostage avec l'assistance de VISEE tant dans des conditions nominales qu'incidentelles. La campagne d'essais sur le site de Grenoble confirme les comportements identifiés lors de la précédente expérimentation, mais elle est encore plus riche d'enseignements car le conducteur est confronté aux contraintes de l'environnement (trafics piétons et véhicules). En conclusion, nous retenons les points suivants :

- Dans les conditions nominales, les résultats des essais montrent que le système est accepté par les conducteurs. Ni rejet, ni réaction brusque de conducteurs n'ont été observés. Il faut remarquer que les chauffeurs ont suivi l'équivalent d'un sérieux entraînement pendant les essais. Ils apprécient le système du fait qu'il les décharge de la gestion de la distance du bus par rapport au quai et qu'il leur permet de mieux surveiller le trafic piétons et véhicules en phase finale d'accostage.
- Après une période d'appropriation du système, on note que la tâche d'accostage devient, semble-t-il, assez automatique et réduit substantiellement la charge de travail globale de l'opérateur : en fait, les nouvelles opérations liées au système s'intègrent facilement dans la phase de pré-accostage et comme le système prend en charge la gestion de la lacune, il libère l'attention visuelle du conducteur en phase finale, ce qui leur permet de veiller ainsi à la sécurité des voyageurs.
- Par l'apport de la modélisation de l'activité, nous avons pu constater que les modifications engendrées par le nouveau système sont des modifications de l'activité acceptables pour l'opérateur en situation de travail. En mode nominal, on assiste même à une simplification de la tâche d'accostage (voir § 5.5). Il faudra cependant veiller à deux points importants lors ou avant la mise en service de ce prototype : des scénarios « critiques » n'ont pas été testés sur site réel (notamment ceux relatifs à la distance de guidage, ils devront l'être.) et une formation complète des conducteurs et un entraînement apparaissent comme impératifs.
- Le système est souple, le conducteur peut reprendre la main sans difficulté. La reprise en main du système est réalisée en fonction de son appréciation du risque ou de ses attentes. Il s'agira pourtant de former le conducteur à ce type de situation, car, les conditions expérimentales des tests n'ont pas donné la possibilité de les confronter à des situations limites d'urgence.
- Le conducteur active ses connaissances, dont les plus abouties vont pouvoir devenir des routines si l'on ajuste quelques paramètres d'adaptation (voir liste § 5.5.3). Il s'est construit une représentation circonstancielle des différentes situations rencontrées, c'est-à-dire une représentation qui permet de traiter, en dehors des stimulations externes, par des raisonnements appropriés, une situation particulière, et ainsi d'adapter son comportement (des décisions, des actions à engager) aux modifications

du système et de l'environnement. Si les situations se répètent, le conducteur va passer de situations où il devait appréhender une nouvelle façon de conduire (plans d'action, procédures possibles...) à l'établissement de règles et procédures adéquates, puis à l'enchaînement d'actions et d'opérations qui vont devenir des automatismes.

- Cette automatisation des conduites possibles, une fois opérée chez les conducteurs, peut cependant présenter le danger de conduire à des omissions (réactions tardives du conducteur) ou à des erreurs humaines (erreur sur la signification d'une information en provenance du système). Le danger sera d'autant plus grand que le système fonctionne dans des conditions limites ou de défaillance. Mais, si l'interface de VISEE permet d'alerter le conducteur en amont (par exemple par des signaux d'alerte situés au bon endroit, survenant au bon moment, ce à quoi nous veillerons), il pourra modifier son mode opératoire pour récupérer, si besoin est, la situation.
- On constate par ailleurs qu'en cas de passage en mode défaut du système, les conducteurs détectent rapidement une anomalie en traitant les informations fournies par le canal sensoriel tactile et récupèrent la situation sans difficulté.
- Cependant, l'interface du système telle qu'elle est actuellement implantée sur le prototype est à améliorer. Des propositions ont été fournies et sont résumées au paragraphe 5.5.3. L'interface est actuellement trop complexe et insuffisamment adaptée au mode de raisonnement du conducteur. Ceci le conduit à faire des confusions sur la signification des signaux de VISEE (voyant orange et bip sonore court). L'information visuelle pourrait être mieux située dans le champ de vision centrale pour éviter les détournements de l'attention du conducteur, notamment en phase finale ou la surveillance des piétons est véritablement sécuritaire.
- La formation et l'entraînement des conducteurs apparaît primordiale sous peine d'erreurs ou d'accidents conséquents. Dans les conditions de fonctionnement normal de VISEE, la répétitivité de la tâche d'accostage va déclencher naturellement des automatismes sans grand effort pour le conducteur. Par contre, dans des conditions limites de fonctionnement et sans entraînement à ces situations, l'automatisation de la tâche d'accostage pourrait conduire à une probabilité plus élevée d'apparition d'erreurs humaines. Il faut donc, pour les éviter ou les minimiser, que le conducteur soit formé et entraîné sérieusement à toutes ces situations possibles.

Une étude IHM complémentaire pour concevoir un système qui prenne en compte les recommandations relatives aux informations de VISEE (signaux kinesthésiques, sonores et visuels) et aux variables du système (vitesse, angle de lacet, distance de guidage...) sera réalisée dans la phase ultérieure de conception. Les études qui suivront permettront d'avancer dans la finalisation du projet à exécuter pour le prototype R.V.I. et MATRA appelé CIVIS.

CHAPITRE 6 : LE SYSTEME DE GUIDAGE CIVIS

Les études CIVIS ont débuté en 1996 à la suite des études préliminaires du système GIBUS. MATRA et RENAULT ont décidé d'associer leurs expériences dans le but de proposer un nouveau système de transport urbain léger en site propre. Le projet CIVIS a été élaboré pour répondre aux besoins en transport des agglomérations moyennes et des banlieues de grandes villes. Ce nouveau produit de transport en site propre, situé entre l'autobus et le tramway, doit utiliser des infrastructures plus légères que celles qui sont nécessaires pour une ligne de tramway et permettre de réduire l'investissement des acquéreurs. Il doit offrir une accessibilité totale.

6.1. Méthodologie générale pour le projet CIVIS

La demande formulée a consisté en une étude ergonomique approfondie devant aboutir à des recommandations pour la conception et l'organisation de l'interface embarquée et du tableau de bord. Le nouveau produit devant être industrialisé dans un délai de trois à cinq ans, il nous a été demandé de préciser l'apport des ergonomes dans les phases d'études préliminaires qui déboucheraient par la suite sur les études de conception. Notre proposition s'est articulée autour de quatre points distincts, sachant qu'au cours de ces phases d'études, il n'était pas possible d'utiliser la méthode expérimentale et l'observation d'un prototype "en situation" puisque le système n'existait pas encore. Deux des propositions formulées pour la conception étaient très classiques puisqu'elles comprenaient une étude bibliographique et la rédaction de Cahiers des Charges regroupant les différentes caractéristiques ergonomiques à considérer. Les deux autres propositions ont consisté pour l'une, en une étude de "situations de référence", étude néanmoins assez traditionnelle en ergonomie quand le produit n'existe pas encore et une autre, plus originale dont nous soulignons l'intérêt pour les développements à venir, qui consiste en extrapolations de situations futures par le biais d'une analyse prédictive au sein de scénarios de l'activité future :

- Une étude bibliographique a, en effet, été réalisée sur l'ensemble des systèmes de transports ayant des caractéristiques communes avec le nouveau produit. En regardant comment d'autres systèmes étaient conçus et surtout, utilisés, il paraissait raisonnable de pouvoir capitaliser des connaissances pour la conception de CIVIS.

- La rédaction d'un Cahier des Charges pour la conception est présentée en deux phases. De fait, deux Cahiers des Charges distincts permettront de répondre aux besoins liés aux délais de l'industriel :

- Dans un premier temps, le constructeur doit produire une maquette à présenter dans des salons annuels de Transport ; le but est évidemment d'exposer le produit pour pouvoir le vendre. Le Cahier des Charges est plus restreint et plutôt orienté vers la présentation esthétique du produit innovant. Notre Cabinet s'adjoint également la compétence d'un designer pour mettre en forme nos préconisations.
- Dans un deuxième temps, avec un délai supplémentaire d'une année environ, nous avons eu le temps de réaliser les différentes phases d'étude proposées ci-dessus. Le Cahier des Charges est alors plus complet et liste les critères pour la mise au point du véritable prototype CIVIS appelé à l'époque « démonstrateur CIVIS ». Les recommandations émises sont issues d'une approche plus complète et notamment de l'analyse des scénarios prédictifs de l'activité future décrite ci-dessous, centrée sur l'homme et son activité future.

- Afin de mieux cerner les besoins des conducteurs avec le nouveau système, une analyse de l'activité de "situations de référence" a été réalisée sur les tramways car les études préliminaires (projet VISEE) avaient porté, comme élément de référence, sur des autobus. Or, le nouveau système combine plusieurs éléments des deux types de véhicules. Une étude de l'activité de conduite des tramways a donc été engagée sur les tramways de Grenoble et de Strasbourg.

- Une analyse prédictive a permis d'extrapoler les situations possibles et les scénarios de la conduite future du système. Elle est basée sur plusieurs approches : analyse des spécifications techniques de CIVIS, celle de l'enchaînement des différents modes de guidage, nos connaissances concernant l'activité réelle des conducteurs d'autobus (notamment VISEE) et celle des conducteurs de tramways. Ces dernières permettront la mise au point des scénarios "futurs". Ce type d'analyse, l'analyse prédictive par scénarios de l'activité future est cependant rarement utilisée par les ergonomes praticiens car elle nécessite d'avoir finement repéré l'activité cognitive des opérateurs sur l'existant, ce qui n'est pas toujours possible. Par ailleurs, cette tâche requiert du temps et nécessite également de savoir bâtir les scénarios de l'activité future. Là encore, la connaissance des références d'activités proches sont indispensables pour avoir des arguments les plus fiables possible pour établir de bonnes prédictions.

Ainsi, la demande formulée par les industriels est une demande d'ergonomie de conception pour appréhender au plus près le futur produit qui n'existe pas encore. Des méthodes classiques en ergonomie du produit sont donc utilisées et l'on peut en lire les résultats dans les paragraphes relatifs aux recommandations élaborées tant pour la maquette CIVIS (§ 6.3.) que pour celle du démonstrateur (§ 6.6.). Ces recommandations concernent principalement la conception des différents sous-systèmes de l'interface. Nous soulignons toutefois l'intérêt de coupler ce type d'analyse, à nos yeux trop sommaire, aux deux autres approches proposées car elles peuvent favoriser une meilleure conception. Dans ce cadre, l'objectif est d'intégrer des recommandations précises dès la conception préliminaire afin de concevoir un système mieux adapté aux conducteurs. Nous verrons que cet objectif est parfois difficile à atteindre. En effet, les recommandations de l'ergonome peuvent parfois être insuffisantes ou pas assez approfondies (par exemple, par manque de tests de situations à risque) ou encore le concepteur, pour des raisons diverses, peut ne pas les intégrer toutes.

6.2. L'étude bibliographique

L'étude bibliographique réalisée par Kaplan & Dessaigne, (1997a) répondait à un besoin de recueil de données ergonomiques préliminaires à la conception de l'interface et du poste de conduite de CIVIS. Différents modes de transports et postes de conduite ont été explorés allant des trains, des métros, des tramways, des poids lourds aux véhicules particuliers. Les éléments les plus pertinents de cette bibliographie ont été extraits pour apporter des recommandations à la conception du poste de conduite CIVIS. Ces éléments sont relatifs soit au regard d'activités déjà analysées, soit aux situations liées à l'emploi de nouveaux moyens de transport, soit aux méthodes d'études utilisées ou encore à la conception de l'interface elle-même.

1 – Apports liés à l'analyse de l'activité réelle des conducteurs

Deux résultats principaux se complètent pour guider les choix de conception à retenir :

- Pour être efficace et utilisable, il faut que le nouveau système libère l'attention du conducteur pendant la phase finale d'accostage. Au cours de nos études, nous avons étudié la tâche d'accostage des conducteurs de bus sans arrêt aménagé, en conduite entièrement manuelle, pour les systèmes GIBUS et VISEE. Il nous a semblé intéressant d'en montrer les conséquences par l'exemple de l'implantation du petit GIBUS au poste de conduite (§ 4.3). L'analyse ergonomique des essais effectués montre, en effet, que les conducteurs n'utilisent pas le système petit GIBUS comme

les concepteurs l'avaient prévu : ils ne l'utilisent pas sur les derniers 20 mètres avant l'arrêt pour positionner correctement le bus, mais seulement une fois que le bus est à l'arrêt, pour vérifier leur performance. Cette déviation de l'utilisation par rapport à l'objectif initial vient du fait que les conducteurs sont déjà sollicités au cours de ces 20 derniers mètres avant l'arrêt par des tâches visuelles prioritaires liées à la sécurité.

- Les essais sur VISEE en site semi-ouvert à Grenoble (distance de guidage : 40 m) montre que la distance d'enclenchement du guidage n'est peut-être pas optimisée. Des tests sont à réaliser entre 60 m et 40 m du point d'arrivée pour mieux définir cette distance d'enclenchement. Quand le système s'enclenche à 40 m et qu'il n'y a pas de perturbation, les différentes opérations liées au guidage semblent aisées. Nous savons qu'en amont, pendant la phase de pré-accostage, quand tout va bien, le conducteur peut alors réaliser les actions liées à l'enclenchement de l'accostage ce qui le rend disponible en attention visuelle sur les 40 derniers mètres pour surveiller les piétons sur le quai, dans le bus et pour apprécier la qualité de la chaussée. Par contre, nous nous questionnons sur les situations "à risques" (§ 5.5.1, essai 16). Les essais montrent que l'accostage peut alors être perturbé ou ressenti comme difficile. La question est de savoir si l'enclenchement à 40 m permet dans ces cas-là au conducteur de réaliser les tâches liées à l'anticipation de la situation, à l'activation de réactions sécuritaires si l'accostage est contrarié.

2 – Apport des conclusions de l'étude VISEE pour l'interface

Concernant la présentation des informations, une étude approfondie a été proposée pour développer une interface CIVIS adaptée, car les spécifications techniques du nouveau système existent maintenant. Plusieurs critères comme le canal sensoriel le plus sollicité, les masquages possibles d'un signal sonore liés aux bruits environnants, le nombre de signaux visuels et sonores déjà existant sur le bus, les contraintes normatives pour implanter les informations, mais également l'existence d'autres sous-systèmes à implanter (bouton d'emperchage, rétrovision...) sont envisagés.

Nous utilisons les conclusions de l'étude VISEE résumée sous forme de tableau (voir page suivante) pour amorcer des préconisations concrètes quant à l'interface CIVIS

A partir de cette interface, nous réfléchissons à la manière de présenter les différentes informations relatives aux modes de guidage de CIVIS, en conservant les conclusions principales qui en ressortent, à savoir :

- Prévenir le conducteur des différents états des systèmes.
- Réfléchir aux compromis entre une redondance sous plusieurs modes sensoriels de chaque information et le risque d'une surcharge du conducteur.
- Veiller à l'identification claire de chaque message : éviter les risques de confusion en n'utilisant pas le même signal pour coder deux informations différentes.
- Tenir compte de l'environnement sonore, visuel et kinesthésique qui peut masquer un signal.

Etat système : les fonctions	Info visuelle	Info sonore	Info kinesthésique	Diagnostic ergonomique
Prêt à fonctionner (Inactif)	voyant vert		souplesse du volant	OK
Inactif→ actif	voyant orange s'allume		vibration et raideur au volant	Ok
Actif	voyant orange allumé		raideur du volant	OK. La redondance de la raideur par le voyant orange est utile.
Actif→ Inactif	voyant orange s'éteint		souplesse du volant	Il n'est pas logique de vouloir prévenir le conducteur de la fin du guidage par un voyant qui s'éteint. Suggestion : voyant orange clignotant.
Reprise en main par le conducteur	voyant orange s'éteint	Bip court	souplesse du volant	L'intensité du signal sonore n'est pas assez élevée ¹²
Défaillance système	voyant rouge clignote	Bip long	souplesse du volant	OK
Dépassement vitesse limite d'accrochage		Bip court		Le bip court est déjà utilisé pour informer de la reprise en main : confusion possible. Il faut trouver un autre signal.

Par ailleurs, une liste des composants principaux de l'interface à concevoir pour le poste de conduite CIVIS peut maintenant être dressée puisque les spécifications du système existent. Nous la catégorisons en fonction de l'activité visuelle des conducteur, par champ visuel direct et indirect pour être plus proche des schèmes perceptifs de l'activité de conduite.

- Dans le champ visuel direct

- Les informations et commandes spécifiques à CIVIS.
- L'information et les commandes correspondant aux quatre modes différents de conduite et de guidage.
- L'information relative aux vitesses limites autorisées selon les modes de guidage activés.
- L'information relative aux dysfonctionnements éventuels des modes de guidage.
- L'information sur la spécificité des zones où se trouve le véhicule (point d'arrêt en station, zone de réemperchage...).
- Les informations et commandes courantes au poste de conduite des transports urbains.
- Les informations dispensées par le SAE.
- Les commandes d'ouverture/fermeture des portes.

¹² L'intensité du signal sonore est à choisir en fonction de l'environnement sonore. Pour tester correctement les signaux sonores sur le simulateur, il faudra prévoir la présence d'un bruit de fond équivalent à celui présent sur la voie de circulation, et dans le véhicule (voyageurs, musique, bruit de moteur).

- Les commandes et les informations classiques d'un véhicule routier (compteur, phares, freins, accélérateur, essuie-glaces, clignotant..).

Les commandes « confort » (chauffage, musique...).

Les commandes de liaison avec le PCC.

Les informations relatives aux dysfonctionnements de tous ces dispositifs.

- Dans le champ visuel indirect

- Les rétroviseurs : il semble que la solution choisie pour CIVIS s'oriente vers un système de rétrovision en couleur par caméra pour les rétroviseurs latéraux.
- Les commandes de réglage des écrans de rétrovision : un système de rétrovision par caméra implique des possibilités de réglages accessibles au poste de conduite, supplémentaires aux réglages classiques (position des rétroviseurs) : couleur, contraste, luminosité de l'image.

Ces préambules issus de l'étude bibliographique étant posés, nous continuons les phases d'études proposées pour la conception. La suivante est relative à l'étude des préconisations ergonomiques pour la maquette du poste CIVIS.

6.3. Premières préconisations ergonomiques pour la maquette CIVIS

Si l'objectif de conception du poste de conduite de CIVIS est d'aboutir à un poste adapté aux conducteurs, l'une des préoccupations du client était également de réaliser une maquette devant être présentée dans des salons spécialisés. Nous avons fourni, dans un premier temps et sans avoir réalisé complètement l'étude ergonomique (approche cognitive prescriptive), des recommandations pour la conception de l'interface Homme-Machine (Dessaigne, Kaplan A. & Kaplan S., 1997).

Nous donnons pour chacun des sous-systèmes des conseils d'implantation, de forme, des préconisations pour leur design. Un designer associé à notre équipe a réalisé, sous forme de dessins et de plans, la concrétisation de nos recommandations.

Nous recensons six groupes de commandes et voyants à implanter sur la maquette CIVIS :

- Guidage optique
- Commandes écrans de rétrovision
- Alimentation électrique
- Ecran de vidéosurveillance
- SAE
- Climatisation/chauffage.

Ils ont été répertoriés en ordre décroissant d'importance pour les besoins de la maquette CIVIS. L'importance a été déterminée selon les critères ergonomiques suivants :

- Gravité des incidents pouvant avoir lieu si le conducteur ne voit pas l'information ou ne peut actionner la commande au bon moment
- Fréquence d'utilisation et/ou de visualisation
- Utilisation en conduite et /ou à l'arrêt.

Pour les six groupes de commandes/voyants, l'analyse ergonomique permet de présenter au client :

- Leur utilisation
- Une première estimation de l'importance des critères qui permet un classement par ordre d'importance
- Leur implantation et /ou la dimension conseillée
- Des préconisations pour le design.
- Des dessins illustrant les préconisations : un dessin général qui illustre les zones d'emplacement conseillé des six sous-systèmes au poste de conduite, puis un dessin de chaque sous-système.

Cette étude a abouti à des préconisations pour chacun des sous-systèmes. Nous présentons pour exemple, en annexe 6 celles relatives au guidage optique. Par ailleurs, l'exemple du sous-système "rétrovision" sera développé au chapitre 6.6. car l'analyse de cette fonction peut être intéressante pour les générations d'autobus à venir.

L'analyse succincte pour la maquette a apporté des préconisations ergonomiques et de design prenant en compte les impératifs commerciaux de la maquette et l'existence du VDO (tableau de bord standard du véhicule, de marque allemande) sur le poste de conduite. Toutes ces données restent à compléter à la lumière des études suivantes pour le Cahier des Charges ergonomique du poste de conduite CIVIS (démonstrateur). Certaines informations sont à préciser, notamment concernant les différentes technologies d'écrans LCD et les normes concernant les champs de vision.

6.4. Analyse de l'activité de référence des conducteurs de tramway

Une analyse de l'existant des tramways de Grenoble et Strasbourg (Kaplan & Dessaigne, 1997) a été réalisée dans le dessein de recueillir des précisions sur les postes de conduite des tramways et sur l'activité future des conducteurs de CIVIS. En effet, une partie de l'activité future avec système nous semble proche de l'activité tramway. Nous donnons, dans l'annexe 6 une description restreinte de l'utilisation du poste de travail sous forme de tableau retraçant la conduite du tramway du point de vue de l'activité de l'opérateur sur chacune des fonctions décrites. Nous abordons ensuite les remarques pertinentes pour la conception liées à l'activité globale de conduite et en retirons les points principaux qui caractérisent la conduite de tramway, pouvant être imputable au système futur. Les verbalisations recueillies lors d'entretiens aux terminus et les observations qui ont validé les opinions d'opérateurs nous ont servi pour l'élaboration de cette partie. Enfin, nous abordons plus précisément la question de la rétrovision.

Une synthèse de l'activité globale de conduite de tramway en vue de la conception de CIVIS fait apparaître les points suivants :

- La conduite de tramway, à Grenoble ou à Strasbourg, revêt les mêmes caractéristiques.
- Le point le plus important qui conditionne l'activité des conducteurs est la distance de freinage et l'impossibilité de dévier la trajectoire. En conséquence, les conducteurs s'attachent à anticiper au maximum tout obstacle.

- L'anticipation est fonction de la vitesse du tramway et de la distance de freinage résultante. On peut distinguer différents types d'anticipation du conducteur selon la zone où se trouve le tramway ; nous les relatons ici car le conducteur du système CIVIS sera probablement confronté à ces situations qui nous serviront de référence pour bâtir les scénarios prédictifs.

Zone partagée

Le tramway bénéficie d'une voie réservée, à côté de la route, il est autorisé à rouler à 40-50 km/h. De temps en temps, sa voie est coupée par des carrefours à Stop pour les automobiles : dans ce cas, les obstacles les plus probables sont les automobiles. L'activité d'anticipation se déroule le plus en amont possible : le conducteur, près de 100 mètres avant le carrefour à Stop, cherche à voir la voiture qui arrive, pour pouvoir freiner à temps si besoin est. Lorsque la visibilité est mauvaise, c'est-à-dire s'il ne peut voir le carrefour que lorsqu'il est à 50 mètres, il réduit son allure pour compenser son anticipation réduite, et donc, réduire sa distance de freinage nécessaire.

Zone piétonne

Le tramway roule sur l'aire piétonne ; il est autorisé à rouler à 15 km/h. L'activité d'anticipation du conducteur consiste à regarder dans son environnement immédiat : les piétons qui lui tournent le dos, qui ne l'ont pas vu, les jeunes en roller, les cyclistes, les personnes âgées, les enfants. Le conducteur regarde entre 10 et 20 mètres en amont. Souvent il doit focaliser son attention sur un piéton se trouvant à quelques mètres du tramway car il n'est pas sûr de son comportement.

Zone de transition : passage de zone piétonne à zone partagée

Cette situation demande particulièrement d'attention au conducteur : ce dernier se trouve encore en zone piétonne, il doit surveiller son environnement dans un rayon de 10 -20 mètres autour de lui. Mais il va bientôt rejoindre une zone partagée, avec carrefours automobiles. Dès que la visibilité le permet, alors qu'il est encore en zone piétonne, il prélève de l'information sur la zone partagée, donc à une distance plus grande, entre 50 et 100 mètres.

Cette analyse sur les tramways nous a permis de cerner des aspects caractérisant la conduite de ce type de véhicule. En vue de la conception de CIVIS, plusieurs points semblent importants à retenir :

- Le champ visuel dans lequel s'exerce l'activité d'anticipation du conducteur varie en fonction de la zone traversée, sachant que chaque zone se caractérise par des obstacles possibles particuliers et par une vitesse limite, qui conditionnent le comportement cognitif du conducteur. Nous attirons l'attention sur le fait que certaines zones de transition, notamment le passage de zone piétonne à zone partagée, sont des endroits où le conducteur a une forte activité de recherche d'informations, en vision centrale et en vision périphérique. Dans le cadre du poste de conduite de CIVIS, dans ces zones de transition, il serait prudent d'éviter de prévoir une sollicitation du conducteur pour d'autres tâches requérant son attention à l'intérieur de la cabine.
- L'activité des conducteurs est étroitement dépendante de la distance de freinage du tramway, qui n'est pas comparable à celle d'un véhicule sur pneus. Les activités d'anticipation observées à Grenoble et Strasbourg sont dirigées presque exclusivement vers l'environnement à l'avant du véhicule durant le parcours. De plus, la survenue et l'enchaînement de ces activités d'anticipation sont étroitement liés à la vitesse du

véhicule. Les types d'environnements et d'obstacles possibles influencent également l'activité d'anticipation du conducteur. La distance à laquelle il recherche de l'information visuelle à l'avant est donc importante.

- L'utilisation de la rétrovision (rétroviseurs classiques ou écrans de rétrovision) est dépendante de la trajectoire du véhicule : puisque le tramway ne peut faire d'écart par rapport à sa trajectoire, l'intérêt de l'utilisation de la rétrovision est réduit en parcour. Elle sert essentiellement aux arrêts pour surveiller la montée et la descente des passagers. Dans le cadre de CIVIS, l'utilisation sera donc différente de celle observée sur les tramways : dans les zones où il y aura uniquement du guidage optique, le conducteur pourra dévier sa trajectoire pour éviter un obstacle, l'environnement latéral deviendra alors important à surveiller pour le conducteur. Il faut réfléchir au déroulement des scénarios possibles pour ces cas avec un système d'écrans de rétrovision. Par ailleurs, on ne peut oublier que les écrans de rétrovision peuvent avoir tendance à orienter l'attention du conducteur sur son tableau de bord au détriment de l'environnement extérieur devant lui. Les propositions pour le concevoir doivent éviter cet écueil.
- L'attitude des citadins vis-à-vis d'un véhicule à guidage intégral comme le tramway est différente de celle vis-à-vis d'un véhicule non guidé : les automobilistes, cyclistes, piétons, savent que le tramway ne peut dévier sa trajectoire et réagissent, a priori, en conséquence à son apparition.

L'analyse du conducteur de tramway permet de transférer des éléments importants de manière indirecte au moment de la définition des besoins des conducteurs du véhicule CIVIS et pour élaborer les recommandations en vue de l'aménagement et de la conception du poste de conduite. En effet, l'utilisation de ces données s'exprime plus en termes de différences que de similitudes, étant donné les écarts pressentis entre l'activité d'un conducteur de tramway et celle d'un conducteur de CIVIS.

L'objectif suivant est de réaliser une étude ergonomique approfondie, se basant sur une typologie de situations futures probables, bâtie à partir de la connaissance des situations d'interactions des conducteurs avec des systèmes de références (VISEE) et des spécifications fonctionnelles du nouveau système.

6.5. Analyse prédictive pour la conception de CIVIS

L'analyse de la construction de scénarios prédictifs de l'activité future avec le système CIVIS est présentée en partie dans ce chapitre. Elle est issue du rapport Dessaigne & Kaplan, (1997 a). Elle devait servir de base pour une étude sur simulateur d'essais qui, finalement, n'a pas été réalisée et pour l'exécution du prototype CIVIS. Pour cette phase d'étude, on considère que le poste de conduite est situé à gauche et qu'il est équipé d'un tableau de bord "VDO Mannesmann" de type standard, pouvant néanmoins supporter quelques modifications.

Démarche méthodologique

Une première phase d'investigation à partir de nos connaissances sur les bus et tramways "in situ" (Départ de la station, zone sans guidage, zone piétonne, arrêt...) nous permet d'extrapoler des situations de référence pour CIVIS sous forme de scénarios prédictifs de l'activité future. Nous utilisons donc notre connaissance de produits proches et des types de

ligne. Nous constatons alors que les propositions que nous avons formulées pour l'interface préconisée lors de la maquette sont à compléter ou transformer : d'une part, le poste était recentré et d'autre part, nous avons eu le temps d'approfondir l'étude prédictive, donc de mieux cerner les besoins du conducteur pour le poste futur. Par le passage en revue de scénarios futurs ainsi bâtis, nous analysons les activités futures probables physiques et cognitives du conducteur dans un certain nombre de situations intéressantes à étudier du point de vue des besoins du conducteur en actions et en informations.

