

Des sciences humaines aux sciences de l'ingénieur Comportements humains, Activités finalisées et Conception de systèmes d'assistance à la conduite de Véhicules Industriels

Par Annick MAINCENT

Thèse de doctorat en Psychologie

Mention : Dimensions Cognitives et Modélisation

Présentée et soutenue publiquement le 14 décembre 2010

Membres du jury : Robert MARTIN, Professeur émérite, Université Lyon 2 Louis FRECON, Professeur des universités, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon Bernard CADET, Professeur des universités, Université de Caen Christian COLLET, Professeur des universités, Université Lyon 1 Jacques BERGERON, Professeur d'université, Université de Montréal Bernard FAVRE, Expert Thierry BELLET, Chargé de recherche, I.N.R.E.T.S.

Table des matières

Contrat de diffusion . . .	7
[Epigraphe] . . .	8
[Dédicace] . . .	9
Remerciements . . .	10
Résumé . . .	11
Summary . . .	12
Liste des abréviations . . .	13
Introduction . . .	15
Première Partie : Connaître le contexte pour assister l'activité . . .	20
I. Une approche systémique pour la conception des aides à la conduite d'un Véhicule Industriel . . .	20
Représentation systémique simplifiée du contexte des travaux . . .	20
Le Transport Routier de Marchandises : un contexte socio-économique difficile . . .	22
L'environnement routier : un système complexe et dynamique . . .	27
Différents types de véhicules, des usages variés . . .	29
La conduite d'un véhicule industriel, une activité spécifique, des contraintes fortes . . .	32
II. Les dimensions cognitives et ergonomiques de l'activité de conduite d'un véhicule . . .	35
Modélisation de l'activité humaine finalisée . . .	36
La Mémoire humaine . . .	46
Importance et rôle des connaissances et des représentations dans les activités finalisées . . .	50
Processus du traitement de l'information . . .	56
La charge de travail dans les activités finalisées . . .	66
III. Vers un modèle du comportement du conducteur routier . . .	73
Modèle générique du fonctionnement humain dans les activités finalisées . . .	73
Modèle fonctionnel adapté à l'activité de conduite du conducteur routier . . .	75
Le modèle comme outil d'aide à la décision . . .	82
Deuxième Partie : De la conception à l'évaluation : Principes généraux et méthodologiques . . .	84
IV. Systèmes d'assistance à la conduite : une approche anthropocentrée . . .	84
Nouvelles technologies d'assistance et conduite d'un véhicule industriel . . .	84
Spécificités des systèmes d'assistance au conducteur . . .	85
Interactions Homme-Machine et systèmes d'assistance à la conduite . . .	88
Exemples de systèmes d'aide à la conduite de Véhicules Industriels . . .	101
V. Principes méthodologiques pour la conception et l'évaluation des systèmes . . .	108
De l'environnement naturel à l'environnement virtuel . . .	110
L'évaluation de la charge de travail . . .	123
Troisième Partie Conduite rationnelle d'un véhicule industriel : Assister le conducteur pour économiser du carburant . . .	132
Le projet Conduite Economique Assistée (CEA) . . .	132

VI. Transports Routiers et Développement Durable . . .	134
Le pétrole, une énergie incontournable ? . . .	135
Les transports : un secteur captif pour l'industrie pétrolière . . .	135
Energie, transports et développement durable . . .	136
La conduite rationnelle d'un véhicule industriel . . .	136
Les interfaces de l'Eco Driving System . . .	139
VII. Approche comportementale et ergonomique de la conduite rationnelle d'un véhicule industriel en environnement naturel . . .	141
Approche contextuelle de la conduite rationnelle d'un camion . . .	142
Questions de recherche . . .	147
Dispositif expérimental . . .	149
Présentation des résultats . . .	162
Discussion . . .	194
VIII. Approche expérimentale sur simulateur de conduite . . .	196
Préambule . . .	197
Dispositif expérimental . . .	197
Pré-test . . .	202
Protocole définitif . . .	203
Synthèse des résultats . . .	209
Discussion . . .	219
Le projet CEA, conclusions et recommandations . . .	220
Quatrième Partie La sécurité des usagers vulnérables en milieu urbain : Assister le conducteur pour prévenir les accidents . . .	222
Le projet VIVRE2 . . .	222
IX. Les Usagers vulnérables : comportements, attitudes et représentations face aux camions . . .	224
Secteur expérimental . . .	225
Le piéton, Usager Vulnérable de la Route . . .	226
Conscience du danger et prise de risque des piétons confrontés aux camions en milieu urbain . . .	227
Discussion . . .	243
X. La place de la conduite dans l'activité de distribution . . .	244
La conduite d'un V.I. en milieu urbain . . .	245
L'activité de travail du conducteur dans le secteur de la distribution urbaine . . .	246
Discussion . . .	249
XI. Le système VIVRE2 : de la conception à l'évaluation . . .	250
Définition des situations critiques et des scénarii de simulation . . .	250
Stratégies d'assistance et Interfaces Homme-Machine (IHM) . . .	253
XII. Evaluation du système VIVRE2 sur simulateur dynamique de conduite . . .	260
Démarche expérimentale . . .	260
Plan d'expérimentation . . .	261
Résultats . . .	265
Discussion . . .	279

Le projet VIVRE2, conclusion et devenir . . .	280
Conclusion générale . . .	283
L'Eco-Driving System . . .	290
Le système VIVRE2 . . .	291
Bibliographie et références . . .	293
Ouvrages, revues, rapports, thèses . . .	293
Références et sites Internet . . .	303
Normes et recommandations . . .	304
Annexes . . .	306
Annexe 1 : Caractéristiques des principaux types de routes interurbaines en France (d'après la SETRA, 1994)¹²⁹ . . .	306
Annexe 2 : L'effet Stroop . . .	307
Annexe 3 : Le NASA TLX adapté à la conduite d'un camion en environnement naturel . . .	307
Annexe 4 : Description des parcours expérimentaux – Circuit Isère . . .	308
Annexe 5 : Cahier des charges du Driver Behaviour Analysis (DBA) . . .	309
Annexe 6 : Extrait de la grille d'observation pour le parcours A . . .	312
Annexe 7 : Extrait de la grille d'observation pour le parcours B . . .	313
Annexe 8 : Formulaire d'accueil . . .	314
Annexe 9 : Questionnaires post-expérimentaux . . .	316
Annexe 10 : Echelles bipolaires pour la cotation des facteurs de la charge de travail engendrée par la conduite d'un camion en environnement naturel . . .	318
Annexe 11 : Carte pour la procédure de comparaison par paires des facteurs de la charge de travail engendrée par la conduite d'un camion en situation naturelle . . .	319
Annexe 12 : Exemple de fiche-réponse pour le questionnaire accompagnant le DVD « Etude sur les déplacements en ville » . . .	320
Annexe 13 : Consignes figurant sur la page de garde du questionnaire accompagnant le DVD « Etude sur les déplacements en ville » . . .	322
Annexe 14 : Consignes pour remplir le questionnaire accompagnant le DVD « Etude sur les déplacements en ville » . . .	323
Annexe 15 : Extrait de la grille d'observation utilisée pour les analyses d'activités du projet VIVRE2 . . .	324
Annexe 16 : Images représentatives du circuit City NG vide . . .	325
Annexe 17 : Représentation schématique du circuit de familiarisation sur City NG . . .	326
Annexe 18 : Tableau récapitulatif des situations du scénario A . . .	327
Annexe 19 : Représentation schématique du scénario A sur City NG . . .	328
Annexe 20 : Tableau récapitulatif des situations du scénario B . . .	329
Annexe 21 : Représentation schématique du scénario B sur City NG . . .	330
Annexe 22 : Tableau récapitulatif des situations du scénario C . . .	331
Annexe 23 : Représentation schématique du scénario C sur City NG . . .	332
Annexe 24 : Grilles d'observation utilisées pour le protocole A . . .	333
Annexe 25 : Document de présentation de l'étude . . .	336
Annexe 26 : Questionnaire d'identification . . .	337
Annexe 27 : Le NASA TLX modifié : description des facteurs et formulaires . . .	339

Annexe 28: Consignes avant roulage « Familiarisation » . .	342
Annexe 29 : Consignes avant roulage « sans système » . .	343
Annexe 30 : Présentation des IHM et des stratégies d'assistance en mode informatif . .	344
Annexe 31 : Planche de présentation des pictogrammes en mode informatif . .	345
Annexe 32 : Consignes avant roulage « Systèmes Informatifs » . .	346
Annexe 33 : Présentation des IHM et des stratégies d'assistance en mode actif . .	347
Annexe 34 : Planche de présentation des pictogrammes en mode actif . .	348
Annexe 35 : Consignes avant roulage « systèmes actifs » . .	349
Annexe 36 : Tableau détaillé des accidents évités ou non lors des différents protocoles . .	350

Contrat de diffusion

Ce document est diffusé sous le contrat *Creative Commons* « [Paternité – pas d'utilisation commerciale - pas de modification](#) » : vous êtes libre de le reproduire, de le distribuer et de le communiquer au public à condition d'en mentionner le nom de l'auteur et de ne pas le modifier, le transformer, l'adapter ni l'utiliser à des fins commerciales.

[Epigraphe]

*Les seules limites de nos réalisations de demain, Ce sont nos doutes et nos
hésitations d'aujourd'hui F.D. Roosevelt (1882-1945)*

[Dédicace]

A ma mère

Remerciements

Un grand merci à tous ceux qui, de près ou de loin, ont suivi ce travail de recherche, qui savent combien il a été important pour moi d'être entourée et soutenue.

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de thèse, Robert Martin, pour la confiance qu'il m'a accordée depuis plusieurs années, ainsi que pour son enseignement, sa disponibilité et ses conseils. Sans son appui, rien n'aurait été possible.

Mes remerciements vont également aux membres du jury, Jacques Bergeron et Bernard Cadet, en qualité de rapporteurs, Bernard Favre, directeur de la recherche chez Renault Trucks, qui n'a pas désespéré de me voir un jour terminer ce travail, Christian Collet, Louis Frécon et Thierry Bellet. Je suis très heureuse que tous aient accepté de consacrer leur temps à la lecture et à l'évaluation de mon travail.

Une pensée spéciale pour Claude Covo, qui m'a hébergée pendant toutes ces années sur son « plateau recherche ». Il a favorisé l'émergence d'échanges fructueux avec les ingénieurs et m'a amicalement soutenue dans les moments de doute. Un grand merci Claude.

Un remerciement particulier à Carine Lipari qui a initié ce travail et m'a longtemps accompagnée.

Merci à Vincent Sartre, Stéphane Fornengo, Claire Dovis, Thomas Justin, Sébastien, Franck François, Samuel, Laurent et les autres, pour les échanges professionnels et amicaux que nous avons eus au cours de mes années passées sur le plateau, ainsi qu'à Audrey, Sandra, Hélène, Yann, Chantal, Christian, Faïza, pour leur implication à divers titres.

Plus globalement, mes remerciements s'adressent à tous les ingénieurs, formateurs, techniciens, commerciaux, sous traitants ou personnel Renault Trucks, qui m'ont aidée à un moment ou un autre de mon travail.

A tous les conducteurs qui se sont prêtés de bonne grâce aux expérimentations, sans oublier ceux que j'ai accompagnés pendant leur tournée de livraison, merci d'avoir partagé avec moi vos expériences et anecdotes, voire de m'avoir fait expérimenter « en pratique » la manutention et la livraison.

A Louis, qui se reconnaîtra, merci pour sa relecture efficace, ses conseils pertinents et ses annotations espiègles.

Plus personnellement, je tiens à remercier Laurie, pour son amitié sans faille, mais aussi pour son professionnalisme, son implication et sa persévérance dans le projet VIVRE2, Sonia, à qui j'adresse une pensée particulière aujourd'hui, sans oublier Sarah, Edwidge, Audrey, Sylvain, Flo, Marie-Anne, Joëlle...

Enfin, mes remerciements vont à Emmanuelle et à Stéphane, pour leur soutien et leur amour.

Résumé

La conduite d'un véhicule industriel est une activité professionnelle complexe qui s'exerce dans un environnement dynamique en constante évolution. Elle nécessite un apprentissage spécifique et se situe dans un cadre réglementaire strict, qui relève aussi bien du code du travail que de la réglementation routière. A ces caractéristiques s'ajoutent de fortes contraintes spatio-temporelles qui imposent aux conducteurs le recours à des stratégies opératoires pour répondre à l'objectif principal de leur activité : le respect des délais de livraison dans des conditions optimales de sécurité, de sûreté et de productivité.

Cette thèse traite de l'apport de la psychologie cognitive à la conception de systèmes d'assistance à la conduite de véhicules industriels. Les travaux sont destinés à intégrer, dès la conception des nouveaux systèmes, les contraintes du fonctionnement cognitif humain en situation réelle, ainsi que les besoins et attentes des conducteurs, afin que leur soient proposées des solutions technologiques adaptées et utilisables.

La partie appliquée illustre deux dimensions majeures de l'activité de conduite d'un camion : la productivité, au travers de la problématique de l'assistance à l'éco-conduite (projet Conduite Economique Assistée, ADEME- Renault Trucks) ; la sécurité, au travers de la problématique de l'assistance à la détection et à la protection des usagers vulnérables de la route (projet VIVRE2, ANR-PREDIT05-LUTB).

D'un point de vue scientifique, la thèse aboutit à la proposition d'un modèle du fonctionnement humain dans les activités finalisées, complété par un modèle adapté à l'activité de conduite d'un véhicule industriel. Les analyses effectuées en situations réelles enrichissent les connaissances, d'une part, sur les stratégies de conduite appliquées à la conduite rationnelle d'un poids lourd en environnement extra-urbain, et, d'autre part, sur les composantes de l'activité des conducteurs qui effectuent des livraisons en milieu urbain. De plus, les travaux effectués dans le cadre du projet VIVRE2 ont permis de préciser les représentations et les comportements à risque des usagers vulnérables vis-à-vis des camions en ville.

D'un point de vue applicatif et ergonomique, les travaux sur simulateur dynamique de conduite ont permis l'évaluation d'une interface homme-machine innovante qui pourrait être adaptée à l'éco-conduite, ainsi que la proposition et l'évaluation de systèmes d'assistance pour garantir la sécurité des usagers vulnérables lors des manœuvres à basse vitesse en milieu urbain.

Mots clés

Comportements humains ; Activités finalisées ; Modélisation ; Conducteurs routiers ; Usagers vulnérables de la route ; Véhicules Industriels ; Assistance à la conduite ; Conduite rationnelle ; Sécurité ; Productivité ; Situations réelles ; Milieu urbain ; Simulateur dynamique de conduite d'un camion.

Summary

Driving a truck is a complex professional activity that takes place in a dynamic and constant changing environment. It needs a specific learning and it is set in a strict regulated framework including French labour code (Code du travail) as road regulation. Strong spatio-temporal pressure should be added to those characteristics. These constraints entail to drivers the use of operative strategies to achieve the main objective of their activity: respect of delivery time in optimal conditions of safety, security and productivity.

This thesis deals with the contribution of cognitive psychology to the design of driving assistance systems for trucks. Works are intended to integrate, from the design of new systems, the demands of human cognitive functioning in real situation and the needs and expectations of drivers so that adapted and usable technological solutions could be proposed to them.

Applied part shows two major dimensions of truck driving activity: productivity through the issue of the eco-driving assistance (“Conduite Economique Assistée, ADEME- Renault Trucks” project) and safety through the issue of the assistance to detection and protection of vulnerable road users (“VIVRE2, ANR-PREDIT05-LUTB” project).

From a scientific point of view, the thesis ends with a proposal of a model of human functioning in finalized activities, of which is added an adapted model of the truck driving activity. The analysis performed in real environment enhance knowledge, on the one hand, on the applied driving strategies to the eco-driving of a truck in extra-urban environment and, on the other hand, on the components of the activity of drivers doing deliveries in urban environment. Moreover, works performed in VIVRE2 project allowed to specify representations and risky behaviours of vulnerable users with relation to trucks in town.

From an applicative and ergonomic point of view, works on driving dynamic simulator allowed the evaluation of an innovative man-machine interface which could be adapted to eco-driving and the proposal as well as the evaluation of assistance systems to guarantee safety of vulnerable users during low speed manoeuvres in urban environment.

Key words

Human behaviours ; Finalized activities ; Modelling; Truck drivers ; Vulnerable road users ; Trucks ; Driving assistance ; Eco-driving ; Safety ; Productivity ; Real situations ; Urban environment ; Dynamic truck driving simulator.

Liste des abréviations

ADEME Agence pour la Défense de l'Environnement et la Maîtrise de l'Energie

ANR Agence Nationale de la Recherche

BOM Bennes à Ordures Ménagères

CEA Conduite Economique Assistée

CEESAR Centre Européen d'Etudes de Sécurité et d'Analyse des Risques

DACOTA Défauts d'Attention et Conduite Automobile

D.A.L.I. Driving Activity Load Index

DMS Driving Monitoring System

ECU Electronic Control Unit

FIDEUS Freight Innovative Delivery of goods in European Urban Spaces

ENTPE Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat

HCI Human Computer Interaction

IHM Interface Homme-Machine

INRETS Institut National de REcherche sur les Transports et leur Sécurité

ISO Organisation Internationale du Système de poids et mesures

ITSA Intelligent Transportation Society of America

LEACM Laboratoire d'Etudes et d'Analyse des Comportements et des Modèles

LESCOT Laboratoire Ergonomie et Sciences Cognitives dans les Transports

LSH Laboratoire des Sciences de l'Habitat

LUTB Lyon Urban Truck and Bus

MCH Echelle de Cooper Harper Modifiée

NASA TLX NASA Task Load index

NHTSA National Highway Traffic Safety Administration

PREDIT Programme de Recherche et d'Innovation dans les Transports Terrestres

PTAC Poids Total Autorisé en Charge

REX Retour d'Expérience

SCOOP Simulateur de CONduite pour l'Objectivation des Prestations

SELF Société des Ergonomes de Langue Française

SRK Skills Rules and Knowledge (Rasmussen)

TRM Transports Routiers de Marchandises

UVR Usagers Vulnérable de la Route

VECU Vehicle Electronic Control Unit

V.I. Véhicule Industriel

VIVRE2 Véhicules Industriels et usagers Vulnérables de la Route

Introduction

La conception d'un système technologique tel qu'une assistance à la conduite d'un véhicule relève, par définition, de l'ingénierie. Cependant, par leur finalité, ces systèmes doivent être adaptés aux contraintes de fonctionnement du conducteur sous peine d'être rejetés, voire détournés. Soucieux de ces exigences, le constructeur de véhicules industriels, Renault Trucks, aidé par les pouvoirs publics (ANR¹, ADEME²), a intégré dans sa démarche de recherche et de conception, les apports de la psychologie cognitive et de l'ergonomie. Cette coopération entre les sciences humaines et les sciences de l'ingénieur est illustrée par les travaux exposés dans cette thèse.

L'activité de conduite d'un véhicule industriel est une activité professionnelle dont le cadre réglementaire relève aussi bien du code du travail que de la réglementation routière. Elle s'effectue dans un environnement complexe et dynamique, susceptible d'évoluer indépendamment des actions du conducteur, et nécessite la maîtrise d'un instrument, le véhicule. Complexe par nature, c'est une activité cognitive finalisée. Elle est orientée par un but et sollicite un certain nombre de mécanismes moteurs et cognitifs qui sous-tendent tout comportement humain. Ainsi, concevoir un système pour assister l'activité du conducteur suppose de connaître et comprendre les contraintes de cette activité, tant d'un point de vue humain que d'un point de vue contextuel, voire systémique.

La thèse s'origine dans des travaux appliqués, l'un dans le cadre d'un contrat de recherche industrielle financé par Renault Trucks (projet Conduite Economique Assistée – CEA), et l'autre dans le cadre d'un projet de recherche du PREDIT³ soutenu par l'ANR (projet Véhicules Industriels et Usagers Vulnérables de la Route – VIVRE2).

La problématique générale qui a guidé et orienté les études s'appuie sur l'apport de la psychologie cognitive et ergonomique dans la démarche de conception de systèmes d'assistance à la conduite de véhicules industriels. Les points communs en sont la nature exploratoire des travaux et la démarche méthodologique globale adoptée :

- Une première étape, composée d'enquêtes auprès des usagers et des conducteurs, d'observations et d'analyses de l'activité en situations réelles, a permis de dégager les modèles et cas d'application des stratégies d'assistance,
- Une étape intermédiaire, exécutée en collaboration étroite avec les ingénieurs, a abouti à la définition des stratégies d'assistance et à la spécification des interfaces homme-machine (IHM),
- Une troisième étape empirique, effectuée sur le simulateur dynamique de camion de Renault Trucks (SCOOP), a permis de tester d'un point de vue ergonomique les stratégies d'assistance et les IHM des systèmes proposés.

L'originalité de la thèse tient au fait que l'activité de conduite d'un véhicule industriel, qui en constitue le fil conducteur, est traitée d'un point de vue cognitif, ergonomique et contextuel :

¹ Agence Nationale de la Recherche

² Agence pour la Défense de l'Environnement et la Maîtrise de l'Energie

³ Programme de Recherche et d'Innovation dans les Transports Terrestres

- dans deux domaines d'application, la productivité du véhicule et la sécurité des usagers vulnérables ;
- dans deux types d'activité aux environnements routiers différents ; le transport « long routier » qui s'exerce essentiellement en environnement extra-urbain aux infrastructures routières et autoroutières et la « distribution » en milieu urbain.



Cette thèse est le résultat d'un parcours de recherche qui s'est précisé, petit à petit, à partir d'une interaction constante avec le terrain. La démarche de recherche rend compte de la manière dont l'interaction a été gérée pour produire les connaissances explicitées dans la thèse, avec la contrainte permanente de répondre aux objectifs initiaux de chaque projet.

Le « terrain », dont il est ici question, peut être décliné selon deux niveaux fondamentalement différents, mais complémentaires et indispensables au bon déroulement des travaux de recherche.

Le « premier niveau » est composé par le système Conducteur / Véhicule/ Environnement et plus précisément, par les conducteurs routiers professionnels en situations de conduite (réelle ou simulée) d'un Véhicule Industriel. Il s'agit du terrain au sens étroit et classique du terme. Il a constitué, l'ossature autour de laquelle se sont organisés nos travaux. Nos interventions ont conjugué des observations informelles et non instrumentées de conducteurs routiers en situation de travail, des entretiens avec les divers acteurs du transport routier de marchandises, des observations à l'occasion de formations à la conduite rationnelle, des observations informelles élargies aux usagers vulnérables en milieu urbain. Dans le cadre du projet CEA, ces interventions ont été complétées par trente quatre journées d'observations instrumentées en situation réelle de conduite et deux semaines d'expérimentations sur simulateur de conduite. Pour le projet VIVRE2, la démarche de terrain a consisté en une enquête auprès des usagers vulnérables de la route, une quinzaine d'analyses de l'activité de conducteurs en milieu urbain et plus d'un mois d'expérimentation sur simulateur de conduite.

