

## MATÉRIEL ROULANT :

### LES SYSTÈMES D'AIDE À LA CONDUITE

De nombreux travaux sur la conception des systèmes d'aide à la conduite ont été réalisés dans le cadre de projets de recherche. Les travaux présentés dans cet article ont la particularité de s'intéresser à l'aspect "facteur humain" lié à la conduite d'autobus du futur. Le projet a été financé par le groupe Predit sur les autobus du futur, la RATP et Alstom.



## ROLLING STOCK:

### AUTOMATIC CONTROL

A lot of design work for automatic control is conducted as part of research projects. The different jobs outlined in this article have a common thread in the way they approach the human dimension of driving buses of the future. The project was financed by Predit (buses of the future), RATP and Alstom.



## ROLLENDES MATERIAL:

### DIE STEUERUNGSSYSTEME

Im Rahmen von Forschungsprojekten wurden zahlreiche Arbeiten über die Konzeption von Steuerungssystemen realisiert. Die in diesem Artikel präsentierten Untersuchungen beschäftigen sich besonders mit dem „menschlichen Faktor“ im Zusammenhang mit dem Bus der Zukunft. Finanziert wurde das Projekt über die Busse der Zukunft von der Gruppe Predit, der RATP und Alstom.

## MATERIAL RODANTE :

### LOS SISTEMAS DE AYUDA A LA CONDUCCIÓN

Se han llevado a cabo numerosos trabajos sobre el diseño de los sistemas de ayuda a la conducción dentro del marco de proyectos de investigación. Los trabajos presentados en este artículo tienen la particularidad de interesarse al aspecto "factor humano" vinculado con la conducción de autobuses del futuro. El proyecto ha sido financiado por el grupo Predit sobre los autobuses del futuro, la RATP y Alstom.

## MATÉRIEL ROULANT

# Les systèmes d'aide à la conduite

2817



RATP - DCC - D. Sullivan

Travaux de thèse soutenue par Marie-France Dessaigne, cabinet Ergonomos et université Paris V, laboratoire d'ergonomie informatique. Directeur de thèse : J.-C. Spérandio.

L'approche "facteur humain" soulève trop souvent deux questions qui donnent aux ingénieurs une impression plutôt négative de l'homme, dans la gestion d'un processus, à savoir la fiabilité (dans un but de performance) et l'erreur humaine alors que d'autres aspects intéressants méritent d'être abordés. Dans un monde technique où la complexité des systèmes augmente, il nous semble plus intéressant d'analyser l'impact du rôle de l'homme dans la maîtrise des systèmes. L'intérêt d'adapter un système à l'homme permet de considérer ses capacités et ses raisonnements comme parties principales, pour une conception réussie, et non un "ajustement périphérique" au système technique qu'il va utiliser. En quelque sorte, pour bien concevoir, nous défendons l'idée qu'il faille aussi analyser "l'utilisabilité" par l'homme des systèmes, toujours en amont ou pendant



Systèmes d'aide (SA) : des instruments censés assister l'individu qui les utilise.

la conception. Cette approche permet de vérifier une certaine adéquation à l'homme, et non l'inverse, même si cette démarche est encore trop peu utilisée. "L'utilisabilité" est le fait de déterminer si les compétences et les capacités physiques, psychologiques, sociales et cognitives des individus censés réaliser la tâche sont suffisantes pour le faire sans difficulté. L'utilisabilité d'un système caractérise donc la facilité avec laquelle on apprend à s'en servir en toute sécurité (Boy, 1999). Un certain nombre de critères la définissent et doivent être passés en revue.

Ainsi, l'activité des opérateurs est considérée comme "une base de données" à recueillir sous forme de "modèle de l'activité" et à traiter afin de montrer ce que peut apporter l'analyse du facteur humain pour la conception future. Cette approche ergonomique fait alors contrepoids à l'analyse trop strictement "facteur humain". Le couple "homme-machine" pour le système d'aide à l'opérateur n'est plus considéré sous les seuls aspects techniques et performants. On étudie, de fait, l'activité réelle des conducteurs et celle prédictive pour le futur système. Des tests expérimentaux sur sites fermés (pistes d'essais), puis ouverts (en exploitation, mais sans voyageurs) sont ainsi réalisés pour valider les hypothèses de conception des prototypes.

## LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES D'AIDE À LA CONDUITE

D'un point de vue général, les systèmes d'aides (SA) pourraient être définis simplement comme des instruments censés assister l'individu qui les utilise. Il y a "aide" (Grosjean, 1998) quand il y a interaction de trois éléments : une tâche à réaliser et deux agents. Le premier est chargé de la réalisation de la tâche et le second l'assiste dans cette réalisation. On distingue donc la tâche, le système aidé et le système aidant.

Les systèmes d'aide peuvent prendre différentes formes non exclusives. Ils peuvent aider des activités très diverses. On recense habituellement des aides informatives (pour construire une décision), des collaboratives (proposent des décisions) et des palliatives (corrigent des décisions). Il faut aussi retenir que, de plus en plus, les systèmes arrivant sur le marché peuvent regrouper plusieurs formes

d'assistance, ce qui tend parfois à compliquer la tâche de l'opérateur.

Dans le domaine de la conduite de véhicules, on répertorie deux catégories d'aides :

■ Des systèmes d'assistance à la conduite pour les véhicules de particuliers : ils sont nombreux et diversifiés. On peut citer, pour exemple, l'aide à la navigation et les systèmes de régulation de distance et de vitesse par rapport au véhicule suivi.

■ Des systèmes d'aide pour les transports collectifs où l'on distingue les SA à l'exploitation, ceux d'assistance à la maintenance et ceux pour l'accostage et le guidage des autobus : ces derniers font l'objet des études réalisées.

Au cours de l'analyse de l'activité réelle "avec système" et "sans système" (études de référence bus et tramway), il est intéressant d'analyser les collaborations que l'homme va mettre en place avec le système. Cependant, on sait déjà que les systèmes d'assistance modifient l'activité des conducteurs et ajoutent une charge de travail supplémentaire : entre autres, une tâche de coordination.

## LES SYSTÈMES ÉTUDIÉS

Ce sont les systèmes GIBUS, VISÉE et CIVIS.

Le premier est un système d'aide à l'accostage. Il s'agit d'un système informatif installé dans la cabine de pilotage, soit au milieu de la planche de bord, soit en haut du rétroviseur droit. Les deux suivants (VISÉE est le précurseur de CIVIS) sont des systèmes d'aide au guidage. Ce sont des systèmes semi-automatiques en partie substitutifs à l'homme.

|                                    | GIBUS                      | VISÉE                                        | CIVIS                                        |
|------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Type de système d'aide             | Accostage (deux variantes) | Guidage semi-automatique                     | Guidage semi-automatique                     |
| Classification                     | Informatif                 | Substitutif (en partie) fonction de copilote | Substitutif (en partie) fonction de copilote |
| Apport du système pour l'opérateur | Position du bus/tramway    | Prise en main direction et volant            | Prise en main direction et volant            |

## LES MÉTHODOLOGIES UTILISÉES

En plus des méthodologies classiques pour plans expérimentaux testant des systèmes (observation

|                   | GIBUS                                                                                                                                                                       | VISÉE                                                                                      | CIVIS                                                                        |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Type d'expérience | Études de "situations réelles"<br>A : étalonnage<br>B : centré tableau de bord<br>C : rétro droit                                                                           | Études expérimentales<br>Site fermé (5 sc.)<br>Site fermé (14 sc.)<br>Site ouvert (21 sc.) | Études prédictives<br>4 études (biblio, réf. tram, CC, scénarios prédictifs) |
| Nombre de sujets  | 10 (tous conducteurs de la ligne)                                                                                                                                           | 10 (essayers et conducteurs de la ligne)                                                   |                                                                              |
| Méthodes          | - Observations de la conduite, analyse des verbalisations, analyse des raisonnements<br>- Enregistrement : vidéo, lacunes, vitesses<br>- Traitement statistique des données |                                                                                            | Mise au point de scénarios prédictifs                                        |



RATP - DGC - B. Marguier

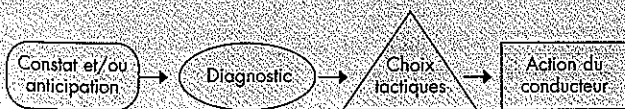
Analyser les collaborations que l'homme va mettre en place avec le système (études de référence bus et tramway).

des situations, des gestes, postures et direction des regards, enregistrement de données – par exemple vitesse et lacune – et de verbalisations diverses – spontanées, provoquées, postopératoires –, nous avons procédé à l'analyse des raisonnements des conducteurs pour finaliser ces connaissances de situations sous la forme de modèle de l'activité, ce dernier étant fonction des types d'accostages (en ligne, en saillie, en alvéole).