Ces analyses nous permettent, dans un deuxième temps, d'extrapoler des préconisations pour l'interface. On pourra voir dans l'exemple cité ci-après, les parties relatives "aux conséquences pour la conception de l'interface" et celles concernant "les préconisations pour l'interface". La synthèse des recommandations issues des situations étudiées selon des scénarios très probables nous semble ainsi complète et proche des réalités à venir. Elle se traduit par des conseils et justifications d'implantation des commandes, des voyants et d'écrans au poste de conduite, ce qui sera ici la phase finale des études de conception pour l'ergonome puisque nous ne validerons pas le prototype sur site ouvert comme nous le pensions au début.

Comment analyser l'activité future probable des conducteurs

Pour l'analyse de situations futures, étant donné que le véhicule n'existe pas encore, on se réfère en général aux études de l'activité réelle déjà effectuées dans des situations voisines (études VISEE et GIBUS), mais également aux spécifications techniques du futur véhicule et des systèmes qui y sont implantés ainsi qu'à la connaissance des lignes. Notre approche est une analyse par extrapolation de l'activité future à partir des études des systèmes antérieurs. Nous avons déjà proposé une telle démarche lors de l'analyse de l'activité des régulateurs de métro, (Dessaigne, 1988). Notons qu'il s'agit en partie de celle mise en avant dans la thèse de Galinier (1996) relatant une "solution de conception possible". Cette approche nous permet de travailler à la construction d'une typologie de situations, appelée "scénarios" (voir définition § 5.4.1), qui permettra de passer en revue la dynamique des Interactions Homme-Machine. Ces scénarios se traduisent par des situations liées au déroulement logique de l'activité (le véhicule est à l'arrêt, par exemple) mais à la fois en termes techniques (contraintes du système), en termes cognitifs (gestion cognitive des contraintes situationnelles et environnementales) et physiologiques (réactions et actions engagées des conducteurs aux diverses situations). Ils ont pour but de tenter de retracer la chronologie des événements possibles, l'enchaînement des prises d'informations, des raisonnements et des actions effectuées par les conducteurs, afin de se rapprocher de l'aspect dynamique de la tâche de conduite. De là, nous avançons des hypothèses sur les éléments-clés de l'activité future probable et possible des conducteurs. Ces hypothèses permettent alors de réfléchir à la charge de travail qui incombe au conducteur dans le cas de figure décrit et aux anticipations et actions que celui-ci devra effectuer sans que la situation soit jugée dangereuse. Elles permettent d'appréhender son degré de disponibilité pour prélever les informations sur le poste de conduite et dans l'environnement proche. Cela permettra également d'aboutir, dans un deuxième temps, à la définition des besoins des conducteurs pour la conception de l'interface.

Pourquoi concevoir des scénarios prédictifs ?

Pour travailler sur l'activité future probable des conducteurs de CIVIS, nous procédons à une sélection de situations qui nous semblent pertinentes à étudier pour la conception finale du système. L'objectif est, à partir de ces situations, de passer en revue les besoins des conducteurs en termes d'activités, pour aboutir finalement à des définitions en termes

d'interface du poste de conduite. À partir des scénarios énoncés, nous sommes alors en mesure de fournir des préconisations d'aménagement des différentes commandes. Pour les scénarios futurs, nous choisissons des situations de référence considérées comme ayant une forte probabilité d'être rencontrées lors de l'utilisation de CIVIS. Par ailleurs, nous tenons compte du fait que l'activité des conducteurs se caractérise par un haut degré d'automatisation qui se traduit par une planification constante de la situation à venir, tout en conservant son attention sur la situation immédiate. Par conséquent, du point de vue du conducteur étudié dans une situation future, il est intéressant de passer en revue ces derniers critères cognitifs où l'on reconnaît des niveaux d'activités simultanées : planification de la situation à venir et gestion de la situation immédiate par l'intermédiaire de règles ou d'habileté (Rasmussen, 1983), ce que nous faisons au cours de nos extrapolations de l'activité future pour quelles soient complètes. Par cette approche qui mériterait d'être accompagnée d'une vérification expérimentale, nous pensons justifier et affiner nettement la justesse de nos préconisations pour l'interface.

En conséquence, pour bâtir les scénarios, nous considérons les points suivants :

- Une connaissance des types de lignes et de l'infrastructure au sol, notamment lors des arrêts est une base permettant de relever les situations diverses.
- Nous considérons le point de vue des conducteurs et établissons un découpage des situations à venir en fonction des particularités du parcours et du déroulement logique des activités du conducteur selon les zones rencontrées au cours de leurs trajets : le type de zone où ils circulent, le profil de la ligne, les arrêts.
- Nous débutons notre analyse prédictive à partir de variables situationnelles, cette fois-ci réelles. Nous choisissons à chaque fois de traiter la situation qui semble la plus complexe, par exemple, nous n'abordons pas en détail la situation en site protégé, quand le véhicule est entre bordures, car cette situation est très sécuritaire et sans risque.
- Le système de guidage et ses fonctionnalités est ensuite considéré comme aidant le conducteur à gérer la conduite. L'implantation du système sur le parcours (marquage au sol, bordures, type d'alimentation électrique) est alors examiné selon les raisonnements et contraintes pour les conducteurs, observés au cours de ce type de parcours.
- Nous tenons compte ultérieurement des possibilités d'implantations diverses sur le tableau de bord et évoquons par la suite, du point de vue de l'IHM, les recommandations à formuler pour que le système soit "utilisable", efficace et acceptable.

À partir des critères retenus (approche situationnelle), les situations sélectionnées qui nous semblent pertinentes pour décrire l'activité avec le système sont les suivantes :

- L'arrivée à un arrêt
- L'arrêt en station
- La conduite en zone piétonne
- La conduite en zone partagée
- La traversée d'un carrefour
- Les courbes
- Perte de ligne de référence pour cause de marquage dégradé

Puis, pour chacune d'entre elles, nous formulons, dans un premier temps, des hypothèses sur l'état de l'environnement, sur l'état des différents systèmes (guidage, alimentation électrique (si l'option est retenue et vendue) et sur la position du véhicule.

Pour des raisons de concision, nous ne relaterons pas l'analyse de chacune de ces situations dans les pages qui suivent ; seulement l'une d'entre elles sera transcrite pour montrer l'intérêt de ces "scénarios prédictifs" pour la conception finale.

Dans ces scénarios de l'activité future, nous prédisons dans un deuxième temps le(s) raisonnement(s) et le(s) comportement(s) les plus probables des conducteurs au regard des situations étudiées, mais ces données restent des hypothèses qui demanderont à être validées par une phase d'expérimentation ultérieure avec des conducteurs. Elles nous permettent néanmoins de formuler et valider des recommandations pour l'interface finale. L'ensemble de ces divers paramètres sur l'activité future font que de fait, à ce jour et en l'état de l'étude, il vaudrait mieux parler, comme l'indiquent certains auteurs (par exemple Daniellou, 1987), d'activité future possible plutôt que d'activité future probable tant l'éventail des choix à retenir peut être encore large. Il est cependant, mieux circonscrit.

Par ailleurs, il faut garder à l'esprit que, au-delà de toutes les contraintes situationnelles, cognitives et techniques liées au système que nous considérons dans ces scénarios prédictifs, la motivation et l'état émotif général du conducteur restent des paramètres prépondérants à tout moment qui ont une forte influence sur ses activités. Ces paramètres sont parfois imprévisibles. Néanmoins, notre approche sur les conducteurs de bus en situation naturelle de conduite (1994) et l'analyse détaillée par algorigrammes (sans système, avec GIBUS, avec VISEE) et celle des essais VISEE nous auront permis de mieux appréhender ces variations de comportements et d'en tenir compte dans l'analyse prédictive. Nous pouvons en effet évoquer les différents cas possibles que nous avons répertoriés, notamment ceux relevés sur un échantillon de 30 conducteurs en 1994 ou ceux encore relevés lors des essais VISEE en site semi-ouvert (§.5.5). Ces variations psychologiques des conducteurs, traduites par des comportements ou raisonnements différents, ayant été transcrites sur nos algorigrammes, nous en tenons compte pour étayer notre analyse par scénarios prédictifs. Par exemple, nous voyons sur les algorigrammes de 94 que certains opérateurs privilégient la sécurité des passagers, d'autres, l'accessibilité alors que d'autres rejettent ces deux critères pour préférer celui du respect du temps de parcours. Nous envisageons ces différentes possibilités (et d'autres) dans l'analyse de nos scénarios prédictifs.

Nous donnons ci-dessous comme exemple de scénario prédictif l'analyse d'une situation-type. Deux autres exemples de scénarios sont décrits en annexe 6, ils permettent de mieux comprendre comment on abouti aux préconisations de la phase finale. Les autres sont exposés de manière plus complète dans le rapport de l'étude citée (Dessaigne & Kaplan, 1997 a).

Cas de l'arrivée à l'arrêt

Hypothèses sur la situation décrite :

L'arrivée à l'arrêt se fait toujours avec le guidage optique.

Sur la longueur de l'arrêt, le véhicule se trouve toujours entre deux bordures.

Nous prenons l'hypothèse que l'arrivée à l'arrêt se fait sans bordure : le conducteur introduit son véhicule entre les bordures au moment où il arrive au niveau du quai. L'évitement avant le quai en cas d'obstacle est donc possible.

Nous envisageons les cas d'arrêt sans réemperchage, et celui d'arrêt avec réemperchage (qui permet l'alimentation électrique du véhicule, option possible sur CIVIS).

Le véhicule CIVIS arrive à un arrêt, il est entre 50 et 20 m avant le début du quai.

Description de l'activité future probable du conducteur pour laquelle deux cas sont possibles :

L'emperchage permet d'alimenter électriquement le véhicule. Pour bien réaliser l'emperchage, l'objectif du conducteur est de s'arrêter au bon endroit. Il doit effectuer deux tâches principales simultanément : gérer sa position à l'arrêt et surveiller la présence d'obstacles éventuels à éviter. Il doit également déterminer si une personne en fauteuil roulant ou une poussette aura besoin des palettes pour monter ou descendre du véhicule.

1- Arrêt sans réemperchage :

Le conducteur doit s'arrêter à un endroit précis, déterminé par un repère au sol sur le quai. Il peut s'être également forgé des repères personnels au cours de ses expériences précédentes. Il régule donc sa vitesse en fonction de l'endroit où il va s'arrêter.

Lorsqu'il arrive à l'arrêt, il doit vérifier qu'il n'y a pas d'obstacle. Pour rechercher un obstacle possible, il dispose d'une liste de critères à partir d'expériences antérieures :

A propos des piétons sur la voie (enfant, personne âgée, piéton avec baladeur) : ces personnes sont susceptibles de mal estimer à quelle distance et/ou à quelle vitesse arrive le véhicule, de ne pas l'entendre ou de ne pas le voir arriver. Le conducteur peut les prévenir en utilisant la sonnette écologique. Cependant, si le piéton reste toujours sur la voie, le conducteur doit alors l'éviter. Dans ce cas, il freine. Nous considérons que l'évitement d'obstacle en arrivant à l'arrêt est impossible car le véhicule se trouve entre bordures.

Pour les voyageurs attendant au bord du quai : à l'heure de pointe, le quai peut être chargé, dans ce cas, il arrive que le conducteur ait besoin de prévenir de son arrivée avec la sonnette écologique pour que les voyageurs reculent.

Deux hypothèses peuvent être formulées quant à l'évitement :

- Le conducteur effectue ces activités d'évitement simultanément à la tâche de gestion de sa vitesse par rapport à l'endroit précis où il doit s'arrêter. En conséquence, si le conducteur doit focaliser son attention plusieurs secondes sur des piétons ou des voyageurs sur le quai à éviter, la gestion de la position à l'arrêt n'est pas prioritaire, il peut arriver que le véhicule s'arrête plus loin que prévu (environ 1 mètre).

- Le conducteur cherche également à identifier s'il y a un voyageur sur le quai qui aura besoin des palettes pour monter. Par ailleurs, il a mémorisé au cours des arrêts précédents si une personne à bord a besoin des palettes pour sortir du véhicule.

2- Arrêt avec réemperchage :

Dans le cas d'un arrêt avec réemperchage, la position à l'arrêt devient très importante. Le conducteur ne doit en aucun cas s'arrêter trop loin. On peut donc penser que, sur ce type d'arrêts, le conducteur diminuera sa vitesse et gèrera sa position à l'arrêt plus en amont (20 mètres avant l'arrêt au lieu de quelques mètres avant la position à l'arrêt) pour être déchargé rapidement de cette tâche et se consacrer ensuite à la surveillance des voyageurs sur le quai ou à la recherche d'obstacles sur la voie.

Un incident qui peut être la conséquence de la gestion de ces deux activités simultanées (positionnement à l'arrêt et évitement d'obstacle) est que le véhicule s'arrête trop loin par rapport à la position prescrite sur quai pour que le réemperchage puisse s'effectuer. Cela peut arriver, comme nous l'avons dit, pour l'arrêt sans réemperchage si le conducteur doit renforcer son attention pendant plusieurs secondes sur un obstacle possible : dans ce cas, il néglige le mode opératoire consistant à positionner correctement le véhicule à l'arrêt.

Le conducteur devra alors effectuer une marche arrière, manœuvre dangereuse à l'arrêt puisqu'il y a souvent des piétons qui traversent la voie à l'arrière du véhicule. Le sachant, le conducteur gèrera son activité en fonction de cet impératif. C'est ce qui nous conduit à dire que, dans les situations d'arrêt avec réemperchage, le conducteur gèrera sa position à l'arrêt plus en amont pour être sûr que cet objectif soit respecté. Il visera également un point à l'arrêt plus proche pour être sûr de ne pas dépasser le point d'arrêt réel au-delà duquel le réemperchage n'est plus possible.

Conséquences pour la conception de l'interface

- Le conducteur doit prélever de l'information essentiellement à l'extérieur du véhicule :

- Pour gérer sa position à l'arrêt
- pour surveiller les voyageurs sur le quai
- pour surveiller la présence éventuelle d'obstacles sur la voie
- pour savoir si un voyageur aura besoin des palettes pour monter à bord.

- Lorsqu'il se trouve juste avant le début du quai, le prélèvement de ces informations se fait directement, c'est-à-dire à travers le pare-brise.

- Lorsque l'introduction du véhicule entre les bordures du quai a débuté, le conducteur peut alors avoir besoin de prélever de l'information sur les écrans de rétrovision, pour vérifier la position des voyageurs sur le quai par rapport au véhicule. Cependant la surveillance directe reste prépondérante. Les actions du conducteur en cabine consistent à réguler la vitesse et le freinage en fonction des prises d'information qu'il effectue à l'extérieur.

- Lorsqu'il est très près de sa position d'arrêt, le conducteur commence à regarder le voyant de réemperchage, son clignotement signifiant qu'il est à la bonne position pour réempercher.

- Le conducteur peut être amené à vérifier que le système de guidage est bien en marche.

Préconisations pour l'interface

- Les indications concernant le guidage optique doivent donc être accessibles visuellement au conducteur, alors qu'il regarde essentiellement à l'extérieur.
- Le voyant /bouton de réemperchage doit se trouver dans le champ visuel direct du conducteur de façon à ce que, lorsqu'il surveille l'environnement extérieur, il puisse percevoir de manière sûre, en vision périphérique, le clignotement du voyant lui annonçant qu'il est en bonne position pour le réemperchage.

Préconisations pour l'environnement extérieur

Concernant les arrêts avec réemperchage, afin d'aider le conducteur à ne pas dépasser la position à l'arrêt, on peut renforcer les repères pour qu'il puisse mieux anticiper sa position à l'arrêt : dessiner un pré-repère un mètre avant le repère au sol habituel, et éventuellement donner un repère vertical visible de plus loin : soit un poteau sur le quai ou un repère couplé à l'abri sur le quai.

En résumé, les extrapolations réalisées par l'analyse de l'ensemble scénarios prédictifs nous auront permis d'apporter des arguments nouveaux pour la conception de l'interface :

- Etudier le déroulement logique des modes opératoires futurs et des stratégies des opérateurs montre que l'utilisation des écrans de rétrovision est possible à l'arrêt (schéma annexe § 6.6. : cas de l'arrivée à l'arrêt en station).

- Passer en revue les anticipations d'un maximum de situations permet de prévoir les différentes réactions des conducteurs. On montre en effet dans le même exemple de scénario prédictif cité ci-dessus, quelles sont les anticipations réalisées et sur quels critères (nombre, type et répartition des voyageurs à bord, retard /avance par rapport à l'horaire, observation du nombre, du type et de la répartition des voyageurs sur le quai, recherche d'obstacles éventuels après le démarrage, temps nécessaire pour le réembarquement, l'heure et les minutes de retard /avance...) les conducteurs se construisent une règle générale pour planifier le départ avec les écrans de rétrovision. Cela permet encore de formuler les recommandations adaptées pour l'interface.
- Situer le lieu précis d'implantation de chacun des sous-systèmes : après cette étude détaillée, plusieurs indications de changements d'implantation des sous-systèmes ont été préconisées (commande guidage optique, alimentation électrique), notamment suite à l'étude des enchaînements logiques des opérations et à celle des prises d'information visuelle.
- Proposer le regroupement de certains sous-systèmes par "zones dédiées" pour le bon déroulement de certaines phases de l'accostage : zone d'action dédiée aux activités à l'arrêt, zone dédiée aux activités de surveillance, zone d'action prioritaire dédiée aux activités de conduite, zone dédiée aux actions secondaires. Celles-ci facilitent l'enchaînement des opérations sur chacune en fonction des catégories d'activités perceptives et cognitives à réaliser.
- L'identification par le conducteur d'une classe de situations lui permet de choisir le(s) mode(s) opératoire(s) adapté(s) à la situation : le repérage de ces classes par l'ergonome permet de proposer, après en avoir listé les contraintes, des recommandations pour l'interface.
- Enfin, valider le phasage des différentes opérations cognitives nous permet de détailler leurs implications physiologiques et les répercussions à prévoir sur l'interface. Dans le deuxième exemple cité en annexe 6.6. relatif à la perte de ligne de référence (l'un des modes dégradés du système), cette analyse nous montre que, contrairement à nos recommandations pour la maquette, il faut impérativement prévoir une fonction de "bip sonore". En effet, celui-ci s'avère indispensable (en plus du voyant rouge et de la souplesse du volant) car, dans certaines situations, par exemple lors de la conduite en courbe, le conducteur ne pourra pas anticiper suffisamment le marquage défectueux et donc planifier sa reprise en main suffisamment tôt si cette alarme sonore ne le prévient pas.

C'est bien l'extrapolation des situations futures par le biais de scénarios prédictifs qui nous aura permis d'effectuer des préconisations pour l'interface du système CIVIS.

6.6. Synthèse des recommandations pour le poste de conduite et l'interface

Les recommandations finales pour le démonstrateur et l'interface du système CIVIS sont présentées dans notre rapport (Dessaigne, Kaplan A. & Kaplan S., 1997 b). Ces préconisations sont de l'ordre de la prescription à l'industriel pour la conception de

l'interface. Elles ont été élaborées grâce aux différentes études menées jusque-là. Elles ne sont pas issues de simples guides d'ergonomie, car ceux-ci ne suffisent jamais pour réaliser une prescription correcte et adaptée au travail des opérateurs. Elles sont élaborées à partir des études sur l'activité réelle des conducteurs d'autobus, des scénarios expérimentaux, d'autres activités de référence telles celle de la conduite de tramway, des spécifications techniques du nouveau système et de l'analyse de scénarios d'activité cognitives prédictives comme nous nous sommes attaché à les décrire dans le chapitre précédent.

Trois points importants restent encore à considérer pour une bonne conception du système d'aide. Nous ne participons pas, à ce jour, à la conception mais nous savons que les options "alimentation électrique" et "rétrovision" n'ont pas encore été commercialisées, c'est pourquoi nous relatons les recommandations qui les concerne.

a) Respect des recommandations pour les commandes et paramètres de CIVIS

Les préconisations liées au système d'aide devront être respectées si l'on souhaite que celui-ci soit facilement utilisable et acceptable. La question de la "distance de guidage", située à 40 m ou non du point d'arrivée nous semble un élément primordial qui a été tranché (40 m). Cette distance est suffisante pour un grand nombre de situations. Nous avons en effet montré au chapitre 5 (§ 5.7.) concernant VISEE que les nouvelles opérations liées au système s'intègrent facilement dans la phase de pré-accostage et que l'attention du conducteur est alors libérée en phase finale pour veiller à la sécurité des voyageurs. Cependant, nous pensons que les vérifications de cette préconisation devront être validées par des essais du prototype en site réel. Par ailleurs, nous rappelons que la formation complète des conducteurs et l'entraînement aux situations à risque sont des éléments facilitateurs pour une bonne maîtrise du véhicule à cette distance.

b) Fonctionnement de l'alimentation électrique

Des questions subsistent sur le réemperchage si toutefois celui-ci est retenu comme option sur le véhicule. La question du temps nécessaire au réemperchage est importante puisqu'elle déterminera le degré de souplesse de l'enchaînement des actions. Ces enchaînements conditionnent le fait que les boutons "réemperchage" et "portes" soient très proches sur le tableau de bord puisque le conducteur n'aura pas le loisir de choisir des combinaisons différentes.

Par ailleurs, pour confirmer au conducteur que le réemperchage est effectué, il faudra prévoir des séquences différentes selon que le réemperchage est quasi immédiat ou que l'opération dure plusieurs secondes. Un signal intermédiaire indiquant au conducteur que le réemperchage est en train de s'effectuer est à envisager. Les séquences à prévoir devront être les suivantes :

- Un voyant « position réemperchage » qui s'allume quand le véhicule est bien positionné, qui clignote une fois que le réemperchage a été enclenché et le temps que le réemperchage s'effectue, puis qui s'éteint quand le réemperchage est terminé.
- Un bouton « réemperchage » associé à un voyant qui s'allume quand on appuie sur le bouton. Ce voyant reste allumé tant que le véhicule est sous alimentation caténaire.

Une autre question est celle de prévoir une position neutre dans les commandes électriques, pour prévenir du fait qu'il n'y a ni batterie, ni alimentation caténaire. En effet, en cas de dépannage/remorquage du véhicule, une position neutre sans aucune alimentation est peut-être nécessaire. Il faudra alors pronostiquer :

- un bouton/voyant de réemperchage,
- un voyant « batterie en marche », avec visualisation du niveau,
- un bouton/voyant « neutre ».

Le bouton/voyant neutre, contrairement aux deux autres commandes/voyants, n'a pas besoin d'être situé sur le tableau de bord puisqu'il ne sera utilisé qu'en cas de dépannage. Il peut être implanté sur la partie gauche extrême du poste de conduite et regroupé avec d'autres commandes qui ne seront utilisées qu'en cas de panne.

c) Utilisation de la rétrovision

Le sous-système de rétrovision a fait l'objet d'une forte demande du client car les études de marchés tendaient à montrer que ce système serait un système très demandé au cours des prochaines années. Si nous relatons les éléments qui suivent, c'est que nous estimons que la question n'a pas été totalement instruite et qu'il faut tenir compte des éléments de l'instruction que nous en avons faite pour répondre de manière favorable à la question de l'opportunité d'un tel système pour les conducteurs.

L'utilisation de la rétrovision pourrait s'avérer utile en conduite et à l'arrêt. En conduite, elle s'apparente à celle de rétroviseurs. La prise d'information se fait au coup par coup, de manière non couplée : le conducteur ne cherche pas à prendre l'information simultanément dans les deux rétroviseurs. Une position déportée sur les côtés de chaque écran est donc appropriée. Pour nous néanmoins, du fait de la technologie utilisée, la lisibilité des informations semblait a priori moins aisée que sur de simples rétroviseurs. A l'arrêt, les deux écrans pourraient présenter le côté droit du véhicule, l'utilisation par le conducteur serait donc plus simultanée. Des questions diverses subsistant à son sujet, la rétrovision a fait l'objet des études citées ci-dessous pour montrer que ce système était viable, ce dont nous doutions :

- Justification des modes opératoires possibles sur le nouveau système pendant la conduite et à l'arrêt. Le résultat n'était pas évident du fait de la tâche principale du conducteur,
- Qualité de l'écran et choix de la taille à retenir pour une perception non perturbée en toutes situations (de jour, de nuit),
- Emplacement des écrans pour une lecture en vision centrale ne perturbant pas la surveillance et la prise d'information sur la scène avant en vision périphérique.

Il ressort de ces dernières études les conclusions suivantes :

- A propos de la justification du système de rétrovision en conduite et à l'arrêt, l'analyse des modes opératoires prédictifs (annexe 6.6, cas de l'arrêt en station) nous ont apporté des résultats satisfaisants quant à la possibilité d'utiliser des commandes de permutation d'images proposée pour l'enchaînement des opérations sur les écrans (recommandations pour l'interface : rétrovision, annexe 6.7). L'utilisation de ces écrans semble acceptable, tant perceptivement (durée des fixations) que cognitivement (enchaînements des opérations), même pour certains cas de figure délicats, ce qui n'était pas un résultat évident.
- Pour le choix de la taille des écrans, une étude bibliographique (C. Germain & al., 1994) concernant l'utilisation des écrans de rétrovision pour pallier aux effets de masque (angles morts) nous a montré qu'il était impossible, en situation de conduite,

d'évaluer la vitesse et la distance des véhicules visualisés sur des écrans 6 pouces. Le choix d'écrans d'au-moins 10 pouces (215 x 160 mm) s'impose pour la sécurité de la prise d'information latérale en situation de conduite. Bien que cette étude reste incomplète et partiellement adaptable au projet CIVIS pour plusieurs raisons (limites d'application), les conclusions étaient néanmoins claires quant à l'estimation des vitesses et des distances des véhicules visionnés sur les écrans 10 pouces que nous avons retenus.

- Pour la position des écrans dans les plans horizontal et vertical, le point qui nous semble important était d'abord de préserver la disponibilité du conducteur pour prélever des informations sur la scène avant, donc de limiter la centration de son attention à l'intérieur de la cabine. Notamment durant les situations à risque, le conducteur doit pouvoir effectuer des allers-retours rapides entre la scène extérieure avant et les scènes latérales sur les écrans. Il doit pouvoir consulter les écrans de rétrovision sans détournement de regard en vision périphérique :

- Dans le plan horizontal, les écrans doivent être déportés de chaque côté du poste de travail à la limite des zones "acceptables" (pas plus loin) de la norme X 35 –101.

- Dans le plan vertical, les écrans ne doivent pas être trop bas pour que le conducteur puisse surveiller la scène extérieure. Pour que le conducteur soit en mesure de prélever l'information sur les écrans en conduite avec prise d'information simultanée sur l'extérieur, il faut en fait que ce soit le centre de l'écran qui coïncide avec la ligne de visée naturelle. De fait, les écrans doivent se trouver plus haut sur le tableau de bord. Ils doivent également être protégés de la luminosité extérieure. Une légère inclinaison conviendrait mais engendrait des reflets. La position verticale des écrans semble alors la plus appropriée.

Nous savons que ces dernières recommandations n'ont pas pu être suivies, probablement du fait de l'incidence du choix de tableau de bord retenu : le standard VDO ne permettant pas une intégration correcte des écrans.

Si l'option "écran de rétrovision" est retenue par des clients, nous recommandons qu'une étude complémentaire soit réalisée sur le prototype pour vérifier lors d'expérimentations, les points principaux suivants :

- Conditions d'utilisation en fonction de l'heure de la journée, des variations météorologiques, des possibilités de réglage des écrans,
- Respect du positionnement des écrans sur le tableau de bord tels qu'indiqués précédemment,
- Utilisation simultanée des trois écrans à l'arrêt,
- Utilisation simultanée des deux écrans de rétrovision en conduite,
- Conditions d'utilisation de la permutation d'image.

6.7. Conclusion de l'étude CIVIS

Le Cahier des Charges ergonomique nous a permis d'apporter des préconisations en ergonomie et design directement exploitables pour l'interface du poste de conduite futur, mais n'a finalement pas été exploité pour un démonstrateur qui aurait dû être testé en phase de

conception intermédiaire. On assiste là à une modification du processus de conception, phénomène souvent répertorié dans la conduite de projet, les motifs évoqués étant des questions de délais, de coûts et de changement d'équipe.

L'analyse de l'activité future probable du conducteur de CIVIS nous a permis de mettre en évidence les différents types d'activités cognitives mises en jeu en fonction des variables situationnelles proches de la conduite du système. De là, nous avons pu faire ressortir des besoins du conducteur en termes d'informations et d'actions .