Le « second niveau de terrain » est pris au sens plus large du terme. Il constitue le contexte global d'application du travail, celui du Département des Etudes et Recherches de l'entreprise Renault Trucks et plus particulièrement le Service « Advanced Engineering » avec qui le projet initial a été négocié. Pendant toute la durée des travaux, le « plateau recherche » du service nous a accueillie et a mis à notre disposition un environnement de travail nous permettant de gérer au quotidien les nécessaires interactions avec les ingénieurs et les autres départements. Il a joué le rôle de base opérationnelle et logistique. Lieu stratégique et privilégié au sein de l'entreprise, le plateau a favorisé l'émergence d'échanges fructueux entre les ingénieurs et la psychologue, spécimen rare et parfois incompris dans ce milieu industriel, essentiellement masculin.

Cependant, il s'est vite avéré que la problématique de la recherche s'étendait bien au-delà du domaine purement technique de l'ingénierie. En effet, la connaissance théorique, partielle ou non, du fonctionnement technique d'un véhicule industriel n'implique pas pour autant la connaissance pratique de son pilotage. Bien que certaines analogies puissent être faites avec la conduite d'une automobile, nous nous sommes rapprochée du service de formation de l'entreprise (International Training Centre) afin d'aborder d'une manière plus concrète la conduite d'un camion. Cette approche théorique a été complétée par quelques séances pratiques de conduite sur le simulateur dynamique de l'entreprise.

Enfin, différents contacts ont été établis avec les services commerciaux de l'entreprise afin d'en cerner la politique. Cette politique se doit d'être prise en compte dès la conception, et il nous a semblé intéressant de la connaître dans la mesure où le client n'est en général pas l'utilisateur final du véhicule.

C'est ainsi que nous nous sommes appuyée sur la complémentarité des terrains de premier et de deuxième niveau. Le second terrain formait le cadre du premier, dans la mesure où il a contribué à orienter notre démarche, à enrichir nos connaissances et à donner du sens à nos observations. Alors que les situations opérationnelles nous ont permis d'appréhender les comportements humains lors de la conduite d'un véhicule, les ingénieurs nous ont donné accès à la dimension technique et fonctionnelle du système et les formateurs aux dimensions théorique et pratique de la conduite. L'ensemble de la démarche de recherche s'est appuyée sur les connaissances théoriques indispensables à la réalisation des objectifs initiaux et à leurs mises en adéquation avec les objectifs de chaque projet.



Quatre parties structurent cette thèse. Les deux premières parties abordent la problématique des travaux d'un point de vue contextuel, théorique et méthodologique ; les troisième et quatrième parties, empiriques, présentent les travaux expérimentaux réalisés.

La *première partie*, comprend trois chapitres dédiés à la présentation contextuelle et théorique de l'activité de conduite d'un véhicule.

Le chapitre I présente le contexte dans lequel se déroule l'activité des conducteurs routiers d'un point de vue systémique, en tenant compte de ses diverses composantes, humaines, sociales, technologiques et environnementales.

Le chapitre II est consacré aux dimensions cognitives et ergonomiques de cette activité. Notons d'emblée que, bien que cette recherche procède d'une logique applicative, elle gagne à s'inscrire dans une conception théorique, fut-elle large, des comportements humains dans les activités finalisées. C'est pourquoi trois modèles de l'activité humaine nous ont servi de références théoriques du point de vue de la psychologie cognitive et de l'ergonomie, les modèles de Richard (1998), Martin (2005) et Rasmussen (1983). Ces modèles sont complémentaires et permettent de mettre en lien les dimensions de l'activité humaine qui sous-tendent tout comportement. Les modèles de Michon (1985) et Labiale (1983) précisent et situent les dimensions cognitives, ergonomiques et contextuelles de l'activité de conduite. Nous abordons dans ce chapitre l'organisation et le rôle de la mémoire, de même que l'importance des connaissances et des représentations dans l'activité humaine. Les processus du traitement de l'information permettant la prise de décision et l'action sont développés et illustrés par des exemples adaptés aux activités de déplacement en environnement routier. Enfin, nous exposons la problématique de la charge de travail dans les activités finalisées.

Dans le chapitre III, nous proposons un modèle du fonctionnement humain adapté à l'activité de conduite d'un véhicule. Cette modélisation s'inspire des modèles identifiés dans le chapitre II et situe, dans une perspective dynamique, les différentes étapes cognitives de l'activité humaine. Le modèle a, pour finalité, d'identifier les caractéristiques spécifiques à l'activité et de déterminer les outils et méthodes pertinentes pour en étudier les diverses dimensions.

La *deuxième partie* se compose de deux chapitres dédiés aux principes généraux et méthodologiques sur lesquels s'appuie la démarche de conception d'un système d'assistance à la conduite de véhicules.

Le chapitre IV est consacré à la conception des systèmes d'un point de vue anthropocentré. Après avoir situé la problématique de la conception et précisé la spécificité des systèmes d'aide à la conduite, nous abordons les dimensions humaines et technologiques relatives aux interactions homme-machine. Enfin, nous illustrons notre propos à l'aide de trois exemples installés sur des véhicules industriels.

Le chapitre V détaille les principes méthodologiques applicables pour la conception et l'évaluation des systèmes. Après avoir comparé les divers environnements et moyens expérimentaux existants, nous présentons l'outil de simulation que nous avons utilisé pour nos expérimentations : le simulateur dynamique de conduite d'un camion « SCOOP⁴ » de Renault Trucks. Enfin, nous abordons les méthodes d'évaluation de la charge de travail des conducteurs et détaillons celle que nous avons choisie pour nos recherches.

La *troisième partie* comporte trois chapitres principaux dédiés à la démarche de recherche adoptée en vue de la conception d'un système d'assistance à la conduite rationnelle d'un véhicule industriel.

Après une présentation du projet « Conduite Economique Assistée », le chapitre VI s'intéresse à la problématique de l'optimisation de la consommation d'un camion dans le contexte du développement durable. Après avoir défini la conduite rationnelle et situé le système projeté par rapport à l'existant (systèmes et interfaces), nous présentons les interfaces envisagées en début de projet, une pédale à rétroaction haptique complétée par une interface d'information visuelle. Ces deux interfaces avaient été pressenties par les ingénieurs avant toute analyse ergonomique.

Le chapitre VII est consacré à la démarche expérimentale en environnement naturel avec, pour objectif, la modélisation comportementale de la conduite d'un camion. Nous présentons tout d'abord l'étude préalable qui nous a permis de prendre connaissance du contexte, de définir les protocoles, d'établir les méthodes et outils pour l'expérimentation sur véhicule instrumenté. Après avoir exposé les questions de recherche qui ont orienté les travaux, nous décrivons le dispositif expérimental et présentons les résultats. Nous concluons le chapitre par la discussion des résultats obtenus.

Le chapitre VIII présente la démarche empirique établie sur simulateur de conduite pour l'évaluation des interfaces et en discute les résultats.

Nous concluons cette partie sur des recommandations quant au développement d'un système d'assistance à la conduite rationnelle et aux stratégies de diffusion des consignes correspondantes.

La *quatrième partie* se compose de quatre chapitres qui présentent les travaux effectués dans le cadre du projet VIVRE2, avec pour objectif la proposition de solutions technologiques pour la prévention des accidents avec des usagers vulnérables de la route.

Après avoir présenté le projet VIVRE2, les chapitres IX et X exposent les études effectuées dans une démarche d'analyse. La première s'intéresse aux comportements, attitudes et représentations des usagers vulnérables lors de leurs interactions avec des camions en milieu urbain. La deuxième est une démarche d'analyse de l'activité des chauffeurs livreurs en milieu urbain.

⁴ Simulateur de Conduite et d'Objectivation des Prestations

Le chapitre XI présente les stratégies d'assistance et les interfaces homme-machine retenus en précisant le contexte d'application des systèmes (définitions des situations critiques et des scénarii de simulation).

Le chapitre XII aborde la démarche expérimentale mise au point sur simulateur de conduite pour l'évaluation des systèmes et en discute les résultats. En conclusion, après avoir présenté nos contributions, nous faisons un point sur le devenir du projet VIVRE2.

La thèse se conclut par une analyse de l'ensemble des travaux en faisant émerger les apports significatifs tant sur le plan scientifique que sur le plan méthodologique. Les principes ergonomiques, permettant une appropriation optimale des systèmes par les conducteurs, sont rappelés et personnalisés pour chaque système évalué.

Première Partie : Connaître le contexte pour assister l'activité

I. Une approche systémique pour la conception des aides à la conduite d'un Véhicule Industriel

L'activité humaine ne prend sens que lorsqu'elle est replacée dans son contexte. Ainsi, pour appréhender toute la complexité des situations, il nous a paru nécessaire d'aborder l'activité de conduite d'un camion sous l'angle systémique, en basant notre approche sur l'idée d'un modèle couplant plusieurs systèmes en interrelation et/ou en interaction constantes.

L'approche systémique, telle que la présente d'une manière originale J. de Rosnay (1975), repose sur trois principes que nous avons tenté de suivre dans le déroulement de ce travail : « *s'élever pour mieux voir, relier pour mieux comprendre, et situer pour mieux agir* »⁵. Sans prétendre remplacer l'approche analytique, l'approche systémique la complète et adopte une vision globale de la totalité des éléments du système étudié ainsi que leurs interactions et leurs interdépendances. En présentant l'avantage d'une approche transdisciplinaire basée sur une approche commune aux deux domaines impliqués dans la recherche : les sciences humaines et les sciences de l'ingénieur, elle devrait nous permettre « *de rassembler et d'organiser les connaissances en vue d'une plus grande efficacité de l'action* » (de Rosnay, 1975).

Un système est un ensemble d'éléments interactifs, organisés en fonction d'un but. Cette définition générale, que l'on retrouve aussi bien dans le domaine des sciences humaines que dans celui de l'ingénierie, nous semble la plus pertinente pour décrire le système sous étude.

Du point de vue de l'ingénierie, les systèmes techniques tels que les systèmes d'assistance à la conduite de véhicules sont conçus pour répondre à un besoin spécifique dans une démarche logique de conception. En revanche, le conducteur, composante humaine du système, est soumis à une logique d'adaptation qui doit lui permettre d'adopter un comportement adéquat en réponse aux stimulations issues d'un environnement en constante évolution (Ruault, 2006). D'une certaine façon, en tenant compte des comportements des conducteurs dès la conception des systèmes d'aide à la conduite d'un véhicule, l'ingénierie couple la logique de conception issue de l'ingénierie des systèmes à la logique d'adaptation issue des sciences humaines. Ainsi les systèmes développés devraient, idéalement, s'adapter aux utilisateurs (en respectant les règles de l'ergonomie), aux contraintes de l'environnement routier, de même qu'à celles des autres usagers de la route. Cependant, même si les systèmes sont conçus pour s'adapter au conducteur, leur appropriation pourrait concerner des fonctionnalités non prévues et entraîner l'émergence de conséquences inattendues.

Représentation systémique simplifiée du contexte des travaux

⁵ De Rosnay, J. 1975. Le macroscopie, p. 12.

Conformément à l'approche systémique décrite précédemment, nos travaux reposent sur l'idée d'un système associant plusieurs composants en interrelation voire en interaction constantes (Figure 1).

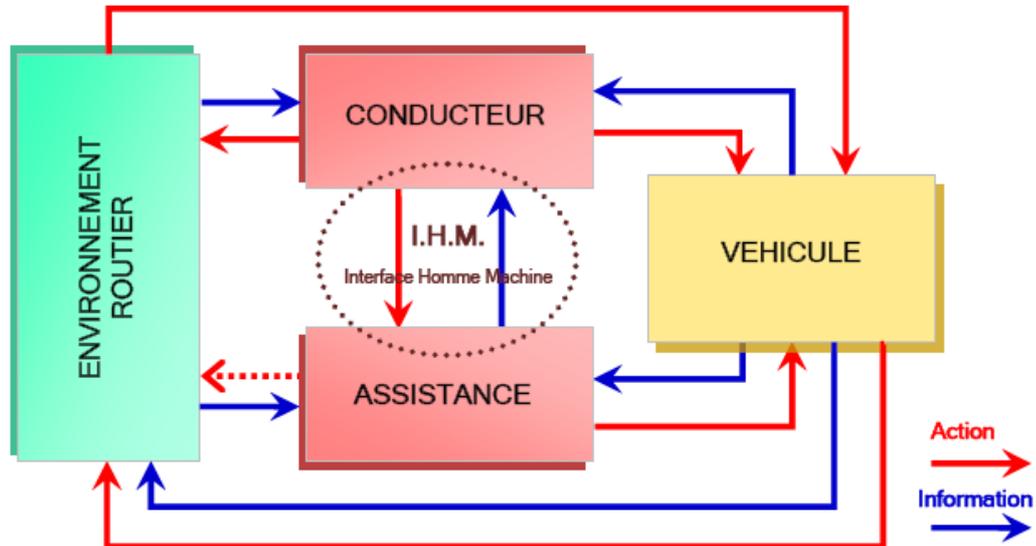


Figure 1 : Représentation systémique du contexte de la recherche

- Le « système humain » concerne le conducteur avec la prise en compte de ses caractéristiques psychologiques, cognitives et socioprofessionnelles. Il se situe en position d'acteur et d'objet essentiel des observations qui devront permettre d'identifier invariants et variabilité des comportements.
- Le « système technique » est composé du véhicule avec la prise en compte de ses caractéristiques physiques et technologiques. Outil indispensable à l'activité du conducteur, par lequel les comportements de conduite sont exprimés, il devient lieu de vie pour les individus faisant des trajets « longue distance ».
- Le « système routier » comprend, non seulement les infrastructures variées et les nombreux usagers dont les comportements ne sont pas toujours prévisibles, mais aussi divers facteurs dont l'apparition et l'évolution demeurent largement aléatoires (trafic, météo, accidents, etc.). Cette diversité en fait un environnement dynamique en constante évolution et dans lequel, l'ensemble, formé des systèmes précédents, évolue.

A ces trois composantes principales du système, il convient d'ajouter les deux sous-systèmes, parties intégrantes du système technique, et autour desquels notre travail a été initié :

- Les « systèmes d'assistance » qui se présentent le plus souvent sous forme d'algorithmes intégrés au calculateur électronique du véhicule et qui s'expriment par l'intermédiaire d'une Interface Homme-Machine (IHM). Purement informatifs au départ, ils peuvent être reformulés comme assistants plus ou moins passifs/actifs, voire comme copilotes à part entière.
- Les « systèmes d'Interfaces Homme-Machine » (IHM) qui médiatisent, sans plus, les interactions conducteur/véhicule. Les IHM sont des intermédiaires techniques par lesquels le conducteur reçoit l'information et/ou les consignes d'action et réalise les différentes tâches qui composent l'activité de conduite.

Enfin, l'activité de conduite d'un Véhicule Industriel est l'une des composantes de l'activité de travail du conducteur routier. A ce titre, elle se situe dans un environnement socio-professionnel réglementé et spécifique dont nous devons tenir compte pour définir la suite de nos travaux. La section suivante présente le Transport Routier de Marchandises, afin de situer, d'un point de vue très global, le contexte socio-économique de l'activité du conducteur routier.

Le Transport Routier de Marchandises : un contexte socio-économique difficile

Le secteur des transports routiers de marchandises se trouve dans une situation paradoxale. D'une part, il connaît un réel succès et gagne des parts de marché par rapport aux modes concurrents, mais, d'autre part, il enregistre de graves difficultés de fonctionnement avec notamment, d'après Bossin (2002), une baisse des prix, des marges financières dégradées, une situation sociale malsaine, une sous-traitance dévoyée. Les lois sur l'aménagement et la réduction du temps de travail, associées à l'augmentation du prix du pétrole, ont, de plus, contraint les entreprises à des efforts considérables d'adaptation. Ceux-ci se sont traduits par des gains de productivité, le resserrement de marges déjà faibles, l'augmentation des prix, des modifications organisationnelles, mais aussi, parfois, une productivité illégale.

Le Transport Routier de Marchandises : domaines d'application

Afin d'appréhender correctement l'activité d'un conducteur routier, il semble nécessaire de définir le domaine dans lequel nous nous situons. En effet, au fil de nos recherches, nous nous sommes aperçue qu'il existait, selon les auteurs ou les organismes consultés, différentes manières d'aborder le transport routier de marchandises, notamment en fonction de la catégorisation des entreprises de transport (Bernadet, 1996). Sans aborder ici le détail de ces catégories, nous essaierons de préciser l'espace d'analyse qui a servi de cadre à nos travaux.

La première notion à clarifier est celle du cadre d'exercice des sociétés, pour le « compte propre » ou pour le « compte d'autrui ». Cette dimension nous paraît primordiale dans la mesure où elle distingue le transport public qui fait l'objet des analyses qui suivront et le transport privé, qui, pour la majorité des auteurs, n'entre pas dans le cadre strict du transport routier de marchandises.

A partir de 1934, l'Etat français va progressivement réglementer l'accès à la profession par un ensemble de textes qui ont abouti à la séparation juridique des transporteurs et des conducteurs pour le compte propre et pour le compte d'autrui (Cholez, 2001). L'objectif de cette réglementation était de distinguer strictement les entreprises pour lesquelles le transport est l'activité principale, voire unique, de celles pour lesquelles il représente une activité secondaire. Cependant, les décrets contraignants, en institutionnalisant la profession de transporteur routier dans le but de maîtriser le développement d'une activité économique spécifique, ont provoqué la naissance d'un corporatisme routier puissant secrétant ses propres règles tant sur le plan institutionnel que sur le plan d'une morale professionnelle.

Le transport pour compte propre ou transport privé

Le *transport pour compte propre*, tel qu'il est défini en France dans la circulaire n°200-17 du 10 mars 2000 (BO n°6 du 10 avril 2000), est celui qu'effectuent toutes les entreprises qui transportent des marchandises pour leurs besoins propres, à l'aide de leurs propres véhicules et conducteurs ou de véhicules pris en location avec ou sans chauffeur. Dans ce cadre, l'activité de transport de marchandises est une activité accessoire à une activité agricole, commerciale ou industrielle de l'entreprise et ne peut être réalisée que sur un bien ou un service avec lequel l'entreprise a un rapport. Typiquement, il s'agit de l'approvisionnement et de la distribution de la production de l'entreprise.

Bien que le transport pour compte propre soit clairement défini, il semble que les données et surtout les conditions de son fonctionnement soient peu connues. En principe, ce type de transport n'est pas pris en compte dans le cadre strict du Transport Routier de Marchandises (TRM).

Le compte d'autrui ou transport public et les différents secteurs d'activité du TRM

Le *transport pour compte d'autrui* est celui que réalisent des sociétés pour le compte d'autres entreprises contre rémunération. La prestation fait l'objet d'un contrat de transport de droit national ou international. Généralement, le transport identifié sous le nom de Transport Routier de Marchandises (ci-après TRM) ne concerne que les entreprises exerçant pour compte d'autrui.

Selon le Service Economie, Statistiques et Prospectives du Ministère des Transports (SESP), appartiennent au secteur du TRM, les entreprises dont le transport professionnel routier de marchandises est l'activité principale au regard de leur chiffre d'affaires et dont le code APE est :

- 602M : transports routiers de marchandises interurbains = « longue distance » ;
- 602L : transports routiers de marchandises de proximité = « local et régional » ;
- 602N : déménagement ;
- 634A : messagerie et fret express ;
- 602P : location de camions avec conducteur.

La nomenclature de l'INSEE définit, quant à elle, trois grandes catégories de métiers dans le cadre du transport pour compte d'autrui : les transporteurs, les loueurs de véhicules et les auxiliaires de transport, chacune étant régie par une réglementation spécifique. Les entreprises de transports interurbains (602M), de transports de proximité (602L) et de déménagement (602N), sont classées dans la catégorie des transporteurs, la messagerie et le fret express (634A) dans celle des auxiliaires de transport⁶ ; la location de véhicules industriels avec conducteur (602P) forme une catégorie à part entière⁷. Si l'on s'en tient à cette nomenclature, sont considérées comme appartenant au secteur du TRM au sens strict, les entreprises qui font partie de la catégorie « transporteurs », soient les entreprises de transports interurbains (longue distance), de proximité (régional) et de déménagement. Ces trois types d'entreprises représentent 93,6% des entreprises françaises et 76,6% des effectifs salariés (2).

⁶ Autrefois classés dans les transporteurs routiers, les messagers ont été intégrés aux collecteurs de fret depuis 1992 pour rendre mieux compte de leur véritable métier avec les activités de groupage-dégroupage.

⁷ Les loueurs de véhicules sans chauffeurs ont été exclus des métiers de transport routier de marchandises, leur activité étant purement commerciale au même titre que les loueurs de matériels divers.

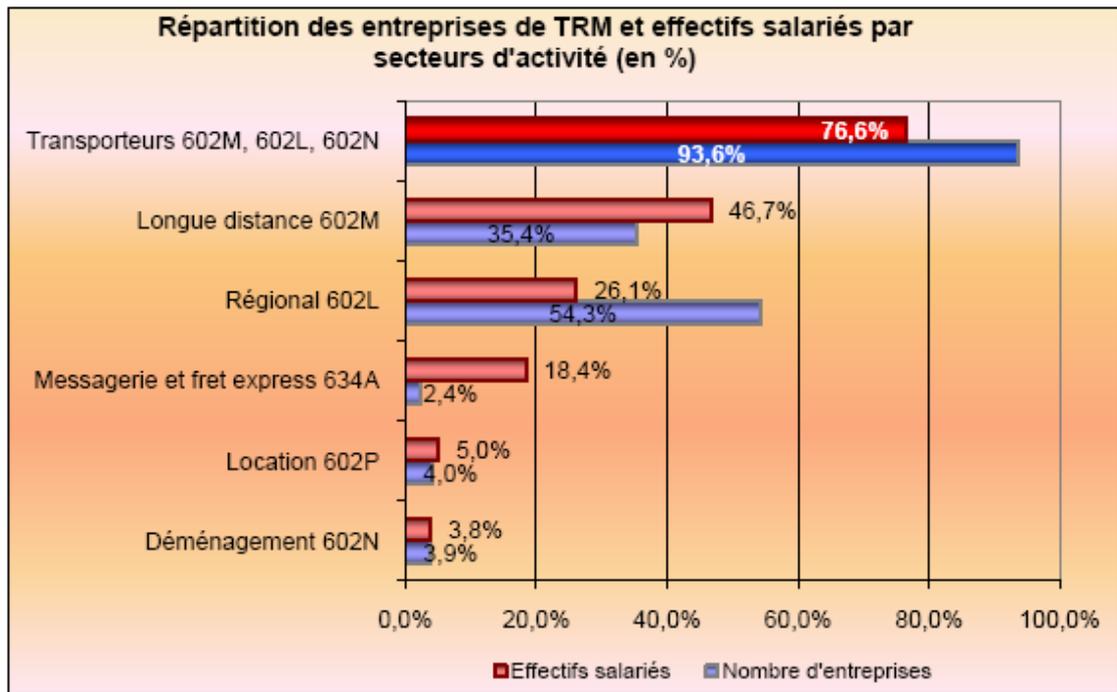


Figure2 : Répartition des entreprises du secteur de TRM en 2003 par sous-secteurs d'appartenance (SESP, 2005)⁸

Transports intérieurs, transports internationaux, transports spécialisés

Les *transports de marchandises par route* sont réalisés sur de courtes ou de longues distances, et le transporteur réalise une opération soit de transport intérieur, soit de transport international, située à l'intérieur ou à l'extérieur de l'Union Européenne.