### UN MODÈLE RETENU POUR DÉCRIRE L'ACTIVITÉ DES CONDUCTEURS (AVEC ET SANS SYSTÈME)

Les modèles des conducteurs ont évolué au fil des années pour décrire l'activité de conduite. En plus des descriptions de l'activité biomécanique, kinesthésique et psychophysiologique, d'autres approches sont recensées pour modéliser les comportements des conducteurs. Elles tiennent maintenant compte des raisonnements et anticipations des conducteurs, tels ceux de la prise de décision de Rasmussen (1986) ou ceux, "Hiérarchique du risque", de Van der Molen et Botticher (1988). Ils permettent de montrer les processus de jugement et de décision à tous les niveaux recensés de la tâche de conduite. Le modèle de l'activité que nous utilisons dans nos études expérimentales s'inspire de ces deux modèles. Grâce à l'extraction des connaissances des conducteurs par la "Technique des Protocoles Verbaux (TVP)" de Ericsson et Simon (1984), nous pouvons effectuer un repérage précis des stratégies mentales sur les manœuvres adoptées au cours de la conduite à l'accostage.

Formalisme retenu pour représenter les différentes opérations enregistrées sous la forme d'un algorithme



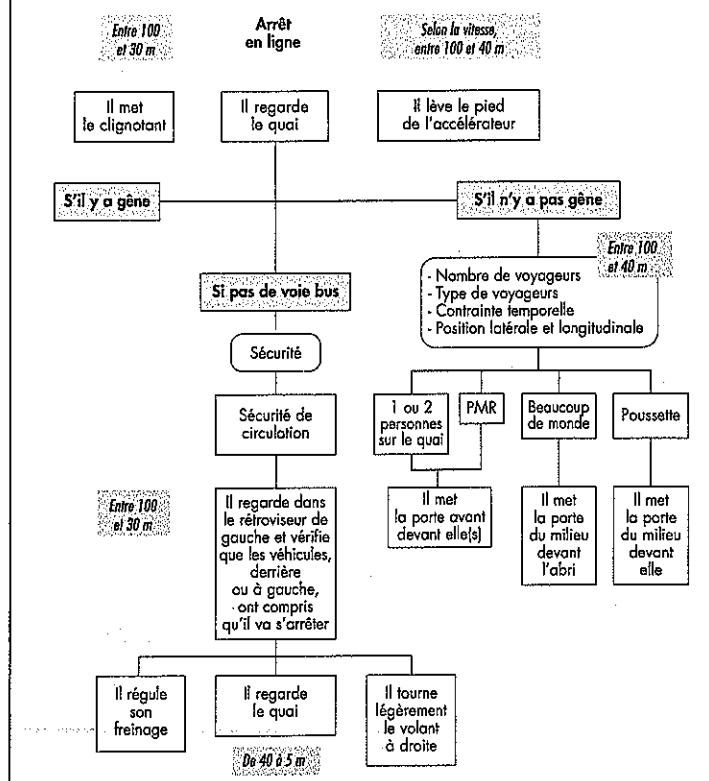
#### Le modèle décrit les diverses activités

L'algorithme est un arbre décrivant le déroulement des comportements et raisonnements des conducteurs pendant la réalisation de la tâche d'accostage.

costage décomposée en phases de préaccostage, 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.).

L'exemple d'une partie du modèle donné ci-dessous montre la phase de préaccostage en ligne "sans assistance".