Les préconisations qui en découlent sont de deux ordres :

- Du fait que nous appréhendons l'activité de conduite dans sa globalité, certaines de nos recommandations ne portent pas sur l'interface embarquée, mais sur l'aménagement de l'environnement extérieur : le prélèvement d'informations en dehors de la cabine est toujours moins coûteux en attention pour le conducteur puisque l'effort d'accommodation visuelle est moindre. Ces aménagements sont souvent moins "coûteux" (charge de travail globale) pour l'opérateur et facilite un meilleur accostage (arrêt en ligne, point de repère bien cadré, lissage des trottoirs...).
- Des recommandations concernant les commandes et les informations embarquées (interface) qui ont pour unique objectif d'assurer un agencement et une présentation compatibles avec l'activité du conducteur. Notons que l'ajout du système de guidage à la conduite n'est pas le seul envisagé puisque les ingénieurs prévoient également de rajouter la commande électrique du véhicule et le système de rétrovision. L'incidence de ces derniers sur le conducteur, si toutefois les options sont retenues ne nous semble pas suffisamment vérifiée à ce jour. Cela serait une charge supplémentaire pour les opérateurs qu'il convient d'évaluer.

Cependant, pour valider et affiner les recommandations en ce qui concerne l'utilisation de du guidage optique et de la rétrovision, mais aussi pour veiller à la sécurité et au confort des voyageurs, nous pensons nécessaire de passer par une phase d'expérimentation en site fermé, puis en site réel. Le démonstrateur une fois conçu aurait dû permettre de tester les situations citées dans le Cahier des Charges ergonomiques, et notamment celles concernant la rétrovision et le guidage optique, mais cela n'a pas été le cas. Les responsables de projets ont changé en cours de projet et ont estimé que les propositions ergonomiques faites étaient tout à fait satisfaisantes, suffisantes et seraient appliquées pour la conception du poste final. Le démonstrateur n'a donc pas été testé tel que nous l'avions prévu et un ergonome interne de RVI a réalisé le suivi des études de conception finale.

De récents contacts avec IRISBUS nous ont appris que le constructeur a fait réaliser le système en suivant nos recommandations, estimant que celles-ci étaient suffisantes (opinion que nous n'avons pu vérifier). Néanmoins, celles relatives à la rétrovision n'ont pas pu être appliquées telles que prescrites car le tableau de bord VDO a été retenu comme support de la cabine de conduite. Du fait que la contrainte d'écran 10 pouces ait été retenue, il aurait alors fallu surélever les écrans de rétrovision. Pour ce faire, une demande de dérogation était nécessaire par rapport à la législation en cours. Les écrans ont été placés là où l'espace était disponible sur le tableau de bord. De fait, les angles de vision horizontaux et verticaux ne sont plus respectés, les écrans sont situés trop bas et trop écartés à droite et à gauche du conducteur. Ainsi, ils ne permettent pas une prise d'information correcte en situation de conduite. En effet, si les opérateurs utilisent ce système tel qu'il est maintenant conçu, leur attention visuelle sera détournée de la route de manière inacceptable car ils ne peuvent plus le percevoir en "vision périphérique". De notre point de vue, cette interface est donc inadaptée et dangereuse.

À la suite de ces travaux de synthèse, nous avons proposé au constructeur d'effectuer une dernière étude de validation du système sur site réel, notamment sur le site de ROUEN mis actuellement en service avec CIVIS. La réponse n'a pas été favorable car autant les industriels que les experts (CERTIFER, INRETS) qui suivent la mise en service estiment que l'ergonomie du système est tout à fait adaptée. Nous ne sommes cependant pas tout à fait persuadés que les postes de travail permettant l'activité de conduite d'un autobus du futur (CIVIS) soient tout à fait adaptés. Nous aurions souhaité en effet vérifier, par cette dernière étude sur site réel, plusieurs points pour que notre apport à la conception de ce système soit complet :

- que les recommandations pour la conception de l'interface et du système d'aide à la conduite ont bien été suivies, ce qui ne semble pas être totalement le cas : par exemple, les écrans de rétrovision que nous avons pu voir sur le prototype final chez RVI,
- que la formation des agents a été engagée à partir des recommandations d'entraînement aux situations à risque telles que nous les avons préconisées dans le chapitre sur VISEE,
- que l'on teste un enclenchement du système à 60 m et 50 m de l'arrivée sur des scénarios critiques afin de mesurer les temps de réaction des conducteurs.
- que nous testions quelques scénarios dangereux qui ne l'avaient pas été jusque-là du fait des limites du prototype. Par exemple, des situations d'obstacles sur la voie, des décrochages du système lors d'une courbe (lorsque l'anticipation n'est pas possible) et la récupération de la lacune horizontale en cas de défaillance du système, scénario qui, à notre connaissance, n'a pas été testé. Il nous semble en effet que sans ces tests (éventuellement à réaliser sur piste fermée), bien que nous puissions conclure à l'utilisabilité du système CIVIS, nous ne pouvons conclure à sa non dangerosité.

Enfin, nous voulons insister sur l'importance d'un point nouveau pour les transports publics. Il s'agit de l'entraînement nécessaire (sur piste ou simulateur) des conducteurs sur ces nouveaux modèles d'autobus semi-guidés. Cet entraînement nous semble impératif pour que les opérateurs s'approprient complètement le système et qu'ils s'entraînent aux situations à risque. Nous avons vu, en effet, au chapitre 5 relatif à VISEE (scénarios du § 5.5.1.) les bienfaits de l'entraînement des conducteurs sur la maîtrise du véhicule.

**PARTIE III : INTERET ET LIMITES DES
SYSTEMES D'AIDES POUR LES
CONDUCTEURS D'AUTOBUS DU FUTUR**

CHAPITRE 7 : LES SYSTEMES A L'EPREUVE DES CRITERES ERGONOMIQUES

Dans les chapitres précédents, nous avons rendu compte de nos études de conception réalisées pour les trois systèmes GIBUS, VISEE et CIVIS. Dans ce chapitre, nous les évaluons selon six critères : utilité de l'aide, "utilisabilité", efficacité/efficience, non-dangerosité, fiabilité et satisfaction des opérateurs. Ces critères ne sont pas indépendants. Ainsi, l'utilité est fonction des facilités d'utilisation ("utilisabilité") et de l'efficience de l'aide (rapport coût/bénéfice, c'est-à-dire ressources de l'opérateur /gain pour lui, pour l'obtention d'un but donné), mais aussi de sa fiabilité (l'opérateur lui accorde plus ou moins de confiance) et de son éventuelle dangerosité en certaines circonstances (dangerosité liée en partie à l'infiabilité). Enfin, la satisfaction des opérateurs dépend en partie, mais en partie seulement, des facteurs impliqués dans les critères précédents.

Enfin, l'adéquation de systèmes d'aides est relative à des individus. Tel système peut se révéler utile pour telle personne et non pour telle autre, ou jugé utile par telle personne et non par telle autre. Ceci conduit à la question de la représentativité des sujets dans les expériences. Toujours en nombre réduit pour des raisons pratiques et économiques, les échantillons expérimentaux sont donc faiblement représentatifs des populations auxquelles ils se réfèrent et dont ils sont censés être l'image.

Nous passons en revue, par critères, les points analysés dans les chapitres précédents.

7.1. L'utilité des systèmes GIBUS, VISEE et CIVIS

Nous savons que l'utilité d'un système se mesure tant par rapport au but visé que par rapport à la cible de l'utilisateur. Il faut donc juger l'utilité du système en réfléchissant aux questions "ce système d'aide pour qui ? pour quoi ? quand ?" et à quelles conditions ? Pour l'ensemble des trois systèmes étudiés, nous savons que le but visé par les concepteurs n'était pas forcément celui qui était souhaité par les opérateurs ou encore celui tenant compte de leurs particularités et besoins pour une conduite correctement assistée. Nous savons que ces systèmes ont été conçus avant tout pour favoriser l'accessibilité des voyageurs, sans considérer, dans un premier temps, les besoins des conducteurs pour la tâche d'accostage. Ces besoins ont été appréhendés tardivement, à partir de l'année 1994, alors que les études axées principalement sur l'objectif d'accessibilité (voire également sur l'opinion de certains conducteurs) ont débuté dès les années 80.

L'utilité des trois systèmes d'aide à l'accostage analysés peut s'évaluer en termes de diminution de charge physique et de diminution de charge mentale, ces deux points conduisant habituellement à de meilleures performances.

Diminution de la charge physique

Si l'on considère la forme d'arrêt à l'accostage "en ligne", la diminution de la charge physique est surtout liée aux recommandations pour les aménagements d'arrêts que nous avons formulées. Ces aménagements demandés permettent de réduire fortement l'amplitude des mouvements sur le volant - à gauche et à droite - ainsi que la force musculaire requise pendant la manœuvre d'accostage.

Pour les autres types d'arrêts en alvéoles et en saillie, la charge physique sera diminuée seulement lors de l'utilisation de systèmes de guidage semi-automatiques (VISEE et CIVIS) qui vont se substituer à l'opérateur pour la partie de la tâche qui requiert mouvements et force musculaire afin de diriger l'autobus vers l'arrêt. Par contre, la charge physique ne sera pas réduite pour le système GIBUS qui est un simple système d'information embarqué d'aide à l'accostage.

En conclusion, sur le critère de la charge physique, les systèmes d'aide utiles sont les systèmes de guidage à l'accostage, VISEE et CIVIS. Il faut encore insister sur le fait que de simples aménagements des arrêts en ligne sont un gain indéniablement utile pour les opérateurs, surtout sur ce critère de charge physique de travail.

Diminution de la charge cognitive

L'évaluation du prototype Petit GIBUS (§ 4.3) montrait déjà les réserves émises à l'encontre de ce système quant à une non-atténuation de la charge cognitive de l'opérateur. L'information à traiter sur le système ne peut pas l'être en phase finale d'accostage du fait que l'attention du conducteur est requise par des questions de sécurité de voyageurs sur le quai. S'il doit surveiller les voyageurs, le conducteur ne peut alors, à cet instant précis, prélever l'information qui lui donne la mesure de son approche au quai. Il utilise donc GIBUS comme un moyen de vérification "après coup", mais non comme une aide réelle pendant la phase finale d'accostage, ce pourquoi il était conçu. Les études qui suivront (§ 4.6 et 4.7) confirment les réserves émises quant à la charge cognitive : d'une part, le temps de prélèvement de l'information nécessaire est trop long, même dans le meilleur des cas (1,5 secondes quand le système est positionné vers le rétroviseur droit) et d'autre part, le détournement de l'attention du conducteur pendant ce temps ne permet pas d'assurer les tâches de surveillance des

piétons, ce qui n'est pas acceptable et rendrait le système dangereux si les opérateurs l'utilisaient. Enfin, le traitement d'informations supplémentaires à prélever sur le système (en phase finale plutôt qu'en phase de pré-accostage) montre que la charge cognitive n'est pas diminuée pour GIBUS (tant pour la version exposée au § 4.6 que celle du § 4.7), bien au contraire. Ceci n'est pas admissible tant pour la sécurité des voyageurs que pour celles des matériels et des opérateurs. Le nombre réduit d'utilisation du système lors des tests en situation réelle (malgré les adaptations successives que nous ayons pu faire) corrobore les difficultés rencontrées. GIBUS n'est donc pas de réelle utilité pour diminuer la charge cognitive du conducteur au moment souhaité. Son utilité serait éventuellement justifiée pour l'accessibilité des voyageurs.

Par ailleurs, concernant la charge cognitive relative à VISEE et CIVIS, les modèles de l'activité d'accostage des opérateurs établis au cours des différentes études, tout d'abord sans système en situation réelle de conduite (§ 3.1), puis pour le système VISEE lors des essais (§ 5.6) sont de bons indicateurs permettant de juger de cette charge. Tant les premiers essais à la Valbonne (§ 5.6) que ceux qui ont permis la mise au point du modèle avec VISEE (§ 5.7) en site semi-ouvert montrent que le comportement du conducteur par rapport au modèle initial est modifié : la charge cognitive a indéniablement augmentée mais elle va être répartie différemment, reportée en phase de pré accostage, ce qui la rendra plus réalisable pour l'opérateur. Les vérifications faites sur le prototype VISEE testé en site ouvert (§ 5.6.3) le confirment : après une période d'appropriation, la tâche d'accostage devient, semble-t-il, assez automatisée (routine) et réduit substantiellement la charge de travail de l'opérateur. Le système ne conduit à aucun rejet de la part des conducteurs, ils l'apprécient car il les décharge de la gestion de la distance du bus par rapport au quai et leur permet de mieux surveiller le trafic piétons et véhicules.

Les études sur CIVIS (chapitre 6) ont confirmé cette analyse. Même si globalement la charge a augmenté, elle est mieux répartie et plus facile à gérer après entraînement à la nouvelle situation de travail. On peut simplement conclure qu'avec ce système d'aide, la charge cognitive est mieux adaptée à leur besoins. De ce fait, le bénéfice du système apparaît.

On pourrait répondre a priori "oui" à la question de l'utilité intrinsèque des systèmes d'aide à l'accostage. Néanmoins, si cette utilité semble démontrée pour les systèmes VISEE et CIVIS, systèmes de guidage à l'accostage semi-automatiques, il n'en est pas de même pour le système GIBUS car celui-ci n'aide pas les conducteurs en situation d'accostage. Ils l'utilisent de fait après coup, pour vérification de leurs résultats, ce qui n'était pas le but visé.

7.2. L'utilisabilité des systèmes GIBUS, VISEE et CIVIS

Un certain nombre de sous-critères définissent "l'utilisabilité", autrement dit la facilité d'utilisation d'un système d'aide. Nous les passons en revue ci-dessous pour les trois systèmes étudiés :

- **La facilité** à utiliser un système du fait de son adaptation aux caractéristiques du conducteur. Le système apparaît comme élémentaire à mettre en œuvre, à s'en servir et à apprendre.

Si VISEE et CIVIS (surtout la dernière version) peuvent être qualifiés de "faciles d'utilisation", il n'en est pas de même pour GIBUS (tant la version B que la C). En effet, GIBUS peut paraître d'emblée comme facile et à mettre en œuvre (la tâche à réaliser) mais de fait, il n'est pas aisé de s'en servir pendant la phase finale de l'accostage, quand la densité de trafic est forte et que la présence de nombreux usagers sur le trottoir nécessite une forte attention. Il est par ailleurs difficile de s'approprier le système c'est-à-dire de l'intégrer complètement dans ses modes opératoires. La facilité d'utilisation de GIBUS est mise en

défaut par l'existence parallèle de deux tâches visuelles (double tâche) lors de la phase finale d'accostage : surveiller les piétons sur le trottoir et lire les informations relatives à la lacune sur GIBUS. Les capacités sensorielles étant limitées, l'opérateur n'arrive pas à accomplir ces deux missions visuelles au même instant. Il aurait soit fallu préconiser l'exécution de la deuxième tâche pendant la phase de pré-accostage, soit utiliser un autre canal sensoriel (tactile par exemple) pour l'information "distance du trottoir".

Par contre, la facilité d'utilisation de VISEE et CIVIS semble démontrée par les différents essais qui ont eu lieu au cours des dernières études. Typiquement, sur cette question, la satisfaction des opérateurs peut être un bon indicateur, mais celui-ci ne se suffit pas en lui-même, il doit être complété par une analyse détaillée. Si les échos très favorables des conducteurs actuels du système CIVIS en essais à ROUEN tendent à confirmer sa facilité d'utilisation, ce critère est resté l'une de nos préoccupations tout au long des études, même lorsque l'interface VISEE livrée n'était encore pas aisée à utiliser. Elle l'est devenue rapidement car toutes les remarques et recommandations (emplacement et taille des voyants et commandes, dynamique de l'animation, respect des enchaînements d'actions et modes opératoires) pour l'améliorer ont été prises en compte, sauf une : le système de rétrovision. Pour celui-ci, prévu seulement sur certaines versions de CIVIS non encore testées et vendues actuellement, les zones d'implantation du sous-système lui-même sur le tableau de bord n'ont pu être respectées. Nous savons que le conducteur ne pourra pas lire correctement et rapidement les informations à prélever sans détournement du regard. A nos yeux, ce sous-système ne sera pas facile à utiliser, il sera même dangereux.

- **L'accessibilité du système ou sa visibilité** permet de montrer qu'il doit exister une bonne relation entre les buts et besoins du pilote et les fonctions disponibles, entre les commandes de l'interface et leurs effets (Norman, 1986). Pour VISEE, l'accessibilité des commandes n'avait pas été travaillée suffisamment sur le prototype proposé par les ingénieurs : les résultats de l'étude du site fermé de Mortefontaine (5.4) concernant les différentes parties de l'interface (emplacement et codification des différents voyants, bouton ON/OFF, vibration V2) le démontrent. Après les essais sur les sites de La Valbonne et Grenoble (5.6), on a pu affiner les remarques et préciser les recommandations pour avoir une meilleure accessibilité des commandes. Par exemple, à ce stade de l'étude, on sait donner des recommandations (voir 5.8 : suggestions d'amélioration de l'interface) pour l'accessibilité des diverses commandes, mais on précise également par quel canal sensoriel les redonder car les besoins du conducteur ont été préalablement analysés. Ces commandes ont été étudiées de nouveau au cours des études CIVIS (chapitre 6), notamment par l'apport des études d'activités de référence (le tramway) et ce, en fonction de prédictions de scénarios de l'activité future possible avec le nouveau système d'aide. De nouveaux critères d'implantation sur le tableau de bord seront ainsi définis (règles de visibilité, de priorité et d'urgence). Cette fois-ci, les recommandations pour les interfaces du tableau de bord et du système (6.6) se font sous-système par sous-système, pour que chacun soit en cohérence avec les autres et permettent de meilleures interactions entre le conducteur et son système.

Pour GIBUS, l'accessibilité a été rendue maximale dans la version C du système (4.7) : on l'a placé près du rétroviseur droit, c'est-à-dire à l'endroit où la plupart des regards des conducteurs convergent en fin d'accostage, ce qui évitait une fixation supplémentaire. On a pareillement simplifié la tâche de lecture de l'information, restituée sous la forme d'affichage "d'un résultat de la lacune" et non plus une représentation dynamique de la progression du bus vers le trottoir pour que la tâche devienne plus simple et plus rapide. Néanmoins, cette meilleure accessibilité n'a pas été suffisante à cause de la charge cognitive engendrée par l'activité : les passagers détournaient l'attention du conducteur à un moment crucial du déroulement du processus de lecture de l'interface. Ainsi, GIBUS ne paraît pas suffisamment

accessible. Il est probable qu'une version avec vibration au volant pour prévenir d'une lacune très proche aurait été préférable. Le conducteur aurait ainsi pu continuer la surveillance visuelle du trottoir (qui est la tâche première de l'opérateur à cet instant) pendant la phase d'accostage final.

- **La lisibilité** : Celle-ci survient après le processus mental de visibilité de l'information. La lisibilité consiste en l'identification précise d'un message ou symbole quelle que soit la modalité sensorielle utilisée (auditive, visuelle, tactile). La présentation des informations doit satisfaire des critères de bonne perception (taille, choix de couleurs, choix des icônes). Les guides d'ergonomie utilisés notamment par les ingénieurs sont très clairs sur la question. Nous avons prêté une attention soutenue (voir § 4.7, 4.8, 5.6 et 6.6) à ce sujet pour les trois systèmes étudiés même si, au départ, la lisibilité de chacun n'était pas optimale. Elle l'est devenue pour CIVIS et GIBUS sans que pour autant le système GIBUS soit utilisable.

- **L'attention** : l'attention est une tâche de vigilance pendant laquelle l'opérateur surveille un objet ou un point précis. Sont incluses dans cette surveillance l'inspection et la détection d'un signal. Selon le type de tâche, on peut avoir une attention "active" ou une attention "passive". L'attention active conditionne l'anticipation du conducteur, elle est forcément contrôlée par l'opérateur. L'attention passive est guidée par les événements extérieurs ou l'environnement, C'est un processus complètement automatisé chez l'opérateur. En ergonomie, on peut parler des exigences de l'attention et des erreurs dites d'inattention. Celles-ci sont parfois liées aux taux élevés d'occupation de l'opérateur à une autre tâche, point qui nous intéresse tout particulièrement puisque c'est le cas recensé dans nos études de systèmes d'aide. Dans ce cadre, l'opérateur est contraint de prendre en charge plus de tâches que le temps dont il dispose ne lui permet. De ce fait, on parle alors d'indisponibilité sensorielle pour l'accomplissement de la nouvelle tâche. On peut en déduire que, pour l'activité de conduite avec système d'aide, il faut vérifier que l'attention à l'activité principale sera toujours suffisante. Les paramètres à passer en revue sont la localisation dans le champ de travail, l'intensité des alarmes (quelle que soit la modalité sensorielle utilisée : auditive, visuelle, tactile) et la saillance. Pour les systèmes d'aide qui nous concernent, la question de l'attention est principalement focalisée sur la modalité visuelle, un des remèdes possibles étant de veiller à libérer l'attention visuelle du conducteur au bon moment (en phase finale d'accostage, pour la surveillance du quai et non celle du système).

Pour les systèmes VISEE (chapitre 5) et CIVIS (chapitre 6), les concepteurs ont suivi très tôt nos recommandations. Cela a favorisé une utilisation des systèmes d'aide en phase de pré-accostage, c'est-à-dire au bon moment.

Par contre, pour le système GIBUS (4.6, 4.7 et 4.8), la question a subsisté bien que le modèle de base de l'activité des conducteurs (3.1), nous avait permis d'émettre des réserves quant à l'utilisation d'un système d'aide en phase finale d'accostage. En effet, la charge de travail apparaissait comme déjà forte au cours de cette dernière phase (pour l'ensemble des types d'arrêts). Ajouter une tâche secondaire visuelle (information supplémentaire à traiter, et qui plus est, en vision centrale ; temps de prélèvement augmenté) dans le cas de GIBUS, devait en fait obliger le conducteur à travailler en "attention partagée", ce qui nous semblait néfaste du fait que la première tâche était une tâche de sécurité. Les tâches de sécurité requièrent en général une forte attention visuelle d'autant plus que les signaux à percevoir sont imprévisibles et peuvent surgir à tout instant. Les études GIBUS qui ont suivi, tant avec un système implanté sur le tableau de bord central que vers le rétroviseur droit ont montré que l'attention portée à la tâche de surveillance des voyageurs sur le quai était prioritaire. Ainsi, nous avons montré que peu de fixations oculaires étaient réalisées sur GIBUS. Ces résultats dévoilent que, sur cette phase finale, les opérateurs ne parviennent pas ou peu à détourner leur

attention de la tâche de sécurité. Ils réussissent de fait à utiliser GIBUS dans les moments de faible affluence sur le trottoir et de faible trafic. Le temps de détournement du regard, même dans le cas le plus favorable (quand le système est situé vers le rétroviseur droit), est d'environ 1,5 seconde, ce qui est trop long pour permettre une surveillance correcte et non dangereuse. Les conducteurs évitent donc de détourner leur attention, avec intelligence, dans le dessein de ne pas prendre de risque inutile.

L'attention relative aux modalités auditives et tactiles est un paramètre dont il a également fallu tenir compte pour les systèmes VISEE et CIVIS. Des solutions avaient été implantées sur les deux systèmes. Nous les avons testées par le biais de scénarios considérant la situation nominale de conduite et divers scénarios incidentels mettant en cause l'utilisation de ces différents moyens d'information auprès de l'opérateur. L'analyse détaillée des situations (5.6.2, 5.6.3 et 6.6) a conduit aux constats suivants : certaines informations se suffisent en elles-mêmes dans certains cas alors que pour d'autres, il serait nécessaire, voire impératif, de les "redonder" par un autre canal sensoriel. C'est cette l'analyse "par scénarios" qui a permis de balayer l'ensemble des possibilités et ainsi, de prévoir les bonnes réponses d'interfaces :

- Pour les informations kinesthésiques (au nombre de trois : vibration du volant, raideur, souplesse), on s'est aperçu que, si la deuxième et la troisième étaient bien perçues, la première l'était insuffisamment, probablement du fait d'un mauvais choix de sa valeur physique, mais surtout car il s'agissait d'une information dite ponctuelle que le conducteur peut, par défaut d'attention, rater. Pour être certain que l'opérateur soit bien prévenu (dans certaines situations limites), il a donc été nécessaire de la "redonder" par une autre information de confirmation. La troisième information (souplesse du volant qui stipule le décrochage de VISEE), quoique bien perçue, devra également être "redondée" (par un signal d'alerte) dans l'éventualité où le conducteur serait inattentif momentanément et ne réagirait pas.
- À propos de la modalité auditive, deux informations sonores seront transmises au conducteur. Un bip court (1 seconde) s'active quand la vitesse du bus dépasse la vitesse limite supérieure d'accrochage et dans le cas où le conducteur reprend la main pour confirmer son action. Nous critiquons le fait de donner deux informations différentes pour un même signal car cela entraîne des confusions. Par ailleurs, le niveau sonore de ce bip s'avère trop discret pour attirer l'attention de l'opérateur. La deuxième information est un bip long (3 secondes) émis lors du passage de VISEE en mode défaut. Ce signal d'alerte est très bien perçu et conduit sans ambiguïté à une prise en charge de l'accostage par le conducteur. Pour éviter les surcharges sensorielles, mais néanmoins envisager l'ensemble des situations, nous établissons le choix de redondance de certains signaux par le biais d'un autre canal sensoriel, selon les capacités de l'individu, mais aussi selon ses représentations mentales de la situation que nous avons extraites par l'analyse des verbalisations de l'opérateur, en fonction des contraintes situationnelles. Ces différentes analyses ont abouti à proposer des recommandations qui ont testé le critère "attention des conducteurs" pour être appliquées lors de la conception du système CIVIS. Enfin, concernant les informations sonores CIVIS, par exemple celle liée au bip court, on recommande une intensité comprise entre 50dB(A) et 90 dB(A) si l'on souhaite que les opérateurs les détectent correctement, à condition qu'elle soit couplée au bruit de fond environnant. Pour chacun des signaux, nous préconisons que les fréquences doivent être différentes afin de bien attirer l'attention et nous préconisons qu'il ne faut pas utiliser des fréquences pures pour éviter les effets de masque.

- **Le relevé des processus cognitifs** : sur le plan cognitif, on essaie de donner à l'opérateur la possibilité de bien prélever et traiter l'information dans le dessein d'éviter une surcharge

cognitive et d'être efficace. Les méthodes utilisées pour observer les différents processus cognitifs nous semblent essentielles. L'analyse des raisonnements est l'une des méthodes d'extraction des connaissances dont on se sert en complément de l'analyse des verbalisations. Ces méthodes permettent de connaître finement ce qui guide les opérateurs dans leurs prises d'information, anticipation, choix de stratégies et actions. On insiste ensuite, pour la conception, sur le fait que la logique d'utilisation des aides doit correspondre à la logique de travail de l'opérateur (Spérandio, 2001) plutôt que de respecter la logique du système, culture souvent véhiculée par les ingénieurs ou les informaticiens qui conçoivent les systèmes. Ce sage principe est néanmoins parfois difficile à appliquer du fait de la variabilité des individus, donc des logiques de travail parfois contradictoires, et de la variété des situations. Nous soulignons alors tout l'intérêt d'un modèle de l'activité (tant cognitive que physiologique et psychologique) des opérateurs pour mieux comprendre l'activité et ainsi mieux concevoir. L'objectif est de ne pas aboutir à des systèmes d'aides inadaptés à nombre d'utilisateurs ou à nombre de situations. C'est pourquoi, nous pensons qu'une démarche telle que la nôtre, bien que coûteuse en temps, qui développe un modèle de l'activité permettant de se rapprocher d'une grande variabilité des individus et des situations, peut être productive pour une bonne conception. En alliant cette démarche à l'utilisation d'expériences par scénarios des situations possibles (tant nominales qu'incidentelles) et ce, tant par des méthodes descriptives de l'activité réelle que par des scénarios expérimentaux puis par une méthode prédictive des situations futures possibles, nous pensons pouvoir appréhender finement les stratégies d'utilisation des opérateurs et leurs limites personnelles pour ainsi mieux concevoir. L'une des difficultés principales réside dans le fait que, pour une population hétérogène, ce concept peut difficilement servir de guide "prescriptif" aux concepteurs, sauf de le conjurer par les différentes méthodologies que nous avons utilisées et qui sont, certes, onéreuses en temps. Typiquement, dans les études réalisées, nous avons montré que, pour réussir et contribuer à l'utilisabilité des systèmes, les opérateurs doivent (pour des raisons de coûts cognitifs et physiologiques) utiliser les systèmes d'aide d'accostage et de guidage pendant la phase de pré-accostage (VISEE et CIVIS) mais non pendant la phase d'accostage final. Nous montrons en fait que les opérations liées à cette phase finale doivent être anticipées cognitivement pour l'opérateur et techniquement pour le système automatique qui est alors "esclave" de l'homme.