Les transports routiers intérieurs peuvent être réalisés par les transporteurs nationaux ou par des transporteurs étrangers lorsqu'ils effectuent des opérations dites « de cabotage »⁹.

Les transports routiers internationaux concernent les transports de marchandises acheminées dans les pays communautaires ou extracommunautaires et peuvent nécessiter certaines formalités en douane.

Enfin, certains transports spécialisés peuvent être soumis à des réglementations particulières (limitation de la vitesse, autorisations de circuler, etc.) et nécessitent généralement l'utilisation de véhicules spéciaux. Les transports soumis à des réglementations particulières sont ceux qui concernent les matières dangereuses et déchets, les denrées périssables, les transports sous température dirigée, les animaux vivants et les transports exceptionnels (masse indivisible). Parmi les autres transports spécialisés, on retrouve entre autres, les pulvérulents en citernes, le vrac en bennes, les véhicules automobiles...

⁸ D'après les résultats 2003 de l'enquête annuelle d'entreprises (EAE) publiée en 2005 par le Service Economie, Statistiques et Prospectives du Ministère des Transports

⁹ Les transporteurs de l'Espace Economique Européen peuvent effectuer des transports à l'intérieur de chacun des états de l'EEE : par exemple, un transporteur français peut charger des marchandises à Bruxelles pour les livrer à Hambourg.

La productivité : Un facteur-clé attaché au couple Conducteur/Véhicule

L'évolution de la donne sociale, associée à l'augmentation du cours du baril de pétrole ont fortement influé sur les conditions d'exploitation des entreprises de transport routier de marchandises. La recherche de gains de productivité engendre des modifications organisationnelles qui tendent toutes à accroître la productivité des deux facteurs-clés de production : le conducteur et le véhicule.

En ce qui concerne le véhicule, la productivité est perçue par l'entreprise comme liée au nombre de kilomètres produits et donc, principalement, à l'absence de temps d'immobilisation ainsi qu'à sa consommation. La rationalisation des trafics est un paramètre sur lequel ont joué de nombreux chefs d'entreprise. Contrairement à ce qui se passait avant le Contrat de Progrès¹⁰, tous les frets ne sont plus acceptés, et certaines entreprises ont diminué leur rayonnement géographique, voire abandonné certaines destinations. D'autres ont segmenté la zone longue en tronçons de zone courte (relais) sur lesquels le véhicule peut « tourner » quasiment vingt quatre heures sur vingt quatre. Toutes les entreprises ont cherché à diminuer les retours à vide. Enfin, le prix d'achat du véhicule est l'un des éléments à prendre en compte en termes de productivité. Les entreprises ne sont pas enclines à payer plus cher un équipement complémentaire quand la réglementation ne les y oblige pas ou si elles ne peuvent en amortir le surcoût. Il est donc important, lors de la démarche de conception d'un nouveau système d'assistance, de tenir compte de deux spécificités qui démarquent le camion de l'automobile : la productivité attachée au camion et le fait que l'acheteur du camion ne soit pas l'utilisateur final.

Quant au conducteur, les modifications visent à limiter les temps improductifs, les déplacements longue distance et les frais induits. La contrainte accrue des temps de service, et la nécessité d'améliorer la productivité du capital investi ont ainsi abouti à une déconnexion grandissante du couple homme-machine. Depuis quelques années, un accroissement très sensible de la proportion de conducteurs dont le camion est également utilisé par d'autres a été observé. Cette tendance a pour effet un désintérêt progressif des conducteurs envers le véhicule qu'ils partagent. Pour ces conducteurs, le camion devient de plus en plus un « simple » outil de travail, une machine à laquelle n'est plus attachée la même valeur affective qu'autrefois.

Les conditions de travail des conducteurs routiers

Le TRM constitue aujourd'hui un secteur professionnel marqué par les profondes transformations sociales intervenues en France et en Europe dans la dernière décennie du XXème siècle (Revah, 2001). Plus particulièrement, les conditions d'exercice de l'activité du secteur du TRM ont été largement affectées par le contexte institutionnel, d'une part, avec la réduction et l'aménagement du temps de travail et des 35 heures en France, et, d'autre part, avec les débats sur l'harmonisation de la réglementation dans l'Union Européenne.

Avec les coûts liés à la consommation des véhicules, la variable stratégique de l'exploitation d'une entreprise de transport est le personnel. Cette tendance est renforcée par des difficultés de recrutement traduisant une pénurie de conducteurs confirmés et un effet de vieillissement d'une profession peu attractive pour les jeunes (Revah, op. cité). En effet, si le secteur est créateur d'emplois, le taux de mobilité est extrêmement élevé, traduisant une insatisfaction à l'égard des conditions de rémunération et surtout de travail. Les conditions d'exploitation sont donc marquées par des conditions de travail souvent médiocres mais qui

¹⁰ Accord social du 23 novembre 1994 sur le temps de service, les repos récupérateurs et la rémunération des personnels de conduite pour le transport de marchandises « grands routiers »

se sont toutefois améliorées sous l'influence de la réglementation sociale européenne¹¹ et celle du Contrat de Progrès établi en France en 1994.

Quant à la rémunération moyenne mensuelle du secteur, bien que mal connue et jugée modeste, elle semble sensiblement plus élevée que le salaire moyen ouvrier de l'ensemble de l'économie. Cependant, si l'on tient compte du temps de travail, la rémunération horaire est nettement plus faible. En effet, la principale caractéristique du secteur des TRM est que le temps de travail, notamment celui des conducteurs « longue distance », dépasse largement le volume horaire autorisé par la réglementation. Des temps de conduite supérieurs à quarante ou quarante cinq heures par semaine ne sont pas rares, et, compte tenu des temps consacrés à d'autres activités (chargement, déchargement, attente...), le temps de travail hebdomadaire dépasse fréquemment soixante heures. Ainsi, pour les grands routiers, l'amplitude de la journée de travail pourrait atteindre dix huit heures et les temps de repos journaliers être réduits à six heures pendant plusieurs jours consécutifs (Bossin, 2002).

De ces éléments sociaux, il résulte de fortes disparités qui font ressortir le caractère atypique des réalités françaises. En effet, la France conserve une législation plus stricte que les autres pays européens en matière de temps et de conditions de travail, législation contestée par de nombreux transporteurs. Ceux-ci estiment notamment « *qu'elle augmente considérablement leurs coûts et qu'elle leur interdit toute souplesse dans l'organisation d'une activité fondée sur le service* » (Revah, op. cité). Quant aux conducteurs, même s'ils reconnaissent les progrès que leur a apportés la réglementation européenne en termes de conditions de travail et le bien-fondé de la législation française, ils semblent nombreux à exprimer un désintérêt croissant pour le métier.



Ces diverses observations nous amènent à plusieurs constats :

Bien qu'il soit strictement réglementé, il n'existe pas de définition unique et clairement établie du TRM. La catégorisation des entreprises de transport routier semble en effet confuse, elle diverge selon les sources et les objectifs des études et semble bien refléter la complexité de l'environnement dans lequel se déroule l'activité des conducteurs.

De plus, si l'activité des entreprises de TRM est très diversifiée, hormis les déménageurs, la nature elle-même des produits transportés l'est plus encore : frigorifique, citerne, produits alimentaires, matières dangereuses, etc. De fait, plus de 90% des produits consommés au quotidien – de l'alimentaire à l'électroménager, de la pharmacie aux combustibles en passant par les produits culturels, etc. – sont transportés par la route.

Les préoccupations des exploitants se sont déplacées du véhicule vers le conducteur. D'une part, le véhicule est devenu plus fiable : un produit que l'entreprise peut "consommer". D'autre part, le conducteur focalise l'attention de l'entreprise, obligée de gérer au plus juste des temps de service, des obligations de formation et la pénurie de personnel. Enfin, les progrès techniques réalisés par les constructeurs ayant permis d'optimiser la consommation des véhicules modernes, les différences s'expriment à présent davantage en termes de comportement humain. En conséquence, dans un contexte en évolution constante, avec notamment l'augmentation du prix du pétrole et l'ouverture des marchés à la concurrence

¹¹ La réglementation sociale européenne définit les règles communes applicables à tous les conducteurs routiers professionnels en matière de temps de conduite et de repos (Règlement CEE n°3820/85 du conseil européen du 20 décembre 1985).

des pays de l'Est, le rapport « temps de parcours / consommation » est devenu la variable clef dans la gestion économique des entreprises de transport routier de marchandises. Et le conducteur, par son comportement, est plus que jamais l'un des acteurs majeurs de ce changement.

Enfin, les multiples innovations technologiques, qu'elles soient en matière d'assistance à la conduite des véhicules ou de matériels embarqués (outils de communication, de gestion des livraisons, de suivi d'itinéraire...), ont pour conséquence la transformation progressive du métier de conducteur routier. Cette transformation, associée à la diversité des entreprises, des types de transport et des produits transportés, contraint les conducteurs à une activité aux contours mal définis et, par conséquent, difficile à généraliser. Ainsi, dans la démarche de conception d'un système d'assistance à la conduite d'un camion, il sera indispensable de connaître et de tenir compte du contexte et de l'environnement dans lequel se déroulera l'activité de conduite du véhicule. Concrètement, avant toute intervention ergonomique liée à la conception, il nous faudra préciser le type de véhicule pour lequel le système sera conçu ainsi que l'environnement dans lequel le conducteur circulera le plus souvent (autoroutier, urbain...). Ces précisions seront largement dépendantes du type de transport considéré (long routier, relais, distribution...).

L'environnement routier : un système complexe et dynamique

L'environnement routier dans lequel se situe l'activité de conduite d'un véhicule peut être défini comme un système complexe et dynamique dans lequel de nombreuses situations évoluent indépendamment des actions du conducteur. Ce système particulier est composé de divers éléments dont certains peuvent avoir une influence directe sur le véhicule (consommation, tenue de route...) et d'autres sur le comportement du conducteur (comportements des autres usagers, visibilité, trafic...). De plus, l'encombrement (taille, poids, maniabilité) de la plupart des véhicules industriels n'est pas toujours adapté à certains profils d'infrastructures (milieu urbain, routes de montagnes...). Dans ce chapitre, après avoir rapidement présenté la composition des infrastructures routières françaises, nous tenterons de définir les contraintes imposées par l'environnement routier aux véhicules lourds ainsi qu'à leurs conducteurs.

Infrastructures et aléas : des contraintes pour un véhicule lourd

La diversité des infrastructures routières ([Annexe 1](#)) ainsi que celle des nombreux éléments qui les composent (signalisations réglementaires, panneaux informatifs, constructions diverses...) permettent aux conducteurs de circuler d'une façon efficiente la plupart du temps. Toutefois, le réseau routier n'est pas accessible dans sa totalité aux véhicules lourds. Cela peut être dû, soit à des réglementations locales (interdictions liées au tonnage du véhicule...), soit à des restrictions temporaires (barrières de dégel...), soit à des ouvrages particuliers (ponts ou trémies avec des hauteurs maximales...). De plus, la signalisation routière, notamment en termes de sécurité (vitesse de franchissement d'un virage...) et de limitations de vitesse, est rarement à destination des véhicules lourds. Les conducteurs de camion se trouvent contraints d'ignorer certaines des consignes affichées par le biais de la signalisation pour appliquer celles qui conviennent aux caractéristiques de leur véhicule. De surcroît, toutes les routes ne leur étant pas accessibles, ils doivent parfois modifier leur itinéraire en temps réel sans avoir toujours toutes les informations à leur disposition. Enfin, certaines routes comportent des virages très serrés (en montagne), et certaines voies en milieu urbain, rendent la circulation des véhicules lourds difficile, voire impossible.

Confrontés à ces situations extrêmes, les conducteurs peuvent être amenés à effectuer des manœuvres délicates pour s'en dégager.

Outre ces caractéristiques générales, certaines routes possèdent des *dévers* qui peuvent engendrer des risques particuliers pour les véhicules lourds (renversements, sortie de route). De plus, les ruptures de profil représentent des contraintes spécifiques pour les camions, tant en termes de sécurité (risque de surchauffe des freins en descente¹²) qu'en termes de productivité (impact important sur la consommation). Enfin, les zones de travaux peuvent aussi représenter des contraintes supplémentaires pour les poids lourds. D'une part, les rétrécissements sur certaines routes peuvent poser des problèmes de franchissement de la zone. D'autre part, les chicanes installées sur les autoroutes pour faire basculer le trafic d'une voie à l'autre sont sources de renversements¹³ de véhicules lourds.

Par ailleurs, la complexité de l'environnement routier est dépendante des événements à survenue largement aléatoire que sont les conditions météorologiques. Certaines de ces conditions sont plus contraignantes pour les véhicules lourds que pour les autres véhicules. Ceux-ci présentent notamment une prise au vent plus importante, en raison de leur masse, leur ralentissement est plus délicat sur une surface mouillée ou glissante et les risques de collisions par manque de visibilité (brouillard, neige) sont plus élevés du fait de leur poids et de leur inertie au freinage. Enfin, en cas de chaussée enneigée, il leur est souvent difficile de franchir certains dénivelés. *Qui n'a pas, en mémoire, l'image de files de poids lourds arrêtés sous la neige en travers de la chaussée et bloquant parfois plusieurs voies d'autoroutes ?*

Tous ces éléments contribuent à la complexité du système routier. Cependant, du fait de leurs comportements souvent imprévisibles, les usagers de la route, composante humaine du système, ajoutent un élément dynamique non négligeable aux situations routières.

Les autres usagers de la route : une cohabitation difficile

Si la route était réservée au seul usage des véhicules lourds, l'environnement resterait, certes, complexe mais l'activité des conducteurs routiers serait sans doute moins stressante. Ce n'est évidemment pas le cas, la route appartient à tous et les autres usagers, tous vulnérables au regard d'un camion, sont nombreux à partager cet espace. Cette cohabitation, du point de vue des conducteurs de camions est souvent délicate. En effet, les autres usagers de la route sont rarement conscients de la difficulté et des risques spécifiques que représente la maîtrise d'un poids lourd. Cette ignorance peut entraîner des comportements dangereux de la part des conducteurs de véhicules automobiles. *C'est par exemple le cas du conducteur qui, après avoir dépassé un camion, se rabat brutalement devant celui-ci pour s'insérer dans la distance de sécurité qui sépare le camion du véhicule précédent. Quand la manœuvre est effectuée sans ralentissement de la part du conducteur automobile, elle pourrait encore être acceptable, cependant, cette manœuvre s'accompagne souvent d'un coup de frein qui entraîne un risque de collision et un stress supplémentaire pour le conducteur du camion qui craint toujours de percuter le véhicule trop*

¹⁴ *proche* . Par ailleurs, en ville, la présence et les comportements à risque des usagers les plus vulnérables (piétons, cyclistes et cyclomotoristes) font de l'environnement routier urbain un environnement complexe à risques (Maincent, Brun, Martin, 2008). La problématique

¹² D'où l'intérêt des ralentisseurs Telma mais surtout du freinage à récupération...

¹³ Informations recueillies auprès des responsables circulation du poste de commande des Autoroutes du Sud de la France.

¹⁴ Verbalisations recueillies auprès de conducteurs professionnels et situations observées lors de trajets effectués en tant que passagère d'un 38 tonnes

des comportements des usagers vulnérables sera plus largement développée comme sujet d'une action de recherche dans le cadre de cette thèse ([Conscience du danger et prise de risque des piétons confrontés aux camions en milieu urbain](#), p. 255).

Du point de vue des autres usagers de la route, le camion et son conducteur ne bénéficient pas d'une image positive (Cholez, 2001 ; Revah, 2001). Quel que soit l'environnement routier, autoroutier ou urbain, les représentations négatives des camions sont légion. *En ville, il n'est pas rare de se retrouver bloqué derrière un camion arrêté en plein milieu d'une rue étroite pour effectuer une livraison. L'automobiliste arrêté oublie alors qu'il utilise, à l'occasion, les places de stationnement réservées aux camions de livraison et insulte copieusement le livreur qui n'a pas trouvé d'autre place. Sur autoroute, le conducteur du camion qui en dépasse un autre à une vitesse « réduite » pour l'automobiliste qui le rattrape, est lui aussi considéré comme « dérangent » : il fait forcément exprès de doubler à ce moment précis, pourquoi double-t-il alors qu'il ne va pas plus vite que l'autre...* Nombreux sont donc les adjectifs et les critiques pour qualifier les conducteurs routiers qui adoptent ces comportements. Cette difficile cohabitation, dont sont particulièrement conscients les différents acteurs du Transport Routier de Marchandises, a donné lieu à une recommandation forte qui figure en encadré dans le mémento pour la Formation Initiale Minimale Obligatoire du conducteur routier :

*Routiers... Vous êtes des professionnels de la route ! Les autres usagers n'ont pas toutes vos connaissances en matière de Sécurité Routière. Soyez un exemple, Respectez leur inexpérience et leurs différences. **ENSEMBLE SOYONS***

15

TOLERANTS

Enfin, le taux de mortalité des victimes d'accident dans lequel un véhicule lourd est impliqué est très élevé et les accidents sont souvent spectaculaires. Ils sont, de ce fait, particulièrement médiatisés ce qui a pour effet de renforcer l'image négative des camions dans les représentations des autres usagers de la route.

A fin d'étudier le contenu des représentations qu'ont les usagers vulnérables à propos des camions en ville, une action de recherche a été menée dans le cadre du projet VIVRE2. La méthode d'étude utilisée et les résultats obtenus sont présentés dans la quatrième partie de ce travail.

Différents types de véhicules, des usages variés

Nous venons de voir que la cohabitation des camions avec les autres usagers de la route était difficile ; cependant, avant d'aller plus avant, il nous semble intéressant de préciser ce que recouvre le terme « véhicule industriel » et plus largement ce qu'est un camion. En effet, nous avons tous une représentation personnelle du camion : pour certains, c'est le véhicule lourd qui roule en file indienne sur l'autoroute en ralentissant les automobilistes ; pour d'autres c'est le camion de livraison en ville qui bloque la circulation en provoquant une pollution sonore et atmosphérique. Ces deux exemples, à eux seuls, mettent déjà en exergue les différences importantes qu'il peut exister, tant dans les modèles, que dans les tailles ou dans les utilisations. Dans les pages suivantes, nous avons essayé d'illustrer les quelques modèles de base concernés par nos problématiques de recherche afin de permettre au lecteur de situer le contexte matériel des travaux.

La terminologie « Véhicules Industriels » (VI), est principalement utilisée par les constructeurs pour désigner l'ensemble des véhicules d'un Poids Total Autorisé en Charge (PTAC) supérieur à trois tonnes cinq (3T5) et utilisés pour le transport de marchandises ou de personnes. Ces véhicules se déclinent en de multiples modèles en fonction de leur utilisation : grands routiers, chantiers, véhicules urbains, bennes à ordures ménagères (BOM), véhicules militaires, autobus, autocars, etc. Pour le transport des marchandises, en France, on utilise préférentiellement les termes de camions ou de poids lourds et ces véhicules sont aussi désignés selon le type de remorque et/ou de produits transportés : on parle ainsi de « camion citerne », de « transport frigorifique », de « bétailière », de « semi-remorque », de « camion-toupie »...

D'une manière générale, les camions sont donc des véhicules de plus de 3T5 de PTAC qui sont destinés à transporter des marchandises. Ils sont pris en compte dans la description des parcs de véhicules des entreprises sous trois types : le porteur, le tracteur routier et la semi-remorque (présentés ci-après). Leurs conducteurs doivent être en possession de permis spécifiques et doivent se conformer à des réglementations routières strictes selon le PTAC du véhicule et le type de marchandises qu'ils transportent.

Porteur

Un porteur est un camion automobile capable d'assurer sa traction et sa charge. Il possède sur le même châssis, la cabine et un plateau pour le transport des marchandises ([Image 1](#)). Le plateau est équipé de manière spécifique en fonction de l'utilisation à laquelle il est destiné (citerne, benne, frigorifique, plateau, ampliroll¹⁶...). Selon la réglementation européenne, la longueur du porteur ne doit pas dépasser 12 mètres.



Image 1 : Porteur

¹⁶ Toupie

Le porteur peut être équipé d'un crochet d'attelage destiné à tracter une remorque pour augmenter la capacité de transport du véhicule¹⁷. L'ensemble porteur + remorque ne doit pas dépasser 18,75 mètres.

Tracteur et semi-remorque

Un tracteur est un véhicule automobile capable d'assurer sa traction, mais qui, individuellement ne transporte pas de marchandises ([Image 2](#)).



Image 2 : Tracteur seul

Il doit être complété par une semi-remorque destinée à contenir les produits transportés ([Image 3](#)). Bien qu'elle soit identifiée comme un type de véhicule à part entière dans le parc des entreprises, la semi-remorque n'est pas autonome et doit être attelée à un tracteur pour être déplacée.

¹⁷ Solution autrefois populaire en Allemagne, pour une assez faible charge par essieu.



Image 3 : Tracteur et semi-remorque

Comme les porteurs, il existe différents types de semi-remorques qui sont fonction de l'activité de l'entreprise de transport et du type de marchandises transportées (citerne, transport de voitures, frigorifique...). De même que le porteur, le tracteur ne doit pas dépasser individuellement 12 mètres. En revanche, l'ensemble « tracteur et semi-remorque » a une longueur maximum autorisée de 16,50 mètres. Le tracteur présente l'avantage, par rapport au porteur, de l'adaptabilité de la remorque en fonction de la marchandise transportée, aussi bien en termes de volume qu'en PTAC. Les ensembles « tracteur et semi-remorque » sont principalement utilisés dans les activités de transports internationaux, nationaux et de relais.

Cette rapide présentation des différents types de véhicules n'est évidemment pas exhaustive, chaque marque proposant ses propres modèles, chaque modèle pouvant être adapté et personnalisé en fonction de l'activité de l'entreprise (camions-toupie, bennes à ordures ménagères...). Elle nous permet toutefois, d'une part de poser le cadre technique de nos travaux, et, d'autre part, de situer l'activité des conducteurs de ces véhicules.

La conduite d'un véhicule industriel, une activité spécifique, des contraintes fortes

Le métier de routier est difficile et mal considéré (Revah, 2001). Pourtant, les conducteurs sont des « professionnels de la route », gestionnaires de contraintes multiples d'ordres réglementaires, organisationnels et temporels (Germain, 1988).

Avant d'aborder la spécificité de la conduite d'un véhicule industriel, objet central de nos travaux, il paraît utile de présenter, plus généralement, les principales caractéristiques de l'activité de conduite d'un véhicule automobile, dans la mesure où ces caractéristiques sont communes aux deux activités.