#### ALGORIGRAMME DU PRÉACCOSTAGE DE BUS EN ARRÊT EN LIGNE SANS ASSISTANCE



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 Sûreté de fonctionnement de Renault. Les premiers algorithmes sont construits à partir de l'analyse de l'activité de travail des conducteurs de bus pendant l'accostage. Après l'analyse du système futur et celle d'activités de référence (tramway et autobus), nous mettrons au point un arbre prédictif de l'activité future avec le système. Ce dernier nous aidera fortement pour les recommandations de conception finale et pourra être validé, dans des phases ultérieures à la finalisation de la thèse, c'est-à-dire lors de la mise en service du nouveau système sur des sites réels. Nous pourrions alors valider ou non le modèle prédictif.

## LES PRINCIPAUX RÉSULTATS LIES AU SYSTÈME GIBUS

Rappelons que GIBUS est un système léger, dit "d'information embarquée". Il informe le conducteur sur la lacune le séparant du trottoir lorsqu'il approche de l'accostage.

Trois expériences sont réalisées. La première (A) n'a pas de système afin de servir d'étalonnage aux deux suivantes. L'expérience B teste un système positionné au centre du tableau de bord du bus. L'image transmise sur l'écran visualise un triangle se remplissant progressivement, au fur et à mesure que le bus se rapproche du trottoir, cible à atteindre (lacune nulle). La troisième expérience (C) teste une version du système implanté proche du rétroviseur droit. L'information est plus simple à décoder : on affiche seulement le résultat en centimètres de la lacune.

Différents résultats sont à retenir :

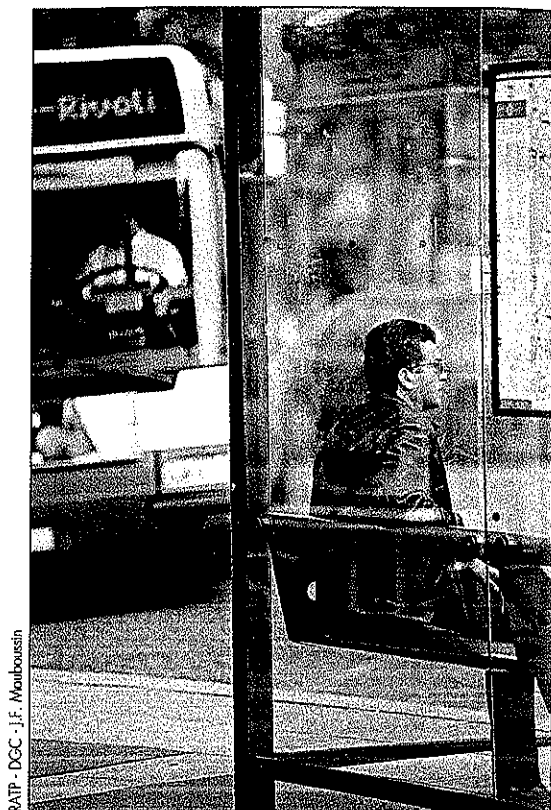
■ Les lacunes A, B, C se sont améliorées au fil des expériences. Lors de l'étude préalable (avant que les configurations des trottoirs ne soient mieux aménagées, voire standardisées), la lacune était d'environ 20 cm. Pour la phase A, sans système mais sur les nouveaux types d'arrêts, elle atteignait 12 cm. Enfin, le système C permet une meilleure lacune (6,06 cm) que le système B (8,36 cm), sans doute du fait que, sur le système C, le temps de prise d'information est moins long et permet une meilleure performance.

■ Le nombre de regards ou fixations enregistré sur les systèmes B et C est finalement peu élevé. Le système C est utilisé dans 13,4 % des arrêts, ce qui est peu mais néanmoins supérieur aux résultats du système B. Nous retiendrons qu'on peut quantifier deux types de fixations : celles qui permettent seulement une prise d'information pour vérifier l'accostage "après coup", qui durent environ une seconde (4,6 % sur les 13,4 %), et celles qui sont une réelle aide à l'accostage (deux à trois secondes, soit 8,8 % des 13,4 %). Pendant ces dernières fixations, l'opérateur réalise véritablement des opérations pour l'accostage (prise d'informations, raisonnement, choix de stratégies d'approche). Cependant, elles sont, de fait, peu nombreuses.