- **L'opacité et "l'affordance"** sont deux critères opposés qui font partie de l'utilisabilité d'une aide. Ceux-ci sont souvent nécessaires, bien qu'au premier abord, antinomiques. L'opacité est le caractère de ce qui ne peut pas être compris. Elle est liée à un manque de transparence, parfois bénéfique pendant l'utilisation d'une aide (ne pas encombrer l'opérateur). Au contraire, "l'affordance" d'un système est sa capacité à être immédiatement compris et décodé dès le début de l'utilisation. Un certain nombre de système ne sont pas "affordants" sur certaines fonctions élémentaires qui pourraient être traduites beaucoup plus simplement qu'elles ne le sont, ce qui simplifierait la tâche de l'opérateur. Par exemple, pour CIVIS, nous avons amélioré et modifié certaines parties du système VISEE dans l'objectif qu'il soit aisément compréhensible : la dynamique du voyant sur l'état de fonctionnement et dysfonctionnement du système est revue, car faire s'éteindre ce fameux voyant quand le système n'est plus activé peut être peu compréhensible pour le conducteur qui a besoin d'être véritablement informé que le système est désactivé : son attention doit être attirée par un signal visuel facilement détectable (par exemple le voyant qui clignote ou passe à l'orange, plutôt qu'un non-signal (le voyant s'éteint) afin que le système soit alors aisément compréhensible. Par ailleurs, l'opacité de parties du système est souvent nécessaire car elle permet de soulager une tâche à certains moments, particulièrement quand celle-ci est déjà très captivante. Ainsi, provoquer un manque de transparence du système : maintenir à son insu l'opérateur dans l'ignorance de son activation ou faire en sorte qu'il ne comprenne pas ce qui se passe, donc avoir un

fonctionnement en "boîte noire", est inévitable et éventuellement salutaire à certains niveaux de complexité du système. Par contre, il ne faut pas activer une aide sans que l'opérateur en soit informé (bien que l'on puisse admettre des déclenchements automatiques sur certains événements) ou une collaboration imposée (non intelligible pour lui) car il risquerait de ne pas pouvoir la maîtriser, ce qui serait dangereux pour tous. Dans ces deux derniers cas, l'opérateur ne contrôle plus vraiment la situation et ne ferait plus la différence entre les situations où il serait aidé et celles où il ne le serait pas. Il faut donc veiller à la rendre visible, lisible quand il le faut et compréhensible. Nous notons un contre-exemple flagrant d'"affordance" sur l'application GIBUS qu'il a, finalement fallu abandonné : la représentation à l'écran du bus se rapprochant du trottoir était très "affordante" mais néanmoins trop coûteuse en temps de traitement et en détournement du regard qui doit être consacré, à ce moment-là, à la surveillance des piétons plutôt qu'à la consultation d'un écran.

En conclusion, on peut penser que la facilité d'utilisation est réelle pour les systèmes VISEE et CIVIS. Elle n'est par contre pas démontrée pour le système GIBUS.

7.3. L'efficacité des systèmes GIBUS, VISEE et CIVIS

L'efficacité d'un système se mesure en termes de buts atteints pour l'opérateur, de temps gagné, d'erreurs évitées, de charge de travail diminuée et de confort. Elle dépend en grande partie de l'utilisabilité, mais pas seulement. Elle dépend de son adéquation à la tâche et au contexte.

Si l'on considère le critère des buts atteints pour l'opérateur, le système GIBUS n'est pas efficace car l'opérateur ne peut utiliser correctement son système tout en se consacrant à la tâche de conduite et plus particulièrement à celle d'accostage. En effet, pour vérifier la précision de son accostage, il est obligé d'affecter trop d'attention et de temps à la surveillance de l'écran pendant la phase finale. Pour autant, l'opérateur ne gagne pas de temps en utilisant GIBUS, il n'évite pas d'erreurs, au contraire, il peut même en commettre s'il utilise le système au lieu de privilégier la sécurité. Sa charge de travail est de fait augmentée en phase finale d'accostage alors qu'il aurait fallu la diminuer en ce point précis (voir § 4.6 et 4.7 et les tableaux de synthèse en annexe : nombre de fixations oculaires et temps de fixation sur le système). La question du confort est relative : pour les accostages "sans danger", du fait d'un nombre peu élevé de piétons à l'arrêt, le confort (passagers et conducteur) pourrait être augmenté par l'utilisation de GIBUS. Par contre, pour les accostages "à risques", la manœuvre d'accostage serait moins confortable pour le conducteur et les passagers risquent de sentir des secousses liées au freinage

Les systèmes VISEE et CIVIS sont des systèmes efficaces, sauf peut-être, dans le cas de situations dangereuses si elles existent, qui feront l'objet du paragraphe suivant. Grâce au système d'aide, le conducteur atteindra mieux son objectif d'amélioration de l'accostage (accessibilité). Il n'est cependant pas certain que le conducteur gagne du temps sur un "tour", mais les tours seront plus réguliers donc plus confortables (moins de gestes brusques et d'énervement). Pour les passagers, le confort d'une meilleure lacune est évident. Pour le conducteur, la notion de confort est réelle car il effectuera moins de manœuvres "avant-bras" sur le volant. La charge physique sera donc diminuée et par conséquent, son confort sera meilleur. Par ailleurs, ces deux systèmes nécessitant un freinage "en amont" de la zone de pré-accostage, la vitesse relative du véhicule sera moins élevée tout au long de l'accostage, ce qui ne peut qu'améliorer le confort pour tous. Enfin, le poste CIVIS sera confortable d'utilisation pour le conducteur à condition que l'option "écrans de rétrovision" ne soit pas installée. En

conclusion, on peut considérer que la charge de travail n'est pas globalement diminuée mais mieux répartie, ce qui plaît indéniablement aux conducteurs, leur facilite la tâche et rend le système efficace.

7.4. La non-dangerosité des systèmes GIBUS, VISEE et CIVIS

Le danger dépend, entre autres, des conséquences du type d'aide apportée à l'opérateur. Il y a danger quand une opération malvenue est induite par le système. En conduite de véhicules, certains dangers sont spécifiquement liés à la conduite du véhicule et peuvent interférer avec ceux liés au système. On dénombre plusieurs espèces de dangers liés aux systèmes d'assistance à l'opérateur. Il peut s'agir d'un conseil ou d'un ordre inapproprié donné par le système d'aide, d'une action-système qui retarde un opérateur pressé ou qui "plante" le système. Il peut encore s'agir d'un système qui effectue un diagnostic erroné, qui focalise l'attention visuelle ou qui n'est pas suffisamment sous le contrôle de l'opérateur. Dans ce domaine plus que tout autre, il est donc impératif de veiller au critère de non-dangerosité.

La dangerosité du système GIBUS a été montrée en partie lors des diverses expériences que nous avons menées pour la conception de ce système, même si les conducteurs ont tout mis en œuvre pour l'éviter :

- tout d'abord, l'analyse de l'activité de référence, sans système, nous a permis de montrer que celui-ci risquait d'être difficile à maîtriser en phase finale d'accostage car fournissant une information sollicitant trop l'attention visuelle du conducteur pendant la dernière phase.
- Dès les premières études, nos prédictions semblent confirmées : "L'information est fournie dans la phase d'accostage proprement dit, au moment où le conducteur doit privilégier les tâches de sécurité. Ainsi, il apparaît que la charge de travail des conducteurs est parfois limite et que le détournement de l'attention est dangereux.
- Il faut attendre les phases d'expériences avec GIBUS placé soit sur le tableau de bord, soit vers le rétroviseur droit pour confirmer la dangerosité de ce système bien que les chauffeurs y pallient. Ils font très peu de fixations oculaires sur le système dans le but de garantir la sécurité des voyageurs sur le quai. Il est intéressant de remarquer que, les opérateurs restent maîtres de la situation, c'est-à-dire qu'ils privilégient la sécurité avant tout. Nos observations et leurs commentaires convergent pour indiquer qu'à chaque situation dangereuse, les conducteurs privilégient la surveillance des passagers sur le trottoir plutôt que d'utiliser un système d'aide qui détourne leur attention au cours d'un moment inopportun. Ainsi, aucune situation dangereuse n'est réellement enregistrée mais c'est la possibilité qu'elles le soient qui fait agir les opérateurs différemment : ils n'utilisent pas le système pour éviter le danger. On peut en conclure que l'homme est raisonnable et l'aide inadaptée. Le projet GIBUS sera abandonné à la fin de ces différentes études.

Si l'on se réfère aux études réalisées, les systèmes VISEE et CIVIS ne semblent pas, a priori, dangereux. Les situations expérimentales de VISEE sur site fermé puis ouvert semblent le montrer : les tâches sont mieux réparties et rapidement intégrées, il n'y a pas de rejet de la part des conducteurs. Néanmoins, nous atténuerons ces affirmations car nous n'avons pas eu l'opportunité d'assister aux études "sécurité" du système ni aux essais sur site réel à Rouen, avant la mise en service. De fait, nous n'avons pu valider un certain nombre de recommandations que nous avons faites ni vérifier les réserves que nous avons formulées à l'époque. Ainsi, nous les rappelons ci-dessous :

- Nous pensons que la vitesse maximale à respecter pour conduire en sécurité sur une voie "en ligne" lors de l'accostage est située entre 30 et 35 km/h. Une consigne devra imposer cette vitesse limite mais que se passera-t-il si celle-ci est fortement dépassée par un chauffeur qui tente de rattraper son retard ?
- Bien que toutes les précautions aient été prises dans nos recommandations concernant l'interface afin de ne pas surcharger inutilement le conducteur et de toujours l'informer de situations nouvelles en redondant l'information par un autre canal sensoriel de manière à être efficace, des erreurs peuvent être commises du fait d'inattention ou de fatigue des conducteurs. Des scénarios "limites" sont nécessaires à cet égard et une observation sur site réelle avec CIVIS devrait être réalisée pour mieux appréhender ces situations.
- Une situation de perte de ligne de référence entraînant une perte de guidage dans une courbe peut entraîner une déviation importante de la trajectoire, notamment si le véhicule roule à plus de 30 km/h. Rappelons que dans cette situation, le conducteur ne pourra pas planifier la reprise en main puisqu'il ne peut pas prédire à l'avance la situation (par exemple, marquage défectueux), sauf si on lui indique par un signal complémentaire (niveaux d'alerte du conducteur que nous avons recommandés). Par conséquent, on peut envisager la possibilité que le conducteur mette 1 seconde à reprendre la main, et que le véhicule dévie vers l'extérieur de la courbe durant cette seconde. Or nous savons qu'à 30 Km/h, en une seconde, le bus parcourt plus de 8 mètres.
- L'entraînement et la formation aux situations "à hauts risques" nous semblent impératifs pour une bonne maîtrise du système. Il faut les rendre obligatoires à tout nouveau conducteur du système CIVIS sous peine d'incidents ou d'accidents. Nous pensons que ce type de système nécessite une formation sur piste d'essais ou sur simulateur.
- La question de la distance de guidage semble avoir été résolue par "les essais Sécurité". Dans le cas contraire, nos remarques (§ 5.5.3, § 6.6.a et § 6.7) sont à considérer.
- Nous ne connaissons pas, à ce jour, quelles consignes de lacune ont finalement été appliquées au système. D'après nos essais (§ 5.6.1 et 5.6.3), la recommandation officielle de 8 cm (+ ou - 2 cm) n'est pas totalement validée puisque nous avons repéré qu'une consigne de lacune de 13 cm permettait une activité de récupération sans difficulté pour l'homme, mais pas en dessous.
- Les situations où le conducteur pourrait rencontrer un obstacle "de dernière minute" sur la voie, scénario 16 (§ 5.6.1.) au niveau du point d'accrochage du système doivent également être testées en situation réelle pour confirmer les types de réaction en situation d'urgence.
- Certaines recommandations liées aux écrans de rétrovision (en option sur CIVIS) n'ont pu être respectées pour des raisons techniques. La forme standard du tableau de bord finalement retenu ne permet pas la bonne implantation des écrans de rétrovision : trop bas et trop écarté de chaque côté, ce qui va entraîner un détournement du regard du conducteur, qui ne pourra plus surveiller correctement la route. Cette implantation n'est pas acceptable pour les activités de conduite. Le prototype avec "rétrovision" ne doit pas, à notre avis, être vendu en l'état car il est dangereux.

N'ayant pas assisté à ces dernières études sur le système CIVIS, nous ne pouvons, à ce jour, conclure sur la non dangerosité du système, le faire serait être présomptueux.

7.5. La fiabilité des systèmes GIBUS, VISEE et CIVIS

Pour la fiabilité des systèmes, on peut considérer deux points de vue, celui de la fiabilité au sens restreint (niveau purement technique qui comprend les défaillances du système) et celui de la fiabilité au sens large, qui inclus le niveau organisationnel et humain. Les capacités de confiance dans le système, d'anticipation, de prévention, d'intervention humaine dans les situations non prévues, qui sont l'expression des compétences de l'homme, représentent des composantes centrales de la fiabilité humaine.

Pour le système GIBUS, la question de la fiabilité technique du système s'est posée une seule fois lors de nos essais, avec le système (§ 4.6) qui restituait une image de la progression du bus vers le trottoir. Il n'y a pas eu d'incident car les conducteurs, ayant peu confiance dans l'interface, pouvaient ne pas utiliser le système d'information. Il faut par ailleurs insister sur le fait que les conducteurs ont souvent choisi délibérément de ne pas utiliser le système, chaque fois qu'ils jugeaient n'avoir pas suffisamment de temps pour le faire, c'est-à-dire, assez fréquemment. Ce système a été abandonné car difficilement utilisable donc dangereux.

Pour les systèmes VISEE et CIVIS, nous avons étudié, au cours des essais VISEE par scénarios expérimentaux, un nombre important de situations où la fiabilité pouvait être défaillante et pouvait conséquemment être dangereuse pour les hommes. Il est ressorti de ses études que des sujets bien entraînés pouvaient maîtriser les défaillances testées. Par contre, une mise en garde sur des défaillances relatives à des situations plus risquées (par exemple conduite en courbe, sans visibilité...) a dû être faite lors des études de sécurité CIVIS. N'ayant pas participé à ces dernières, nous ne pouvons, à ce jour émettre un avis sur la question, si ce n'est de rappeler, comme nous l'avons fait au § 7.4. lié à la dangerosité du système, les points qui restaient, d'après nous, à valider. Il nous semble par ailleurs important de rappeler un autre point quant à la fiabilité contextuelle et organisationnelle du système CIVIS, et non à sa seule fiabilité technique. Il faut en effet considérer d'autres situations où le système à proprement parler ne sera pas en panne mais ne sera pas opérationnel car mis soudainement dans l'incapacité d'agir du fait d'un élément du contexte (chaussée très sale ou neige et verglas, piétons sur la voie d'arrêt...). Le danger est latent mais c'est le système organisationnel qui est en cause, pas le système technique lui-même. Là aussi, les scénarios testés sur VISEE ont conduit à demander un complément d'études et de tests sur CIVIS. Des recommandations pour l'interface ont toutefois été énoncées en fonction de ces risques (par exemple, un bip sonore en cas de décrochage du système).

7.6. La satisfaction des opérateurs pour les systèmes GIBUS, VISEE et CIVIS

Ce critère est évidemment important mais il ne faut pas oublier qu'il est lié à l'expérience et à la subjectivité des opérateurs. Leurs opinions peuvent varier selon le contexte social, technique, surtout dans le cadre d'un nouveau système ou selon que l'opinion aura été émise avant ou après une utilisation suffisamment longue du système. On a, en effet, souvent constaté que des systèmes médiocres ont satisfait des opérateurs qui s'en sont accommodés (Spérando, 2001) parce qu'ils n'avaient pas d'autres expériences à comparer. S'en tenir à l'opinion des opérateurs (même si elle est intéressante) doit être fait avec précaution car nous savons que les systèmes innovants nécessitent des changements d'habitudes, changements qui ne sont pas toujours réalisés lors de la consultation des opérateurs. Nous soulignons aussi l'importance de la résistance aux changements, résistance qui peut induire le refus d'un

système qui pourrait s'avérer correct ou intéressant après habitude. Il convient alors de trouver des critères plus objectifs, que l'ergonomie essaie d'apporter par le biais de son analyse. Logiquement, la satisfaction doit être corrélée à l'utilité, l'utilisabilité et à l'efficacité, mais ce n'est pas toujours le cas. A terme, quand ces critères ont été respectés, on constate que la satisfaction des opérateurs s'harmonise avec la qualité technique, quand celle-ci est bien adaptée aux besoins et moyens des hommes qui vont l'utiliser.

Concernant le système GIBUS, les opérateurs se sont exprimés sur leur satisfaction du système à deux reprises, quand le système est placé au centre du tableau de bord (§ 4.6) et lorsqu'il est situé vers le rétroviseur droit (§ 4.7) :

Dans le premier cas, les commentaires sont plutôt critiques, sans pour autant que les opérateurs rejettent le système. Ils en soulignent les défauts, constatent qu'ils ne peuvent l'utiliser que dans certains cas de figure et que celui-ci n'est pas "utile" dans d'autres. Quatre d'entre eux pensent néanmoins qu'il pourrait cependant être amélioré.

Quand le système est situé vers le rétroviseur droit (§ 4.7), les commentaires des conducteurs sont dans l'ensemble plutôt négatifs. Une personne le rejette. Les autres conducteurs en citent les défauts ou les manques. Six personnes soulignent pourtant l'intérêt de l'emplacement du GIBUS phase C, "c'est mieux...". Certains disent leur désintérêt car ils auraient d'autres préoccupations professionnelles plus importantes. Plus de la moitié sont convaincus que GIBUS "est peu utile" depuis que les arrêts en ligne ont été aménagés. Enfin, le dernier point à souligner quant aux commentaires subjectifs, est que la majorité le trouve "plutôt bien placé". Ce point pourrait être un paradoxe puisqu'ils ne l'utilisent pas ou peu mais il reflète bien la difficulté première liée à "l'utilisabilité" du système : le meilleur emplacement a probablement été trouvé mais on ne peut arriver à l'utiliser en permanence au moment où il devrait l'être. Nous concluons que lorsqu'un système n'est pas adapté totalement aux besoins et contraintes physiologiques et mentales de l'opérateur, c'est-à-dire aux critères d'utilisabilité, il a tendance à être rejeté. De plus, il peut éventuellement être dangereux.

Le système VISEE a, lui aussi, fait l'objet de commentaires de la part des opérateurs. Ils sont parfois contradictoires ou doivent être relativisés tels ceux émis lors des premiers essais sur le site de Mortefontaine car étant saisis "à chaud", tout juste après (ou pendant) l'appropriation du système. Après les essais de la Valbonne et de Grenoble, on peut dire que les conducteurs sont satisfaits du système, ils disent l'apprécier car "il les décharge de la gestion de la distance du bus par rapport au quai mais surtout leur permet de mieux surveiller le trafic piétons et les véhicules". Si l'interface leur paraît encore à améliorer, ils sont contents du système qu'ils disent "souple" et avec lequel ils peuvent reprendre la main sans difficulté. Les conducteurs traduisent là ce que l'analyse de "l'utilisabilité" nous révèle. CIVIS, lui, a été conçu avec des spécifications techniques plus précises (qui ont d'ailleurs évolué depuis) dont nous avons tenu compte. Sa mise en service récente (Rouen) a recueilli un bon niveau de satisfaction de la part des conducteurs qui le disent adapté à leurs besoins.

CONCLUSION GENERALE

Diversité des types d'aides

On répertorie une grande diversité de type d'aides pour assister l'Homme (l'Opérateur Humain) et , pour ce qui nous concerne ici, une certaine diversité des aides à la conduite de véhicules. Ces aides visent à pallier certaines limites des capacités physiques ou mentales, à éviter des dysfonctionnements possibles de l'Homme, c'est-à-dire à le protéger contre ses propres erreurs ou à récupérer des erreurs non détectées, ou encore à diminuer sa charge de travail ou sa fatigue. L'étendue des domaines d'application des systèmes d'aide est également vaste. Les contenus, les buts, les utilisateurs, les contextes d'utilisation, les moyens technologiques utilisés sont autant de critères différentiels pour les inventorier.

On distingue, d'une façon générale : les aides palliatives, les aides informatives et les aides coopératives ou collaboratives. Concernant la conduite des véhicules, on distingue les systèmes informatifs, les systèmes d'alerte, les copilote actifs et les copilotes "intelligents" (à ce jour, peu développés). La distinction entre les aides coopératives et « collaboratives », considérée comme essentielle par certains auteurs, est finalement mince. L'étymologie ne nous vient guère en aide, si l'on ose dire, s'agissant dans les deux cas d'une participation à une action commune. Pour nous, il convient de distinguer la collaboration ou la coopération cognitive de l'homme (voir 1.1.6) sur son système qui peut ou non être, lui-même, coopératif. Enfin, on retiendra que certaines aides dégagent l'Homme en prenant en charge une partie du travail à faire alors que d'autres procèdent par une participation conjointe, généralement interactive.

On note dans la littérature dédiée aux systèmes d'aide une évolution de la notion d'aide au cours des dernières décennies. Elle découle directement de rapports différents instaurés entre l'opérateur (l'Homme), l'instrument et l'objet de son activité. L'aide est envisagée comme un intermédiaire entre l'Homme et l'objet de l'activité. Il s'en suit qu'il existe, du fait de l'aide, une tâche principale (liée au but de l'activité) et une tâche secondaire (liée à l'utilisation de l'aide elle-même). Selon le contrôle exercé par l'opérateur à un instant précis, la tâche secondaire peut alors devenir prioritaire, ce qui, dans la dynamique d'une action, atténue la classification que l'on vient d'énoncer. En principe, pour l'opérateur, la charge induite par la tâche secondaire n'a de sens que si elle a une contrepartie positive significative de réduction de la charge liée à la tâche principale ou si elle apporte un gain significatif sur un autre critère. En d'autres termes, l'aide doit aider vraiment, même au prix d'un transfert de charge.

Dans certains cas, l'activité de l'Homme est totalement ou partiellement remplacée par des automatismes. Ces cas n'intéressent pas l'ergonomie, sauf si l'action de ces automatismes interfère avec l'action de l'Homme, ou s'avère dangereuse dans certaines circonstances, ou modifie les rôles et les compétences de l'Homme, etc. Nous nous intéressons ici aux aides qui, automatiques ou déclenchées à dessein, restent cependant sous le contrôle de l'Homme (de l'Opérateur Humain, pour ce qui est des situations de travail). Les nouvelles technologies, qui font un large appel conjointement à l'automatique, l'informatique et l'Intelligence Artificielle, étendent la notion d'aide jusqu'à une coopération cognitive. A cet égard, il nous semble primordial de tenir compte, quel que soit le système d'aide, des niveaux de traitement cognitif de l'information effectués par l'opérateur. Même avec des aides jugées comme étant simples, par exemple des aides simplement "informatives", ou des systèmes semi-

automatiques, différents niveaux d'intelligence (au sens de diagnostics cognitifs divers) peuvent être requis de l'Homme qui les utilise. Et c'est dès la phase de conception de l'outil que "cette forme" d'intelligence humaine doit être intégrée, pour être utile et efficace. Il est évidemment important de connaître les raisonnements et réactions de l'Homme pour que les aides soient adaptées, « compatibles », pour utiliser une terminologie ergonomique.

Les aides à la conduite automobile au travers de la littérature

Les systèmes d'assistance liés à la conduite de véhicules, bien que relevant des mêmes remarques que toute autre forme d'aide, présentent quelques particularités liées aux particularités des tâches de conduite : dangerosité récurrente de la conduite ; activités sensori-motrices diversifiées, en grande partie automatisées par l'entraînement ; importance, pour les activités non automatisées de contrôle et de décision, d'une attention soutenue par un niveau de vigilance élevé ; corollairement, risque élevé d'inattention et de somnolence dans les situations de conduite monotone ; haut niveau d'interaction avec les autres automobilistes, piétons ou usagers de l'espace utilisé. Ces caractéristiques de la conduite automobile et leur incidence sur les conducteurs sont largement connues, ayant fait l'objet d'études nombreuses en ergonomie. En particulier, il ressort que les aides à la conduite, quel que soit leur but et la technologie utilisée, ne doivent jamais accaparer le conducteur au point de le distraire de façon significative de son objectif premier : conduire le véhicule. Ceci leur confère une particularité essentielle qui les distingue d'aides applicables à d'autres domaines où l'attention des opérateurs peut, au contraire, être distraite pendant un temps notable.

La littérature sur le sujet des aides à la conduite est globalement riche et variée, caractérisée par une approche pluridisciplinaire (études d'ingénierie, de psychologie, de sociologie, de physiologie, d'économie et d'ergonomie). Elle est établie sur un grand nombre d'études portant sur des aides de types variés, mais il s'agit d'évaluations de systèmes plus que d'études d'ergonomie de conception. Nous avons fait un inventaire des aides à la conduite (par exemple, Dessaigne et al., 1996), pour les véhicules de particuliers mais également pour les véhicules de transports collectifs et plus particulièrement pour les systèmes pour lesquels nous avons réalisé les études faisant l'objet de cette thèse, c'est-à-dire des systèmes d'aide à l'accostage et au guidage d'autobus du futur. Sur les 169 articles que nous avons répertoriés, environ 150 sont relatifs à des évaluations et seulement 16 à des conceptions.

Très étendue pour les aides aux véhicules de particuliers, la bibliographie est moins riche pour les aides relatives aux transports collectifs. La quantité d'articles de recherche sur les systèmes d'aide pour véhicules collectifs (autobus, tramways) ayant une approche centrée sur l'activité des opérateurs est faible. La plupart des études relatent une approche technique. Nous remarquons que les connaissances sur les méthodes de conception sont encore lacunaires et non suffisamment stabilisées.

Les modèles de l'activité de conduite sont également nombreux mais aucun n'atteint à ce jour une représentativité globale de cette activité et ne peut être utilisé directement pour la conception. Enfin, nous soulignons tout particulièrement le retard quant à la modélisation des "systèmes coopératifs" dans le domaine de la conduite de véhicules par rapport à d'autres domaines, tels que la conduite de processus ou l'aéronautique. Pourtant, quelques chercheurs travaillent actuellement sur la modélisation cognitive (par exemple, Bellet, 1998) et participent à la conception de prototypes. Leur savoir de pointe serait très utile pour les conceptions actuelles, à condition qu'il soit utilisé plus en amont dans les phases de déroulement d'un projet industriel.

Il ressort, pour l'ensemble des aides étudiées dans cette thèse, que les systèmes d'assistance répertoriés sont souvent jugés peu satisfaisants ou partiels, en grande partie parce que les

concepteurs, au démarrage d'un projet, n'envisagent pas toujours l'ensemble de la situation liée à leurs usages. Chez les concepteurs, on pense souvent assister l'Homme en fonction d'objectifs techniques ou commerciaux, parfois ciblés seulement de façon partielle, c'est-à-dire répondant éventuellement bien à un objectif mais ignorant le reste de l'activité. Par exemple, pour les système d'aide à l'accostage, dont le but premier est de permettre de diminuer la lacune existante entre le quai et le véhicule afin de faciliter l'échange et l'accessibilité des passagers, les prescriptions sont établies en termes d'accessibilité plus qu'en termes de capacités et de limites des conducteurs qui doivent accomplir ce travail. Nous soutenons l'idée que, quel que soit le type d'aide, il faut prendre en compte les caractéristiques des conducteurs, caractéristiques d'ailleurs largement différentielles, les caractéristiques de la tâche dans toute son extension, les caractéristiques des contextes d'utilisation, et de se donner le temps d'analyser les Interactions Homme-Machine dans leurs contexte¹³.

Apport de l'ergonomie à la conception

L'apport de l'ergonomie à la conception de systèmes d'aide, quels qu'ils soient, nous semble indéniable. Tout d'abord, le fait que l'ergonomie soit pluridisciplinaire et emprunte des connaissances à plusieurs autres disciplines (ingénierie, physiologie, sciences sociales, psychologie cognitive) lui permet de jouer un rôle généraliste intégrateur, qui est un atout considérable pour concourir dans une équipe projet à la conception et à la validation des systèmes. Cette orientation pluridisciplinaire encourage à trouver des solutions qui intègrent tous les aspects liés au travail de l'Homme, tant ceux cognitifs que sociaux et physiologiques. Ensuite, l'approche des ergonomes est centrée sur « l'Homme en cours de réalisation de son activité située », contrairement à la plupart des concepteurs qui limitent leur « modèle de l'utilisateur » qu'à la seule interaction avec les interfaces du système d'aide. Soit ils ne considèrent que les questions techniques ou commerciales ou bien un seul point de vue (par exemple, pour l'exploitant d'un réseau, l'accessibilité du véhicule par les voyageurs, pour diminuer le temps d'entrée et de sortie), soit ils se soucient peu des avis des utilisateurs ou s'ils s'en soucient, ils les recueillent sous une forme qui n'est pas satisfaisante (interviews subjectives, enquêtes non appropriées auprès d'une population qui ne connaît pas encore le produit projeté et qui ne peut, de fait, l'estimer correctement, ou en se référant à leur seule expérience passée, etc).