L'activité de conduite d'un véhicule

La conduite d'un véhicule fait partie des activités humaines qui sont pratiquées quotidiennement par nombre d'individus dans les sociétés industrialisées. La majorité

des individus adultes, hommes et femmes confondus, ont, ou auront, au cours de leur existence l'occasion de conduire un véhicule automobile. La voiture représente, à l'heure actuelle et dans nos sociétés modernes, le moyen de transport le plus répandu. Si, du fait de sa généralisation, l'activité de conduite peut sembler simple et routinière, elle conserve néanmoins un statut ambigu, à la frontière des activités quotidiennes et des activités de travail (Van Elslande, 2000). En effet, de nature complexe, la conduite d'un véhicule est une activité soumise à des règles tant explicites (réglementation routière, etc.) qu'implicites (code de conduite tel la courtoisie...). Elle repose sur un certain nombre de connaissances et d'habiletés cognitives (procédures, automatismes) dont l'acquisition nécessite un apprentissage spécifique. De plus, ces habiletés évoluent en fonction des expériences vécues et des situations rencontrées par l'individu, et leur niveau d'automatisation dépend, en grande partie, de l'expertise du conducteur (Perruchet, 1988a). Ainsi, par la pratique, le conducteur acquiert un certain niveau d'expertise de la conduite qui évolue avec le temps et les événements : elle peut ainsi être remise en cause par un incident ou accident, un changement de véhicule, de réglementation, d'environnement routier, l'intégration de nouveaux systèmes d'assistance...

Le conducteur est donc, en même temps, composant et acteur principal du système conducteur/véhicule/environnement. Il est en interaction constante avec son véhicule et le contexte de la circulation. La diversité du système routier, environnement dynamique par excellence, le contraint à s'adapter à des situations variées évoluant de manière indépendante (Amalberti, 1996). Cet ajustement permanent est soumis aux contraintes dynamiques et temporelles inhérentes d'une part au déplacement et à la maîtrise du véhicule dans l'environnement routier, d'autre part au comportement des autres usagers, enfin, à la survenue ponctuelle d'événements largement aléatoires (météo, trafic, etc). De plus, les tâches qui composent cette activité particulière peuvent s'alterner ou être effectuées simultanément (Bellet, 1998), et nécessitent des ressources attentionnelles disponibles. Cette demande attentionnelle n'est cependant pas constante, et la variabilité de l'activité reste fonction des exigences du système (Sperandio, 1995). A ces facteurs de complexité, il convient d'ajouter des facteurs psychologiques et physiologiques propres au conducteur tels que la motivation, la personnalité, les styles cognitifs, la fatigue, le niveau de stress éventuel...

Bien que les principales caractéristiques cognitives (apprentissage, automatismes, processus attentionnels...) de la conduite d'un véhicule automobile s'appliquent également à celle d'un véhicule industriel, la spécificité de cette activité (volume et charge du véhicule, réglementation spécifique...) et le contexte socioprofessionnel dans lequel elle s'exerce, ne permettent pas toujours de généraliser les résultats des recherches sur la conduite automobile à la conduite d'un véhicule industriel. Ainsi, l'étude de l'activité de conduite des conducteurs routiers s'insère-t-elle dans un champ de recherche spécifique, encore peu exploré du point de vue de la psychologie ergonomique.

L'activité de conduite d'un véhicule industriel

Outre les caractéristiques et règles communes à toute activité de conduite d'un véhicule, le conducteur routier exerce une activité purement professionnelle qui, de ce fait, s'effectue dans un cadre réglementaire strict qui relève aussi bien du code du travail que de la réglementation routière, sans omettre certaines régulations vernaculaires propres à ce métier. De plus, la maîtrise d'un véhicule industriel nécessite un apprentissage complémentaire et l'obtention de différents permis en fonction de la taille et du poids du véhicule.

A ces caractéristiques, s'ajoutent de fortes contraintes spatio-temporelles propres à l'activité spécifique du Transport Routier de Marchandises. En effet, la dimension temporelle semble la plus importante dans la tâche de conduite et les conducteurs mettent en place des stratégies opératoires dont le but est de répondre à l'objectif principal de leur activité : le respect des délais de livraison. Car l'activité du conducteur routier engage sa responsabilité envers le système routier bien évidemment, mais aussi envers son entreprise et envers le client.

Afin de préciser et de comprendre les contraintes inhérentes à la conduite d'un camion en milieu urbain, nous avons effectué, dans le cadre du projet VIVRE2, une campagne d'analyses de l'activité de conducteurs de camions effectuant des livraisons dans le centre ville de Lyon. La démarche adoptée et les résultats obtenus sont exposés page 274 dans la quatrième partie de ce document (X. [La place de la conduite dans l'activité de distribution](#)).

Ainsi, tout comme le conducteur automobile, le conducteur routier s'avère être le régulateur d'un système aux dimensions multiples. La gestion de ces dimensions a, pour conséquence, la transformation progressive de la conduite. Cette activité est passée, d'un ensemble d'automatismes à une conduite beaucoup plus décisionnelle (Galinier, 1992), entraînant une augmentation de la charge mentale du conducteur. De surcroît, cette charge de travail, de nature multidimensionnelle, peut être majorée par la multiplication de systèmes embarqués, notamment lorsque leurs interfaces sont multiples et visuelles.

Après ces premiers constats, soulignons les spécificités de l'activité quotidienne du conducteur routier, tant en matière de conduite, que d'activité de travail ou de vie à bord :

- Les particularités physiques des véhicules industriels (masse, volume, performances, etc.), les caractéristiques liées aux produits transportés (liquides, matières dangereuses, etc.) et le type de transport (distribution, régional, international) font de la conduite d'un camion une activité différente de celle d'un véhicule automobile. Cette activité nécessite un apprentissage et une expertise spécifiques.
- L'activité du conducteur routier s'exprime à travers bien d'autres dimensions que la conduite du véhicule. Il doit bien souvent planifier son déplacement en fonction de ses divers lieux et horaires de livraison, gérer ses itinéraires en fonction des infrastructures rencontrées (hauteur des ponts, routes interdites aux camions, franchissement de tunnels, etc.) et rester en communication constante avec son entreprise, sans oublier, bien souvent, les opérations de chargement et déchargement de la marchandise.
- De plus, pour le conducteur, le camion ne représente pas uniquement un moyen de déplacement ou un outil de travail, il devient un lieu de vie pour celui dont l'activité s'exerce sur des longues distances.

Ces nombreuses dimensions de l'activité du conducteur engendrent la multiplication de systèmes embarqués ou d'assistances spécifiques qui sont, non seulement dédiés à la conduite du camion (aides aux manœuvres, assistances à la conduite rationnelle...) mais aussi à l'activité propre au conducteur routier (outils de gestion de flotte, gestion d'itinéraires, bureau mobile...). Enfin, certaines applications peuvent participer à son confort à bord en dehors des heures effectives de travail (Internet, multimédias) ainsi qu'à la sécurité des biens transportés (surveillance extérieure). Avant de nous intéresser de manière plus concrète aux dimensions humaines et techniques de la conduite assistée d'un véhicule, le chapitre suivant présente l'activité de conduite d'un véhicule d'un point de vue cognitif et ergonomique.



Le secteur du transport routier de marchandises se trouve dans une phase de profonde recomposition. Associé à ces changements, le conducteur routier évolue de même, avec la transformation, progressive certes, mais néanmoins observable du métier, tant au niveau de la conduite qu'à celui des « autres temps » de son activité : relation avec les clients, chargements, déchargements... Ainsi, la déconnexion grandissante du couple « homme-machine » semble annoncer un changement des représentations du camion, qui, deviendrait, pour le conducteur, un simple outil de travail auquel ne sont plus rattachées les valeurs affectives d'autrefois.

De plus, dans le cadre d'une démarche de recherche orientée « conception », il nous semble important de tenir compte de la particularité de l'activité du TRM qui fait que, contrairement au secteur de l'automobile, le client¹⁸ n'est généralement pas le conducteur. Ce dernier est donc rarement impliqué dans le choix du camion et de ses équipements. Enfin, dans leur démarche de conception, les ingénieurs concepteurs des systèmes se réfèrent généralement à la représentation d'un environnement supposé perçu de manière identique par eux-mêmes et par les utilisateurs (Pomian, Pradère, Gaillard, 1997). Or il s'avère que ces concepteurs n'ont que très rarement une expérience de la conduite d'un camion (alors que tous conduisent une automobile), et certainement aucune expérience du métier de conducteur routier.

Il nous semblait donc nécessaire de préciser le contenu des représentations qu'ont les conducteurs routiers professionnels à propos des objets associés à leur activité de conduite : le véhicule, le métier de conducteur routier, la conduite d'un camion, les assistances à la conduite. Toutefois, compte tenu de la diversité des dimensions de l'activité de conducteur routier (distribution vs long routier, environnement urbain vs extra-urbain, tracteur-remorque de \pm de 38T vs porteur de \pm 12T), nous avons différencié les travaux sur ce thème en fonction de la problématique de chaque projet. Ces actions de recherche spécifiques sont présentées dans les troisième et quatrième parties de ce mémoire.

II. Les dimensions cognitives et ergonomiques de l'activité de conduite d'un véhicule

L'activité de conduite d'un véhicule relève du domaine des activités cognitives finalisées telles qu'elles sont définies par Richard (1998) :

- cette activité est composée et dépend de la réalisation d'un ensemble de tâches,
- elle est orientée par un but et repose sur une représentation de la situation.

Elle met en jeu un certain nombre de mécanismes moteurs et cognitifs qui sous-tendent tout comportement humain. Elle repose sur de nombreuses dimensions qui relèvent non seulement de la psychologie et des sciences cognitives, mais aussi de l'ergonomie et plus globalement des sciences humaines et sociales.

¹⁸ Nous entendons ici par « client », l'entité qui sera propriétaire du véhicule : ici, le transporteur

Afin de situer cette activité du point de vue de la psychologie ergonomique et cognitive, examinons les modèles du fonctionnement humain qui nous ont servi de références théoriques. Nous abordons ensuite les principales dimensions cognitives et ergonomiques qui sous-tendent cette activité spécifique qu'est la conduite d'un véhicule et à partir desquelles nous avons posé défini nos démarches de recherche.

Modélisation de l'activité humaine finalisée

Les modèles abordés dans ce chapitre nous ont servi de cadres théoriques sur lesquels nous appuyer,

- pour identifier les dimensions à prendre en compte dans l'étude de l'activité de conduite d'un véhicule,
- afin d'établir une démarche méthodologique cohérente et adaptée aux problématiques et contextes de recherche abordés dans ce travail.

L'activité de conduite d'un véhicule peut être définie comme une activité finalisée, située et instrumentée en ce sens qu'elle est exécutée avec un objectif précis, dans un environnement particulier et au moyen d'un instrument, le véhicule. De plus, elle nécessite un apprentissage spécifique et son exécution est soumise à une réglementation.

Les modèles présentés ci-après sont des modèles de l'activité humaine issus de la psychologie cognitive et de l'ergonomie. Les deux premiers s'intéressent aux activités mentales (Richard, op. cité) et aux comportements humains (Martin, 2005) d'un point de vue structuro-fonctionnel. Le troisième (Rasmussen, 1986), plus spécifiquement appliqué aux processus de traitement de l'information dans les activités de contrôle de processus, est devenu une référence incontournable en ergonomie cognitive. Le quatrième, inspiré de celui de Rasmussen, est un modèle tripartite de l'activité humaine qui s'appuie sur les caractéristiques de la tâche (Michon, 1985) ; il est couramment cité dans le domaine de la conduite automobile. Le dernier modèle présenté est une représentation systémique des interactions conducteur/route/véhicule (Labiale, 1983). Il est spécifique à l'activité de conduite d'un véhicule, effectuée dans un environnement particulier, l'environnement routier, au moyen d'un outil/instrument spécifique, le véhicule.

Modèle de l'architecture cognitive selon Richard (1998)

L'architecture cognitive de Richard (1998) est un modèle fonctionnel des activités mentales, qui comporte la description des différents éléments du système cognitif ainsi que les relations entre ces éléments (Figure 3). Il a pour finalité de servir de base à une description du fonctionnement cognitif.

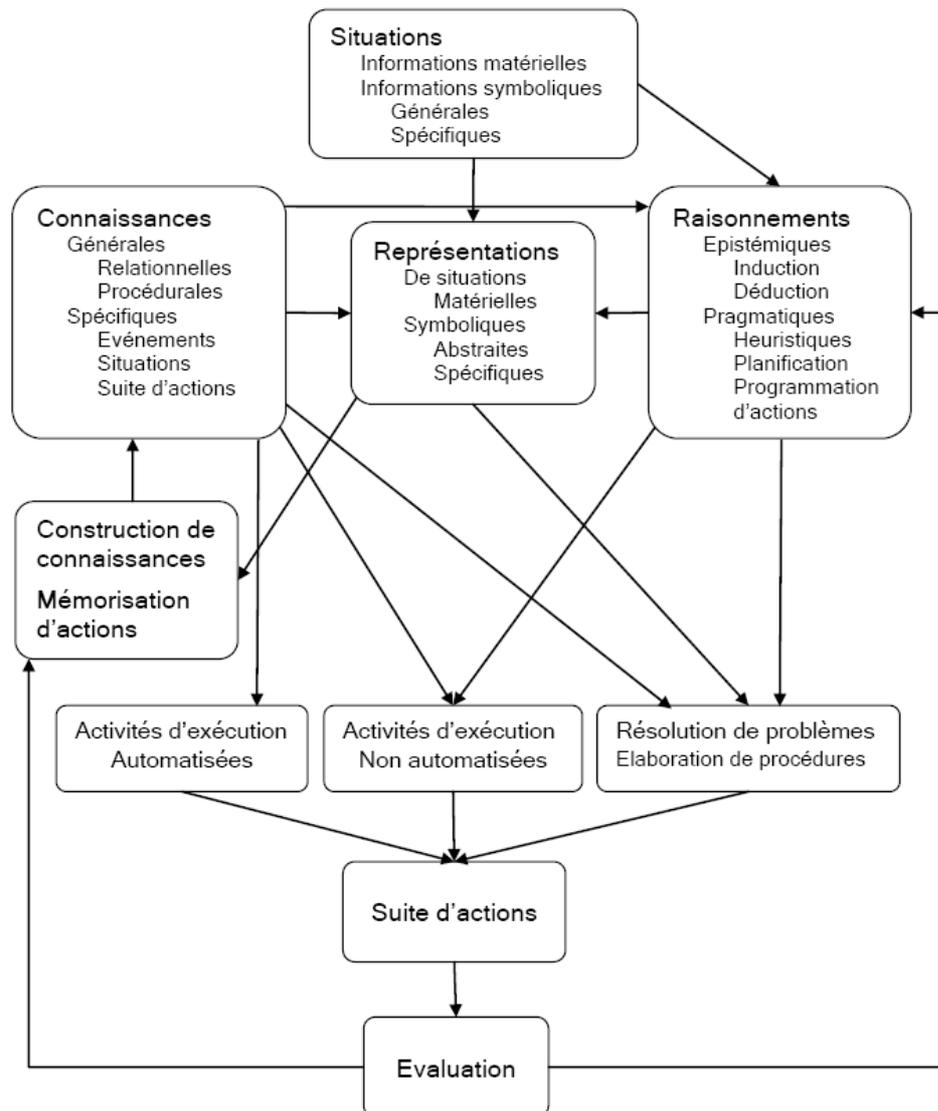


Figure 3 : Schéma de l'architecture cognitive selon Richard (1998)

Dans ce modèle, les entrées du système cognitif sont les situations, c'est-à-dire les informations issues des systèmes sensoriels. Ces entrées sont composées d'une part, d'informations de nature matérielle et spatio-temporelle sur les objets et les événements, et, d'autre part, des informations de nature symbolique (langagière ou iconique), qui sont chargées de significations et sont à contextualiser avec la situation. Les sorties du système cognitif sont des actions motrices (mouvements, gestes) et des productions langagières.

Sans entrer ici dans la description des éléments qui structurent ce modèle, nous reviendrons cependant sur les trois niveaux des activités qui aboutissent à l'action de conduite d'un véhicule (*automatisées, non automatisées et résolution de problème*), de même que les éléments de l'architecture cognitive qui alimentent ces niveaux et particulièrement les connaissances et les représentations cognitives. Ces divers éléments se retrouveront dans les autres modèles présentés ci-après. Enfin, il nous paraît important de préciser la fonction de contrôle de l'activité, qui n'est pas représentée dans l'architecture cognitive. Selon l'auteur, celle-ci s'exerce à l'intérieur des autres fonctions, notamment par

la définition des objectifs cognitifs, par le guidage des raisonnements et par le réajustement des représentations (Richard, op.cité).

Le contrôle de l'activité selon Richard (1998)

Dans le cadre des activités mentales telles qu'elles sont abordées par Richard, (op. cité), les activités de résolution de problème et celles d'exécution non automatisées dépendent des objectifs immédiats en mémoire opérationnelle (mémoire de travail). Ce sont des processus contrôlés (délibérés) par opposition aux processus automatiques de traitement de l'information. Richard précise, cependant, qu'en ce qui concerne leur déclenchement, les processus automatisés sont sous le contrôle indirect des objectifs : une action donnée est constituée d'un ensemble d'opérations et c'est l'action elle-même qui dépend d'un objectif immédiat alors que chaque opération est déclenchée par un automatisme préalablement construit par l'apprentissage et/ou l'expérience.

Pour Richard, la différence entre les activités d'exécution non automatisées et les activités de résolution de problème s'exprime au travers des procédures : les premières s'appuient sur des procédures existantes pour atteindre leur objectif, alors que les secondes doivent élaborer de nouvelles procédures à partir des informations et connaissances disponibles.

Notons que ces trois types de comportements, dépendants des objectifs, constituent aussi les trois niveaux de contrôle de l'activité de Rasmussen (présentés p. 42). Enfin, selon Richard, le coût cognitif engendré par l'activité croît en fonction du niveau de contrôle nécessaire pour atteindre l'objectif visé. D'une manière générale, l'individu essaie d'atteindre le but au moindre coût, ce qui explique que dans le cas de l'activité de conduite d'un véhicule, qui entre dans le champ des activités quotidiennes largement automatisées, les deux premiers niveaux seront plus souvent sollicités que le niveau de résolution de problème.

Par conséquent, il nous semble pertinent de situer l'activité de conduite d'un véhicule dans le cadre théorique des activités mentales tel qu'il est présenté par Richard.

Modèle générique structuro-fonctionnel du comportement humain (Martin, 2005)

Le modèle lexicographique et topographique proposé par Martin (2005, Figure 4) est un modèle qui est construit en termes d'interactions du sujet avec les milieux dans lesquels il évolue et qui est selon l'auteur, « *pertinent pour une heuristique conduisant de la pensée à l'action* ». Il se veut descriptif et explicatif du processus d'élaboration des comportements humains.

Bien qu'il existe une multiplicité de comportements humains en sortie du système cognitif, l'homme, finalement, ne disposerait que de quelques dimensions permettant son adaptation à l'environnement ; il n'en invente pas de nouvelles. De plus, selon l'auteur, tous les individus ont les mêmes types de liens avec les objets qui les entourent ; ils exercent les mêmes processus pour décoder l'information (perceptions, représentations, ...) ; ils disposent de modalités semblables pour prendre des décisions qui aboutiront à une action, un comportement, une conduite. Le modèle général instruit donc trois sous-systèmes qui composent une structure commune spécifique à l'espèce humaine, le tout sur un décours temporel :

1. un sous-système d'informations,

2. un sous-système de décisions,
3. un sous-système d'actions.

Dans ce modèle, la diversité et la multiplicité des fonctionnements et des comportements humains s'expriment par la médiation de l'espace et du temps, de l'histoire personnelle et des expériences de chaque individu. Ce modèle a l'avantage de situer, de façon écologique, le déroulement d'une activité cognitive, de la prise d'information à l'action. De plus, il intègre la notion de satisfaction procurée par l'accomplissement de l'action, de même que des dimensions émotionnelles et affectives qui ne sont pas prises en compte dans les autres modèles. En revanche, le modèle de Martin n'intègre pas la dimension de contrôle de l'activité, pas plus qu'il n'aborde la notion de processus de traitement de l'information.

A la différence du modèle de Richard, bien que présentant certaines analogies, ce modèle est un modèle dynamique qui tente de simplifier la complexité de l'activité humaine tout en tenant compte de ses dimensions spatio-temporelles et contextuelles. Il nous semble plus écologique pour situer et tenter d'expliquer une activité spécifique, telle que la conduite d'un véhicule. Dans une perspective ergonomique, la notion de contrôle de l'activité nous semble correspondre aux première, seconde et troisième phases du processus temporel. Dans ce schéma, la phase interne et passive serait celle des processus automatisés, et la phase externe et active, directement observable, celle des processus contrôlés et de la résolution de problème.

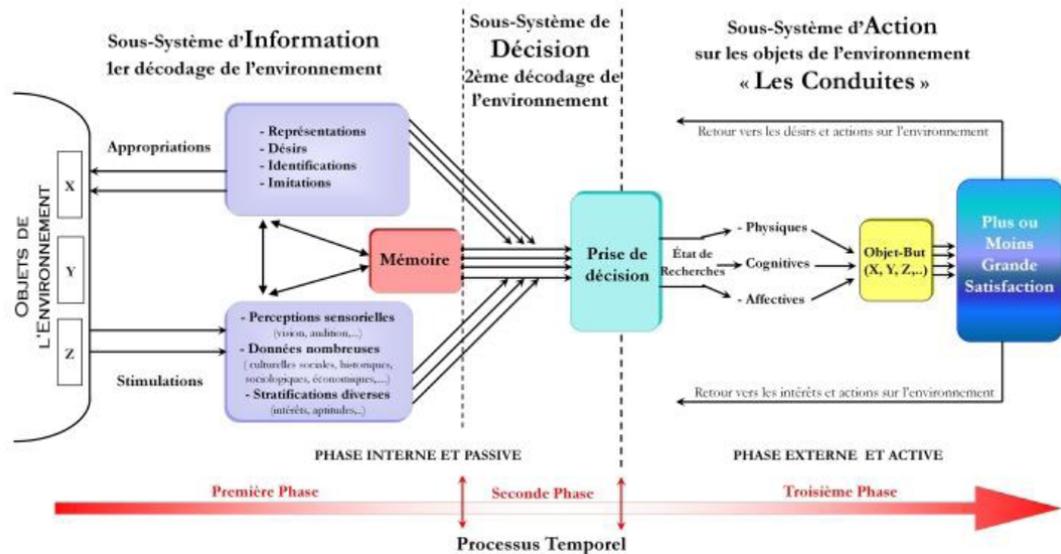


Figure 4 : Schéma du modèle lexicographique et topographique du comportement humain d'après Martin (2005)

Modèle générique du traitement de l'information dans les activités de contrôle (Rasmussen, 1983)

Rasmussen (1983, 1986) a proposé une conception hiérarchique de l'activité qui fait référence dans le domaine de la psychologie ergonomique. Ce modèle générique (le modèle SKR)¹⁹, élaboré pour l'étude des activités de contrôle de processus, propose un schéma d'analyse pour déterminer les modes ou niveau de contrôle mis en œuvre dans l'exercice de l'activité. Il permet notamment l'identification des erreurs pouvant survenir dans le déroulement de l'activité. Il s'appuie sur trois niveaux de contrôle de l'activité qui peuvent d'ailleurs être rapprochés des catégories qui composent les processus contrôlables par des objectifs (Figure 3, p.39) décrits par Richard (1998)²⁰ :

¹⁹ Skills, Rules, Knowledge.

²⁰ Equipe de recherche « Psychologie cognitive du traitement de l'information symbolique » de l'université de Paris VIII

1. Le niveau des habiletés (Skills) est à rapprocher des activités d'exécution automatisées. Les erreurs commises à ce niveau sont de l'ordre des « ratés ».
2. Le niveau des procédures (Rules), correspond au niveau des activités d'exécution non automatisées. Les erreurs relevant de ce niveau sont des erreurs par omission.
3. Le niveau des connaissances (Knowledge), se rapproche du niveau de la résolution de problème. Les erreurs relevant de ce niveau sont des erreurs sur les buts.