■ Finalement, on remarque que le système C, mieux situé et demandant moins de temps de traitement, est mieux adapté à l'activité des opérateurs. Le système B déclenche ce que l'on appelle en psychologie "une tâche de poursuite" véritablement irréalisable (durée de détournement du regard).

■ Le temps requis pour la tâche d'accostage dans les deux cas est, en fait, inacceptable, car cette dernière doit être impérativement réalisée en phase finale, c'est-à-dire sur les 40 derniers mètres, à un moment où le conducteur a besoin de toute son attention pour parer aux éventuels problèmes de sécurité des voyageurs sur le quai ou la chaussée. Ainsi, la tâche n'est pas adaptée au besoin de l'ac-

**"Le conducteur a besoin de toute son attention pour parer aux éventuels problèmes de sécurité sur le quai ou la chaussée."**



RATP - DGC - J.F. Moulbousin

*Accessibilité aisée pour les passagers et accostages facilités pour les conducteurs : deux objectifs essentiels.*

tivité, mais surtout aux capacités attentionnelles et physiologiques des conducteurs. Une seconde est encore une durée trop longue et trop dangereuse dans certaines situations, ce qui produit des abandons de la stratégie par les conducteurs. Le système sera ainsi jugé inutilisable, car non sécuritaire.

## DISCUSSION SUR LE SYSTÈME GIBUS OU LE DEVENIR DES SYSTÈMES INFORMATIFS POUR ACCOSTAGE

Si les conducteurs ne prennent pas le risque de privilégier l'utilisation d'un système qui ne leur permet pas de conduire "en sécurité", ils effectuent sans doute le bon choix car une interface visuelle ne leur permet probablement pas de tenir cet objectif. On peut donc conclure à la non-utilisabilité du système GIBUS, et celle-ci semble clairement démontrée.

Cependant, la question des systèmes d'information "légers" reste entière et mériterait d'être traitée. En effet, contrairement à ce qu'affirment la majorité des conducteurs, lors de nos discussions avec eux, il s'avère impossible de réaliser une lacune toujours inférieure à 6 cm, ce que permet un système, dans la majorité des cas. Nous avons testé ces dires sur un échantillon, lors de nos études préalables, en 1994, et il s'est avéré que les conducteurs, quand attentifs, pouvaient réaliser de très bonnes lacunes (moins de 6 cm). Toutefois, cette performance ne pouvait être tenue plus de deux heures d'affilée.

Au-delà de cette durée, les performances se dégradent très fortement, sans doute du fait d'une difficulté de focalisation attentionnelle, trop longue sur ce paramètre, qui déclençait, après un certain délai (variable selon les individus dans une fourchette de deux heures), une fatigue physiologique certaine.

La question des systèmes informatifs persiste cependant, car même si les autobus du futur, systèmes semi-automatiques, se développent, ce à quoi nous croyons, ils ne répondront pas à tous les cas de figure du transport public, et l'autobus restera probablement le moyen principal de transport dans les villes (au moins pour la prochaine décennie). Il serait souhaitable que nous travaillions aux deux points essentiels suivants : une accessibilité aisée pour les passagers et la réalisation des accostages facilitée pour les conducteurs.

Ainsi, nous souhaiterions que des programmes de recherche soient décidés pour continuer de travailler sur cette problématique car d'autres pistes d'interfaces existent et mériteraient d'être testées : il s'agit de solutions où le conducteur va "taper" contre le trottoir avec le pneu avant droit de son bus (la moins coûteuse d'un point de vue cognitif pour le conducteur) et celle d'une vibration au volant lors de l'atteinte de la lacune.

### LES PRINCIPAUX RÉSULTATS LIÉS AUX SYSTÈMES VISEE ET CIVIS (POSTE SITUÉ À GAUCHE)

Le système VISEE, précurseur de CIVIS, est un prototype de pilotage semi-automatique pour le

**"Continuer  
de travailler  
sur d'autres pistes  
d'interfaces."**

guidage à l'accostage des autobus. CIVIS est composé d'une caméra capable de lire des marquages au sol, c'est-à-dire une ligne de référence, d'un calculateur de trajectoire et d'une interface donnant au conducteur des informations kinesthésiques, sonores et visuelles sur les états de fonctionnement et dysfonctionnement du système. À partir de l'instant où le système a pris la main, le conducteur le laisse diriger le bus (il lâche le volant tout en gardant les mains à proximité), mais conserve les actions de régulation de la vitesse : freinage et accélération. En cas de danger ou de nécessité, le conducteur peut reprendre la main, c'est-à-dire suppléer au guidage automatique éventuellement défaillant et continuer l'accostage manuellement.