Plus neutres vis-à-vis des finalités commerciales du produit, les ergonomes utilisent des méthodologies plus objectives : analyse par observation de l'activité réelle, entretiens de différents types, analyse des verbalisations et raisonnements, expérimentations, etc. Ainsi, l'analyse pratiquée prend en compte l'ensemble des dimensions de la situation de travail, de la tâche et de l'activité réelle, les objectifs des utilisateurs et les conditions de réalisation des tâches. Ainsi, les méthodes des ergonomes permettent d'évaluer quelles parties le système d'aide réalise, ou mieux encore, devrait réaliser, et la part réalisée par l'Homme.

La connaissance des limites et des capacités diverses des individus est un atout certain pour orienter les solutions possibles à envisager ou les recommandations à formuler. Leur approche différentielle permet d'analyser les aspects liés aux Interactions (attendues) entre l'Homme et son système d'assistance (même si celles-ci sont difficiles à appréhender tant que le système n'est pas en état d'être utilisé), puis de faire des recommandations pour le système à venir. Si l'analyse a été suffisamment détaillée et s'est déroulée depuis le démarrage des projets, elle permettra de savoir bien répartir les sous-tâches entre les deux partenaires, l'Homme et l'Aide. Bien entendu, nous soulignons que l'ergonomie ne se limite pas à l'optimisation des

¹³ Le mot "contexte" est utilisé au sens large du terme. Il peut se définir par la situation réelle, expérimentale et également relater l'analyse de situations futures et prédictives.

interfaces des systèmes (qui est, en effet, un problème important), alors que c'est trop souvent l'objet exclusif de la demande et le rôle attendu.

En revanche, il faut retenir, à l'encontre des ergonomes, que leurs méthodologies sont parfois assez lourdes à mettre en œuvre et longues, eu égard aux délais imposés dans les projets ; elles ne sont pas encore toutes "fiabilisées" et peuvent déconcerter les concepteurs de systèmes techniques, qui ne font appel à eux trop souvent qu'en fin de conception ou sur les seules questions d'évaluation des systèmes, pour ne pas dire l'évaluation seulement des interfaces.

On ne peut pas ici détailler la démarche méthodologique de l'ergonomie en conception de projet. On retiendra que l'on peut utiliser, lorsqu'un prototype a déjà été réalisé, les méthodes d'évaluation des systèmes par l'application de critères généraux ou propres à tels types de systèmes (listés en 1.1.10). Cependant, ces évaluations ne constituent qu'un premier dépistage devant être accompagné d'une analyse de l'activité, qui se décline en plusieurs phases (décrites au en 2.5.2). Cette analyse est rendue d'autant plus difficile à accomplir que les systèmes sont innovants et n'existent pas toujours, même sous la forme de prototype. Sous cette forme, l'écart est parfois grand avec le produit final prévu pour une commercialisation. On dispose parfois de « démonstrateurs » qui donnent une certaine idée du produit ultérieur, mais s'en écartent souvent de façon si forte que la valeur de l'évaluation s'en trouve gravement diminuée. Le recours à des situations de "référence" est donc parfois nécessaire (par exemple, l'analyse de l'activité des bus (§ 3.1.1) et celle du tramway (§ 6.4) pour concevoir les "autobus du futur"), mais là encore il faut faire la part des différences.

Une étude bibliographique, dressant l'état de l'art, peut également être engagée mais il faut qu'elle soit bien ciblée. Dans ce cas, elle apportera des éléments sur des situations proches déjà analysées, sur des points précis liés à l'aménagement des interfaces, aux réactions physiologiques de l'Homme dans telle ambiance physique ou psychologique, qu'il faudra relativiser par rapport au contexte rencontré. En soi, une étude bibliographique ou la lecture de recommandations générales ou de normes n'est jamais suffisante.

Nous pensons que l'on peut difficilement faire l'économie d'une partie expérimentale lors d'une conception. Il convient toujours de tester un grand nombre de situations nouvelles et d'éprouver certaines hypothèses sur les comportements attendus lors de l'utilisation du nouveau système. Il faut répertorier au mieux les différents aspects liés à l'activité : l'anticipation des situations, la perception, l'enchaînement des actions, leur synchronisation, les retours d'efforts, le temps restant avant d'agir, l'organisation possible, les aspects sociaux et psychologiques, etc. Par exemple, dans les études qui font l'objet de cette thèse, nous avons établi des modèles descriptifs de l'activité (3.1.1, 5.4.2 et 5.4.) qui ont aidé à clarifier les situations, prédire l'activité future et orienter des recommandations d'aménagement. Ce type d'analyse met également en valeur l'outil méthodologique qu'est l'analyse des raisonnements de l'opérateur en situation de travail. Ceci permet d'élaborer un modèle de l'opérateur plus précis (les raisonnements guident l'action).

L'analyse détaillée de l'Opérateur avec le futur produit implique une analyse systématique de l'activité réelle au moyen de "scénarios de l'activité future". Ceux-ci permettront d'émettre des prédictions sur les comportements futurs. Ces scénarios peuvent être testés par le biais d'un prototype du futur produit, dès que possible dans des situations proches de la réalité ou, à la rigueur, en simulation si cela n'est pas possible en contexte réel ou quasi réel.

Trois situations de conception étudiées

Notre thèse est établie sur la base de notre participation à la conception de trois systèmes d'aides à l'accostage et au guidage de véhicules de transport de passagers. Nous résumons sommairement ci-après pour chacun quel était le but, la méthodologie, quel a été l'apport pour les constructeurs et le gain pour les utilisateurs. Nous rappelons que les conclusions relatives à l'évaluation détaillée des systèmes se trouvent en partie III de cette thèse. Le lecteur pourra y trouver tous les argumentaires concernant l'expertise de ces systèmes.

1) GIBUS

GIBUS est un système d'aide à l'accostage embarqué dans la cabine de conduite ; il délivre au conducteur des informations sur la lacune séparant le bus du trottoir. Cette information visuelle lui est restituée pendant la phase finale d'accostage, c'est-à-dire pendant les quarante derniers mètres avant l'arrêt du véhicule. La méthodologie utilisée a consisté à tester le système (selon deux variantes de positionnement : au milieu du tableau de bord ou proche du rétroviseur) en site ouvert, en situation quasi-réelle (en ligne, dans la circulation, mais sans prendre les voyageurs). En synthèse, les études ont montré que ce système ne peut être considéré comme un véritable système d'aide pour les conducteurs : il est déclaré non utile (§ 4.8) et non utilisable par le conducteur en phase finale d'accostage, il ne lui permet pas d'effectuer un accostage "sécuritaire" en permanence, car il polarise l'attention et la détourne trop longtemps pendant une tâche jugée dangereuse, à un moment où toute son attention doit être dégagée pour surveiller l'affluence sur le quai et les dangers potentiels pour les piétons. Ce système sera de fait abandonné.

Nous avons montré que, parmi les 163 fixations oculaires enregistrées sur GIBUS en phase d'accostage, 61 seulement sont des fixations "pour aide réelle à l'accostage", les autres (102) étant des fixations pour vérification de l'accostage. Parmi les 61 effectuées sur GIBUS, 48 sont réalisées par un conducteur qui abandonnera sa stratégie à la fin des essais, ce qui tend à montrer l'impossibilité de la manœuvre. Neuf conducteurs sur dix abandonneront finalement leur stratégie GIBUS au profit de leur stratégie antérieure.

Nous avons montré qu'utiliser ce système nécessite environ 2 secondes de détournement du regard, ce qui n'est guère acceptable en phase finale d'accostage (voir Discussion et conclusion de l'étude phase B, § 4.6) même en cas de trafic peu important. Les tentatives d'amélioration de l'interface (§ 4.7, version GIBUS C) pour rendre la tâche plus facile ne changent pas les données du problème, même si les résultats des conducteurs semblent légèrement meilleurs.

La conclusion est que la tâche supplémentaire occasionnée par GIBUS est irréalisable ou engendre une gêne inutile par l'ajout inopiné d'information mal située dans le déroulement de l'activité, à un moment jugé trop dangereux. Cette tâche augmente la charge de travail de l'opérateur sans bénéfice en retour.

Ce système trop dangereux doit donc être abandonné. Néanmoins, cette expérience, qui apparaît négative pour le constructeur, a eu le mérite d'augmenter une connaissance du domaine, qui permet de dégager pour l'avenir des pistes de conception pour ce type de système. Il ne faut, en effet, pas conclure trop rapidement à l'inutilisabilité totale d'un système d'accostage sous la forme de système d'information embarqué dans un véhicule. Nous pensons que d'autres pistes de solutions peuvent être envisagées par les industriels qui souhaiteraient développer ce type d'interface (§ 4.8). Par exemple, faire parvenir l'information au conducteur lorsqu'il se situe en zone de pré accostage, comme l'avait déjà suggéré le modèle de 94, ou utiliser un autre canal sensoriel, par exemple le canal kinesthésique, car celui-ci favoriserait

en parallèle l'attention visuelle du conducteur sur la zone d'accostage finale pour la surveillance des passagers. Les résultats relatifs au canal kinesthésique sur VISEE tendent à souligner l'intérêt d'une telle proposition.

Par ailleurs, la stratégie qui consiste à aller "taper le trottoir" (voir § 4.8, "Que penser des systèmes d'aide à l'accostage de type GIBUS pour l'avenir") nous semble toute aussi intéressante qu'un système d'information embarqué et peut être également une piste d'étude pour l'avenir, étant source simple mais efficace d'économie cognitive et d'attention visuelle (en phase finale seulement) pour le conducteur.

Enfin, le dernier apport de cette étude est qu'il ne faut pas oublier que l'aménagement des trottoirs "en ligne" favorise nettement la réalisation des accostages (§ 4.4), même pour des situations "sans système". Cela permet ainsi d'améliorer l'accessibilité du véhicule aux passagers, leur confort, mais également celui des conducteurs ainsi que leur performances d'accostage. Ce type d'aménagement réduit en effet leur charge physique et cognitive et est très apprécié des conducteurs. Il faudrait les généraliser (dans la mesure du possible) pour toutes constructions de ligne nouvelle ou re conception d'infrastructure de ligne. Mais il est clair que l'aménagement des lignes de bus ne relève pas des mêmes équipes de conception qu'un système embarqué, ni des mêmes considérations commerciales !

2) VISEE

Les investigations réalisées sur le système d'aide de guidage semi-automatique VISEE sont différentes de celles effectuées sur GIBUS. L'aide au guidage intervient pendant la phase de pré accostage, c'est-à-dire entre 60 à 40 mètres avant le point d'arrivée du bus (voir modèle § 5.4.2 et 5.6). Le système "prend la main" au conducteur qui reste néanmoins maître et s'acquitte des tâches de régulation de la vitesse du véhicule : freinage et accélération. Notre intervention s'appuie sur la mise au point de scénarios expérimentaux qui permettront de le tester d'abord sur un site fermé, puis sur un autre dit "ouvert", sur une ligne de bus de Grenoble. Ainsi, seront passées en revue des situations nominales et incidentelles permettant de mieux cerner l'incidence sur l'opérateur de ce système nouveau. Les expériences ont apporté les résultats suivants :

- Les actions et opérations liées à son utilisation s'effectuent en phase de pré-accostage et libèrent l'opérateur "au bon moment". Ainsi, le système libère l'attention du conducteur sur la phase finale, ce qui est apprécié et constitue un atout pour son "utilisabilité". Très vite, les opérations supplémentaires sont intégrées dans les schèmes opératoires des utilisateurs en phase de pré-accostage, qui l'adoptent aisément. Les expériences sur site fermé, puis semi-ouvert par "scénarios expérimentaux" ont démontré que la maîtrise du système est acquise par les conducteurs en mode nominal et à certaines situations à risque après entraînement.
- Le modèle de l'activité avec le système VISEE que nous avons construit montre que les stratégies et anticipations réalisées par les opérateurs sont réalisables aisément. Le système testé n'est pas rejeté par les conducteurs, au contraire.
- Cependant, l'interface du prototype proposée apparaît comme trop complexe et doit être améliorée. Un certain nombre de recommandations ont pu être formulées concernant les parties d'interface visuelle, tactile et sonore. Il faut améliorer la dynamique et la logique de dialogue avec l'opérateur et certains paramètres du système (vitesse d'accostage, angle de lacet, lacune horizontale et distance de guidage) pour les rendre adaptés à l'Homme qui les utilise.

- Les points sur lesquels on met en garde l'industriel insistent sur la dangerosité éventuelle de certains scénarios non encore testés et sur le fait que la formation et l'entraînement sur ce type de système deviennent primordiaux pour le maîtriser. Le prototype est validé dans ses principes et des études IHM seront réalisées pour un prototype final.

3) CIVIS

Les recherches effectuées pour le système CIVIS, en prolongement des études pour VISEE, ont mis en avant différents outils méthodologiques qui ont permis de compléter et d'affiner les recommandations pour la conception : analyse des situations de référence et analyse par scénarios prédictifs. Ceux-ci ont été utilisés pour les recommandations du produit final, mais nous n'avons pas pu suivre les phases d'essais, de marche à blanc et de mise en service du système. Concernant ces méthodes, un certain nombre d'éléments sont à retenir :

- Pour travailler sur l'activité future probable des conducteurs de CIVIS, nous avons procédé à une sélection de situations qui nous semblent pertinentes à étudier pour la conception finale du système. L'objectif est de passer en revue, à partir de ces situations, les besoins des conducteurs en termes d'activités, puis en termes d'interface au poste de conduite.
- La méthodologie d'analyse par "scénarios prédictifs", bâtie en fonction d'une analyse de référence supplémentaire (les tramways) qui, jusque là, n'avait pas été explorée bien que très proche de l'activité de conduite du prototype futur, ont apporté des éléments essentiels pour préciser les recommandations. Néanmoins, nous avons considéré le fait que le degré de confiance du conducteur était moins élevé pour un système immatériel que vis à vis d'un guidage par rails. La méthodologie est développée au paragraphe 6.4.
- De ces bases fondées sur des scénarios prédictifs, nous déduisons les comportements les plus probables des conducteurs au regard des situations étudiées. Cependant, ces données restent des hypothèses qui demandent à être validées par une phase d'expérimentation ultérieure avec des conducteurs. Elles nous permettent néanmoins de formuler des recommandations pour l'interface finale.
- Nous considérons globalement que ce système est une véritable aide pour les opérateurs en situation d'accostage. Des réserves sont cependant formulées (utilisation de la rétrovision, vérification de la distance de guidage, de certains scénarios jugés dangereux) du fait que nous n'avons pu réaliser les dernières études de tests, le produit étant, à ce jour, commercialisé et en phase de "marche à blanc" à Rouen.
- Des recommandations tant pour l'interface elle-même que pour l'aménagement de l'environnement ont été avancées. Parmi celles-ci, nous mettons en garde l'industriel quant à la conception de l'interface, qui demande des compléments d'études et dont la principale est liée au système de rétrovision qui risque de gêner les conducteurs.
- Enfin, nous insistons sur l'importance d'un point nouveau pour les transports publics. Il s'agit de l'entraînement nécessaire (sur piste ou simulateur) des conducteurs sur ces nouveaux modèles d'autobus du futur semi-guidés. Cet entraînement nous semble en effet impératif du fait de nouvelles situations de conduite à risque sans véritable "site propre". Les opérateurs doivent véritablement s'approprier le système et s'entraîner aux situations à risque.

Synthèse

Ces trois systèmes ont des points communs. Le premier est que nous avons pu vérifier que ces nouveaux systèmes modifient l'activité de base. Tous ajoutent une tâche supplémentaire pour l'opérateur, tâche qu'il convient de préciser. Il faut en mesurer l'impact potentiel par l'intermédiaire de l'analyse des Interactions Homme-Machine. Il faut en mesurer le gain en retour pour l'opérateur et pour l'efficacité globale. Parmi ces trois systèmes, aucun n'apparaît sans défaut et sans risque, au moins dans certaines situations. L'un, GIBUS, est même jugé beaucoup trop dangereux.

Ces trois systèmes ont également des points majeurs de différence. GIBUS est un système d'information embarquée tandis que les deux autres, VISEE et CIVIS, sont des systèmes semi-automatiques d'aide au guidage. Gibus n'est pas utilisable, les autres le sont. Cet état de fait n'est pas lié au type de système d'aide, mais aux spécificités de l'activité humaine qui ont été plus ou moins bien considérées pour rendre les systèmes utilisables.

Les versions B et C de GIBUS occasionnent des gênes inacceptables par l'ajout inopiné d'informations supplémentaires et mal positionnées lors du déroulement de l'activité, ce qui contribue à rendre excessive la charge de travail induite. VISEE et CIVIS sont exploitables moyennant des aménagements de l'interface.

Pour conclure...

Nous soulignons les difficultés de pratiquer une ergonomie de conception sur des produits industriels en cours de conception. Il est certainement plus facile d'évaluer des produits finis, d'en faire ressortir les défauts, puis de proposer des corrections. En cours de conception, au contraire, on travaille sur des produits qui naissent progressivement et dont il faut imaginer les modes opératoires réels et les risques, tant en situation nominale qu'en situations extrêmes à prévoir.

S'ajoutent à cela les contraintes méthodologiques qu'impose l'ergonome : coût de la prestation ergonomique, coût de réalisation des évaluations, délais nécessaires à la réalisation des investigations (observations, interviews, simulations, etc.), exigence de disposer d'une population suffisante d'opérateurs représentatifs, etc.

En contrepartie, les contraintes de cette participation ergonomique, imposées avant tout par le souci d'une méthodologie rigoureuse, en dépit des difficultés de terrain, apportent à l'équipe projet une meilleure connaissance du futur utilisateur sous ses différentes facettes, dans divers contextes d'utilisation et non pas seulement en contexte nominal. Cela évite souvent quelques errements et retours en arrière dans le cycle de vie du produit, en soumettant l'outil, aux différentes phases de sa conception, à des critères d'évaluation qui ne sont pas les critères habituels d'évaluation des ingénieurs. En ce sens au moins, l'apport ergonomique est une contribution originale.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Amalberti, R. (1991) Modèle de l'activité : introduction. In R. Amalberti, M. De Montmollin, J. Theureau, Modèles en analyse du travail, Liège, Mardaga.

Amalberti, R. (1996) La conduite de système à risque, Paris, PUF.

Amalberti, R. & Deblon, F. (1992) Cognitive modelling of fighter aircraft's control process : a step towards intelligent onboard assistance system, International Journal of Man-Machine studies, 36, pp. 321-346.

Bainbridge L.(1983), "Ironie of automation", Automatica, vol.19, n°6, 775-779. Repris in J. Rasmussen, K. Duncan & J. Leplat (1987), New technology and human error. Jhon Wiley & Sons.

Bannon, L. J. & Schmidt, K. (1991), CSCW : four characters in search of a context., In Bowers J. M. & Benford S.D. (eds.), Studies in computer supported cooperative work, theory, practice & design. Elsevier Sc. Publishers, Amsterdam, pp. 3-17.

Bellet T. X. (1998), Modélisation et simulation cognitive de l'opérateur humain : une application à la conduite automobile, Paris, Thèse de Doctorat, Université Paris V.

Bellet T. X., Tattegrain-Veste A., Chapon A.& all (2001), IHM et cognition dans le contexte de l'assistance à la conduite automobile, "L'ingénierie cognitive : IHM et cognition", Editions. Hermes, Paris.

Bisseret A., Redon S., Falzon P. (1982), Computer-aided training for risky decision-making. International Review of Applied Psychology, 31, (4), 493-509.

Bourgeois G.& Bussereau D. (1997), Bus, métros, tramways, systèmes intermédiaires : génération 2000, Transport public, Janvier 97, pp 18-24.

Boy G. (1999), L'interaction homme machine : une approche de l'ingénierie cognitive pour la conception centrée sur l'homme, "Sécurité et cognition", coordonnateur Jean-Gabriel Ganscia, éditions HERMES, Paris, 1999. chapitre 5, page 79.

Brangier E. (2000), psychologie ergonomique de l'assistance technique : approche symbiotique des relations homme-technologie-organisation, Thèse d'habilitation : Paris, Université Paris V, p 126.

Cahour B. & Falzon P. (1991), Assistance à l'opérateur et modélisation de sa compétence. Intellectica, 1991, n°2 (12), pp. 159-186.

Cellérier G. (1979), Stratégies cognitives dans la résolution de problèmes. In Piattelli-Palmarini (eds). Théories du langage, théories de l'apprentissage, le débat entre Jean Piaget et Noam Chomsky, Paris, Seuil.

Chapon A., Tattegrain-Veste H., Bellet T. (1995). Antropotechnique : rôle de la modélisation. In Colloque INRETS : "L'homme et les Nouvelles technologies", Lyon, 21 septembre.

Chauves J.C. & Parris G. (1991), Apports d'une étude ergonomique à la conception du plan de formation SEMITIB .

Clot Y. (1995), Le travail sans l'homme? Pour une psychologie des milieux de travail et de vie, Paris : la découverte.

Collectif CEE (1997), Road vehicles - Man machine interface, Auditory information presentation, ISO/TC22/SC13/WG8 N100. Février 97.

Corey S. & al, (1991), Conception d'une nouvelle cabine de conduite au Canada ». Revue « Railway technology international », Londres.

Daniellou, F. (1987) Ergonomie et projet industriel, Cours B4, Laboratoire d'Ergonomie et de Neurophysiologie du Travail , CNAM, Paris.

Darses, F. (2001), Detienne, F.& Wisser, W. Assister la conception : perspectives pour la psychologie cognitive ergonomique, EPIQUE 2001, Journée d'étude en Psychologie ergonomique, Nantes, 29-30 Octobre 2001.

Decortis, F.& Cacciabue, P.C. (1991) Modélisation cognitive et analyse de l'activité. In Amalberti R., De Montmollin M., theureau J. (Eds.), Modèles en analyse du travail, Liège, Mardaga, pp. 85-118.

De Chanterac, G. (1990), L'ergonomie de la cabine de conduite du TGV Atlantique, Revue SNCF « Informations médecine » n° 167.

Dejeammes, M.& Carvalhais, J. (1993) Concept d'accessibilité autobus/infrastructure urbaine : évaluation de l'expérience de Caen, Rapport INRETS-LESCO 9303, mars 1993.

Dejeammes, M. Dessaigne, M-F. Fouet, V. Dolivet, J. Zac, R. & Uster, G. (1997), Evaluation du système d'aide à l'accostage "GIBUS" en site réel, Rapport LBSU N° 9702.

Dejeammes M. & Dessaigne M-F. (1999), Bus stop design and automated guidance for low-floor buses : evaluation of prototypes with investigation of human factors, Transportation research board, 78th. Annual meeting, Washington, D.C.

Delorme, D. (1994) Analyse du processus de décision en situation dynamique : le cas du dépassement sur autoroute. Lyon, Mémoire de DEA, Université Lumière Lyon II.

De Keyser V. (1988), De la contingence à la complexité : l'évolution des idées dans l'étude des processus continus, Le Travail Humain, 51, 1, 1-18.

De la Garza, C. (1995) Gestions individuelles et collectives du risque et du danger dans la maintenance d'infrastructures ferroviaires. Thèse d'ergonomie EPHE- LEPC, Paris.

De Monmollin, M. (1995) Vocabulaire de l'ergonomie, Octares Editions, juin 1995.

Dessaigne, M-F (1988) Reconfiguration d'une salle de contrôle de métro : méthodes et outils pour l'analyse de l'activité des régulateurs, Congrès de la SELF, 1988.

Dessaigne, M-F (1989) Adaptation d'outils de diagnostics pour la conception d'une salle de contrôle, communication congrès de la SELF, 1989.

Dessaigne, M-F (1989) Conception d'une salle et des dialogues Homme-Machine, Congrès Union Internationale des Transports Publics, Paris, 1989.

Dessaigne, M-F. (1995) De nouvelles technologies pour assister l'opérateur malvoyant d'un standard téléphonique, communication au Congrès de la SELF 1995.

Dessaigne, M-F. (1994). Expertise Carminat, rapport LESCO 9401.

Dessaigne, M.F.& Fouet, V., (1996), Résultats d'essais sur le site de Mortefontaine/ CERAM. Rapport confidentiel Direction de la Recherche Renault.

Dessaigne M.F. & Fouet, V., (1996), Plan expérimental et guide méthodologique, Rapport confidentiel Direction de la Recherche Renault.

Dessaigne M.F. & Fouet, V. (1996), Enrichissement du modèle conducteur : définition des scénarios et comportements attendus, Rapport confidentiel Direction de la Recherche Renault.

Dessaigne, M.F.& Fouet,V. (1996), Enrichissement du modèle conducteur : synthèse et hiérarchisation des scénarios, Rapport confidentiel Direction de la Recherche Renault.

Dessaigne, M-F. Gabaude, C. Specht, M. Fouet, V. Kaplan, S. & Kaplan, A. (1996), Contribution au bilan des programmes Prometeus, Drive I, Drive II, ATT et IVHS. Analyse bibliographique centrée sur l'évaluation ergonomique. Projet CEESAR, Ministère des Transports.

Dessaigne, M-F.Kaplan, S. DIONISIO, C. & VERNET, M. Validation d'un régulateur de vitesse intelligent. Apprentissage du système par les conducteurs, Rapport confidentiel LESCO n° 9608, Lyon, INRETS, décembre 1996, 95p.

Dessaigne, M-F., Kaplan, A. & Kaplan, S. (1997), Les fonctions IHM pour la maquette CIVIS : préconisations ergonomiques pour l'utilisation et l'implantation. Propositions de design, Rapport ERGONOMOS pour RVI, septembre 97.

Dessaigne, M-F., Kaplan, A & Kaplan, S. (1997), Implantation des commandes et informations au poste de conduite du démonstrateur CIVIS :préconisations ergonomiques et propositions Design, Rapport ERGONOMOS pour RVI, octobre 97.

Dessaigne, M-F., (1997c), Synthèse du thème "Epistémologie de l'ergonomie", Congrès de la Société d'Ergonomir de Langue Française, 1997, Lyon.

Dessaigne M-F.& Kaplan S. (1997), Cahier des Charges ergonomique pour la conception du poste de conduite CIVIS, Rapport ERGONOMOS pour RVI, octobre 97.

Dessaigne M-F., (1999a.), Étude GIBUS phase A, Problématique, plan expérimental et pré-expérience sans système, Rapport Cabinet ERGONOMOS pour SEMITAG.

Dessaigne M-F., (1999b.), Étude GIBUS phase B, Plan expérimental, expérience B avec GIBUS et synthèse des résultats, Rapport Cabinet ERGONOMOS pour SEMITAG.

Dessaigne M-F., (2000), Étude GIBUS, Recommandations pour la conception du système, Rapport Cabinet ERGONOMOS pour SEMITAG.

Dessaigne M-F., (2000), Étude GIBUS phase C, Plan expérimental, expérience C avec GIBUS et synthèse des résultats, Rapport Cabinet ERGONOMOS pour SEMITAG.

Dunca B. (1995), Human Factors Design Guidelines for information presentation by Autonomous Intelligent Cruise Control systems, HARDIE - DRIVE II V2008.

Ericsson, K.A.& Simon, H.A. (1984) Protocol analysis. Verbal reports as data. Cambridge (Mass.), MIT Press.

Evrard, F. & Awada, A.(1994) Copilote électronique pour la conduite automobile, in Système coopératif : de la modélisation à la conception, Bernard Pavard, Octarès Editions, Toulouse Septembre 1994.

Falzon, P. (1989) Ergonomie cognitive du dialogue, Grenoble, Presse Universitaire de Grenoble.

Falzon, P. (1989) Analyser le travail pour l'assister, Communication au XXV congrès de la SELF, 4-6 octobre 1989, Lyon.

Falzon, P. (1992) Vers des partenaires cognitifs, Le courrier du CNRS, 79, Octobre 1992, p102.

Falzon, P. (1997) Les activités cognitives au travail, Cours B2, Collection des cours 1996-1997, CNAM Médias.

Falzon, P. (1998) Qu'est-ce que la recherche en ergonomie ? Actes des Deuxièmes Journées " Recherches et Ergonomie", Toulouse, Février 1998, pp.191-196.

Fastenmeier, W. Haller, R. & Lerner, G.(1994) A preliminary safety evaluation of Route Guidance comparing different MMI concepts", Diagnose § Transfert, München, Germany, pp. 1750-1757.

Färber,B., Färber, B. & Popp, M.M.(1986) Are oriented drivers better drivers ? Fifth International Congress ATEC 86, Paris.