Dans cet ordre, les traitements sont de plus en plus coûteux en ressources cognitives. Les processus peuvent être différents, plus ou moins rapides (aisés) et plus ou moins risqués (erreur d'interprétation) selon la familiarité du sujet avec la situation.

Compte tenu de l'implication de ces différents niveaux de contrôle dans l'activité de conduite d'un véhicule, il importe de revenir plus précisément sur chacun des niveaux pour une meilleure compréhension du fonctionnement du conducteur tel que nous l'appréhenderons dans la suite du travail.

Comportements basé sur les habiletés (Skill-based behaviour)

Ce niveau se situe au plus bas de la hiérarchie du modèle, les comportements relèvent d'un type de fonctionnement « stimulus-réponse », l'observation déclenche la réponse d'exécution. Les habiletés sont, ici, des patterns de comportements sensori-moteurs automatisés nécessitant généralement une exécution rapide. Elles sont acquises par l'apprentissage et l'entraînement et effectuées sans contrôle conscient du sujet. Les réponses motrices sont déclenchées dès la détection des traits pertinents de la situation (représentation routinière, ex. passage des rapports, accélération, freinage...). Ces actions s'effectuent sans avoir recours aux ressources attentionnelles de l'individu avec un coût cognitif très faible qui permet à l'individu d'effectuer d'autres tâches en parallèle.

Selon Rasmussen (1983) cité par Navarro (2008), les comportements issus de ce niveau sont fluides, automatisés et largement intégrés par les individus. Ils sont difficilement accessibles à la verbalisation.

Comportements basés sur les règles (Rule-based behaviour)

Niveau intermédiaire dans la hiérarchie du modèle, les comportements reposent sur l'identification de la situation et l'exécution découle directement de l'identification (si tel état, alors telle procédure). Le sujet fonctionne à ce niveau lorsqu'il est confronté à une situation familière pour laquelle il dispose en mémoire de règles et de procédures pertinentes et immédiatement applicables pour atteindre l'objectif visé. A ce niveau, l'individu déclenche des actions concrètes de manière assez directe sans chercher à analyser la situation de manière conceptuelle. Toutefois, le mode attentionnel est utilisé pour choisir la règle à appliquer. Le traitement des informations de la situation peut, quant à lui, être réalisé de manière implicite (notion de conscience de la situation, Sarter et Woods, 1991). De même, une fois que la règle appropriée est choisie (activée) par l'individu, l'exécution de celle-ci se fait de manière automatique, sans contrôle attentionnel. Ce niveau requiert des ressources attentionnelles minimales laissant la possibilité à l'individu d'effectuer d'autres tâches en parallèle.

Ce niveau est celui de l'expertise, définie de façon non restrictive : tout un chacun est expert en bien des activités qu'elles soient professionnelles, culturelles, domestiques, etc. Enfin, les comportements issus de ce niveau sont plus ou moins accessibles à la verbalisation.

Comportements basés sur les connaissances (Knowledge-based behaviour)

Niveau supérieur dans le modèle hiérarchique, ce niveau fait appel aux connaissances conceptuelles, symboliques de l'individu. C'est le niveau de la résolution de problèmes. La situation doit être interprétée, le but évalué : toutes les étapes du traitement de l'information sont mises en jeu : activation, observation, identification, interprétation, évaluation, définition de la tâche, définition de la procédure, exécution. Ce niveau de traitement permet de réagir à des situations ne pouvant être gérées par les deux autres niveaux de traitement. Ce niveau n'est utilisé qu'en cas de situations complexes pour lesquelles les solutions habituellement utilisées ne fonctionnant pas, il est nécessaire d'en créer de nouvelles (Hoc, 1996). L'individu va utiliser les schémas généraux dont il dispose et les particulariser ou créer entièrement de nouvelles procédures. C'est le niveau le plus coûteux en ressources attentionnelles, il ne permet pas d'effectuer d'autres tâches en parallèle.

Dans le cas de la conduite d'un véhicule, la navigation peut relever de ce niveau : lorsqu'un événement imprévu oblige à modifier l'itinéraire programmé, le conducteur doit faire appel à sa connaissance du réseau routier de manière à adapter son itinéraire au mieux (Navarro, op. cité).

Ces trois niveaux ne définissent pas des types de situations spécifiques qui pourraient leur correspondre terme à terme. En particulier, le conducteur n'est jamais confronté à une situation qui n'impliquerait que le niveau supérieur de la résolution de problème (des connaissances). Pour reprendre l'exemple de la navigation, les niveaux inférieurs des comportements réglés (adaptation de la stratégie de conduite à l'environnement...) et des automatismes (guidage du véhicule...) interviennent toujours aussi. Toutefois, l'activité de conduite d'un véhicule est régulée, la plupart du temps, par les niveaux d'exécution automatisés (habiletés) et non automatisés (règles et procédures).

Il existe de nombreuses adaptations et représentations graphiques du modèle SKR de Rasmussen. Elles dépendent généralement de l'objectif de l'étude (analyse des erreurs, analyses de l'activité...) pour laquelle elles ont été élaborées et sont plus ou moins simplifiées. Nous avons choisi d'illustrer le modèle SKR à l'aide de la représentation proposée par Van Elslande (2000), dans le domaine de la psychologie de la conduite (Figure 5).

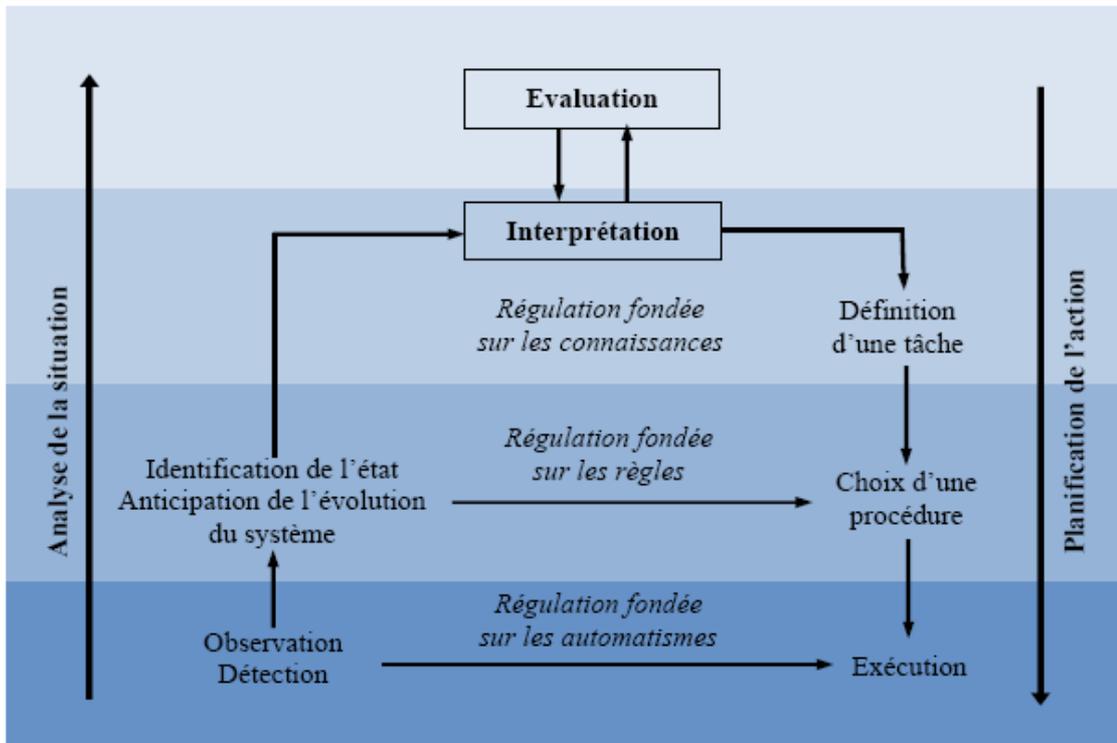


Figure 5 : Diagramme simplifié du modèle SRK de Rasmussen adapté à la conduite automobile d'après Van Elslande (2000)

Modèle de l'activité de conduite (Michon, 1985)

S'inspirant des travaux de Rasmussen (1983) que Michon (1985) a proposé un modèle tripartite de l'activité humaine qui, depuis, a été appliqué à la conduite automobile dans de nombreux travaux (Navarro, 2008). A la différence de Rasmussen chez qui les niveaux de régulation réfèrent à des processus internes à l'individu, la taxinomie de Michon s'appuie sur les caractéristiques de la tâche.

Michon considère l'activité humaine et plus spécifiquement l'activité de conduite comme un ensemble de tâches simultanées, mais ayant des exigences temporelles et cognitives différentes. De fait, selon l'auteur, plus une tâche exige une réponse rapide, moins elle est coûteuse d'un point de vue cognitif. Cette approche est d'ailleurs compatible avec la notion de régulation de l'activité de Rasmussen, de même qu'avec l'architecture cognitive de Richard dans lesquelles on retrouve les notions d'automatisation et de contrôle des processus de traitement de l'information.

Le modèle de Michon décrit trois niveaux hiérarchiques pour catégoriser les tâches qui composent l'activité de conduite automobile, et plus largement l'activité humaine : le niveau stratégique, le niveau tactique et le niveau opérationnel (Figure 6).

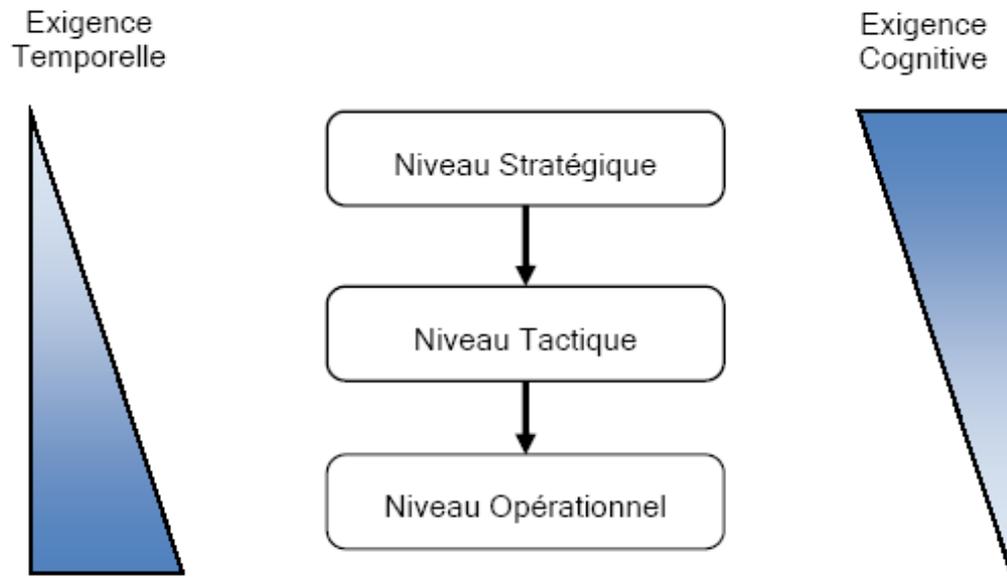


Figure 6 : Représentation de l'activité de conduite selon Michon (1985)

Au *niveau stratégique*, niveau supérieur du modèle, les tâches exigent un investissement cognitif élevé et des ressources attentionnelles disponibles. En revanche, l'exigence temporelle de ces tâches est relativement faible. C'est à ce niveau que se situent les tâches de planification de l'itinéraire et de navigation (Michon, op. cité).

Au *niveau tactique*, niveau intermédiaire du modèle, les tâches relèvent des prises de décision concernant les actions qui vont être mises en œuvre dans les instants qui suivent. Le coût cognitif de la tâche est moins élevé qu'au niveau supérieur, mais son exigence temporelle est relativement forte. Ce niveau regroupe diverses actions de pilotage du véhicule telles que le dépassement, la distance inter-véhiculaire, la décision de s'arrêter pour céder le passage à un piéton hors passage protégé ou encore l'anticipation d'une situation (virage, feu tricolore...).

Enfin, le *niveau opérationnel* correspond à l'exécution des actions décidées aux niveaux supérieurs. Situé au plus bas dans la hiérarchie du modèle, les tâches dépendant de ce niveau sont automatisées. Leur coût cognitif est très faible, voire inexistant mais l'exigence temporelle liée à ces tâches est très élevée. Ce niveau regroupe de nombreuses tâches de guidage et contrôle de trajectoire, d'exécution motrice des manœuvres (donner tel angle au volant pour franchir un virage, passer le rapport correspondant à la situation en cours...).

La taxinomie de Michon, par son approche de l'activité de conduite en fonction des tâches qui la composent, semble pertinente, non seulement dans la démarche ergonomique de conception d'un système d'assistance à la conduite, mais aussi pour l'étude des comportements des usagers vulnérables (Tom, Auberlet, Brémond, 2009).

Modèle systémique de l'interaction conducteur-route-véhicule (Labiale, 1983)

Le dernier modèle que nous aborderons (Labiale, 1983) constitue une approche systémique de l'activité de conduite d'un véhicule. Ce modèle opérationnel, non hiérarchique, décrit

les différents composants du système ainsi que les interactions qui en régissent le fonctionnement. Trois éléments majeurs composent ce modèle (Figure 7) :

- L'élément « situation route-véhicule » comporte les données contextuelles de l'environnement et situe le véhicule dans cet environnement. Selon Labiale, ce sous-système représente une situation stimulante complexe pour le conducteur,
- Le deuxième élément « médiation conduite du conducteur » en position centrale, comprend à la fois les caractéristiques individuelles du conducteur de même que l'ensemble des opérations cognitives et des comportements psychomoteurs en jeu dans l'activité de conduite,
- Le troisième élément « réponse véhicule » est décrit par l'auteur comme étant la réponse d'utilisation du véhicule par le conducteur dans le trafic.

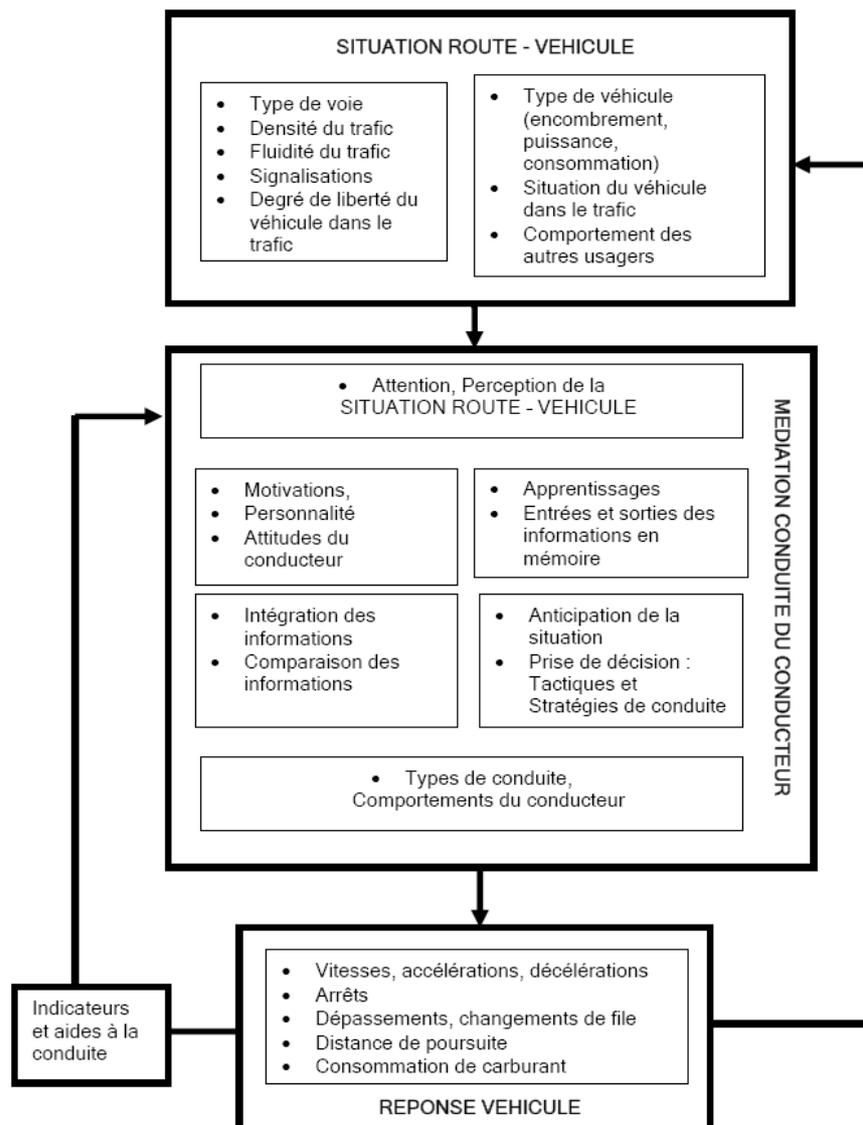


Figure 7 : Schéma de l'interaction route-conduite-véhicule d'après Labiale (1983)

L'interaction dont il est question dans ce modèle concerne les trois sous-systèmes présentés, la réponse véhicule étant médiatisée par les indicateurs et aides à la conduite. Bien que l'élément central tienne compte de l'activité de conduite du conducteur, le modèle

reste globalement statique. Il n'intègre pas la dimension dynamique de l'activité, pas plus qu'il n'en détaille les processus. Toutefois, ce modèle représente un catalogue assez complet des diverses dimensions de la conduite d'un véhicule. A ce titre, il paraît intéressant pour situer cette activité au cœur du système.



Cette présentation des modèles de l'activité humaine ne prétend pas à l'exhaustivité. Il existe bien évidemment de nombreux autres modèles pertinents du fonctionnement humain et notamment de l'activité de conduite. Néanmoins, les modèles abordés nous semblent suffisamment complets, tant d'un point de vue conceptuel, que d'un point de vue fonctionnel, pour nous permettre d'établir correctement le cadre de nos travaux. Leur complémentarité devrait nous permettre de situer précisément les dimensions cognitives et ergonomiques à prendre en compte dans une démarche d'analyse de l'activité des conducteurs en vue de la conception de systèmes d'assistance à la conduite. L'agrégation de certaines des dimensions de chacun de ces modèles devrait aboutir à la proposition d'un modèle opérationnel du comportement humain appliqué à la conduite d'un véhicule industriel.

Toutefois, avant de nous intéresser aux principes ergonomiques et méthodologiques qui nous guideront dans notre démarche de recherche, il nous semble indispensable d'apporter un éclairage théorique plus précis sur certains des processus qui ont été évoqués dans nos modèles de référence. Dans les sections qui vont suivre, nous nous intéresserons tout d'abord à l'organisation des connaissances et des représentations en mémoire ainsi qu'au processus de mémorisation qui sous-tend toute activité humaine. Nous abordons ensuite les processus de traitement de l'information majoritairement impliqués dans l'activité de conduite d'un véhicule, processus automatiques et contrôlés, en nous attardant sur les habiletés cognitives acquises par l'apprentissage et l'expérience.

La Mémoire humaine

« *Les conduites actuelles d'un organisme dépendent pour une large part de ses expériences et de ses conduites antérieures* » (Reuchlin, 1977). Sans processus de mémorisation, toute conduite organisée ayant une valeur adaptative est impossible : la mémoire humaine est le processus indispensable qui permet toute activité humaine, personnelle ou professionnelle, cognitive ou motrice. Située en position centrale dans le modèle de Martin (2005), elle implique :

- un processus de *rétenion* (stockage) des diverses connaissances et représentations,
- un processus de *rappel* (réactivation) de ces éléments.

Elle permet notamment l'apprentissage et le développement de l'expertise dans le cas de la conduite d'un véhicule. Ainsi, avant de nous intéresser aux processus qui sous-tendent tout comportement humain, rappelons l'organisation de la mémoire humaine abordée d'un point de vue fonctionnel, d'après la présentation didactique publiée par l'Université Mac Gill de Montréal sur le site internet « Le cerveau à tous les niveaux »²¹.

²¹ Le cerveau à tous les niveaux : <http://lecerveau.mcgill.ca>, texte sous « copyleft », autorisant l'accès gratuit au fruit d'un travail original et la reproduction (et même la modification) de ce travail d'une façon tout aussi gratuite.

Une organisation tripartite de la mémoire

Les chercheurs, s'accorde pour reconnaître que la mémoire humaine n'est pas un processus unitaire. Il est actuellement admis que trois systèmes distincts entrent en jeu dans la mémorisation, selon le schéma séquentiel en trois étapes d'Atkinson et Shiffrin (1968) : la mémoire sensorielle, la mémoire à court terme et la mémoire à long terme (Figure 8).

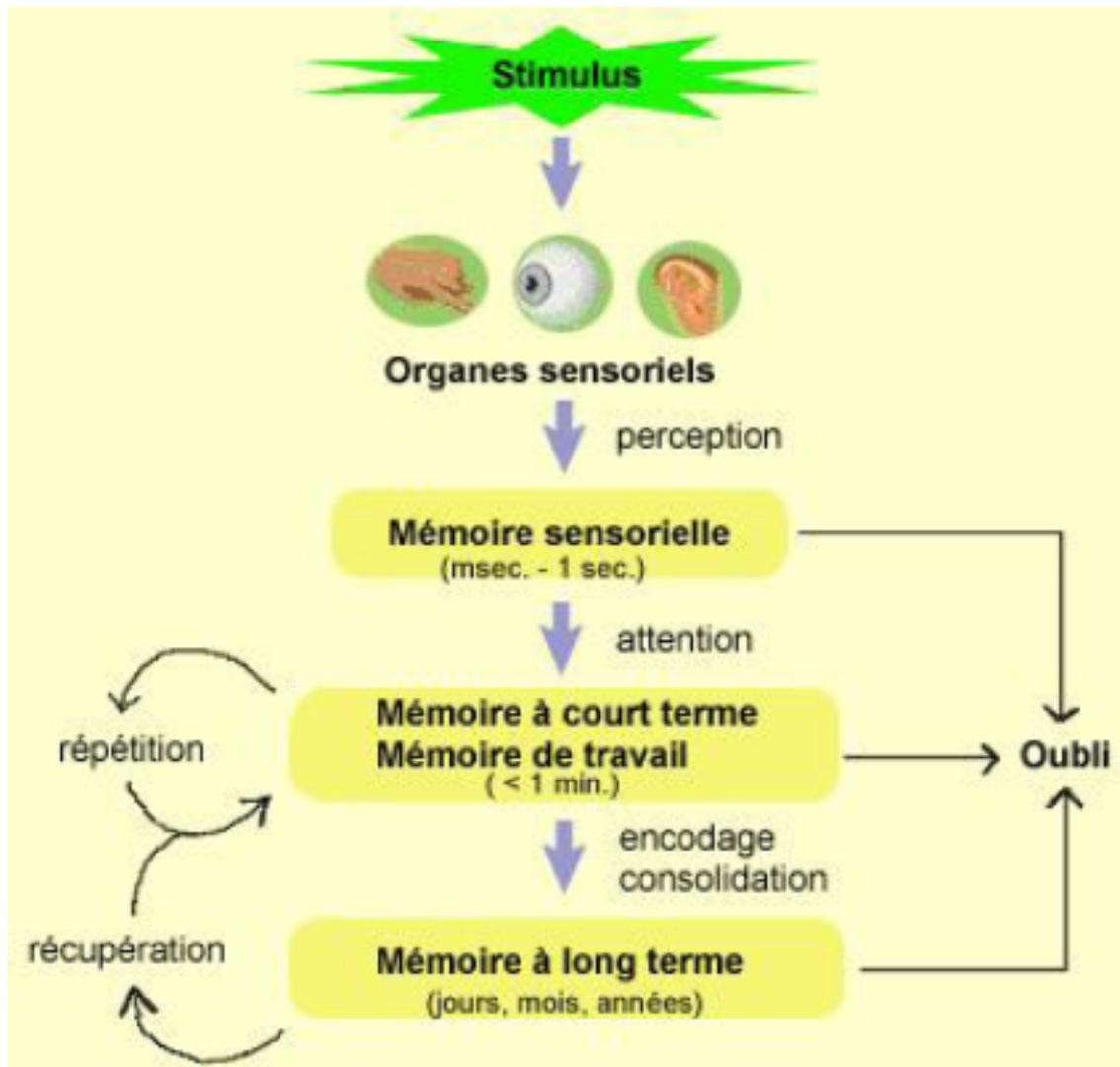


Figure 8 : Schéma général de l'organisation de la mémoire (Le cerveau à tous les niveaux)

Le critère permettant d'établir cette classification est la durée de rétention de la trace mnésique (souvenir). Bien que chaque mémoire ait un mode de fonctionnement particulier, elles fonctionnent en étroite collaboration et peuvent être considérées comme trois stades nécessaires au processus de mémorisation.