Différentes études expérimentales ont été menées sur le prototype VISEE, permettant de tester des scénarios possibles de conduite (14), et notamment des situations incidentes pour vérifier les réactions et comportements des conducteurs, tout d'abord en site fermé, puis en site semi-ouvert, sur une ligne de bus à Grenoble.

### ■ RÉSULTATS DE CES ÉTUDES

Nous retenons de ces études les éléments suivants :

■ A condition de respecter les opérations prévues dans le modèle prédictif de l'activité, les conducteurs acceptent aisément le système en mode nominal. Ils l'apprécient 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, lors de la phase finale de l'accostage.

■ On note, après une phase d'appropriation du système, que la tâche d'accostage devient routinière et réduit la charge de travail globale de l'opérateur (nombre d'opérations en baisse, vérifié sur l'algorithme). En fait, les opérations liées à la maîtrise du système s'intègrent facilement dans la phase de préaccostage et libèrent le conducteur pendant la phase finale (sans ajouter d'autres tâches en phase finale), ce qui lui permet de veiller ainsi à la sécurité des voyageurs.

■ La conception de l'interface doit être améliorée, ce pourquoi nous formulons des recommandations pour les modes kinesthésique, auditif et visuel.

■ La formation et l'entraînement à certains scénarios à risque (bien que nous n'ayons pu tester toutes les conditions limites) montrent que l'on peut nettement améliorer les performances des conducteurs et contribuer à éviter certains incidents conséquents. Il faudra donc veiller à l'entraînement à ces situations à risque au cours de la formation des conducteurs.

■ La rétrovision et la commande électrique du véhicule font également partie du cahier des charges : nous avons étudié leur incidence sur la conduite et la maîtrise du véhicule et formulé des



Guidage optique du système CIVIS.

recommandations.

■ Nos recommandations ont aussi porté sur l'aménagement de l'environnement extérieur (lissage des trottoirs, point de repère d'arrêt...). Ces points sont essentiels si l'on souhaite que le système soit utilisable aisément.

■ La distance de guidage, fixée à 40 m, nous semble un élément a priori satisfaisant pour toutes les situations nominales, et même pour un grand nombre de situations incidentes, à condition que cette distance soit toujours identique, d'un arrêt à l'autre, pour introduire une routine cognitive chez le conducteur. Elle devrait cependant être testée en sites réels sur certains scénarios critiques.

■ Enfin, certains scénarios "limites", répertoriés lors de nos expériences avec VISÉE, mériteraient d'être vérifiés pour ce qui concerne la maîtrise du système par l'homme. Il est cependant possible que ces vérifications aient été déjà effectuées lors des études de sécurité réalisées par les industriels, mais l'approche "sécurité système" reste essentielle.

## DES OUTILS POUR UNE PROCHAINE CONCEPTION ADAPTÉE

On note dans la littérature qu'à ce jour peu d'études ergonomiques ont été réalisées pour les aides à la conduite dans les transports collectifs, tout comme peu d'études de conception sont réalisées par rapport au nombre d'études qui évaluent les systèmes. Des études sur sites réels (Rouen et Clermont-Ferrand) devront valider les résultats obtenus.