Florès, J-L. (1990) Ergonomie et mode d'usage des systèmes d'aide à la conduite, Recherche, Transports, Sécurité N° 26.

Fouet, V.& Dessaigne, M.F. (1996) Plan expérimental site de la Vabonne, Rapport confidentiel Direction de la Recherche Renault.

- Fouet, V.& Dessaigne, M.-F. (1996) Résultats et synthèse des essais La Valbonne, Rapport confidentiel, Direction de la Recherche Renault.
- Fouet, V.& Dessaigne, M.F. (1996) Résultats et synthèses des résultats des essais de Grenoble. Rapport confidentiel pour Renault, Décembre 1996.
- Fouet, V. Dessaigne, M.F. Spérandio, J-C. Rieuneau, F. Petit, C (1997) Evaluation expérimentale d'un système d'assistance à l'accostage de bus, Congrès SELF 97 p. 549- 561.
- Frey, H. & Vuillat, P. (1992). 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.
- Kolski, C. (1992) Ingénierie des interfaces homme-machine. Conception et évaluation, Editions HERMES, Traité des Nouvelles technologies, Série Automatique.
- Gaillard, I. & Cuny, X. (2002) Les risques professionnels aujourd'hui : problèmes actuels, perspectives et orientations méthodologiques. In Les risques professionnels. Octares : Toulouse.
- Galinier, V. (1996) Apports de l'ergonomie à la conception d'instruments : concevoir autour des schèmes d'utilisation, Un exemple dans le transport routier. Thèse de doctorat.
- Germain, C.& Dangleterre, A. (1994) Ergonomie de la conduite d'autobus urbains. Poste de conduite et conditions de travail. Etude bibliographique.
- Germain, C. Duraz, M. & Blanchet, V. (1994) Un simulateur de tableau de bord de poids lourd, conception et expérimentation. Détection d'anomalies par des conducteurs expérimentés et novices.
- Gomes, S. & Sagot, J.C. (1996) Intervention ergonomique dans la conception d'un poste de conduite automobile ». Congrès SELF 96.
- Green, W.S. & Jordan, P.W.(1999) Human factors in products design, current practice and future trend. London Taylor& Francis.
- Grosjean, V. (1998) Assistance à la conduite dans les situations dynamiques : influence de la construction d'une perspective temporelle sur la performance experte, Thèse, Université de Liège, Liège.
- Grossmann, H. & Kramer, T. (1994) Bordsteinausbildung an Haaaaaaltstellen fur Niederflurbusse, Verkehr und Technik, Heft 9, pp.405-408, 1994.
- Grunsenmeyer, C. & Trognon, A.(1997) To resolve a technological problem through conversation. L.P. Resnick, R. Saljo, C. Ponte-Corvo (Eds), Discourse, tools and reasoning :situated cognition and technologically supported environments. Springer-Verlag, New-York.
- Hale, A.R. Stoop, J. & Hommels J. (1990) Human error models as predictors of accident scenarios for designers in road transport system. Ergonomics, 33, pp.1377-1388.

Hoc, J.M. (1988) L'ergonomie cognitive : un compromis nécessaire entre les approches centrées sur la machine et des approches centrées sur l'homme, Conférence des Deuxièmes journées "Recherche et ergonomie".

Hoc, J.M. (1996) quand deux agents gèrent les interférences entre leurs buts et que chacun effectue ses activités de façon à faciliter les buts de l'autre.

Hutchins, E. (1995) How a cockpit remembers its speeds, *Cognitive Science* 19, 265-288.

Juliot, A. & Vieytes, V. (1996) Tramways, métros, TVR, RER de nouvelle génération : l'industrie ferroviaire sort de son train-train, *Transport Public* Septembre 96, pp 26-38.

Kaplan, S. Dessaigne, M-F. & Dejeammes, M. (1994) Etude ergonomique de la fonction accostage du bus, Rapport Lesco n° 9413.

Kaplan, S. & Dessaigne, M-F. (1997) Synthèse bibliographique des études ergonomiques portant sur les conducteurs et les postes de conduite des transports en commun terrestres en vue du projet CIVIS, Rapport ERGONOMOS pour RVI-juin 97.

Kaplan, S. & Dessaigne, M-F. (1997) Analyse de l'existant : poste de conduite et activité des conducteurs de tramway de Grenoble et Strasbourg, Rapport ERGONOMOS pour RVI-Aôut 97.

Kaplan, S. Dessaigne, M-F. & Vernet, M.(1997) Observation de l'automobiliste en phase d'apprentissage et d'intégration de nouvelles technologies un exemple de collaboration entre chercheurs et praticiens, *Communication congrès SELF*, septembre 1997, pp. 501-514.

Kasbi-Prost, C. (1995) La fiabilité humaine et la fiabilité des systèmes techniques, De Montmollin, (1995).

Kuuti, (1996). A framework for HCI Research, In B.A. Nardi (Ed.), *Context and consciousness. Activity theory and human-computer interaction*, Cambridge, Massachusetts : The MIT Press, 17-44.

Leplat, J.(1985) *Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail*, Edition Armand Colin, juin 1985.

Lindsay, & Norman, (1980) *Traitement de l'information et comportement humain, une introduction à la psychologie*, Editions Etudes Vivantes, Montréal-Paris.

Lontiev, A.N. (1981) The problem of activity in psychology, In J.V.Wertsch (Ed.), *The concept of activity in soviet psychology*. Armonk, NY : Sharpe.

Malaterre, & Saad, (1986) Les aides à la conduite : définition et évaluation. Exemple du radar anti-collision, *Le travail Humain* 49 (4), pp.333-346.

Martin, C. (1998) *La conception architecturale : entre volonté politique et faisabilité technique*, Thèse de doctorat d'ergonomie, Paris, CNAM.*

- MATRA Transport International, (1996) Développement de CIVIS : système de transport en site propre.
- MATRA Transport International, (1997) Diffusion de la spécification fonctionnelle du guidage optique.C.
- Michaut, G. (1968) Conduite automobile et charge mentale, ONSER, Bulletin n° 18. Janvier.
- Michon, J.A. (1979) Dealing with danger, Traffic Research Centre Report VK 79-01, Gronigen, Unuversity of Groningen.
- Millot, P. (1988) Supervision des procédés automatisés et ergonomie. Hermes, série Automatique.
- Mitchell, C.G. (1995).Définitions de l'accessibilité. Actes du 7^{ème} congrès sur la mobilité et sur le transport des personnes âgées et à mobilité réduite, pp. 17-21, Reading GB, 16 au 19 juillet 1995.
- Nardi, B.A. (1996) Context and consciousness, Activity theory and human-computer interaction, Cambridge, Massachusetts : The MIT Press (Ed.)
- Neboit, M. (1980) L'exploration visuelle dans l'apprentissage de tâches complexes : l'exemple de la conduite automobile, Thèse de doctorat, Paris, Université René Descartes.
- Norman, D.A. (1986) Cognitive Engineering. In D. Norman & S. Drapper (Eds.), User-Centred System Design, pp. 31-61, Hillsdate, NJ : Lawrence Erlbaum Associate.
- Patesson, R. (1996) L'homme et l'écran : aspects de l'ergonomie en informatique, Editions de l'Université de Bruxelles.
- Pauzié, A. (1995) Les systèmes d'aides à la conduite :assistance effective ou perturbation potentielle pour le futut conducteur âgé, Le Travail Humain, 58(2), pp.131-149.
- Piéraut-Le Bonniec, G. (1995) Comportement, dans De Montmollin, (1995) Vocabulaire de l'ergonomie, Octares Editions.
- Pottier A. & al.(1984) Comportement oculomoteur comparé de sujet dépendants et indépendants à l'égard du champ en situation de conduite standardisées. Communication présentée au Xxe congrès de la SELF, Genève.
- Pottier, A (1993), Traitement informatif visuel à l'intérieur de l'habitacle d'un véhicule routier, Rapport, INRETS n° 164
- Rabardel P. (1993) Les activités avec instruments. Documents de synthèse pour l'habilitation à diriger des recherches, Université Paris 8.
- Rabardel; P. (1995) Les hommes et les technologies. Approches cognitives des instruments contemporains. Paris : Armand-Colin.

- Rasmussen, J. (1983) Skill, rules, knowledge : signals, signs and symbols and other distinctions in human performance models. IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics, 13, pp. 257-267.
- Rasmussen, J. (1986) Information processing and human-machine interaction : an approach to cognitive engineering, Amsterdam, North Holland.
- Reason, (1990) Human Error, Cambridge University Press, Trad. Française (1993), L'erreur humaine, Paris, PUF.
- Richard, J-F. (1990) Les activités mentales. Comprendre, raisonner, trouver des solutions. Paris, Editions Armand Colin.
- Rookmaker, D.P. (1994) Présentation des informations en cabine de conduite, WCCR 94, pp 959-964.
- Saad, F. & al. (1992) Analyse des comportements en situation de conduite : le franchissement d'intersections, Paris, Rapport INRETS 158.
- Sagot, J-C. & Roberty, M.L. (1994) Intervention ergonomique dans la conception du poste de conduite du TGV nouvelle génération, Congrès SELF 94
- Salembier, P. (1992) Etude empirique et modélisation d'une activité de diagnostic cognitif, Intellectica, 15, 55-96.
- Scapin, D.L. (1990) Des Critères ergonomiques pour l'évaluation et la conception d'interfaces utilisateurs. Actes du XXVIème congrès de la SELF, Montréal., Canada.
- Schoonvliet, E. (1989) Evolution de la cabine de conduite sur les engins moteurs électriques de la SNCB, Revue « Rail international » n°8/9,
- Simon, P. Rousseau, F. Dematte, P. Angué, J-C. (1994) Contribution de l'analyse des mouvements oculaires à l'évaluation de la charge de travail mental.
- Smiley, A. Verney, M. Labiale, G. & Pauzié, A. (1994) Navigation and Guidance Distance Impact on driver performance, In Intelligent vehicle highway system symposium, IEA, pp. 1852-1859, Toronto, Canada.
- Specht-Canou, M. (1996) Evaluation des systèmes d'aide à la conduite automobile et modélisation de l'activité des conducteurs, Paris, Thèse de Doctorat, Université Paris V.
- Spérandio, J-C. (1972) Charge de travail et variation des modes opératoires. Thèse de Doctorat d'Etat, Paris, Université Paris V-René Descartes.
- Spérandio, J-C. (1991) Problèmes ergonomiques liés à l'utilisation des technologies hypermédias, multimédias et multimodales, in D. BURGER (Ed.), Technologies hypermédias : Implications pour l'enseignement aux jeunes déficients visuels, INSERM, Paris pp. 43-52.

Spérandio, J-C. (1995) Modéliser le savoir et les activités opératoires par les formalismes de l'informatique, est-ce pertinent en ergonomie ?. N°hors série, séminaire Paris I, Performances Humaines et Techniques.

Spérandio, J-C. (2001) Critères ergonomiques de l'assistance technologique aux opérateurs, Conférence JIM'2001 : Interaction Homme-Machine et assistance pour Grand Public, systèmes complexes et handicaps, Metz, 4-5-6 juillet 2001.

Stuva Vestische (1993) Strassenbahnen GmbH, Niederflur-bussystem abstandshilfen, BMFV 70 387/92, novembre 1993.

Tarrière, C. & Hartemann, F.& Niarfeix M. (1966) Recherche de corrélations entre données et vigilance opérationnelle et physiologie, L'électroencéphalographie comme source d'informations sur l'évolution de l'efficacité du conducteur, ONSER, Bulletin n° 16.

Têtard, C. (1987) L'analyse des activités décisionnelles par l'observation des comportements en site réel. In L'analyse des comportements et le système de circulation routière : compte-rendu de la journée spécialisée du 9 décembre 1986, Paris, Actes INRETS, pp.3-13.

Uster, G. (1996) Amélioration de l'accessibilité des autobus urbains pour les personnes à mobilité réduite : aide à l'accostage, Thèse de doctorat en automatique et informatique industrielle.

Uster, G. Kaplan, S. Dessaigne, M-F. & Dejeammes, M. (1997) Le développement d'une aide à l'accostage, Revue Recherche Transports et Sécurité n°54, pp 43-51.

Uster, G. & al. (1995 a) Guidage des autobus en station (projet GIBUS) définition des systèmes, Rapport sur convention INRETS-ESTAS N° 34.

Uster, G. & al. (1995 b) 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 à mobilité réduite, pp186-196, Reading GB.

Van der Molen, H.H. & Bötticher, A.M. (1988) A hierarchical risk model for traffic participants. Ergonomics, 31, 4, 1988, pp. 537-555.

Van Elslande, P (1992) Les erreurs d'interprétation en conduite automobile : mauvaise catégorisation ou activation erronée de schémas ? Intellectica, 3, 15, pp.125-149.

Vergnaud, G. (1985) Concepts et schémas dans la théorie opératoire de la représentation, Psychologie Française, 30, 3/4, pp.245-252.

Vernet, M.& Labiale, G. (1994) Expertise ergonomique de véhicules équipés de régulateur de distances, Partie I et II., Rapport INRETS n° 9422, Décembre 1994.

Wiener, E.L. (1989) Human factors of advanced technology "glass cockpit" transport aircraft. Technical Report 117528. NASA Ames Research Center, CA.

Woods, D.D. & Roth, E.M.(1988) Cognitive engineering, in M. Helander (eds), Handbook of human computer interaction, Amsterdam, Elsevier Science Publisher.

Zaidel, D.M.& Noy, Y. I., (1994) Driver's glancing strategies while using navigation aids", In Intelligent vehicle highway system symposium, IEA, pp. 203-205, Toronto, Canada.

ANNEXE 1-ALGORIGRAMMES

Algorigramme des arrêts en ligne

Algorigramme des arrêts en alvéole

Algorithme des arrêts en saillie

ANNEXE 2 : GIBUS

GIBUS A :Tableau de synthèse par conducteur avec valeurs moyennes de la lacune et de la vitesse

NOM	Expérience GIBUS en 96	Lacune moyenne en cm	Vitesse moyenne en Km/h	Mode Opérateur	Stratégie particulière
RB/ A1	Non	15-20	40 km/h au feu ou 100 m avant, 30 km/h à 30 m arrêt, 20 km/h au début de l'arrêt.	Rétro gauche, Vise début trottoir, Rétro droit pour les 10 derniers mètres Coup volant à gauche	S'approche davantage si nécessité des personnes.
PE/ A2	Non	20-25	40 km/h au feu, 30 km/h à 20 m arrêt, 10 km/h sur les 10 derniers m.	Vise l'arrondi du trottoir du quai, se déporte si « décrochement » quai, Finit les 20 derniers m au rétro droit et balaye si trop près pour bien positionner les roues arrière.	Rétro droit pour amorcer l'approche à 20 m. Décroche à gauche pour redémarrer et éviter frotter arrière bus.
BA/ A3	Non	10-15	40 km/h à 200m, 30 km/h à 20 m arrêt, 10-15 km/h sur les 10 derniers m.	Position accostage dès le pré-accostage, Sinon, vise le début du trottoir et termine avec le rétro D.	Anticipation kinesthésique œil/volant, droit devant.
CO/ A4	Oui	10 cm	40 km/h à 200m, 20 km/h à 20 m arrêt, 15 km/h dès le début de l'arrêt.	Ralenti, coup volant à D, touche le trottoir, maîtrise volant, alignement vérifié par rétro D.	Accostage en touchant le trottoir
RU/ A5	Non	Moins de 10 cm	40 km/h à 200m, 20 km/h à 20 m arrêt, 15 km/h maxi au début de l'arrêt.	Ralenti, léger coup volant à D, touche le trottoir, sent le couple au volant, pas de vérif ^o rétro D.	Accostage en touchant le trottoir
CA/ A6	Non	Moins de 5 cm	40 km/h à 100m, 30 km/h au début de l'arrêt, 20 km/h à 10 m.	Approche en ralentissant, vise le fil de l'eau en bas du trottoir pour y aligner son pneu et finit avec le rétroviseur.	Vise le fil de l'eau pour accoster puis finit au rétro.
DI/ A7	Non	10-15 cm	40 km/h à 100m, 30 km/h au début de l'arrêt, 20 km/h à 10 m.	Fixe le trottoir, coup de volant pour affiner. Fixe rétro D pour parfaire l'accostage.	Vise le début du trottoir puis forte fixation du rétro D.
AL/ A8	Oui	10-15	40 km/h à 100m, 30 km/h au début de l'arrêt, 20 km/h à 10 m.	Fixe devant quand tout droit, sinon regarde début du trottoir pour aligner au volant. Finit au rétro D.	Se positionne en regardant devant ou début du trottoir ;

CH/ A9	Non	10 cm	50 km/h à 200m, 30 km/h au début de l'arrêt, 20 km/h à 10 m.	Vise le quai et se rapproche de l'arrondi de la bordure avec coup volant D. Regarde le rétro 3sd pour aligner puis devant abris bus.	Essaie de se rapprocher le plus possible du trottoir sans toucher le pneu.
JO/ A10	Non	10 cm	40 km/h à 100m, 30 km/h au début de l'arrêt, 20 km/h à 10 m.	Fixe devant et aligne au volant, regarde peu le trottoir, Vérifie dans le rétro D à la fin son alignement.	Fixe devant et aligne au volant. Conduite automatisée.

Exemple de l'algorigramme pour un pré accostage en arrêt en ligne, GIBUS A :

L'arbre montre les raisonnements et les choix de stratégies des conducteurs en fonction des états de l'environnement pendant leur tâche d'accostage. Les raisonnements explicités lors des verbalisations sont représentés par une ellipse, les choix de stratégies ou de tactiques par un rectangle arrondi et les états de l'environnement par un rectangle en trait gras.

Cette description de l'activité du conducteur a été effectuée sur la nouvelle ligne 1 lors de l'étude menée pour le système GIBUS mais sans le système

l'algorigramme de l'arrêt en ligne est un outils descriptif de l'activité réelle mais peut également être utilisé comme une base de connaissance sur l'activité réelle des conducteurs dans cette situation-type (arrêt en ligne). Cet outil de travail nous permettra d'émettre des hypothèses sur les comportements des conducteurs dans des situations répertoriées avec les différents systèmes.

Cet arbre générique réunit l'ensemble des situations rencontrées et s'apparente à une formalisation des données pour ces cas précis, dans un environnement déterminé. Nous avons abouti à une description détaillée d'un modèle de l'activité d'accostage, que nous appelons "modèle de l'activité", qui rend compte de l'activité globale de l'opérateur et qui nous renseigne plus spécifiquement sur l'activité cognitive des opérateurs (diagnostic, prise de décision) mais également sur l'enchaînement de ses actions (gestes, postures), ses prises d'information pendant la conduite et ce qui guide psychologiquement ou socialement ses choix stratégiques. Notons que l'analyse par les verbalisations et l'analyse des raisonnements permet de considérer les aspects cognitifs, psychologiques et sociaux.

Exemple d'analyse des résultats de l'enregistrement vidéo

GIBUS B

Nous donnons ci-dessous, pour la compréhension du lecteur, un exemple de traitement des données pour un conducteur que nous choisissons au hasard de la liste :

Conducteur A6

Ce sujet est toujours très attentif à la rue, aux piétons et aux voyageurs en attente sur le quai (36 % de l'activité "regards " GIBUS). Sa stratégie n'est pas modifiée par rapport à la phase A dans le sens où il vise toujours le trottoir (14 % de l'activité « regards » GIBUS) ou plus exactement la ligne du « fil de l'eau » au début de l'accostage. Il finit la plupart du temps en vérifiant son alignement ou en le modifiant au rétroviseur (29 % de l'activité « regards »). Il va utiliser GIBUS à 12 reprises en fin d'accostage. L'activité GIBUS représente 1 % du temps total d'accostage enregistré sur les 50 arrêts et 5 % de l'activité « regards » du conducteur.

La lacune moyenne de ce chauffeur est de 6,95 cm. Le chauffeur ne s'est pas arrêté à 7 arrêts car il n'y avait pas de voyageur en attente pour monter ou descendre. Il n'a pas rencontré de situation gênante.

Les données brutes vidéo relevées à propos des fixations du conducteur

Regards :	devant	rétro D	rétro C	rétro G	GIBUS	
trottoir						
Effectif	90	73	0	42	12	36
% Effectif	36 %	29 %	0%	17 %	5 %	14 %
% Temps	53 %	17 %	0%	11 %	1 %	18 %

La donnée rétroviseur central a été enregistrée. L'effectif a toujours été de 0 car ces regards sont effectués en fait sur la période de pré-accostage, période non concernée par ce dépouillement.

Dépouillement vidéo GIBUS

Le conducteur utilise 12 fois GIBUS pendant l'enregistrement ce qui représente un pourcentage peu élevé tant pour l'activité regards*¹⁴ qu'en durée. Sur ces 12 fixations, dans 5 cas, il utilise GIBUS en fin de course, pour vérification de la réussite de son accostage. Dans ces cas-là, la fixation oculaire dure de 0,5 seconde à 1 seconde. Pour les 7 autres cas, l'opérateur utilise réellement GIBUS comme aide à l'accostage, après l'utilisation habituelle de son rétroviseur (3 à 4 secondes). Les fixations oculaires de GIBUS durent de 1 à 2 secondes. Pendant l'expérimentation, l'opérateur signale souvent ne pas pouvoir utiliser GIBUS pour des questions liées à la sécurité des voyageurs. À chaque signalement, il nous donne l'explication détaillée de l'incompatibilité du système pour montrer que ce n'est pas une mauvaise volonté à l'usage. La stratégie du conducteur est de type 1.

¹⁴ Nous appelons « regard » une fixation oculaire dirigée sur un point précis de la scène avant du conducteur (rétroviseur, droit devant, système GIBUS...). On peut constater par la mesure précise de cet enregistrement que certains regards sur GIBUS sont courts (de 0,5 à 1 sd.) alors que d'autres sont plus longs (environ 2 sd.). Ce sont sur ces derniers qu'une réelle activité d'aide est engagée par le conducteur.

Tableau lacune, vitesse et données à propos des fixations oculaires des conducteurs - GIBUS B

NOMS	Lacune moyenne (cm)	Vitesse moyenne (Km/h)	Nombre de fixations GIBUS en 50 arrêts et pourcentage d'activité	Nombre et de Temps de fixations « pour vérification »	Nombre et temps de fixations « pour aide accostage »
A1	10,23	Non modifiée par rapport phase A	16/387 4%	14 1,5s.	2 (rapide puis rétro) 1 s.
A2	7,81	légèrement plus lentement que phase A	12/321 mais sur 25 arrêts 4%	10 1 s.	2 (rapide puis rétro) 2 s.
A3	7,45	Non modifiée par rapport phase A	13/354 4%	10 1 s.	3 (rapide puis rétro ou trottoir) 2 s.
A4	14,15	Non modifiée par rapport phase A	48/314 15%	11 2 s.	37 (rapide puis rétro ou trottoir) 1sd
A5	5,74	Non modifiée par rapport phase A	9/403 2%	9 1,5 s.	0
A6	6,95	Non modifiée par rapport phase A	12/253 5%	5 0,75 s.	7 1,75 s.
A7	6,50	Non modifiée par rapport phase A	1/413 0%	1 1 s.	0
A8	9,86	Non modifiée par rapport phase A	27/182 15%	13 1 s.	14 en 6 arrêts 2,5 s.
A9	8,16	Non modifiée par rapport phase A	8/ 168 mais 25 arrêt enregistrés 5%	5 1 s.	3 2 s.
A10	6,71	Non modifiée par rapport phase A	17/407 4%	11 1 s.	6 (vérification alignement ?) 2,5 s.

Tableau comparatif des stratégies phase A et phase B

Sujets	Stratégies Phase A	Stratégies Phase B
A1	Stratégie 1	Stratégie 1
A2	Stratégie 1	Stratégie 1
A3	Stratégie 2	Stratégie 2
A4	Stratégie 3	Stratégie 4
A5	Stratégie 3	Stratégie 3
A6	Stratégie 1	Stratégie 1
A7	Stratégie 1	Stratégie 1
A8	Stratégie 1 parfois 2	Stratégie 1 parfois 2, abandon de la 4 essayée
A9	Stratégie 1	Stratégie 1
A10	Stratégie 2	Stratégie 2

Résultats par conducteur, GIBUS C : tableau avec valeurs moyennes de la lacune, de la vitesse et données à propos des fixations oculaires des conducteurs.

NOMS	Lacune moyenne (avant et centrale) en cm	Vitesse moyenne en Km/h	Nombre de fixations GIBUS en 50 arrêts	Nombre fixations "pour vérification"	Nombre de fixations "pour aide accostage"
A1	4,3 cm. 6,95 cm.	Non modifiée par rapport phase B	19/50 38% arrêts avec GIBUS.	0	19. Pour "essayer", sinon sa stratégie habituelle subsiste.
A2	4,76 cm 9,85 cm.	Non modifiée par rapport phase B	9/50 Certains arrêts en plusieurs fixations . 18%arrêts avec GIBUS.	7	2 "Quand concentration, c'est plus fatiguant"
A3	4,08 cm 8,87 cm.	Non modifiée par rapport phase B	1/50 2% arrêts avec GIBUS.	1	0
A4	4,12 cm 8,97 cm.	Non modifiée par rapport phase B	1/50 2% arrêts avec GIBUS.	0	1 "pour s'amuser"
A5	4,42 cm 9,10 cm.	Non modifiée par rapport phase B	1/50 2% arrêts avec GIBUS.	1	0
A6	15,29 cm 21,15 cm.	40 km au début arrêt 30 au milieu 20 km à 5m.	1/50 2% arrêts avec GIBUS.	0	1 "Pour faire plaisir"
A7	5,56 cm. 11,5 cm.	30 km au début arrêt 20 au milieu 15 km à 5m.	0/50 refuse les automatismes! 0% arrêts avec GIBUS	0 mais le voit parfois.	0
A8	8,49 cm 14,21 cm.	40 km au début arrêt 30 au milieu 18 km à 5m.	11/50 22% arrêts avec GIBUS.	7	4 prend plus de temps: 2sd
A9	4,54 cm. 9,13 cm.	30 km au début arrêt 18 au milieu 15 km à 5m.	16/50 32% arrêts avec GIBUS.	7	9 l'utilise pour s'aligner!
A10	5 cm. 10,36 cm.	30 km au début arrêt 20 au milieu 15 km à 5m.	8/ 50 16% arrêts avec GIBUS.	0	8 pour "montrer" qu'il sait faire.
Les 10 sujets	6,06cm 11,01 cm	30 km au début arrêt 18 au milieu 15 km à 5m.	67/500 13,4 % arrêts avec GIBUS.	23/500 4,6% pour vérification	44/500 soit 8,8% savent faire mais 38/500 soit 7,6% l'abandonnent après

Tableau des performances de lacune sur les différentes phases de l'étude A, B,C.

lacunes	Moyenne GIBUS A	Moyenne GIBUS B	Moyenne GIBUS C
Lacune avant	12,25 cm (estimée)	Non mesurée	6,06 cm.
Lacune milieu	Non mesurée	8,36 cm.	11,01 cm.

ANNEXE 3 : VISEE

Grille générale pour l'analyse des 5 scénarios à approfondir

CAUSES	CONSEQUENCES					
Défaillance du système global : - VISEE, - tâche du conducteur, -environnement (circulation, passagers, météo...)	SUR LE SYSTEME VISEE		SUR LA TÂCHE		SUR L'ENVIRONNEMENT ET LE BUS	
	Sécurité	"Production" (ou qualité accostage)	Fiabilité humaine		Infrastructure automobilistes et	Passagers et conducteur
			Conditions internes du conducteur	Conditions externes : la tâche du conducteur	Sécurité	Confort, sécurité
	Dégâts matériels légers ou importants : - indisponibilité totale, - disponibilité partielle, - dégâts légers (on peut finir la course).	Trajectoire du bus Lacune horizontale avant et arrière du bus, Ecart/l'objectif fixé : - aucun, - léger, - acceptable, - inacceptable.	Caractéristiques physiques et physiologiques : - charge physique (fatigue), - temps de réaction, - attention - stress. Caractéristiques affectives : - attitudes à l'égard de la tâche (respect des règles de conduite et horaires) -motivations - stress et émotion Caractéristiques cognitives : - apprentissage et compétences, - charge mentale, -prise d'information, -représentations -mémorisation, -raisonnement pour: 1. l'anticipation 2. le diagnostic 3. la prise de décision 4. les actions	D'une façon générale, sa tâche est : - accoster dans de bonnes conditions c'est-à-dire dans le respect du confort et de la sécurité vis à vis des passagers et des automobilistes. D'une façon plus détaillée, sa tâche comprend : - le maintien de la trajectoire du bus, - la surveillance de l'environnement (automobilistes, circulation...), - la surveillance du fonctionnement ou dysfonctionnement du système VISEE : surveillance de l'interface.	- dégâts matériels légers ou importants, - blessures légères ou graves - mort d'homme(s)	Dans le bus : - secousses, - blessures légères ou graves, - mort d'homme(s). Sur le quai : - gêne (difficulté de monter ou descendre du bus), - blessures légères ou graves, - mort d'homme(s) (chute ou choc avec le bus).