La mémoire sensorielle

La mémoire sensorielle, dont la durée de rétention de la trace mnésique est de l'ordre de 300 à 500 millisecondes, permet d'extraire les caractéristiques d'un stimulus et d'activer le niveau de vigilance. Elle est composée de deux sous-systèmes distincts : la mémoire

iconique pour le traitement des stimuli visuels et la mémoire échoïque pour le traitement des stimuli sonores. A ce niveau, les stimuli détectés par les sens peuvent être, soit ignorés et disparaître quasi instantanément, soit traités d'un point de vue perceptif et transiter par la mémoire sensorielle. Le stockage s'y effectue automatiquement lors de la perception sans nécessiter de contrôle attentionnel. Elle permet un premier décodage de l'information en associant les différents traits d'un stimulus pour lui donner une signification. *C'est cette mémoire qui, en associant une forme (par exemple un octogone rouge) avec des traits formant un symbole (le mot STOP en blanc par exemple), permet au conducteur de percevoir et d'identifier les panneaux de signalisation.*

Si le stimulus ainsi perçu est pertinent pour l'activité en cours, il passe alors en mémoire à court terme pour être rapidement accessible et utilisable. Dans le cadre de la conception d'interfaces pour les systèmes d'assistance à la conduite, il est intéressant de noter que l'information visuelle semble plus labile que l'information auditive (Richard, 1998).

Mémoire de travail, mémoire opérationnelle et mémoire à court terme

La mémoire à court terme ou mémoire immédiate permet le stockage temporaire de l'information avant son passage en mémoire à long terme et/ou son utilisation immédiate pour l'action en cours, elle est alors traitée en mémoire de travail. Sa capacité est limitée, l'empan mnésique est égal à 7 ± 2 items, et la durée de rétention de la trace mnésique est de l'ordre de 30 à 90 secondes.

Si la mémoire de travail peut être considérée comme une extension de la mémoire à court terme, du point de vue des activités mentales, il semble néanmoins préférable de confondre les deux systèmes (Richard, 1998) pour ne plus considérer que le système de mémoire de travail. Celle-ci présente l'avantage de permettre à la fois le stockage de l'information et les traitements cognitifs sur son contenu. Cependant, la limitation de la capacité de la mémoire de travail entraîne une limitation de sa capacité de traitement et rend compte des phénomènes attentionnels.

D'un point de vue structuro-fonctionnel, le modèle de la mémoire de travail proposé par Baddeley et Hitch en 1974 est composé de trois sous-systèmes, la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial, tous deux contrôlés par le processeur central. En 2000, Baddeley a complété le modèle avec un buffer épisodique qui est une sorte de mémoire tampon temporaire.

- La boucle phonologique (boucle articulatoire), permet le maintien et le traitement d'un nombre limité d'informations verbales par autorépétition (langage intérieur).
- Le calepin visuo-spatial est impliqué dans le traitement des informations de l'environnement codées sous formes visuelle et spatiale, de même que les opérations sur les images mentales. Il est sensible à l'interférence avec une autre tâche visuelle, mais peu sensible à l'interférence avec une tâche auditive.
- Le processeur central est un mécanisme attentionnel qui contrôle et coordonne les deux sous-systèmes précédents. Il intègre leurs informations et les met en relation dans le buffer épisodique avec les connaissances activées en mémoire à long terme. Il serait notamment responsable de la sélection, de l'initiation et de l'arrêt des routines (automatismes) de ses deux sous-systèmes « esclaves ». *Dans le cas de la conduite d'un véhicule, nous prendrons l'exemple de l'itinéraire suivi par habitude qui fait partie d'une routine qui nécessite un minimum de ressources attentionnelles. Dans la mesure où cette routine est régulièrement activée et déroulée de façon automatique, son désengagement, notamment pour modifier l'itinéraire initial, nécessite des*

ressources attentionnelles supplémentaires qui seraient gérées et allouées par ce processeur central.

Enfin, dans le cadre de nos travaux, la relative indépendance des deux sous-systèmes de la mémoire de travail (calepin visuo-spatial et boucle phonologique) nous semble importante pour définir la forme, visuelle et/ou sonore, que prendront les interfaces homme-machine des systèmes d'assistance ainsi que les stratégies de présentation des informations et alarmes.

Dans le domaine de la psychologie ergonomique, la notion de mémoire de travail est remplacée par celle voisine de mémoire opérationnelle (Bisseret, 1970 ; Sperandio, 1988). La mémoire opérationnelle est un système transitoire dans lequel la trace mnésique serait beaucoup moins fugace qu'en mémoire à court terme. Elle est structurée par les exigences de la tâche à accomplir c'est-à-dire que l'information y est maintenue temporairement et activée par et pour l'action. Lors de la réalisation d'une tâche donnée, la mémorisation est dépendante des objectifs de la tâche et la trace mnésique est maintenue tant qu'elle est utile pour cette tâche. Selon Richard (1998), le contenu de la mémoire opérationnelle est constitué des représentations cognitives, notion centrale en psychologie ergonomique, c'est-à-dire des informations stockées en mémoire de travail et des informations actives de la mémoire à long terme.

C'est en mémoire opérationnelle que tous les traitements relevant des processus non automatisés sont effectués (cf. [Modélisation de l'activité humaine finalisée](#), p. 38). Tout comme la mémoire de travail, la mémoire opérationnelle est particulièrement sensible aux interférences et aux défauts d'attention.

Dans le cas de l'activité de conduite d'un véhicule, d'un point de vue conceptuel, nous préférons conserver le terme de mémoire opérationnelle plutôt que celui de mémoire de travail qui nous semble plus restrictif pour rendre compte d'une action finalisée. D'un point de vue fonctionnel, pour la suite de ce travail, nous ferons l'hypothèse d'une analogie structurelle entre le modèle de mémoire de travail de Baddeley (2000) présentée ci-dessus et la mémoire opérationnelle.

La mémoire à long terme

La mémoire à long terme correspond au stockage des informations issues du processus de mémorisation (traitement approfondi et encodage des données). Elle comprend la trace mnésique des faits anciens tout autant que celle des faits récents. Sa capacité de stockage semble être quasi illimitée, de même que la durée de rétention de la trace mnésique. Toutefois, les souvenirs stockés en mémoire sont susceptibles :

- d'être effacés ou du moins momentanément ou définitivement inaccessibles, c'est le phénomène de l'oubli, nécessaire pour éviter la saturation du système,
- d'être ravivés par le rappel d'un item connexe.

D'un point de vue fonctionnel (externe), le processus de mémorisation est composé de trois phases distinctes, l'*encodage*, le *stockage* et le *rappel* (restitution) des informations. La durée de stockage et la facilité d'accès aux connaissances (le rappel) dépendent de leur encodage initial, de leur association avec d'autres souvenirs mémorisés ainsi que de leur fréquence d'activation et leur contexte d'utilisation.

L'encodage fait intervenir des processus complexes, aussi bien conscients qu'inconscients pour lesquels la signification donnée à l'information, l'indexation spatio-temporelle, l'étiquetage émotionnel et la motivation sont déterminants pour fabriquer un

souvenir prêt à être évoqué. Du point de vue de la psychologie cognitive, la mémoire à long terme n'est pas une structure passive de stockage de l'information. Elle est caractérisée par un certain niveau d'activation qui détermine l'accès aux connaissances nécessaires pour l'action en cours. L'encodage vise à donner un poids et un sens à l'information et à l'organiser logiquement via un processus de catégorisation qui en facilitera la récupération. Le stockage de l'information qui suit la phase d'encodage passe par des phases de consolidation et d'effacement dans lesquelles la répétition joue un rôle important.

Du point de vue des activités humaines finalisées, l'apprentissage est le processus majeur qui permet un encodage efficace de l'information en mémoire à long terme.

D'un point de vue structuro-fonctionnel, la mémoire à long terme est couramment déclinée en modules spécifiques selon le type d'information que chaque module est censé contenir. Ainsi, on distingue couramment la mémoire déclarative ou explicite qui contient les connaissances déclaratives (épisodiques et sémantiques), et la mémoire procédurale qui contient les connaissances implicites (habiletés, conditionnements...). En termes de fonctionnement, ces modules sont en interaction constante.

En ce qui concerne les problématiques relevant de la conduite d'un véhicule et plus largement des usagers de la route, notre propos n'est pas de détailler ici les processus de mémorisation et notamment l'apprentissage de la conduite, pas plus que l'organisation de la mémoire à long terme. En revanche, du point de vue du fonctionnement cognitif, il nous semble intéressant de distinguer entre les différents types de connaissances et représentations naturellement impliquées dans tout comportement humain et a fortiori dans l'activité de conduite d'un véhicule. La nature de ces connaissances et leurs spécificités fonctionnelles devraient nous permettre d'établir un schéma méthodologique pertinent pour nos travaux.

Importance et rôle des connaissances et des représentations dans les activités finalisées

La conduite d'un véhicule peut être considérée comme une activité cognitive finalisée, orientée par un ou des objectifs et composée d'une suite d'actions ou de tâches. Leur exécution nécessite certaines connaissances déclaratives (code de la route par exemple) et procédurales (guidage du véhicule par exemple) et repose sur une représentation de la situation. Ce chapitre est consacré à la présentation de ces différents types de connaissances ainsi qu'à leur organisation, rôle et relations pour l'activité finalisée.

Connaissances déclaratives et connaissances procédurales

C'est notamment grâce à un article de Winograd en 1975 (cité par George, 1988), que la distinction entre connaissances déclaratives et connaissances procédurales a été popularisée dans le domaine de la psychologie. Cette distinction repose sur l'idée d'un clivage entre connaissance et action, ou bien que certaines modalités de connaissances concernent plus la conceptualisation alors que d'autres sont plus reliées à l'activité. Cette distinction est souvent assimilée à la distinction entre les savoirs et les savoir-faire. Dans le domaine de l'ergonomie cognitive, on retrouve des dichotomies similaires telles que la distinction entre représentation et traitement (Hoc, 1982), entre structures et procédures (Inhelder et al., 1976) ou entre image cognitive et image opérative (Ochanine, Quaas et Zaltzman, 1972).

D'un point de vue schématique, les différences entre les connaissances déclaratives et les connaissances procédurales peuvent être décrites selon leur mode de manifestation et selon leur contenu. Selon George (op. cité), la séparation claire entre modes de manifestation et contenu des connaissances permet de souligner que si certaines connaissances n'ont qu'un seul mode de manifestation possible, c'est le cas par exemple de certaines connaissances épisodiques uniquement déclaratives, d'autres peuvent se manifester différemment selon les individus (différence expert/novice), ou chez un même individu (par exemple selon les étapes de son apprentissage). *Ainsi, dans le cas de l'activité de conduite d'un véhicule, plus le conducteur est proche de son apprentissage et plus il est capable d'énoncer les règles et procédures de la conduite. Plus il devient expert et plus il lui sera difficile de les décrire dans le détail. De même dans le cadre de la consommation de carburant, un conducteur peut très bien avoir les connaissances déclaratives sur les procédures de la conduite rationnelle sans pour autant savoir énoncer les procédures sous-jacentes à son propre comportement de conduite.*

Tableau 1 : Tableau comparatif des propriétés des connaissances déclaratives vs procédurales

MODES DE MANIFESTATION	CONNAISSANCES DECLARATIVES	CONNAISSANCES PROCEDURALES
	S'extériorisent dans le langage naturel ou symbolique	S'expriment dans l'activité finalisée, se manifestent dans les comportements
	Existence indépendante de l'utilisation possible	Intégrées dans une utilisation particulière
	Autonomes et mobiles	Incluses dans une conduite spécifique
	Pas de dimension temporelle, pas d'effet d'ordre entre les éléments	Existence d'une succession temporelle entre les éléments de l'activité/action
CONTENU	CONNAISSANCES SUR LES FAITS	CONNAISSANCES SUR LES PROCEDURES
	Traduisent sous forme d'énoncés verbaux des faits, des propriétés des objets, et des règles d'action	Intègrent les propriétés des objets sur lesquels s'exerce l'action
	Peuvent concerner les actions	Peuvent concerner les propriétés de l'environnement
	Facilement accessibles à la verbalisation	Difficilement accessibles voire impossibles à verbaliser

Nous avons comparé dans le tableau [supra](#) (Tableau 1) les différentes propriétés des connaissances déclaratives et des connaissances procédurales selon leur mode de manifestation et selon leur contenu.

La seconde approche qui semble intéressante est celle proposée par Richard (1998) pour l'étude des activités cognitives finalisées. Sous le terme de connaissances, l'auteur inclut les croyances, les représentations, les stéréotypes, normes et valeurs. De plus, il ne leur accorde aucun caractère de vérité, l'important étant que les connaissances aient l'adhésion du sujet et que, de ce fait, elles puissent devenir efficaces pour son action.

Une première distinction est faite entre les connaissances générales qui constituent la mémoire sémantique et les connaissances spécifiques qui constituent la mémoire

épisodique. Pour l'auteur, les connaissances générales peuvent être relationnelles, elles correspondent alors aux connaissances déclaratives, ou procédurales. Les connaissances déclaratives sont des connaissances sur les objets qui précisent leurs composantes élémentaires et la nature des relations entre ces composantes. Elles sont conscientes et explicites c'est à dire qu'elles peuvent être exprimées par le langage. Ce sont des concepts indépendants d'un contexte spatio-temporel. *La connaissance du code de la route fait partie des connaissances déclaratives indispensables pour l'activité de conduite d'un véhicule.*

Les connaissances procédurales concernent des séquences d'actions organisées dans un but donné et tenant compte des possibilités d'action sur les objets. *Mettre un véhicule en mouvement fait partie des connaissances procédurales : tourner la clé de contact, débrayer, passer la marche avant, embrayer doucement en accélérant.*

Enfin, pour Richard, les connaissances spécifiques sont des connaissances contextualisées qui concernent des objets, situations, événements ou séquences d'actions spécifiques qui ont fait l'objet d'une expérience singulière et personnelle. *C'est par exemple pour un conducteur, la mémorisation d'un accident en effectuant une manœuvre spécifique avec son véhicule dans un contexte donné (marche arrière, renversement d'un piéton, en ville...).* Les connaissances spécifiques sont des événements biographiques.

Compte tenu des spécificités de chaque type de connaissances, du point de vue de l'activité humaine, il semble difficile de dissocier les connaissances procédurales des connaissances déclaratives qui se rapportent à cette activité. *Prenons l'exemple du démarrage à un feu tricolore au volant d'un véhicule : comme vu précédemment, la mise en mouvement du véhicule repose sur un certain nombre de connaissances procédurales, cependant, le conducteur doit faire appel à des connaissances déclaratives (code de la route) pour comprendre la signification de la couleur du feu²² ; enfin, si le conducteur a vécu l'expérience d'un refus de priorité lors d'un franchissement de feu tricolore (connaissance épisodique spécifique), cette information sera activée pour la situation en cours.* Ainsi, pour pouvoir construire une représentation fonctionnelle qui permettra une action efficace, selon plusieurs auteurs dont Richard (1995, 1998) et Sébillotte (1988, 1993), les connaissances sont associées en mémoire à long terme sous forme de schémas d'action.

Des schémas pour l'action

Il semble difficile d'évoquer la notion de schémas pour l'action sans évoquer celle de schème d'action, ces deux notions étant souvent associées, quand elles ne se confondent pas, selon les théories et les auteurs.

Les concepts de schémas d'action et de schèmes se retrouvent dans divers cadres théoriques en psychologie cognitive : ils sont impliqués notamment dans le développement cognitif, dans l'apprentissage et l'acquisition des connaissances, dans la résolution de problème, et plus généralement, dans les théories traitant des activités mentales et des activités humaines finalisées. Cependant, bien que présentant de nombreuses similitudes, il convient de distinguer schème et schéma d'action (Richard, 1998).

Les schèmes sont, comme les connaissances procédurales, particularisés pour certains contextes (Richard, op. cité). Ils sont directement opérationnels et exécutables sans nécessiter de mécanismes de programmation de l'action. Ce sont des cadres qui, une fois activés, constituent « des systèmes d'hypothèse » qui permettent de reconnaître le stimulus

²² Au Brésil par exemple, les feux sont bicolores, la paire rouge/vert tenant lieu de feu orange.

présenté (Rabardel, 1995). Les schèmes sont des représentations de connaissances procédurales, c'est-à-dire qu'ils contiennent « *des variables auxquelles sont attachées des procédures de spécification* » (Rabardel, op. cité). Les deux principales propriétés des schèmes sont la reproductibilité : un schème est applicable à plusieurs situations similaires ; et l'assimilation : en s'appliquant à des situations nouvelles, le schème peut assimiler ces situations et les objets qui les composent (Piaget, 1975). Pour résumer, selon Piaget (op. cité), le schème d'une action est l'ensemble organisé des caractères généralisables de l'action : il permet de répéter la même action ou de l'appliquer à de nouveaux contenus. *Pour reprendre l'exemple du feu tricolore, le schème de l'action décrit ci-dessus pour un conducteur donné sera composé des mêmes éléments déclaratifs et procéduraux, mais l'action pourra s'appliquer différemment en fonction du contexte routier, du type de véhicule, de l'état physiologique du conducteur ou du but du déplacement.* A la fin de l'action, les résultats obtenus viendront enrichir le schème pour construire et encoder un schéma d'action.

Selon Rumelhart (1978) cité par Sébillotte (1993), les schémas sont des éléments fondamentaux à partir desquels se base tout traitement de l'information. Ils permettent l'interprétation des stimulations sensorielles issues des rencontres du sujet avec les objets de l'environnement. Ce sont des unités de traitement et de signification qui servent à orienter la récupération des informations en mémoire et la répartition des ressources et qui permettent de guider le déroulement des processus de traitement de l'information. Ils constituent un cadre de référence à partir duquel la situation sera interprétée, Le cadre de référence peut être un événement, un objet, un concept : il s'agit toujours d'une connaissance générique construite à travers un certain nombre d'expériences vécues. Tout comme les schèmes, les schémas sont des systèmes relationnels entre variables à particulariser (Sébillotte, op. cité), ils ne sont pas liés à une utilisation particulière et peuvent s'appliquer à différentes situations concrètes. Les variables du schéma sont destinées à être remplacées par des éléments spécifiques de la situation rencontrée qui permettront d'instancier²³ (Richard, 1998) le schéma pour l'action.

Enfin, selon Richard (op. cité), les schémas d'action sont la forme sous laquelle la connaissance se rapportant à l'action est stockée. Ils sont constitués d'un ensemble de connaissances déclaratives et procédurales qui sont reliées et actives. Un schéma d'action représente une situation donnée montrant les interrelations entre les événements qui composent cette situation. Ils contiennent des informations sur le résultat de l'action, les différentes façons d'obtenir ce résultat et les pré-requis impliqués dans chaque cas. Dans le cadre de ce mémoire, nous ferons préférentiellement référence aux schémas d'action dans la mesure où d'une part, ils représentent une situation complète et spécifique avec ses tenants et aboutissants, et, d'autre part, selon l'auteur, à la différence des schèmes, les schémas d'action sont des connaissances déclaratives qui semblent plus facilement explicables. Ainsi, dans le cadre d'une activité finalisée, la réalisation de chaque tâche donne lieu à l'activation temporaire en mémoire opérationnelle du schéma d'action correspondant qui, associé à la représentation de la situation en cours (données contextuelles), constituent une représentation fonctionnelle.

Des représentations pour l'activité

Les possibilités d'adaptation de l'humain au monde qui l'entoure reposent sur la connaissance et la compréhension (au moins partielle) des phénomènes qui s'y déroulent. L'environnement met à sa disposition une foule de messages que l'individu capte par

²³ Créer une copie spécialisée

ses sens et qu'il organise. Pour donner sens à ces multiples informations prélevées dans l'environnement, l'homme a besoin de références mentales, de modèles (Bainbridge, 1980), sur lesquels il puisse s'appuyer. Ces références se retrouvent sous le terme générique de représentations. Cependant sous une appellation identique, ce terme peut recouvrir différentes acceptions selon les orientations théoriques et les domaines de recherche. Martin (1975, 1985) s'est penché sur la multiplicité des définitions du concept de représentation. C'est ainsi que, selon les auteurs, peuvent être évoquées des représentations-connaissances, des représentations-conduite, des représentations cognitives, des représentations affectives, des représentations fonctionnelles, des représentations sociales. De fait, une représentation est un concept à géométrie variable mais qui possède, *a minima*, un point central, focal, pointé avec un objectif de connaissance ou de conduite sur un objet précis. Elle peut recouvrir un ensemble de points de vue qui vont s'inscrire dans un espace délimité. Dans toute représentation existe la notion de reconstruction d'objets physiques ou d'objets tiers absents ; la représentation suppose une élaboration cognitive et affective de l'environnement et s'insère dans les processus d'appropriation des objets de cet environnement (Martin, 2005). La diversité des comportements des conducteurs pourrait être due à la représentation différente que se fait chaque individu :

- de la situation à laquelle il est confronté,
- de l'environnement dans lequel s'exerce l'activité de conduite,
- des résultats de son propre comportement.

Dans le domaine de la psychologie ergonomique, nos travaux sur l'activité de conduite d'un véhicule supposent de préciser deux notions, la notion de *représentations fonctionnelles* qui sont élaborées par et pour l'action et contenues en mémoire opérationnelle, et celle de *représentations sociales* des objets de l'environnement qui sont stockées en mémoire à long terme.