Notre approche par modèle descriptif des activités, reprenant les caractéristiques physiologiques et cognitives de l'homme, a aidé à la conception et l'assistance pour la mise au point de la formalisation des scénarios, tant ceux "expérimentaux" que ceux dits "prédictifs". Ces différents outils peuvent

**"Analyser les raisonnements et réactions de l'homme dès le début de la conception des aides."**

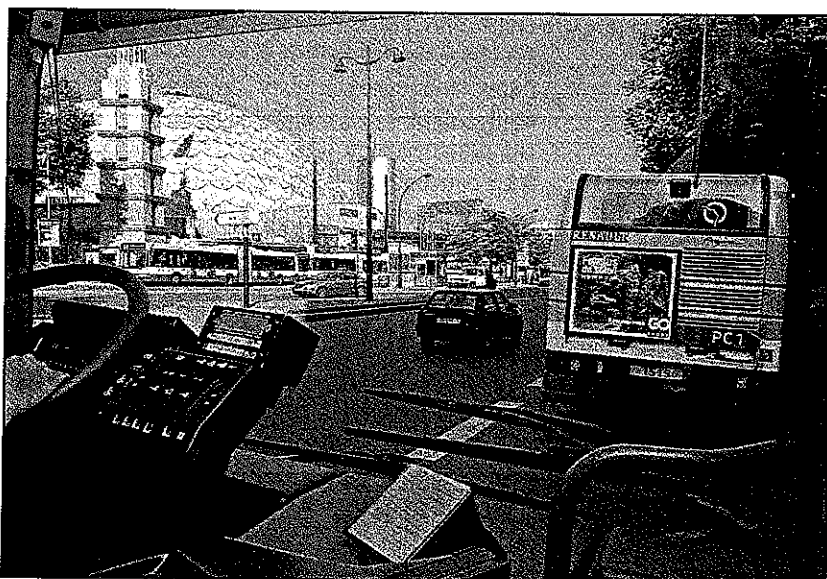
être utilisables pour de prochaines conceptions. Dans cette thèse, nous nous sommes intéressés aux aides qui, automatiques ou déclenchées à dessein, restent cependant sous le contrôle de l'homme. Pour être utiles et efficaces, ces formes d'intelligence humaine doivent être intégrées dès la phase de conception de l'outil. Il semble donc important d'analyser les raisonnements et réactions de l'homme dès le début de la conception des aides pour que ces dernières soient adaptées et compatibles. On peut retenir qu'il faut concevoir des SA dont la charge induite par la tâche secondaire n'a de sens que si elle a une contrepartie positive pour l'opérateur ; ce n'était pas le cas du Système Gibus. Cet équilibre, constaté expérimentalement sur CIVIS, devra être confirmé en exploitation, tant à Rouen qu'à Clermont-Ferrand.

## LES POINTS COMMUNS DES TROIS SYSTÈMES

Nous avons pu vérifier que ces nouveaux systèmes modifient l'activité de base. Tous ajoutent une tâche supplémentaire pour l'opérateur, tâche dont il convient de mesurer l'impact potentiel par l'intermédiaire de l'analyse des interactions homme-machine. S'ils ne sont pas totalement au point, on peut cependant mesurer le gain en retour, pour l'opérateur et pour l'efficacité globale, et voir si des améliorations sont possibles.

Parmi ces trois systèmes, aucun n'apparaît sans défaut et sans risque, au moins dans certaines situations. L'un, GIBUS, a été abandonné car nous avons démontré que les interfaces visuelles étaient trop contraignantes pour les conducteurs. Cependant, les nécessités d'accessibilité et de confort sont toujours là, et il conviendrait que les organismes de recherche concernés (peut-être encouragés par les réseaux d'exploitation ayant bien jaugé de l'intérêt pour des bus standards, notamment dans de grandes agglomérations) demandent l'instruction des autres solutions prometteuses (toucher le trottoir avec le pneu avant et une vibration au volant lors de l'atteinte de la lacune) car elles amélioreraient très probablement la tâche des conducteurs. La question des systèmes d'information "légers" reste donc entière et mériterait d'être traitée à ce jour tant le nombre d'autobus et conducteurs pouvant être concernés est important.

En dépit des résultats quelquefois décevants, plus liés à une prise en compte insuffisante des spécificités de l'activité humaine qu'à leur nature intrinsèque, les systèmes semi-automatiques mériteraient un effort coordonné des centres de recherche et des industriels pour que les connaissances et les progrès engrangés sur les aides à la conduite ne soient pas sacrifiés aux impératifs économiques du développement industriel rentable à court terme.



La formation et l'entraînement à certains scénarios à risques montrent qu'on peut améliorer les performances des conducteurs.