Exemple d'un scénario de la classe II

Le guidage est interrompu par le système : conduite de Reprise en Manuel suite à une défaillance de ce dernier.

BUT

L'objectif des essais sera d'observer le comportement du conducteur face à différentes situations comme les Reprises en Manuel qui lui sont signalées (voyant défaut clignotant) en fonction des étapes successives du déroulement de l'accostage (RM sur R1R2, RM sur TR2, RM sur AC)*.

RM = Reprise en Manuel due à un incident

R1R2 = entre les plots R1 et R2,

TR2 = pendant le Temps de Réaction après le plot R2,

AC = guidage automatique jusqu'à l'arrêt de l'accostage.

Il s'agira aussi d'évaluer (dans un premier temps) les différences de comportements selon le type de défaillance VISEE, par exemple lors d'une perte de la ligne de référence.

SOUS-SCENARIO 2.1 :

Définition : guidage interrompu par le système, conduite de Reprise en Manuel suite à une perte de la ligne de référence (ligne de référence non visible par la caméra). Trois cas sont envisagés.

- a. Reprise en manuel du conducteur sur l'étape R1R2 suite à une perte de la ligne de référence par la caméra de VISEE.
- b. Reprise en manuel du conducteur sur l'étape TR2 suite à une perte de la ligne de référence par la caméra de VISEE.
- c. Reprise en manuel du conducteur sur l'étape AC suite à une perte de la ligne de référence par la caméra de VISEE.

BUT

L'objectif serait d'observer le comportement du conducteur face à une reprise en manuel sur les étapes R1R2, TR2 et AC.

Situation sur AC :

Le système VISEE perd la ligne de référence pendant l'action de guidage. Le voyant défaut se met à clignoter. Le conducteur voit l'information donnée par le système et reprend la main.

Le conducteur continue l'accostage en conduite manuelle.

Conséquences probables :

Le conducteur devrait reprendre la main dès la perception du signal donné par VISEE.

Hypothèses des ergonomes sur le déroulement du scénario et les comportements attendus :

- 1) Dès le passage du bus au plot R1, VISEE perdrait la ligne de référence (masquage de la ligne de référence > 1,2 m ?) :

- VISEE signalerait au conducteur la défaillance (voyant défaut clignotant) sur l'étape R1R2
 - le conducteur reprendrait la main dès la perception du signal (VISEE aurait décroché).
- 2) Dès le passage du bus au plot R2 (masquage de la ligne de référence avant et après R2 > 1,2 m, VISEE perdrait la ligne de référence :
- le conducteur reprendrait la main dès la perception du signal (VISEE aurait décroché).
- 3) VISEE perdrait la ligne de référence pendant l'action de guidage (au moment de l'application du couple d'accostage de VISEE) :
- VISEE signalerait au conducteur la défaillance (voyant défaut) sur l'étape AC .
- le conducteur reprendrait la main dès la perception du signal (VISEE aurait décroché).

Remarque : pour ces trois situations, le conducteur peut se rendre compte du masquage de la ligne de référence, et se douter, dans ces conditions, de l'impossibilité d'accoster automatiquement. On peut alors envisager une anticipation du conducteur sur l'action de reprise en manuel avant l'émission du signal. L'expérimentation nous permettra de valider nos hypothèses.

Description prédictive de l'arbre en saillie avec VISEE

Notons que la forme retenue ici n'est pas un algorithme mais une narration des séquences car elle permet de mieux détailler les situations, les contraintes et hypothèses établies pour une conduite prévue avec système d'aide.

Le pré-accostage

Avant le plot "station" R1 (AR1) au moins 60 m avant l'abri

I. Le chauffeur prévoit son accostage :

Il identifie le type d'arrêt.

Il regarde le quai.

II. S'il y a gêne, le choix dépend de trois critères :

sécurité des voyageurs,

sécurité vis-à-vis de la circulation,

- la consigne temps de parcours.

1) "Il attend que le véhicule s'en aille" :

Le chauffeur pourra accoster avec l'assistance du système VISEE. Ce cas pourra se rencontrer à chaque fois qu'un autre bus est à l'arrêt. Cette situation sera fréquente, surtout si l'arrêt est destiné à plusieurs lignes de bus. C'est néanmoins le scénario 0 qui s'appliquera.

2) "Il stoppe avant l'arrêt" :

Le chauffeur n'accostera pas avec l'assistance du système VISEE. Il s'arrêtera soit avant le plot R1 c'est-à-dire au moins à 60 m de l'abri, soit entre le plot R1 et R2, c'est-à-dire entre 60 et 40 m de l'abri.

De chaque côté d'un arrêt en saillie, sont prévus des emplacements de parking. La ligne de référence en site réel serait donc à 2 m du trottoir, soit la largeur de l'emplacement.

Or, vu la configuration actuelle des arrêts en saillie sur site réel (ex: longueur du quai = 16,70 m et largeur du quai = 3,30 m) et la distance des plots prévue par rapport à l'arrêt (au moins 60 m pour le plot R1 et au moins 40 m pour le plot R2), le chauffeur sera obligé de décharger et charger les passagers sur la chaussée à 2 m du trottoir. On peut penser qu'il s'arrêtera toutefois le plus près possible du quai, c'est-à-dire entre le plot R1 et R2. Il devra effectuer un accostage manuel suite à une désactivation du système (classe de scénario II) .

3) "Double le véhicule et stoppe après l'arrêt" :

Cela est possible seulement s'il y a une deuxième voie de circulation dans le même sens.

Dans ce cas, le système VISEE ne pourra pas repérer la ligne de référence ou la perdra. L'accostage ne se fera donc pas avec l'assistance du système (classe de scénario II).

De même que dans le choix précédent, les voyageurs montent et descendent sur la chaussée et le bus est à 2 m du trottoir.

III. "Il repère les véhicules gênants sur les parkings le long du trottoir avant l'arrêt" et "repère la ligne de référence".

Le chauffeur pourra effectuer les deux actions simultanément, d'une part, parce qu'un regard vers la droite suffit et d'autre part, il pourra vérifier si un véhicule gêne la détection de la ligne de référence. Si c'est le cas, le chauffeur rencontrera peut-être des difficultés à cibler le cône d'accrochage : tout dépendra de la distance de la voiture en stationnement gênant par rapport

au plot "station" R1. C'est un scénario de classe 0, un peu particulier, que l'on nomme scénario 0 bis.

IV. "Il vérifie l'état de VISEE" :

Le chauffeur contrôlera les informations données par le système VISEE,

- si le voyant M/A est allumé, il saura que VISEE est actif ; c'est le SCENARIO 0 .

- si le voyant M/A est éteint, il saura que VISEE est inactif ; cet état peut être la conséquence d'une action précédente du chauffeur qui pourra décider d'activer VISEE en appuyant sur le bouton ON /OFF. C'est le scénario 0 ter, qu'il faudra aussi tester.

V. "Il repère le plot "station" R1" :

Le plot R1 sera un point de repère pour le chauffeur, notamment afin de préparer son action de "ciblage" du cône d'accrochage.

VI. "Il cherche à cibler le cône d'accrochage."

Avant d'atteindre le plot R1, le chauffeur doit situer le cône d'accrochage.

Pour cela il devra :

- "Ajuster sa position" en tournant légèrement le volant à droite, tout en se préoccupant de la circulation : le chauffeur devra regarder "le rétroviseur de gauche si les véhicules derrière lui comprennent qu'il va s'arrêter",

- Et "freiner progressivement".

L'ensemble de ces actions devra être anticipé par rapport à un accostage sans assistance VISEE, c'est-à-dire avant le plot "station" R1 situé à 60 m de l'abri.

Entre le plot "station" R1 et le plot "accostage" R2 (R1R2)

VII. "Il repère le plot R2" :

Après avoir ressenti les vibrations au volant (accrochage R1), le chauffeur repèrera le plot R2 : il devra vérifier que le système VISEE ne perd pas la ligne de référence pour qu'il y ait accrochage du plot R2.

L'accostage

Temps de réaction de VISEE après l'accrochage R2 (TR2)

VIII. Après avoir ressenti le "déclat" d'accrochage au plot R2 ou les vibrations au volant (à préciser avec la définition de VISEE), le chauffeur attendra "que le volant tourne".

Remarque : pour l'arrêt en alvéole, l'angle au volant sera important, mais pour l'arrêt en saillie ou même en ligne, cet angle devrait être peu important, voire inexistant, dans la mesure où la ligne de référence est rectiligne.

À l'accostage (AC)

IX. Après avoir "senti le volant tourner" (si c'est le cas), le chauffeur devra "surveiller la trajectoire du bus" et "regarder le quai" pour repérer sa position afin de vérifier l'alignement du bus par rapport au quai. Le chauffeur devra vérifier notamment que la trajectoire du bus menée par le système VISEE correspond à ses attentes en fonction de ses propres repères.

X. "Il regarde le rétroviseur de droite"

1) Pour la sécurité des voyageurs : s'ils sont trop près du bord, il va regarder la position de leur tête en fonction du rétroviseur, de leurs pieds par rapport à la partie basse du bus. Peut-être sera-t-il obligé de modifier légèrement la trajectoire de ce dernier calculée par VISEE. Son souci peut être sécuritaire, sans pour autant vouloir reprendre la main. C'est le scénario 4.

2) Pour l'accessibilité aux voyageurs : l'alignement du bus parallèlement au quai. Le chauffeur vérifie si tout le véhicule est sur le quai et s'il est aligné. C'est le scénario 0. Le chauffeur vérifiera si la trajectoire conduite par VISEE est satisfaisante. S'il pense, à juste titre, ou par erreur, que la position du bus est anormale, il décidera peut-être de modifier légèrement sa trajectoire. Comme précédemment, le chauffeur ne voudra pas pour autant reprendre la main.

L'arrêt

XI. "Il s'arrête et ouvre les portes".

CAUSES	CONSEQUENCES					
Description des scénarios	Sécurité système	Fiabilité humaine - Activité/tâche Physio/cognitif/affectif	Qualité de l'accostage - Trajectoire bus - Lacune horizontale	Confort Conducteur/passagers	Gravité	Intérêt à tester
<p>GROUPE V : ensemble des scénarios où la RM est forcée ou erronée par le conducteur</p> <p>SCENARIO 1 a (bis) : VISEE est actif alors que le conducteur croit l'inverse. Le conducteur croit que VISEE est inactif dès R1</p> <p>Le conducteur croit que VISEE est inactif seulement à partir de R2</p>	<p>État du voyant M/A éteint (défaillance) Détection du plot R1 --> Vibrations au volant</p> <p>détection du plot R1 --> Vibrations au volant</p> <p>Détection du plot R2 --> Application du couple d'accostage contrarié par le conducteur Compétition ?</p>	<p>Le conducteur ne prête pas attention aux vibrations, il croit alors qu'il doit accoster en conduite manuelle</p> <p>Le conducteur pense que VISEE n'a pas détecté R2 : il pense par exemple qu'il n'a pas bien ajusté son bus pour permettre la détection du plot.</p> <p>Le conducteur tente d'accoster en conduite manuelle alors que dans le même temps VISEE applique un couple d'accostage.</p> <p>Le risque sera d'autant plus important qu'il existera une compétition entre le conducteur et le système.</p>	<p>L'accostage en conduite manuelle se déroulera sur une distance de plus de 40 m. La qualité de l'accostage (trajectoire et lacune) devrait être correcte.</p> <p>RM à moins de 40 m de la station La qualité de la trajectoire dépendra du temps que mettra le système à laisser la main au conducteur. (Trajectoire et lacune à mesurer sur site)</p>	<p>Confort des passagers selon la conduite du conducteur</p> <p>La compétition entre le système et le conducteur peut-être source d'inconfort (conducteur et passagers)</p>	<p>X8</p> <p>X7 ou X6</p>	<p>II</p> <p>III</p>

Exemple de hiérarchisation d'un scénario du groupe V

Gravité : Intérêt à tester : X1 = ..., X2 = ..., X3 =, X5 = ...,
X6 = maîtrise du véhicule très difficile et passagers secoués
X7 = stress et difficulté de maîtrise du véhicule
X8 = sans aucune gravité.

I = peu intéressant à tester
II = intéressant à tester
III = très intéressant à tester

Relevé des comportements en mode nominal et incidentel

1) Relevé des comportements du conducteur dans les conditions normales de fonctionnement de VISEE :

Avant R1 - Comportement du conducteur relatif au positionnement du bus :

Sur le site de La Valbonne, le losange n'est pas utilisé par le conducteur pour placer le bus dans le centre de la voie d'accostage.

Sur le site de Grenoble, ce résultat est confirmé sur des arrêts situés sur une voie en ligne droite. Par contre, sur un arrêt situé sur une voie incurvée, le conducteur modifie sa stratégie d'approche pour faire passer le bus sur le losange afin d'obtenir une trajectoire plus souple et progressive. Ce résultat souligne d'une part la nécessité d'un entraînement (formation) des conducteurs à ce mode de conduite et, d'autre part, la nécessité d'un point de repère au sol pour les avertir (losange ou autre marqueur nécessaire).

- Comportement du conducteur relatif à la vitesse d'accostage :

Sur le site de La Valbonne, la vitesse de consigne imposée par le système est ressentie comme une contrainte par le conducteur.

Sur le site de Grenoble, cette consigne devient moins contraignante. Le conducteur s'est approprié le système. En cas de forte contrainte de temps en situation réelle de travail, il est amené à dépasser cette vitesse (35 km/h) 30 m avant l'arrêt, ce qui n'est pas souhaitable. Il faudrait beaucoup insister sur cette consigne de vitesse.

En R1 : - Perception du volant et de l'information visuelle (voyant orange)

Sur le site de La Valbonne, le conducteur détecte la vibration et sent bien le guidage ; ces informations kinesthésiques sont suffisantes, il prélève parfois une autre information de confirmation (voyant orange), mais cette opération n'est pas systématique.

Sur le site de Grenoble, le conducteur ne vérifie pas l'état du voyant orange dans des conditions nominales. Sa perception tactile de la direction s'est affinée avec l'apprentissage. Par ailleurs, la conduite en situation réelle montre qu'il n'a pas le temps et l'attention nécessaire pour pouvoir vérifier ce voyant « en temps réel ». Cependant, ce voyant est mal situé et entraîne une prise d'information plus longue car il détourne le regard du conducteur pour prélever l'information. Un voyant situé dans le champ de vision centrale serait préférable et pourrait ainsi plus aisément servir d'élément de confirmation.

Après R1 : - Alignement du bus

Sur le site de La Valbonne, le conducteur vérifie l'alignement du bus par rapport au trottoir en regardant dans son rétroviseur extérieur droit. Mais, dès que sa confiance augmente, la fréquence des regards tend à diminuer.

Sur le site de Grenoble, ce dernier comportement se confirme si l'arrêt est dégagé (aucune gêne avant l'arrêt). Il se libère de cette tâche pour mieux surveiller ce qui se passe devant lui et sur le quai.

2) Relevé des comportements du conducteur dans les conditions anormales de fonctionnement de VISEE :

a) Cas où la trajectoire du bus serait déviée par rapport à un accostage normal avec VISEE :

Avant R1 : - Déport latéral limite du bus à gauche de la ligne de référence

Sur le site de La Valbonne, le conducteur reste vigilant pendant le guidage, il vérifie l'état du voyant R, la trajectoire du bus dans son rétroviseur extérieur droit et accompagne de ses mains le volant pour se préparer éventuellement à une reprise en main.

Sur le site de Grenoble, à la fin des trois essais, le conducteur s'habitue à la trajectoire appliquée par le système et ses modes opératoires deviennent équivalents à ceux qui sont observés en conditions nominales. Néanmoins, dans une situation de déport latéral excessif (mesure de l'écart ligne de 1 à 1,20 m), l'attention du conducteur est plus soutenue et une décision de reprise manuelle est possible. La formation à ce type d'événement est donc nécessaire et souhaitable pour permettre au conducteur de maîtriser la situation.

- Le bus est désaxé par rapport à la ligne de référence suite à un évitement :

Sur le site de La Valbonne, le conducteur reste vigilant pendant le guidage. Il vérifie l'alignement du bus dans son rétroviseur extérieur droit. Cette situation peut conduire à une reprise en main du conducteur par crainte de percuter le trottoir.

Sur le site de Grenoble, ces comportements (attention plus soutenue et possibilité d'une reprise manuelle), sont vérifiés.

En R1 et après R1 : - Diminution de la consigne de couple provoquant un écart de trajectoire du bus à gauche.

Sur le site de La Valbonne, le conducteur détecte rapidement la défaillance et reprend la main. Le temps de réaction du conducteur tend à diminuer au bout de quelques essais et la qualité d'accostage est meilleure (amélioration de la lacune).

Sur le site de Grenoble, ce résultat est vérifié. L'apprentissage permet au conducteur de reconnaître rapidement la situation et de réagir plus vite.

b) En cas de défaillance de VISEE :

En R1 : - Absence de détection du plot R1

Sur le site de La Valbonne, le conducteur a parfois besoin d'une confirmation sur l'état du système, parce qu'il n'a pas senti la vibration.

Sur le site de Grenoble, le conducteur a une perception tactile plus développée. La souplesse de la direction lui confirme l'état inactif du système. Il n'a donc pas besoin de vérifier l'état du voyant orange. Mais, en cas de forte charge attentionnelle, cette confirmation peut s'avérer nécessaire bien que cette situation n'ait pas pu être testée complètement.

Après R1 : - Perte de la ligne de référence par le système de vision

Sur le site de La Valbonne, la récupération de la situation par le conducteur est satisfaisante.

Sur le site de Grenoble, ce résultat est confirmé même avec une vitesse rapide d'approche à l'arrêt (40 km/h). Le conducteur peut, si son attention n'est pas excessivement monopolisée par les contraintes de l'environnement, détecter le décrochage du système avant de percevoir les signaux d'alerte sonore et visuel. Sa perception des réactions de la direction devient sensible. Mais, en cas de charge attentionnelle importante, les signaux d'alerte sont indispensables. Sur les deux sites d'expérimentation, la perception des signaux d'alerte s'est révélée satisfaisante : le conducteur détecte d'abord le bip sonore, puis voit le voyant rouge clignoter. Le voyant rouge est une confirmation.

c) Reprise manuelle du conducteur :

Reprise manuelle volontaire :

- Suite à un évitement d'obstacle

Aussi bien dans le cas d'un obstacle intempestif (sur le site de La Valbonne) que dans celui d'un obstacle statique (sur le site de Grenoble), le conducteur n'est pas gêné par la résistance momentanée appliquée par le système lors de sa reprise manuelle. Mais, ni sur le site de La Valbonne, ni sur le site de Grenoble, n'a été testée une situation d'urgence. L'appréciation serait différente si le conducteur se trouvait dans une telle situation. Une meilleure approche de cette situation devrait être testée.

- Parce qu'il n'a pas besoin d'accoster (rétention volontaire)

Pendant la première campagne d'essais à La Valbonne, l'effort à exercer au moment de la reprise en main est ressenti comme aisé.

Sur le site de Grenoble, apparaissent deux avis opposés : certains sentent une trop forte résistance, alors que d'autres ne sont pas gênés par celle-ci. Cette différence d'appréciation entre les deux sites est liée aux contraintes de l'environnement et à la complexité de la tâche réelle. Sur le site de La Valbonne, l'action du conducteur sur le volant est continue alors que sur le site de Grenoble, elle est hésitante parce qu'il doit faire attention aux véhicules derrière lui et aux passagers éventuels sur le trottoir.

d) Reprise manuelle involontaire

Les essais sur le site de Grenoble ont permis d'observer une reprise manuelle involontaire du conducteur. Il a repris la main sans s'en rendre compte. Le système a décroché parce qu'il tenait fermement le volant entre ses mains. La perception du bip sonore de reprise en main est entendu mais il est possible qu'il soit masqué par des bruits environnants au cours d'autres situations. Quatre raisons peuvent être évoquées pour expliquer que ce signal ne soit pas toujours détecté par le conducteur :

- l'action du conducteur est volontaire et il n'attend pas d'information du système,
- l'attention est focalisée sur son action de reprise en main,
- le niveau sonore de ce signal est faible,
- les capacités perceptives individuelles de l'audition sont variables.

Néanmoins, cette information est véritablement nécessaire pour prévenir le conducteur, notamment si son attention est fortement sollicitée par des événements extérieurs. Le niveau sonore devra être augmenté.

Types de modes sensoriels pour l'interface VISEE

VISEE transmet au conducteur des informations sous trois modes sensoriels : Kinesthésique, visuel, et sonore. On distingue aussi trois types d'information.

- permanente et perceptible en continu par le conducteur,
- permanente et prélevée ponctuellement par le conducteur en fonction de ses besoins,
- ponctuelle et perceptible par le conducteur sans recherche de sa part (signaux d'avertissement et d'alerte).

Il convient d'être attentif à leur organisation pour vérifier qu'elle est adaptée aux capacités de l'homme pendant sa tâche et pour bien concevoir l'interface.

Les informations kinesthésiques. Le conducteur reçoit du système trois informations tactiles :

- la vibration au volant,
- la raideur du volant liée à l'application du couple,
- la souplesse du volant liée au décrochage de VISEE.

La première information est ponctuelle et détectable immédiatement par le conducteur si ses mains sont sur le volant (consigne impérative). Elle est un signal d'avertissement. Elle avertit le conducteur que le bus va passer en guidage.

La deuxième information est permanente pendant le guidage et perceptible en continu par le conducteur. Elle informe le conducteur sur le fonctionnement du système.

La troisième information est ponctuelle pendant le guidage et détectable par le conducteur sans recherche d'information de sa part.

Les deux premières informations sont, pour le conducteur, deux événements déclencheurs du passage du bus en guidage.

Dans des conditions normales d'accostage avec VISEE, les expériences l'ont montré quand il y a entraînement et appropriation du système, ces informations tactiles sont suffisantes pour qu'il sache qu'il est en guidage.

La deuxième information est bien perçue alors que la première ne l'est pas toujours, notamment lorsque la charge attentionnelle du conducteur est élevée.

Cette situation peut impliquer une hésitation du conducteur sur l'état du système. Dans ce cas-là, une redondance de l'information kinesthésique ne serait pas inutile. En effet, le conducteur peut sentir ponctuellement le besoin de prélever une information de confirmation.

La troisième information est bien perçue, mais il est préférable de la redonder par un signal d'alerte pour l'éventualité où le conducteur ne réagirait pas.

Les informations visuelles, au nombre de trois :

le voyant vert qui l'informe que le système est prêt à fonctionner au prochain arrêt. Il présente une information permanente et prélevée ponctuellement par le conducteur. Du fait des conditions expérimentales, les essais n'ont pas mis en évidence l'utilité ou l'inutilité de ce voyant. Néanmoins, d'un point de vue ergonomique, il est nécessaire d'indiquer au conducteur si le système est prêt à fonctionner dès qu'il commence sa journée de travail. Cette information devra être associée au bouton Marche-Arrêt. L'ensemble des voyants devraient être positionnés dans l'axe du regard et non comme ils le sont actuellement.

le voyant orange qui l'informe sur l'état actif ou inactif du système. Pendant l'accostage, il présente une information permanente et prélevée ponctuellement par le conducteur. Les résultats des essais montrent que cette information n'est prélevée par le conducteur que dans trois conditions :

En phase de familiarisation avec le système, cette information se révèle utile pour confirmer au conducteur l'état de fonctionnement du système parce que sa perception tactile de la direction n'est pas encore très fine,

dans des conditions anormales de fonctionnement de VISEE (déport latéral du bus, écart de trajectoire...),

et/ou dans des conditions de forte charge attentionnelle du conducteur. Particulièrement pour les deux dernières conditions, cette information est utile en cas d'hésitation du conducteur sur l'état de VISEE. Enfin, il faut noter que cette information devrait toujours être disponible (donc bien positionnée) au moment de l'enclenchement du guidage.

le voyant rouge clignotant qui l'alerte d'une défaillance du système et exige une reprise manuelle. Il présente une information d'alerte perceptible en vision périphérique. Cette information simultanée à l'information sonore (bip long) ne sert que de confirmation. Le conducteur perçoit le signal sonore avant (voir ci-après).

Les informations sonores, au nombre de deux :

Le bip court est émis par le système dans deux conditions :

- lorsque la vitesse du bus dépasse la vitesse limite supérieure d'accrochage,
- lorsque le conducteur reprend la main pour lui confirmer son action.

Les essais n'ont pas apporté de réponses sur l'utilité et l'efficacité du signal pour la première condition du fait qu'aucun scénario ne prévoyait de le tester spécifiquement et que le conducteur avait la consigne de ne pas dépasser la vitesse limite (35 km/h). Néanmoins, d'un point de vue ergonomique, il n'est pas souhaitable d'émettre un même signal dans deux situations différentes. Cela peut être une source de confusion quant à sa signification.

Ce signal s'est révélé trop discret ; il mériterait d'être à un niveau sonore plus élevé surtout si le conducteur reprend involontairement la main.

le bip long est émis en cas de passage de VISEE en mode défaut.

Ce signal d'alerte est très bien perçu et conduit sans ambiguïté à une prise en charge de l'accostage par le conducteur.

ANNEXE 4 : CIVIS

Description de l'utilisation des postes de travail :

La même analyse a été réalisée pour les parcours, la conduite, la gestion des voyageurs et les pannes et accidents mais nous ne les joignons pas à l'annexe pour un soucis de concision.