Les représentations sociales

Les représentations sociales sont des reconstructions relativement stables de réalités physiques, psychiques ou sociales perçues et interprétées par les individus. Elles sont socialement élaborées et partagées (Abric, 1994), constituées à partir des expériences et des informations, savoirs et modèles de pensée reçus et transmis par la tradition, l'éducation et la communication sociale. Ces représentations participent à la construction d'une réalité commune à un ensemble social ou culturel donné. Elles sont composées d'éléments cognitifs, liés entre eux par des relations plus ou moins fortes et qui ne sont pas tous structurellement équivalents. Moscovici en 1961 avance la notion de noyau figuratif qui constituerait une base stable autour de laquelle pourrait se construire la représentation. Cette notion est reprise par Abric (1976, 1987) avec la « *théorie du noyau central* » selon laquelle une représentation sociale s'organise autour d'un noyau central, composant fondamental qui détermine la signification et l'organisation de la représentation et qui est caractérisé par une cohérence et une stabilité des éléments, facteur de résilience lui permettant de résister aux changements. Ces éléments du noyau central servent de critères discriminants dans la catégorisation des objets rencontrés. Autour du noyau central, de nombreux éléments s'organisent en un « système périphérique ». Ce système contient la grande majorité des éléments de la représentation organisés selon une hiérarchie fonctionnelle : plus un élément est proche du noyau de la représentation, plus il en concrétise durablement la signification. Dans cette approche, les éléments périphériques sont considérés comme une « interface entre le noyau central et la situation

concrète dans laquelle s'élabore ou fonctionne la représentation » (Flament, 2003). Ils sont évolutifs et permettent à la représentation de s'enrichir au gré des expériences rencontrées par l'individu. Certains éléments peuvent être circonstanciellement saillants ou « suractivés » et peuvent même paraître centraux ; tous peuvent évoluer voire disparaître de la représentation.

Pour résumer, les représentations sont fonction des connaissances et de la trace des expériences vécues par l'individu ; elles ont un rôle d'orientation des comportements et attitudes (Jodelet, 1989). Ainsi, toute rencontre significative avec un objet de l'environnement génère la construction d'une représentation en mémoire à long terme. Cette représentation n'est pas une image à l'identique de l'objet perçu à un moment, elle est une reconstruction de cet objet, enrichie et modulée par les connaissances et expériences de l'individu, par ses croyances, ses valeurs et ses normes. Cette représentation n'a valeur de vérité que pour l'individu qui l'a construite. Chaque nouvelle rencontre avec l'objet fera évoluer et viendra altérer la représentation existante en mémoire. Enfin les représentations peuvent être considérées comme une forme de connaissances, notamment dans le domaine de la psychologie cognitive (Richard, 1998). Au même titre que les connaissances, toute représentation en mémoire à long terme peut être activée pour constituer tout ou partie d'une représentation fonctionnelle.

Les représentations fonctionnelles

Toute pratique humaine, quel que soit le niveau de contraintes et de spécificité imposé par l'environnement dans lequel elle s'insère, met en jeu des processus cognitifs en interaction avec les finalités de l'activité (Weill-Fassina, Rabardel, Dubois, 1993). Pour réaliser une tâche donnée, l'individu se construit une représentation de la situation à partir du schéma d'action correspondant activé en mémoire à long terme. Cette représentation est constituée d'actions planifiées à exécuter. Elle est dite « fonctionnelle » (Leplat, 1985) dans le sens où elle assure la planification et le guidage de l'action et permet de développer un comportement adapté aux modifications de l'environnement dans une situation particulière (Richard, op.cité). Elle s'enrichit des informations issues de l'environnement et nécessaires à l'action en cours. Elle est circonstancielle et contextualisée en fonction de l'expérience antérieure, des besoins et de l'activité de l'individu impliqué dans une situation déterminée. *Par exemple, dans le cas d'un piéton qui doit traverser une voie à double sens de circulation, le schéma d'action activé comportera des procédures « regarder à droite et à gauche avant de traverser », des connaissances déclaratives telle que la notion du danger associé à la situation « il est dangereux de traverser hors passage protégé » et la représentation fonctionnelle ajoutera la notion de la présence ou non, d'un passage protégé, d'un véhicule, de sa vitesse et de sa distance...* La représentation fonctionnelle sera constamment mise à jour au cours de l'action et sera partiellement ou totalement désactivée une fois l'action terminée, les résultats de l'action viendront enrichir la représentation en mémoire.

Les éléments et les aspects significatifs des représentations, ainsi que leurs propriétés dynamiques, en situation, sont des dimensions essentielles des représentations fonctionnelles. Ces représentations sont « privées », « individuelles », « opératoires » dans l'activité de l'individu. Pour une même tâche à exécuter, les représentations fonctionnelles pourront être différentes selon les sujets dans la mesure où les schémas d'action activés peuvent contenir des connaissances et des expériences particulières, différentes d'un individu à l'autre. *Par exemple, la représentation de la manœuvre de « tourne à droite » sera différente pour un conducteur ayant vécu l'expérience d'accrocher un cycliste dans une manœuvre identique que pour celui ayant accroché une bordure de trottoir.*

En résumé, le concept de représentations fonctionnelles caractérise des réseaux de propriétés, de connaissances, de savoir-faire, de sensations éprouvées, construites, sélectionnées au cours de l'histoire de l'individu, à partir de sa formation, de son expérience, et des besoins de l'action en cours dans un environnement donné. Ces représentations se rapprochent d'une part de la notion de modèles mentaux dans la mesure où elles réfèrent, pour le sujet, à des propriétés constitutives de classes de situations, et, d'autre part, des notions de schémas ou de scripts dans la mesure où ceux-ci renvoient à des procédures mémorisées. Ces représentations sont essentiellement des interprétations qui consistent à utiliser des connaissances pour attribuer une signification d'ensemble aux éléments issus de l'analyse perceptive (Richard, 1998). Tout comme les représentations sociales, en confrontation avec la spécificité des situations, elles ont un rôle de guidage et d'organisation de l'action (Weill-Fassina, Rabardel, Dubois, op. cité).



En conclusion, quels que soient le domaine et les objectifs de recherche, selon George (1988), la difficulté pour le chercheur est de découvrir les formes de connaissances effectivement utilisables et utilisées par l'individu et d'expliquer les relations liant ces connaissances en vue d'une action.

Dans le cadre de nos travaux, ayant pour objectif majeur la conception de systèmes d'assistance à la conduite, la difficulté sera d'avoir accès au décodage des comportements des usagers de la route, conducteurs ou usagers vulnérables. Nombre de ces comportements sont, en effet, largement modulés et orientés par les représentations sociales et fonctionnelles de chaque individu et relèvent, pour une grande part, du domaine du procédural. C'est pourquoi il nous semble nécessaire, pour une analyse précise d'une activité finalisée, de mettre en œuvre une démarche méthodologique multidimensionnelle qui permette de balayer les aspects implicites et explicites de cette activité. Toutefois, avant d'établir un modèle de l'activité de conduite sur lequel nous appuyer pour définir nos méthodes d'analyse, il nous faut préciser quels sont les processus de traitement de l'information mis en jeu dans les activités humaines. Ce sont ces processus qui déterminent la construction d'une représentation fonctionnelle et l'activation des connaissances en mémoire à long terme. Ils aboutissent à la prise de décision qui mène à l'action.

Processus du traitement de l'information

Comme vu précédemment ([L'activité de conduite d'un véhicule](#), p. 34), le pilotage d'un véhicule est composé d'un ensemble complexe de tâches qui peuvent s'alterner ou être effectuées simultanément (Bellet, 1998). L'exécution de ces tâches repose sur des processus de traitement plus ou moins automatisés, sur des habiletés, sur des connaissances. De plus, la diversité et la dynamique de l'environnement routier contraignent le conducteur à ajuster en permanence son comportement aux événements extérieurs et nécessite l'utilisation d'une certaine quantité de ressources attentionnelles. Heureusement, chez le conducteur expérimenté, bon nombre des tâches qui composent l'activité de conduite d'un véhicule tendent à s'automatiser (Chapon, Gabaude, Fort, 2006) et peuvent, de ce fait, être exécutées en parallèle avec les tâches plus complexes.

Ce chapitre repose très largement sur l'ouvrage incontournable de Perruchet (*Les automatismes cognitifs*, 1988a), dans lequel l'auteur propose un bilan des travaux des

années soixante dix et quatre vingt dans le domaine des automatismes. Sans reprendre ici les différents courants et théories exposés par l'auteur, nous évoquerons les dimensions pertinentes pour nos travaux et à partir desquelles nous avons pu élaborer nos démarches.

A l'instar de Leplat (1988) et de Logan (1985), distinguons tout d'abord deux notions retrouvées couramment lorsqu'on aborde les processus de traitement de l'information et l'activité humaine finalisée : les automatismes cognitifs et les habiletés cognitives. Selon Leplat (op. cité), l'*habileté* peut être définie par la capacité qu'a un opérateur à exécuter un ensemble de tâches plus ou moins complexes. Elle peut comporter, à divers stades de son acquisition, aussi bien des traitements automatiques que des traitements contrôlés. C'est l'automatisation de composantes de l'activité, tant sur un plan cognitif que sur un plan sensori-moteur, qui permet l'acquisition d'une habileté. Ainsi, la notion d'habileté se rapporte aux concepts de capacité, de compétence et d'expertise, la notion d'*expertise* désignant le plus souvent les habiletés cognitives complexes. Elles ont un caractère adaptatif et finalisé.

Les automatismes cognitifs

Toute activité humaine repose sur une représentation fonctionnelle de la situation élaborée par et pour l'action. Ces représentations fonctionnelles font appel à diverses représentations des objets de l'environnement, de schémas d'action et de connaissances préalablement constituées et contenues en mémoire à long terme. Parmi ces nombreuses représentations qui interviennent continuellement dans le déroulement de l'activité humaine, certaines peuvent être activées sans intention préalable de la part de l'individu. Ce phénomène repose sur le caractère automatique du processus chargé de sa mise en œuvre. Camus (1996) précise que ce n'est pas la représentation qui est automatisée, mais le processus chargé de l'activer ou de l'évoquer.

Une première observation émerge de nos lectures, il paraît difficile de dissocier la notion d'automatismes cognitifs en tant que composantes élémentaires d'une habileté de la notion d'automatisme en tant que processus de traitement de l'information. Ces deux notions se confondent et les auteurs évoquent indifféremment processus automatiques ou automatismes, cognitifs ou non, pour décrire le même phénomène (Perruchet, 1988, Pailhous, 1987 ; Camus, 1996).

La notion contemporaine du traitement automatique de l'information (Shiffrin et Schneider, 1977) a vu le jour avec l'émergence des travaux sur les processus de contrôle de la mémoire et sur l'hypothèse de l'existence d'un processeur central lié au contrôle attentionnel (Atkinson et Shiffrin, 1968). Néanmoins, à la lecture des nombreuses études dans divers domaines des sciences humaines (perception, mémoire, linguistique, résolution de problèmes, biologie, sociologie...) il semble difficile, voire illusoire, de proposer une définition unique du concept d'automatisme. De plus, selon Perruchet (op. cité), une réponse comportementale, observable, à une situation donnée, ne peut jamais être considérée comme totalement automatique, seules peuvent l'être certaines composantes du traitement qui sous-tendent ce comportement. Ainsi, selon l'auteur, la notion d'automatisme ne peut être considérée sans la prise en compte de concepts complémentaires comme la conscience, l'attention ou le contrôle volontaire. Pour Logan (1988a et 1988b) et Camus (op. cité), l'automatisme se caractérise par la récupération en mémoire de représentations préalablement constituées. Cette récupération est automatique à partir du moment où une opération unique assure un accès direct aux solutions mémorisées. Lautrey quant à lui, introduit la partie « Psychologie » du Vocabulaire de sciences cognitives (Houdé et al., 1998) en précisant les caractéristiques du traitement automatique de l'information, en l'occurrence, l'absence de coût attentionnel, l'absence de contrôle, l'absence de conscience,

le parallélisme des opérations et la rapidité d'exécution. Enfin, Logan (1985) souligne que les automatismes portent sur les composantes élémentaires d'une activité globale, les mécanismes intervenant sur ces composantes étant différents de ceux intervenant sur l'activité globale.

Ainsi, à l'instar de nombreux chercheurs, ces auteurs ne proposent pas de définition stricto sensu des automatismes cognitifs, mais les décrivent à l'aide de propriétés dans lesquelles se retrouvent les concepts élémentaires évoqués ci-dessus. Afin de préciser la notion d'automatismes cognitifs, nous présenterons donc les principales propriétés qui leur sont attribuées. Toutefois, notre objectif n'étant pas ici de faire une étude critique ou exhaustive du concept d'automatisme, nous ne nous attarderons pas sur les nombreux critères qui ne font pas l'unanimité chez les auteurs, certains étant même fortement contestés.

Le concept d'automatisme du traitement de l'information repose sur deux caractéristiques majeures reconnues par l'ensemble des auteurs : l'absence de coût cognitif ou de charge mentale et l'absence de contrôle volontaire ou intentionnel (Perruchet, 1988b).

Absence de coût ou de charge mentale

Pour effectuer une tâche, l'individu dispose, à un instant donné, d'une réserve limitée de ressources attentionnelles/cognitives (capacité mentale). La disponibilité de ces ressources est notamment fonction de la charge mentale engendrée par l'activité en cours. On peut ainsi considérer qu'une charge mentale élevée correspond à un engagement important des ressources cognitives. Or, toute activité engendre une charge mentale plus ou moins élevée selon les caractéristiques des tâches dont elle est composée. De nombreux travaux expérimentaux cités par Perruchet (1988a) ont montré que, pour les tâches fortement automatisées, la charge mentale était quasi inexistante et permettait, de ce fait, de laisser cette réserve disponible pour les autres opérations cognitives effectuées en parallèle. Cette première caractéristique des automatismes correspond donc à une absence d'interférence mutuelle entre un traitement automatisé et d'autres traitements automatiques ou attentionnels nécessaires à l'activité en cours, le premier traitement ne perturbe pas le déroulement des seconds et réciproquement. D'un point de vue méthodologique, cette absence de charge est mise en évidence dans les situations de double tâche et justifie l'idée selon laquelle l'exécution d'actions automatisées permet de faire plusieurs tâches en même temps.

Cette caractéristique nous paraît essentielle, d'un point de vue méthodologique, pour l'analyse d'une activité finalisée (Maincent, Martin, Van Box Som, 2005). Nous reviendrons donc plus longuement sur la notion de charge de travail et sur ses composantes, dont la charge mentale, dans le cours de ce mémoire.

Absence de contrôle intentionnel

La seconde caractéristique majeure des automatismes est liée à l'absence de contrôle volontaire sur le déroulement de l'action en cours. Elle s'observe dans des situations particulières où une rupture dans les régularités de l'environnement fait que l'occurrence d'un automatisme habituellement adapté intervient comme une perturbation (Perruchet, 1988b). Ainsi, le caractère non délibéré d'un traitement est mis en évidence quand il y a nécessité de déployer une activité inhibitrice pour mettre un terme au déroulement du processus. Nous rappellerons l'exemple de l'itinéraire suivi par habitude pour illustrer cette perturbation : *l'obligation d'un changement quelconque dans cet itinéraire nécessite un*

« effort » d'attention particulier pour ne pas suivre l'itinéraire initial et, par conséquent, perturbe le déroulement automatique de l'action. Cette caractéristique est notamment observée dans les situations naturelles au travers des « ratés » ou des « lapsus de l'action » (Norman, 1981, Leplat, 1985, Reason, 1994). Selon Perruchet, elle est aussi observée dans les tâches, par la persistance d'un comportement antérieurement adapté. Par ailleurs, une situation particulière, souvent évoquée pour illustrer l'absence de contrôle intentionnel des traitements automatiques, est celle dite de « l'effet Stroop » (). Cette situation est observée quand l'exécution simultanée de deux tâches provoque une interférence que l'on peut qualifier de cognitive.

Toutefois, s'il semble difficile de contrecarrer les effets du traitement automatique, Piaget (1973, 1974) soutient l'idée d'un contrôle volontaire et intentionnel sur l'automatisme pour en corriger le déroulement lorsque celui-ci est inadapté. De plus, il semble que l'absence de contrôle s'exerce essentiellement sur le déclenchement initial d'un traitement plutôt que sur son déroulement (Hasher et Zacks, 1979). Selon Logan (1985), de nombreux travaux montrent que « l'homme possède une excellente capacité à suspendre le déroulement normal de l'action, comme de la pensée ». Ces dernières remarques plaident en faveur d'une certaine relativité quant à l'absence de contrôle intentionnel des traitements qualifiés d'automatique.

Les autres critères d'automatisme

Une troisième propriété attribuée aux automatismes est celle d'inconscience, dans le sens de non conscient (sans qu'il soit apporté une quelconque connotation psychanalytique). Bien que plus contestée, nombre d'auteurs lui attribuent une importance égale aux deux précédents critères. Perruchet (1988) lui attribue une place particulière « opérationnalisée par l'incapacité des sujets à verbaliser, ou plus généralement à témoigner intentionnellement par une réponse symbolique de la nature d'un processus ou d'un événement ». D'un point de vue méthodologique, ce critère d'automaticité revêt une importance majeure pour la suite de nos travaux. En effet, nous avons vu précédemment que l'activité de conduite d'un véhicule était composée, pour une grande partie, d'actions déclenchées par des processus automatisés. Or, compte tenu de ce critère « d'inconscience » lié aux automatismes, et notamment de la difficulté d'accéder d'une manière explicite au contenu de ces automatismes, nos méthodes d'analyses de l'activité des conducteurs devront être variées et de nature multidimensionnelle.

Enfin, il convient d'ajouter à ces principales propriétés celle de rapidité d'exécution de l'automatisme qui lui confère son efficacité ainsi que celle d'irrépressibilité qui, liée au contrôle intentionnel, correspond à la difficulté à désengager un automatisme en cours d'exécution.

Modalités de contrôle des processus

Par définition, un processus contrôlé est un processus qui est sous le contrôle attentionnel direct de l'individu (Camus, 1996). Celui-ci peut modifier à tout moment le déroulement du processus engagé en fonction de l'évolution de la situation en cours, des informations et modifications de l'environnement et des résultats et conséquences de la réalisation de l'action. C'est le mode de traitement privilégié quand la situation est nouvelle, peu familière ou instable. Il y a alors nécessité de maintenir l'activation des paramètres de la situation en mémoire opérationnelle et de sélectionner la solution adaptée à ces paramètres. A la différence des processus automatiques, les processus contrôlés se déroulent de manière

consciente et intentionnelle, ils sont plus lents et exigent une mobilisation des ressources attentionnelles (Shiffrin, 1988, Camus, op. cité).

Les processus attentionnels permettent une souplesse, une flexibilité de l'activité mentale de même qu'une résistance à la distraction. Ils permettent d'ajuster, de corriger les actions en cours en fonction de l'évolution des situations. Cette flexibilité répond aux diverses réorientations de la focalisation attentionnelle qui peuvent avoir des origines diverses, externes (stimulations issues de l'environnement par exemple) ou internes à l'individu « *rafraichissement épisodique de la focalisation* » qui semble nécessaire au bon fonctionnement du système humain de traitement de l'information, (Camus, 1996). Ces réorientations de l'attention sont d'autant plus fréquentes - pour ne pas dire continues - que l'environnement est varié et complexe. Elles ont généralement des effets positifs, par exemple pour réagir correctement face à une situation inattendue, pour modifier un plan d'action lorsqu'il se révèle inadapté à la situation ou plus simplement pour maintenir un niveau de vigilance compatible avec l'activité engagée. Toutefois, elles peuvent aussi avoir des effets perturbateurs en termes de distraction²⁴, notamment quand l'environnement envoie un nombre trop important de stimulations vers l'individu. Cela peut s'appliquer notamment aux stratégies de fonctionnement des systèmes informatiques dans les véhicules : une série de signaux d'alerte surgissant rapidement et en succession imprévisible risque de détourner l'attention du conducteur dans des directions chaque fois différentes, ne permettant ni un traitement approfondi des signaux (manque d'attention maintenue), ni l'émergence d'une solution cohérente permettant de répondre vite et efficacement à la situation d'urgence²⁵.

Faut-il opposer processus automatiques et processus contrôlés ?

S'il est vrai que les processus dits contrôlés sont souvent présentés en opposition par rapport aux processus automatiques (Posner et Snyder, 1975), selon Camus (1996), il est nécessaire de nuancer cette opposition qui s'exprime essentiellement au niveau de leurs propriétés et caractéristiques (Tableau 2).

Tableau 2 : Tableau comparatif des propriétés des processus automatiques vs contrôlés (d'après Schneider, Dumais et Shiffrin, 1984, cités par Camus, 1988,)

²⁴ Il peut y avoir un effet négatif de la lenteur des processus contrôlés : divers incidents nucléaires ont pris de l'ampleur du fait de la suspension des procédures de gestion d'alarmes par des opérateurs humains soucieux de comprendre, mais bien trop lents.

²⁵ On parle d'*effet d'avalanche* quand une alarme prélude à d'autres, qui tendent à saturer les systèmes de décision.

CARACTERISTIQUES	PROCESSUS AUTOMATIQUE	PROCESSUS CONTROLE
Capacité Centrale	Non requise	Requise
Contrôle	Incomplet	Complet
Indivisibilité	Global	Fragmenté
Pratique	Conduit à des améliorations progressives	Peu d'effet
Modification	Difficile	Facile
Dépendance Sériel/ Parallèle	Parallèle indépendant	Sériel dépendant
Stockage en mémoire opérationnelle	Pas ou peu	Beaucoup
Niveau de performance	Elevé	Faible sauf si la tâche est facile
Vitesse	Rapide sans perdre sa précision	Lent, sinon détérioration de la précision
Conscience	Faible	Elevée
Attention / ressources attentionnelles	Non requise mais peut être appelée	Indispensable
Effort	Peu, pour autant qu'il y en ait	Enormément

D'un point de vue fonctionnel, d'une part, l'exécution d'une tâche nécessite bien souvent la mise en œuvre des deux types de processus (et dans ce cas il n'est pas toujours facile de les dissocier), d'autre part, les processus contrôlés jouent un rôle non négligeable dans la formation et la mobilisation des automatismes :

- Un contrôle attentionnel peut contribuer à améliorer un processus automatisé : les informations traitées par un processus automatique sont précaires et leur stockage en mémoire opérationnelle est très court (quelques secondes). Si le processus automatique nécessite d'être prolongé, un processus contrôlé permet de maintenir activées, en mémoire opérationnelle, les informations nécessaires au processus automatique. *Prenons le cas de la prise de repères (compter les feux tricolores avec un objectif déterminé) dans un environnement routier. L'information « franchissement d'un feu tricolore » est traitée automatiquement par le conducteur, elle fait partie d'un schème : si le feu est vert alors, je passe, si le feu est orange ou rouge alors je m'arrête. Le conducteur prendra la bonne décision, sans contrôle conscient, mais ne mémoriser pas pour autant le nombre de feux qu'il aura franchis au cours de son trajet. Si, en revanche, il doit poursuivre un itinéraire en fonction du nombre de feux « tourner à droite au quatrième feu », alors il devra engager un contrôle attentionnel pour mémoriser le nombre de feux franchis. La routine de franchissement des feux sera toujours sous traitement automatique, mais l'attention sera orientée et maintenue pour la mémorisation du nombre de feux franchis. Néanmoins, le processus contrôlé ne permet qu'un contrôle partiel du processus automatique qui demeure autonome et indépendant d'un contrôle volontaire. Cette caractéristique permet une réaffectation des ressources attentionnelles et améliore l'efficacité du contrôle attentionnel (Schneider, Dumais et Shiffrin, 1984).*
- Un processus automatique peut être préparé par un processus contrôlé. De nombreuses études (selon Perruchet, 1988) montrent que le déroulement d'un processus automatique dépend plus ou moins partiellement de l'attention accordée à la tâche qui le mobilise. En effet, il semble peu probable que les tâches qui composent une activité finalisée soient totalement automatisées, seules peuvent l'être

certaines composantes. Ainsi, l'exécution d'une tâche ou d'un ensemble de tâches ne peuvent se dérouler sans que l'attention de l'individu ne soit orientée vers les stimuli pertinents pour l'activité, quel que soit le mode de traitement de ces stimuli. Pour reprendre l'exemple de la conduite d'un véhicule, pour le cas de l'itinéraire suivi par habitude, il est bien évident que la tâche de conduite nécessite un engagement de l'attention vers l'environnement routier pour bien d'autres raisons que le suivi de l'itinéraire.