Le poste de travail

	GRENOBLE		STRASBOURG	
	DESCRIPTION	UTILISATION	DESCRIPTION	UTILISATION
ASSISE	<p>Siège type siège de bus. Réglage avant/arrière Réglage hauteur par une molette sous l'arrière du siège.</p>	<p>Même en position arrière maximale, aucun conducteur ne peut étendre ses jambes, elles doivent rester pliées. Le réglage en hauteur est difficilement manipulable étant donnée sa position et la dureté de la molette. Le poste de conduite est plus haut par rapport au sol qu'à Strasbourg. L'assise est plus près du pare brise par rapport à Strasbourg.</p>	<p>Siège pivotant pour permettre au conducteur de s'installer quand il rentre dans la cabine. Accoudoirs solidaires du siège et horizontaux en plastique dur. Sur l'accoudoir droit se trouvent les commandes des portes et le frein d'urgence. Réglage avant/arrière du siège. Réglage de l'inclinaison du plancher.</p>	<p>La position des commandes sur l'accoudoir permet une bonne accessibilité. La hauteur et l'inclinaison des accoudoirs par rapport à l'assise n'est pas réglable. La position arrière maximale est limitée pour les conducteurs mesurant 1m80 et plus, mais ils peuvent étendre leurs jambes. Pas de réglage en hauteur du siège.</p>
VISION	<p>Champ de vision de 180° avec pare-brise avant délimité par des montants de 10 cm de large environ. Fenêtres sur les côtés de même hauteur que le pare brise. Store intérieur manuel sur le pare-brise.</p>	<p>Il a été observé que plusieurs conducteurs se penchent en avant pour regarder en arrière lors de passages délicats sur des zones de travaux. Le plastique de revêtement du tableau de bord est plus mat qu'à Strasbourg : les reflets du soleil ne sont pas éblouissants.</p>	<p>Champ de vision supérieur à 180°, baies vitrées plus grandes que à Grenoble en hauteur et largeur, et montants du pare-brise de 5 cm environ. Coque plastique teintée extérieure adaptée au pare-brise, réglable en hauteur par deux boutons.</p>	<p>Le champ de vision est plus large qu'à Grenoble. La surface vitrée importante entraîne une grande luminosité dans la cabine ce qui est agréable, mais peut parfois être gênant, notamment pour la prise d'information sur le tableau de bord.</p>

GRENOBLE		STRASBOURG	
DESCRIPTION	UTILISATION	DESCRIPTION	UTILISATION
<p>RETRO VISION</p> <p>Les rétroviseurs extérieurs sont rentrés par défaut. Le rétroviseur de droite sort à l'arrêt en station (dévrouillage des portes). Deux commandes permettent de sortir les rétroviseurs à la demande. La position des deux rétroviseurs est réglable. Ils se referment automatiquement lorsque la vitesse est supérieure à 10 km/h. Il existe un rétroviseur intérieur permettant de voir les voyageurs dans la rame.</p>	<p>Le champ visuel des rétroviseurs extérieurs permet de voir toutes les portes. Le conducteur peut modifier la position de ces rétroviseurs en fonction de sa taille et de ce qu'il veut voir. L'utilisation des commandes pour les rétroviseurs extérieurs est peu accessible, de plus il faut appuyer en continu dessus pour que le rétroviseur reste ouvert. Le rétroviseur intérieur peut permettre de voir qui demande la sortie des palettes, et si tout le monde est descendu au terminus.</p>	<p>Deux écrans de rétrovision en noir et blanc se trouvent sur le tableau de bord central, en position verticale. Les caméras sont placées de part et d'autre de chaque tête de tramway, et sont protégées par une vitre. Elles sont donc quatre en tout. Les écrans s'allument automatiquement à l'arrêt de la rame. Puis ils s'éteignent 50 mètres après avoir quitté l'arrêt. Le conducteur peut choisir de les laisser allumés en continu en sélectionnant une commande sur l'accoudoir. A l'arrêt, l'écran de droite présente l'avant droit de la rame, et l'écran gauche, l'arrière droit de la rame.</p>	<p>Les conducteurs apprécient la fonctionnalité des écrans de rétrovision : l'information visuelle fournie correspond globalement à leur besoins, cependant : Le champ visuel est très étroit, les caméras étant plaquées sur la coque du tramway. D'une rame à l'autre le réglage des caméras peut être différent, le champ de vision est donc modifié. Il n'y a pas de réglage de contraste, luminosité, ce qui est gênant étant donné les différences de luminosité dans la cabine (jour, nuit, tunnel, lunettes de soleil...). Il n'est pas possible de régler la position des caméras en fonction de la forme de la station (ligne droite, courbe) par exemple.</p>

GRENOBLE		STRASBOURG		
DESCRIPTION	UTILISATION	DESCRIPTION	UTILISATION	
...RETRO VISION		<p>En conduite, l'écran de gauche présente l'avant gauche de la rame.</p> <p>Dans certaines stations, des miroirs ont été installés en tête de quai pour améliorer la rétrovision des conducteurs. Il serait prévu d'en installer à toutes les stations.</p>	<p>Lorsqu'il pleut, les écrans deviennent illisibles : de la buée se forme sur la vitre qui protège la caméra.</p> <p>La vitre protégeant les caméras est souvent sale, et brouille l'image sur l'écran.</p> <p>Les écrans en couleurs seraient appréciés pour une meilleure observation des voyageurs (montée, descente).</p> <p>Les deux portes du milieu restent invisibles au conducteur la plupart du temps.</p>	
AUDITION	<p>Cinq signaux sonores :</p> <p>Sonnette écologique</p> <p>Veille automatique</p> <p>Alarme voyageurs</p> <p>Gong de départ</p> <p>Anomalie</p>	<p>Le volume de la veille automatique est plus élevé à Grenoble.</p> <p>La sonnette écologique est au pied à Grenoble alors qu'elle est sur le manipulateur de conduite à Strasbourg.</p> <p>Globalement, le niveau sonore en cabine est moins élevé à Grenoble qu'à Strasbourg.</p>	<p>Cinq signaux sonores :</p> <p>Sonnette écologique</p> <p>Veille automatique</p> <p>Gong de départ</p> <p>Alarme voyageurs</p> <p>Demande de palette pour personne handicapée.</p>	<p>La sonnette écologique est beaucoup plus utilisée à Strasbourg qu'à Grenoble : le conducteur sonne à chaque départ, après le gong, et à chaque carrefour.</p> <p>Le signal sonore pour la demande de palette redonde le clignotement d'un bouton. Il peut être gênant car il ne s'arrête pas si les palettes ne sont pas sorties.</p>

Préconisation pour le guidage optique

	Info visuelle TdB	Info sonore	Info kinés— thésique	Actions	Complément info
Prêt à fonctionner (Inactif)	1- Voyant vert		Souplesse du volant	Appui sur le bouton pour mise en marche/arrêt.	
Inactif→ actif	2 - Voyant orange s'allume		Vibration et raideur au volant		
Actif	Voyant orange allumé		Raideur du volant		
Actif→ Inactif	Voyant orange s'éteint		Souplesse du volant		signalisation extérieure de fin guidage.
Reprise en main par le conducteur	Voyant orange clignote	Bip court	Souplesse du volant		
Défaillance système « défaut vision » ou « panne système ».	3 - voyant rouge clignote. Allumé en continu après acquittement	Bip long en cas de panne système.	Souplesse du volant	Acquittement volontaire par le conducteur du bip sonore.	
coupure d'urgence: cas de défaillance du dispositif reprise en main	1- Voyant vert éteint			Appui sur le bouton pour mise en marche/arrêt.	
Dépassement vitesse limite d'accrochage	Affichage message sur écran vidéo.	Bip intermittent			

Importance hiérarchique

fréquence d'utilisation/visualisation	utilisation conduite et/ou arrêt	gravité incidents
+++	+++	+++

Implantation

	Utilisations	Zone préconisée	Dimensions /forme
Bouton poussoir avec voyant vert incorporé	- En début de service, le conducteur met sous tension le système - Situation d'urgence : en cas de défaillance du système (impossibilité de reprendre la main), le conducteur appuie sur ce bouton pour mettre le système hors tension.	Champ visuel direct (dit « bon ») + Zone d'atteinte directe.	Bouton de 30 mm de \varnothing ou de côté (rond ou carré). - Avec voyant incorporé - Ou voyant dissocié, dans ce cas, \varnothing d'environ 10 mm**.
Voyant orange	Ce voyant informe le conducteur de l'état actif /inactif du système : confirme soit une reprise en main , soit une fin de guidage ¹⁵ .	Champ visuel direct.	Voyant de \varnothing environ 10 mm**.
Bouton poussoir avec voyant rouge incorporé	Ce voyant informe le conducteur que le système de guidage est défaillant. Il doit appuyer sur ce bouton pour que le signal sonore s'arrête dans le cas d'une panne système.	Champ visuel direct + Zone d'atteinte directe.	Bouton de 30 mm de \varnothing ou de côté (rond ou carré). - Avec voyant rouge incorporé - Voyant dissocié, dans ce cas, \varnothing d'environ 10 mm ¹⁶ .

Préconisations pour le design

- Position souhaitable de la caméra : étant donnée sa position, il faut éviter de la masquer par un volume pour deux raisons. La première est une question d'accessibilité pour la maintenance, puisqu'en cas de défaillance, l'intervention devra être rapide. La deuxième est une question de visibilité pour le conducteur, il faut éviter de diminuer sa visibilité en masquant la caméra par un volume supplémentaire.
- Position souhaitable des commandes : à droite du volant à l'emplacement de ventilation droite sur le VDO, ou à droite du VDO, si l'implantation sur le VDO n'est pas possible. Le conducteur doit être en mesure de voir, même en vision périphérique, en conduite, l'état du système.
- Associer visuellement les trois boutons, et dissocier visuellement les deux boutons poussoirs du voyant.
- Les deux boutons poussoirs doivent être plus accessibles manuellement, et le voyant doit être plus accessible visuellement.
- Attention à la couleur : il faut éviter que les voyants vert, orange et rouge se reflètent sur le pare-brise la nuit, puisqu'ils peuvent être confondus avec la signalisation extérieure.

¹⁵ En cas de reprise en main volontaire, le voyant clignote, un signal sonore est émis et le conducteur ressent la souplesse du volant. En cas de fin de guidage, le conducteur en est informé par signalisation extérieure et par la souplesse du volant.

¹⁶ Le voyant doit requérir au minimum un angle de vision de 1 degré.

La source du signal sonore devra être implantée dans la même zone, afin que le conducteur face le rapprochement entre le voyant rouge et le signal sonore (Il faut éviter par exemple que le signal sonore provienne de l'extrême gauche de la cabine, car le conducteur aura tendance à tourner la tête vers cet endroit).

Etude de cas de deux scénarios prédictifs

Cas de l'arrêt en station

Hypothèses sur la situation décrite :

Le conducteur est à l'arrêt en station.

L'arrêt se trouve entre deux bordures.

C'est un arrêt en ligne : le cas de l'arrêt en courbe est traité plus loin dans la partie « courbes ».

Nous envisageons le cas de l'arrêt avec réemperchage.

Description de l'activité future probable du conducteur

La contrainte principale du conducteur est de minimiser le temps à l'arrêt pour respecter son temps de parcours.

Les tâches obligatoires à effectuer sont le réemperchage, l'ouverture et la fermeture des portes pour permettre la montée /descente des passagers.

Pour cela il doit actionner :

les boutons d'ouverture /fermeture des portes

vérifier le bon positionnement du véhicule pour le réemperchage puis actionner le réemperchage, puis vérifier que le réemperchage est bien accompli.

Le conducteur doit également planifier son départ, notamment vérifier que la voie est libre, dans le cas où, une fois qu'il quitte la station, il se trouve en zone non protégée (zone piétonne ou carrefour).

Pour toutes ces tâches, le conducteur effectue des activités de recherche d'information et de surveillance, il a donc besoin de la rétrovision :

pour surveiller la montée/descente des passagers, le conducteur a besoin des deux caméras avant et arrière droite. Pour s'aider, il peut utiliser l'écran de vidéosurveillance.

Pour planifier son départ, il a besoin des caméras avant droite et avant gauche.

Lors de ses expériences précédentes, le conducteur s'est construit une règle globale prenant en compte plusieurs critères, ainsi que leurs variations possibles, pour en déduire des classes de situations possibles. Pour chaque type de situation, l'opérateur leur a associé des enchaînements d'actions précis, pour toujours remplir au mieux son objectif de ne pas perdre de temps à l'arrêt, et respecter les impératifs de sécurité.

Cette règle tient compte des critères suivants :

Critères mémorisés par le conducteur lors des prises d'informations aux arrêts précédents : nombre, type et répartition des voyageurs à bord, retard /avance par rapport à l'horaire.

Critères à relever sur l'environnement extérieur quand il arrive à l'arrêt : observation du nombre, du type et de la répartition des voyageurs sur le quai.

Critères à prélever sur l'environnement extérieur pendant la durée de l'arrêt : surveillance montée /descente des passagers pour savoir quand il peut fermer les portes.

Critères à prélever sur l'environnement extérieur pendant la durée de l'arrêt avant le départ : surveillance en amont pour la recherche d'obstacles éventuels après le démarrage.

Critère mémorisé lors d'expériences précédentes : temps nécessaire pour le réemperchage.

Critère du temps : le conducteur vérifie éventuellement sur le SAE l'heure, et les minutes de retard /avance.

En fonction de la classe de situation que le conducteur a identifiée à partir de ces critères, il va en déduire un mode opératoire approprié pour l'enchaînement de ses actions sur les

commandes, de ses prises d'information sur l'environnement extérieur et en cabine, et de ses tâches de surveillance.

Conséquences pour la conception de l'interface

Les éléments suivants sont à considérer :

Les commandes « actions » : réemperechage, ouverture /fermeture portes.

Les commandes « prise d'information /surveillance » : réglage des écrans, permutation des images sur les écrans ou utilisation de rétroviseurs standards.

Pour faciliter au maximum la souplesse d'utilisation de ces commandes, il faut laisser le plus possible de possibilités au conducteur pour qu'il puisse planifier son activité en fonction de ses critères. Il faut donc que les commandes et informations en cabine soient conçues de telle manière que des enchaînements différents de leur utilisation soient possibles, qu'il n'y ait pas de difficulté particulière pour un enchaînement plus que pour un autre.

L'ordre dans lequel les activités de réemperechage et d'ouverture /fermeture des portes sont effectuées peut varier. Ce point reste à approfondir.

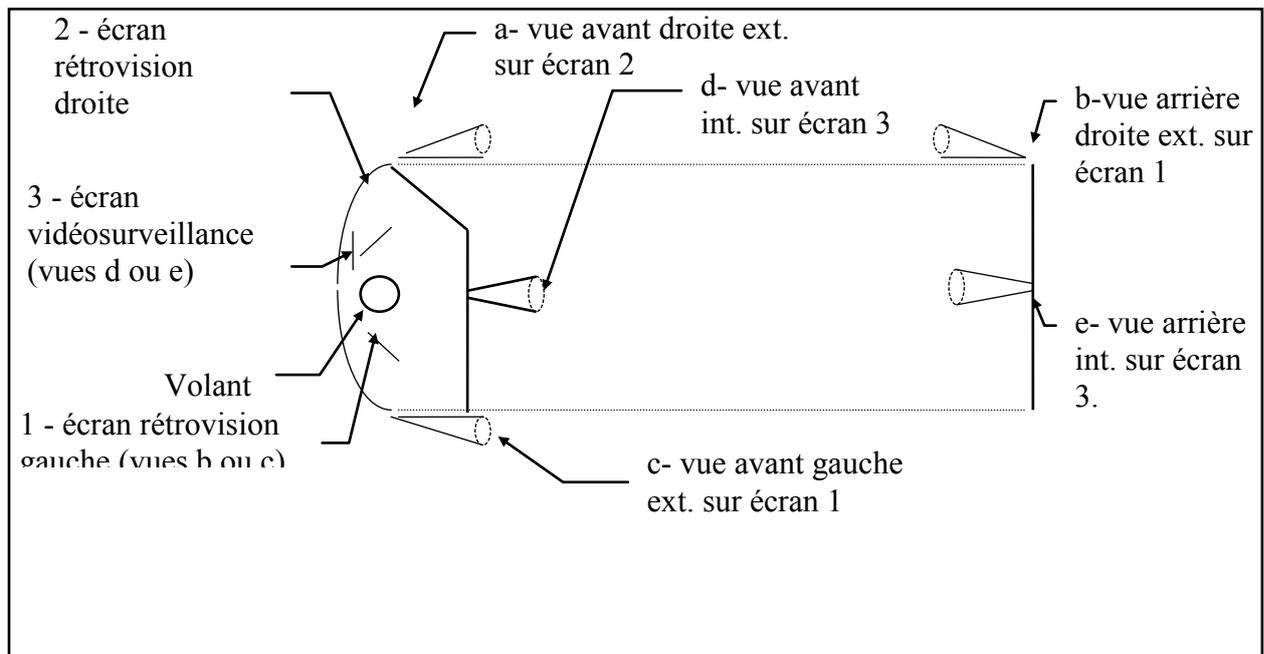
Pour les activités de prise d'information et de surveillance, il en est de même :

par exemple, lorsque le conducteur est à l'arrêt, il planifie déjà son départ, mais à ce moment, son activité principale consiste à regarder le quai avec les deux écrans de rétrovision.

Pour faciliter l'anticipation du départ, et donc la surveillance à gauche avant que les portes ne soient fermées, le conducteur pourra avoir besoin d'utiliser la commande de permutation pour l'écran 2, et ainsi passer de la vue b à la vue c. En effet, dans certaines situations, surveiller la montée des passagers à l'arrière avec la vue e sur l'écran 3 pourra suffire.

Ainsi, tout en surveillant la montée/descente des passagers grâce aux vues a et e, il aurait déjà la possibilité de regarder en vision périphérique ce qui se passe à gauche (vue c) du véhicule en prévision de son départ.

Schéma récapitulant les correspondances entre les caméras et les écrans



Il faut ensuite considérer l'enchaînement global de toutes ces activités : action sur les commandes, et utilisation des écrans. Le passage de l'un à l'autre doit être facilité. Parallèlement, le conducteur doit pouvoir effectuer ponctuellement des vérifications sur le fonctionnement des différents systèmes, notamment le guidage optique et le SAE. Il peut être amené aussi à régler les appareils de climatisation /chauffage, la luminosité et le contraste des écrans de rétrovision et de vidéosurveillance.

Préconisations pour l'interface

En conséquence, par rapport à l'interface préconisée pour la maquette, nous pouvons apporter les précisions suivantes :

il serait plus adapté de mettre les commandes relatives au réemperechage à proximité des commandes de portes : c'est-à-dire prévoir une zone d'action dédiée aux activités à l'arrêt. L'idéal serait que les commandes électriques soient implantées sur le tableau de bord dans la même zone que les commandes de portes.

Si l'on veut faciliter une utilisation couplée des écrans de rétrovision et de vidéo surveillance, les commandes de permutation doivent être regroupées dans une même zone, alors que les commandes concernant la qualité de l'image peuvent rester à proximité de chaque écran.

Pour les mêmes raisons, l'écran de vidéosurveillance doit se trouver non loin des écrans de rétrovision.

Pour faciliter les différents enchaînements d'utilisations des écrans et des commandes portes/réemperechage, il faudrait que les commandes de permutation d'écran, soient à proximité de la zone d'action dédiée aux activités à l'arrêt, c'est-à-dire à droite sur le tableau de bord. On peut donc envisager de laisser les commandes luminosité/contraste à proximité de chaque écran concerné (1 commande de ce type par écran) et de regrouper les commandes de permutation pour rétrovision et pour rétro-surveillance à droite sur le tableau de bord.

Les voyants du guidage optique doivent être dans le champ de vision du conducteur pour une vérification /confirmation éventuelle du mode de fonctionnement : leur position à droite du tableau de bord est donc appropriée puisque le conducteur effectue des va-et-vient entre les écrans de rétrovision de droite et de gauche.

La lecture du SAE doit pouvoir s'effectuer en tournant la tête mais sans changer la position du buste : pour cela, son emplacement ne doit pas sortir de l'angle de 180° défini par la moitié « face » du conducteur. Par ailleurs, il doit être implanté comme préconisé sur la maquette, sur la gauche et incliné, et protégé des reflets.

Le réglage de la climatisation chauffage doit pouvoir se faire simultanément à la prise d'information sur l'environnement extérieur et les écrans : le conducteur doit pouvoir utiliser les boutons et prendre l'information de manière tactile : en touchant le bouton, il doit pouvoir reconnaître sa position et en déduire la position sur laquelle il veut le mettre. L'implantation conseillée pour la maquette convient.

Cas d'un mode dégradé : perte de ligne de référence

L'objectif d'étudier l'activité future probable du conducteur dans des situations dégradées est de réfléchir aux besoins des conducteurs en termes d'interface dans ces situations.

Les informations présentes au poste de conduite et qui concernent des modes dégradés du guidage optique sont de trois types :

- Vitesse dépassée pour l'accrochage du système : le conducteur en est prévenu par un bip sonore, cette situation n'est pas réellement incidentelle si l'on considère que le conducteur ralentit, et que l'accrochage peut alors se faire.
- Panne du système de guidage : ce type d'incident sera à priori très rare.

- Perte de la ligne de référence par le système pour cause de marquage défectueux : cette anomalie peut être plus fréquente par périodes (hiver neigeux, usure des marques au sol après plusieurs années d'exploitation...) : nous allons étudier cette situation plus en détail du point de vue de l'activité du conducteur.

Hypothèses sur la situation décrite

Nous traitons la situation où la caméra perd la ligne au sol, car le marquage est dégradé.

Cette perte de ligne peut arriver notamment :

- en site protégé (avec bordures)
- en site partagé
- en zone piétonne
- à l'arrivée en station
- à un carrefour
- en courbe
- en situation d'alimentation caténaire
- en situation d'alimentation par batterie

Description de l'activité future probable du conducteur

Le conducteur est prévenu de la perte de la ligne au sol par le voyant rouge qui s'allume et la souplesse du volant. Il doit immédiatement reprendre la main.

Pour décrire l'activité future probable du conducteur, nous nous basons sur le cahier des charges du système de guidage optique en ce qui concerne les situations avec perte de ligne de référence que nous devons considérer :

- occultation du marquage de plus de 20% sur une section de 15 mètres
- occultation ponctuelle de plus de 50 cm

D'après le cahier des charges, nous avons également des données sur les déviations possibles en fonction de la vitesse du véhicule et du profil de la ligne :

- Conduite en ligne droite : on obtient une déviation de 20 cm après 2 s à 40 km/h dans l'hypothèse où une perturbation entraîne une dérive de 1° du train avant du véhicule.
- Conduite en courbe : l'information sur les déviations possibles est en attente de la part de Matra.

Après une période d'apprentissage, durant laquelle le conducteur va observer le fonctionnement du système, et ses limites, il sera en mesure de se construire des règles prenant en compte ce fonctionnement et d'en déduire des modes opératoires intégrant les caractéristiques du système. Cela correspond à la phase d'appropriation du système par le conducteur.

Considérons dans un premier temps les conséquences que peuvent avoir cette déviation de trajectoire :

- En site protégé : la présence de bordure empêche toute déviation importante du véhicule. Toutefois, si le véhicule dévie de sa trajectoire et percute une bordure, le choc peut être désagréable pour les voyageurs et provoquer des chutes à l'intérieur du véhicule.
- En site partagé : l'absence de bordure peut entraîner une déviation de trajectoire plus importante, d'autant plus que la vitesse du véhicule est d'environ 40 km/h.

- En zone piétonne : Il n'y a pas de bordure, mais la vitesse du véhicule est très réduite (15 km/h). La déviation a donc moins de chance d'avoir lieu, et si elle a lieu, elle sera de faible amplitude.

À l'arrivée en station : la vitesse est très réduite, il a été n'a pas été observé au cours de l'étude VISEE de déviation de trajectoire lorsque cette situation de décrochage a été testée.

À un carrefour : La vitesse étant très réduite, et la vigilance du conducteur étant très élevée puisqu'il traverse une zone à risque, on peut penser qu'il a très peu de chance qu'une déviation puisse avoir lieu.

En courbe : dans ce cas, il est presque certain que la déviation aura lieu et sera plus importante que dans les cas précédents, elle peut avoir des conséquences graves.

Avec/sans alimentation caténaire : on peut penser qu'en situation d'alimentation par caténaire, l'amplitude de la déviation ne peut pas dépasser une certaine valeur puisque le véhicule est accroché aux fils électriques.

La question est de savoir si le conducteur sera en mesure d'anticiper cette perte de marquage par la caméra. Il y a pour cela deux hypothèses :

Le conducteur ne peut pas voir que le marquage est défectueux, il n'en est prévenu que par le signal rouge et la souplesse du volant. Il n'a donc pas de moyens de l'anticiper, il faut alors envisager que dans certaines situations, la reprise en main d'urgence pourra avoir comme conséquence de désorganiser les actions et les planifications en cours.

La deuxième hypothèse est la plus probable : en effet, le champ de vision du conducteur est plus étendu que celui de la caméra, et un marquage défectueux est un indice visible pour l'oeil humain. Donc, dans la mesure où le conducteur a la possibilité de repérer en amont un marquage déficient risquant d'entraîner un décrochage du système, il apprendra à reconnaître les marquages déficients. Le conducteur, par son expérience antérieure de situations de décrochages, s'ajoutera comme tâche la détection d'un marquage déficient, selon des critères qu'il va pondérer les uns par rapport aux autres :

- Zone où un décrochage peut être particulièrement dangereux (vitesse élevée, courbe, carrefour).
- Zones où il y a plus de chance d'y avoir un marquage déficient (voies partagées, carrefours...).
- Conditions météorologiques (chaussée mouillée avec soleil, neige, verglas...).
- Reconnaissance d'un marquage déficient pouvant faire décrocher le système (marquage abîmé, longueur sur laquelle le marquage est abîmé...).

Dans cette situation où le conducteur a des moyens pour détecter les marquages déficients, et donc pour intégrer ce paramètre dans ses actions et planifications en cours, il sera plus à même de gérer la situation dans son intégralité, sans avoir besoin d'abandonner ce qu'il était en train de faire pour réagir à la situation d'urgence.

Parmi les situations que nous avons listé précédemment, il y en a une, la situation de conduite en courbe, pour laquelle une perte de marquage peut entraîner une déviation importante de la trajectoire, notamment si le marquage défectueux se trouve en sortie de courbe, que le véhicule roule à plus de 30 km/h, et que l'alimentation se fait par batterie.

Rappelons que dans cette situation, le conducteur a une activité réactive et non anticipative : il se prépare à un certain nombre d'imprévus, émet des hypothèses à partir des situations déjà vécues à cet endroit, mais il n'a pas de visibilité, il attend de pouvoir prélever de l'information.

Dans ce cas, le conducteur ne pourra pas planifier la reprise en main puisqu'il ne peut pas voir à l'avance le marquage défectueux. Par conséquent, on peut envisager la possibilité que le conducteur mette 1 seconde à reprendre la main, et que le véhicule va dévier vers l'extérieur de la courbe durant cette seconde.

S'il y a une bordure, la déviation entraînera un choc sur la bordure et une secousse pour les voyageurs.

S'il n'y a pas de bordure, alors le véhicule quitte sa voie et peut heurter un obstacle. Dans ce dernier cas, nous sommes face à une situation d'urgence, où le conducteur doit redresser le véhicule et prélever toutes les informations nécessaires à ce redressement et également pour la suite du trajet.

Conséquences pour la conception de l'interface

- Dans le cas d'un marquage défectueux, hormis la situation en sortie de virage, le conducteur sera capable, après une période d'apprentissage, de détecter en amont la perte de ligne de référence au sol. Les commandes en cabine (souplesse du volant et voyant rouge) l'informant du décrochage effectif seront perçues comme une confirmation, et comme signal de reprise en main.

Dans le cas d'un marquage défectueux en sortie de courbe, la souplesse du volant et le voyant rouge ne seront plus perçus comme une confirmation, mais comme une première information. Si le conducteur a les mains sur le volant à ce moment, le signal sera perçu : il a été vu lors des expérimentations avec VISEE, que l'information tactile était celle qui était perçue en premier par le conducteur (avant le signal sonore, et le voyant rouge). Mais il faut envisager la possibilité que le conducteur n'aura pas toujours les mains sur le volant, l'implantation du signal sonore est donc nécessaire.

3. Préconisations pour l'interface

L'interface proposée qui consiste à prévenir le conducteur d'un décrochage par l'allumage du voyant rouge, l'extinction du voyant orange et la souplesse du volant convient mais ce n'est pas suffisant. En effet, contrairement à ce que nous avons préconisé pour la maquette, l'implantation du bip sonore proposé au début dans le cadre de VISEE, pour redonder l'information kinesthésique et visuelle nous paraît impératif.

Dans la situation de marquage défectueux, le fait d'ajouter un bip sonore permettrait à priori de prévenir le conducteur, mais par contre il sera trop tard pour éviter une déviation possible.

Préconisations pour l'aménagement extérieur

Pour aider le conducteur à anticiper, le mieux est d'améliorer la visibilité en implantant un miroir à l'entrée de la courbe qui lui permettrait de voir la scène après la courbe.

Ce miroir ne lui permettra pas de voir si le marquage est défectueux, mais il pourra prélever les informations en amont sur l'environnement extérieur, et sera donc plus disponible à la sortie du virage pour réagir rapidement en cas de décrochage du guidage.

RESUME

Cette thèse traite de l'apport de l'ergonomie pour la conception des systèmes d'aide à la conduite de véhicules. Dans une première partie, est présenté le concept d'assistance à l'opérateur et discutée la question des aides à la conduite en passant en revue différentes formes : l'aide à la navigation, l'aide à la régulation des distances et vitesse, les aides à l'accostage et au guidage des autobus. Il souligne la diversité des types d'aides (informative, d'alerte, copilote actifs et copilotes intelligents), et montre qu'au-delà des définitions entre les termes, c'est l'importance que l'on accorde à l'analyse détaillée de la part d'intelligence humaine face au rôle et au fonctionnement de la Machine (analyse des Interactions Homme-Machine) qui est primordiale pour bien concevoir. Trois expériences de conception de systèmes d'accostage et de guidage sont relatées dans la deuxième partie de cette thèse, puis ceux-ci sont passés au crible de critères évaluatifs dans la troisième partie. Au-delà des résultats, l'auteur souligne l'intérêt, pour la conception, d'utiliser un modèle descriptif de l'activité réelle des conducteurs et de l'apport de l'outil méthodologique de scénarios expérimentaux à une analyse de l'activité future et des facteurs de dangerosité.

MOTS-CLES : ergonomie cognitive, système d'aide à la conduite de véhicules, analyse du travail par scénarios expérimentaux, d'activité réelle et prédictifs.

TITLE: ERGONOMICS OF VEHICLE DRIVING AID SYSTEMS. APPLICATION TO NEXT GENERATION BUSES.

ABSTRACT: This thesis deals with the contribution of ergonomics to the design of vehicle driving aid systems. In its first part, the concept of operator assistance is presented, and the issue of driving aids is discussed by reviewing various systems: navigation aid, speed and distance control aid, bus drawing alongside and guiding aids. This concept underlines how diverse these aids can be (informative, alert type, active or intelligent copilots); it also shows that, beyond the wordings used, the importance lies in the detailed analysis between human intelligence versus Machine role and running (Man-Machine Interaction analysis), which is essential for a good design. Three different designs of guiding and drawing alongside systems have been experimented; these experiments are described in the second part, then, they are screened according to assessment criteria in the last part. Beyond the results, and for design purpose, the author puts the emphasis on the use of a model describing drivers' real activity and on the input from using the methodological tool of experimental scenarios for the analysis of future activity and risky factors.

Keywords: cognitive ergonomics, vehicle driving aid systems, work analysis by experimental, real activity and predictive scenarios.

INTITULE ET ADRESSE du Laboratoire

Laboratoire d'Ergonomie Informatique
Université René Descartes - Paris 5
45, rue des Saint Pères. - 75270 PARIS Cedex 06