- Par ailleurs, de nombreux travaux ont montré que c'est l'orientation globale de l'attention de l'individu qui permet l'opérationnalisation des processus automatisés dans des conditions spécifiques. Ainsi, plus on monopolise l'attention du sujet et plus on a de risques de perturber les traitements, y compris les processus automatisés. Cette observation nous semble d'une importance capitale pour la conception des Interfaces Homme-Machine et des stratégies d'assistance à la conduite d'un véhicule.
- Enfin, les composantes automatisées sont formées par la répétition d'un traitement qui s'opère à l'origine sous contrôle attentionnel (Perruchet, 1988a).

Du mode contrôlé au mode automatique

L'acquisition des automatismes qui composent l'activité de conduite d'un véhicule est soumise à un apprentissage préalable. Quels qu'ils soient, perceptifs, sensorimoteurs, cognitifs ou acquisition d'un conditionnement, tous ces apprentissages semblent s'appuyer sur des variables attentionnelles et s'expriment par une transformation de la compétence du conducteur (Camus, 1988). L'expertise émerge à la suite d'un processus de transformation des principales caractéristiques de la conduite (prise et encodage de l'information, traitement central de celle-ci, sélection, programmation, exécution et régulation de la réponse). C'est aussi au cours de ce processus de transformation que vont apparaître et se renforcer les mauvaises habitudes.

Le processus contrôlé représente un moyen permettant le développement, la construction des processus automatiques. En libérant le mode contrôlé, l'acquisition progressive de l'automatisme lui permettrait de jouer de plus en plus efficacement son rôle stratégique. Schneider et Fisk (1984) parlent de « briques d'automatismes » (stepping stones).

Schneider (1985) a proposé un modèle présentant 4 phases de transition entre le processus contrôlé et le processus automatique ([Tableau 3](#)).

Tableau 3 : Passage du mode contrôlé au mode automatique (d'après Schneider, 1985)

Phase 1	Mode contrôlé	Le traitement de l'information est dirigé par l'attention
Phase 2	Phase de traitement à la fois contrôlé et automatique	Les deux processus coexistent. Il existe encore des processus contrôlés, la performance se détériore en cas de surcharge liée à une double tâche,
Phase 3	Phase de traitement automatique avec assistance du processus contrôlé	Le processus contrôlé assure un gain additionnel dans l'évocation des vecteurs afin de surmonter le bruit présent dans la communication
Phase 4	Traitement automatique	Aucun gain additionnel n'est nécessaire. Le processus supporte facilement l'élimination des ressources contrôlées qui peuvent être investies dans d'autres tâches sans perturber le déroulement du processus automatique.

Selon l'auteur, un traitement automatique, même en phase 4 peut encore être amélioré par une attention contrôlée. En revanche, un excès d'assistance contrôlée à ce stade peut aussi gêner le déroulement de l'automatisme.

Il nous semble intéressant de tenir compte de cette caractéristique des traitements automatiques dans la conception des stratégies d'assistance à la conduite d'un véhicule, notamment lorsqu'il s'agit d'augmenter la qualité de la conduite du conducteur. Pour les véhicules industriels, cela concerne notamment la conduite rationnelle ou la prévention des renversements. En effet, si les automatismes acquis (l'expertise) d'un conducteur lui permettent de conduire selon les critères définis par le système d'assistance, alors toute information ou consigne additionnelle présentée par le système représentera un excès d'assistance contrôlée tel que le décrit Schneider (1985) ; elle risquera de perturber le déroulement automatique du traitement et donc de dégrader la conduite du sujet. En revanche, si un conducteur expert ne conduit pas de manière adéquate, on peut alors espérer qu'une assistance contrôlée, représentée par des informations ou des consignes données par le système, améliorera sa conduite. De plus, dans ce cas, le système pourra éventuellement servir de support d'apprentissage/remédiation en corrigeant petit à petit les « mauvaises habitudes ».

De l'automatisme à l'habileté cognitive

Pour Logan (1985), si l'automatisme porte sur les composantes élémentaires d'une activité globale, l'habileté, en revanche, est une activité globale constituée de la combinaison de composantes ayant des degrés divers d'automatisation. Par ailleurs, il précise que ces habiletés ne peuvent être réduites à la somme des composantes qu'elles intègrent. De son côté, Leplat (1988), définit une habileté cognitive comme étant la capacité qu'a, un individu, à effectuer un ensemble de tâches plus ou moins complexes, généralement situées dans le cadre d'une activité finalisée. Cette notion, à laquelle il est souvent fait référence dans le domaine de l'ergonomie cognitive, diffère de celle de l'automatisme cognitif dans la mesure où elle est décrite comme ayant un caractère adaptatif et finalisé. De plus, selon Pailhous (1987), bien que tout individu ait « *la possibilité de piloter cognitivement ses activités sensorimotrices, très fréquemment, il se contente d'influencer des synergies automatiques ou automatisées sans en modifier les propriétés fondamentales* ». Les habiletés comprennent donc un ensemble d'invariants structuraux, lescomposantes automatisées, organisées en vue d'une activité spécifique : un individu

est habile à piloter un avion, à conduire un camion, à établir un diagnostic, mais pas seulement à tirer sur un manche, à appuyer sur une pédale, à tenir un stéthoscope. A partir de ces exemples, il est facile de constater que la notion d'habileté se rapproche de celles de compétences, d'aptitudes et d'expertise. Comme Leplat (op. cité), nous pensons qu'il ne faut pas faire une dichotomie systématique entre les concepts d'habileté et d'habileté cognitive (de même qu'entre charge de travail et charge mentale ou travail physique et travail mental), toute habileté étant, d'une façon ou d'une autre, plus ou moins cognitive. Dans les paragraphes qui suivent, nous utiliserons donc indifféremment le terme d'habileté et d'habileté cognitive.

Caractéristiques et propriétés des habiletés

Une habileté est un savoir-faire qui met en œuvre un ensemble organisé de connaissances déclaratives et procédurales en vue de l'exécution d'une tâche, de la réalisation d'une action. Du fait de leur caractère finalisé, les habiletés cognitives diffèrent quelque peu des automatismes.

- Les habiletés sont acquises par l'apprentissage et répondent à la loi universelle de la pratique, en ce sens que la pratique améliore l'habileté et renforce les automatismes. Elle explique ainsi la notion d'expertise, acquise par la pratique et l'expérience.
- Les habiletés sont finalisées et constituées d'unités qui sont coordonnées en vue de l'atteinte d'un objectif. Elles font partie des connaissances procédurales stockées en mémoire à long terme et à ce titre, il pourra parfois être difficile d'en séparer les composantes pour construire une autre habileté.
- Les habiletés sont adaptatives : dans le domaine sensorimoteur, un mouvement habile est capable de s'adapter en fonction des buts et exigences de la tâche en cours ; dans le domaine cognitif, le caractère adaptatif se révèle et s'exprime notamment avec l'acquisition de l'expertise.

Ces différentes caractéristiques confèrent aux habiletés des propriétés proches de celles des automatismes :

- La réalisation d'une tâche qui dépend d'une habileté voit sa vitesse d'exécution croître et son coût diminuer avec la pratique, la charge de travail engendrée par une habileté est, de ce fait, moindre. C'est-à-dire que, dans des conditions d'exécution similaires, l'habileté se traduit par une efficacité et une efficacité²⁶ augmentées,
- La réduction de coût ou de la charge mentale (comme dans le cas des automatismes) permet l'exécution d'une tâche en parallèle, et, selon Leplat (1985), augmente la résistance de l'individu au stress,

Ces propriétés sont complétées :

- par un accroissement de la stabilité de l'habileté : avec le temps et la pratique, le gain dû à l'apprentissage s'amenuise et celle-ci peut s'exercer sur une très longue durée dans des conditions relativement stables,
- par un accroissement de la disponibilité cognitive : une action correspondant à une habileté acquise (une expertise), peut être effectuée plus rapidement et avec moins d'hésitation qu'en période d'acquisition (d'apprentissage).

En contrepartie, la mise en œuvre d'une habileté peut avoir des effets négatifs :

- C'est le cas lorsque les conditions d'exécution d'une tâche changent au cours de l'action, la vitesse engagée peut empêcher le désengagement de l'action à temps, on observe alors un « raté par capture ».
- De plus, le coût moindre résultant d'une habileté peut rendre un individu plus sensible aux distractions, amoindrir sa vigilance et diminuer sa réactivité dans des situations d'urgence imprévues.
- Enfin, les habiletés acquises de longue date peuvent faire obstacle à l'acquisition d'autres habiletés proches du point de vue de la procédure (résistance au changement). Selon Leplat (op. cité), « *Une longue expérience continue dans un champ étroit peut entraîner une rigidité d'esprit qui rend difficile l'élimination non seulement des habitudes mais aussi des attitudes qui ont été acquises dans des travaux antérieurs* ». Cette caractéristique explique la difficulté de modifier les « mauvaises habitudes ». Ainsi, dans le cadre de la conduite d'un véhicule, il sera difficile de faire changer les comportements des conducteurs qui reposent sur des habiletés acquises par une longue pratique. Cette particularité sera à prendre en considération lors de la conception de nouveaux systèmes d'assistance à la conduite, de même que lors de la mise en place de formations spécifiques, telles que les formations à la conduite rationnelle.



Toute activité humaine ne peut s'effectuer sans l'activation en mémoire des diverses représentations nécessaires à son exécution. Cette activation dépend de deux processus majeurs, les processus sous contrôle de l'attention dits « contrôlés » et les processus automatiques s'effectuant hors contrôle attentionnel.

Bien qu'ils aient des caractéristiques et des propriétés opposées, il est difficile d'établir une frontière claire entre ces deux processus. Parmi ces caractéristiques, la charge mentale revêt une importance particulière qui mérite notre intérêt.

Les processus automatiques sont décrits par Camus (1996) comme étant des modules cognitifs permettant d'activer des représentations perceptives, cognitives ou sensorimotrices. Dans bon nombre de situations stables, prévisibles et routinières, ces automatismes cognitifs permettent de libérer les ressources attentionnelles pour les consacrer à des opérations plus tactiques en organisant chaque module automatisé dans une habileté souple, capable de s'adapter aux modifications d'un environnement dynamique (Leplat, 1988). Dans certaines circonstances, ces automatismes peuvent être rendus opérationnels par un processus attentionnel, mais ils peuvent aussi être spontanément déclenchés lorsqu'ils apportent une solution compatible avec les exigences perçues de la situation en cours. Toutefois, face à un changement imprévu dans une situation routinière, le déroulement d'un automatisme est susceptible de contrarier l'activité cognitive impliquée, et ce, en dépit des orientations contrôlées de l'attention.

De plus, selon Camus (op. cité), la nature de la tâche (selon l'importance de ses composantes perceptives, cognitives et sensorimotrices), celle des stimulations sensorielles (visuelles ou auditives) ou des codes (verbaux ou spatiaux), le niveau d'expertise et donc d'automatisation des compétences et l'importance de la charge mentale, sont autant de facteurs qui interagissent avec des variables individuelles telles que le niveau de vigilance, la disponibilité des ressources attentionnelles, l'état physique et psychologique ou l'âge, de

même qu'avec des variables contextuelles comme la durée de l'exercice ou le moment de la journée.

Enfin, la problématique du traitement de l'information qui sous-tend tout comportement humain ne peut être envisagée sans la prise en compte de l'objectif en vue duquel l'activité est déployée. A cet objectif seront associées des variables telles que l'intérêt, le plaisir et la motivation de l'individu pour l'activité.

La charge de travail dans les activités finalisées

Comme pour toute activité humaine, la conduite d'un véhicule dépend de la mise en œuvre d'un certain nombre de processus permettant, d'une part le traitement des informations nécessaires à l'activité, et, d'autre part, l'exécution des différentes tâches qui la composent. Ces processus peuvent se dérouler de manière automatique ou sous le contrôle de l'attention. Ils nécessitent une certaine quantité de ressources attentionnelles et engendrent une charge mentale qui semble dépendre des exigences de la situation, des processus mobilisés et des caractéristiques individuelles du conducteur.

Dans ce chapitre, nous évoquerons le concept de *charge mentale* en tant que composante indissociable du concept plus large de la *charge de travail*. En effet, bien que certaines études ergonomiques aient fait la distinction entre charge physique et charge mentale, il paraît maintenant évident que toute activité, même la plus automatisée, met en jeu des systèmes fonctionnels divers (physiologiques, musculaires, etc.) et nécessite leur coordination selon des modalités de régulation complexes (Leplat, 1980 ; Theureau, 2002). Il nous semble donc pertinent, lors de l'évaluation de la charge de travail des conducteurs, de tenir compte des dimensions à la fois physiques et cognitives de l'activité de conduite (Sperandio, 1988 ; Guillevic, 1991), sans écarter les divers facteurs (externes ou internes à l'individu) susceptibles d'interagir dans le cadre de cette activité complexe par nature.

Le concept de charge de travail, apparu avec l'ergonomie et l'analyse des situations de travail, est un concept fréquemment utilisé mais dont les significations peuvent être variées et spécifiques à l'approche adoptée. De manière générale, il est important de distinguer la charge en tant que caractéristique de la tâche, et donc des exigences qu'elle impose à tout opérateur, et la charge en tant que conséquence pour un opérateur donné de l'activité qu'il met en œuvre pour répondre à ces exigences (Leplat, 1992).

Ainsi, dans le domaine de l'ergonomie, la charge de travail caractérise l'astreinte consécutive aux exigences d'un travail donné sur un individu (Leplat, 1980, 1997 ; Sperandio ; op. cité, Guillevic, op. cité). Elle représente le coût imposé à l'organisme humain par l'activité en termes de contraintes physiques ou psychologiques (de Gaudemaris, Frimat et Chamoux, 1998) : à la contrainte ou aux contraintes externes à l'individu, l'organisme répond par une ou des astreintes physiologiques et cognitives qui représentent un coût physique et mental pour l'opérateur (Sperandio, op. cité). Les ergonomes anglophones distinguent le niveau théorique de charge de travail (niveau que le système est censé imposer à l'opérateur) qui relève d'une approche centrée sur la tâche, et l'expérience subjective de charge de travail (Hart et Staveland, 1988), niveau effectivement ressenti par l'opérateur, et qui relève d'une approche centrée sur l'individu. Ces deux démarches se complètent et peuvent être simultanément adoptées dans une perspective systémique. De plus, la notion de charge de travail ne peut se limiter aux situations de travail. En effet, toute activité humaine, qu'elle soit ou non de nature professionnelle, engendre un coût physique et/ou psychologique pour l'individu, et l'activité de conduite d'un véhicule en est un exemple concret.

En nous appuyant sur les travaux de Hart et Staveland (op. cité) et en accord avec les orientations théoriques prônées par la SELF²⁷, l'approche privilégiée dans cette thèse est centrée sur l'individu. La notion de charge de travail représente ici l'expérience subjective élaborée et ressentie par le conducteur, lors de l'activité de conduite, pour atteindre un objectif ou un niveau particulier de performance²⁸. Ainsi, même si les objectifs sont fixés par l'entreprise, le conducteur peut décider lui-même du niveau de performance qu'il souhaite atteindre et de l'effort qu'il est disposé à fournir pour y arriver. La charge de travail n'est donc pas uniquement un attribut de la tâche de conduite.

Elle peut être considérée comme un construit qui émerge :

- de l'interaction entre les exigences de l'activité : livrer la marchandise en temps voulu dans des conditions de sécurité et de productivité optimales,
- les circonstances dans lesquelles elle est exécutée,
- l'influence de conditions externes (environnement routier, socio-professionnel...) et internes au conducteur (fatigue, stress, motivation), les habiletés, comportements et perceptions de celui-ci,
- les échanges entre les diverses ressources du système conducteur-véhicule-environnement.

Cette *charge de travail ressentie* est importante dans la mesure où elle fait partie des conditions qui peuvent entraîner des changements provisoires dans les fonctionnements de l'individu (Leplat, 1997 ; Sperandio ; 1988). De fait, si un conducteur considère que la charge de travail résultant de son activité est excessive, il peut se comporter comme s'il était en situation de surcharge, même si les exigences de cette activité sont objectivement faibles. Il peut alors se retrouver en situation de « détresse » psychologique et/ou physiologique et adopter des stratégies inappropriées. Ainsi, par son activité même, tout individu modifie sa situation de travail et la charge qui en découle.

Les facteurs déterminant la charge de travail

D'une manière générale, les facteurs déterminant la charge de travail sont très divers, leurs effets sont inégalement sensibles et peuvent interagir. La littérature portant sur la charge de travail ou sur la charge mentale est particulièrement prolix, les modèles sont nombreux et il est donc difficile d'en faire ici une présentation exhaustive. Nous nous efforcerons de présenter les dimensions de la charge de travail les plus communément admises dans le domaine de l'ergonomie cognitive sans entrer dans le débat sur la pertinence de l'étude de la charge mentale en tant que dimension indépendante.

Floru et Cnockaert (1991), proposent une représentation synthétique intéressante pour une approche globale (Figure 9) des facteurs déterminants la charge de travail. Ces auteurs, classent les facteurs de charge selon deux catégories : les sollicitations qui représentent les facteurs potentiels de charge, et les capacités qui représentent les ressources psychophysiques de l'opérateur.

²⁷ Société d'Ergonomie de Langue Française

²⁸ Le premier objectif de la conduite d'un véhicule est toujours le déplacement d'un point à un autre, le niveau de performance peut représenter les conditions dans lesquelles l'activité est exécutée (sécurité, productivité...).

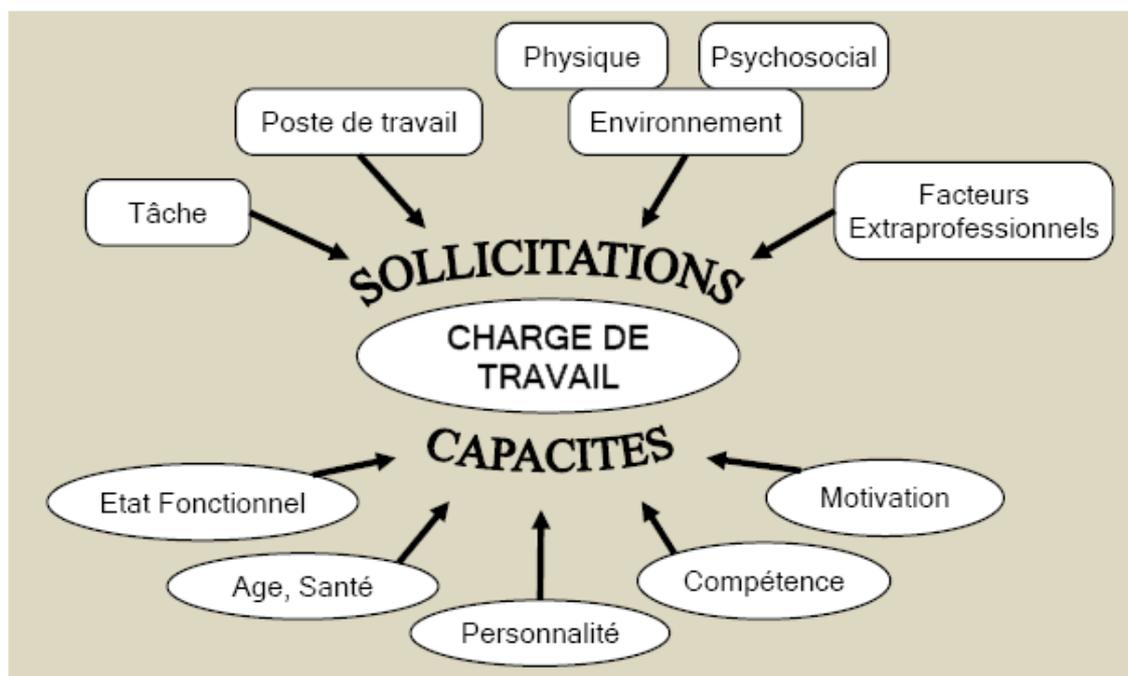


Figure 9 : Facteurs déterminant la charge de travail (d'après Floru et Cnockaert, 1991)

Sperandio (1988), quant à lui, classe les composantes de la charge de travail en trois grandes catégories : les facteurs relatifs à la situation de travail, les facteurs relatifs à l'individu et les facteurs sociaux.

Facteurs relatifs à la situation de travail

Les facteurs qui caractérisent la situation de travail sont regroupés, soit sous le terme de contraintes, soit sous le terme d'exigences du travail (Sperandio, op. cité). La notion de contrainte désigne généralement un facteur ou un groupe de facteurs externes à la tâche (environnement, rythmes imposés, etc.). Quant au niveau d'exigence, il est principalement utilisé pour désigner une variable caractéristique de la performance attendue ou une norme de production, par ex : la quantité d'information à traiter ou le degré de difficulté d'une prise de décision, qui ne dépend aucunement des caractéristiques de l'opérateur²⁹. Pour le conducteur routier, la performance attendue s'exprime en termes de consommation, de délais de livraison, de respect de la réglementation routière... Parmi les exigences de la tâche, la dimension temporelle qui a été souvent étudiée, principalement à partir des caractéristiques de la tâche ou des conditions externes dans lesquelles elle est accomplie (Welford, 1977), semble être une dimension fondamentale de la charge qualifiée de mentale par l'auteur.

Il peut arriver que les exigences de l'activité sollicitent les individus au-delà de leurs possibilités. En ce cas, ces exigences peuvent ne plus être satisfaites, avec toutes les conséquences qui en résultent pour la fiabilité de l'opérateur (Leplat, 1992). On peut donc dire que lorsque les exigences de la tâche augmentent au-delà d'un certain seuil, des erreurs apparaissent ; la performance pourrait ainsi être considérée comme l'un des premiers indicateurs de la charge. Soulignons ici que ces exigences sont tout aussi bien

²⁹ Nous émettrons une réserve en ce qui concerne la difficulté d'une prise de décision. Il semble, en effet, que cette difficulté peut être fonction des capacités de l'opérateur, notamment en termes de raisonnement ou de résistance au stress dans des conditions d'incertitude et de fatigue par exemple.

objectives que subjectives. En effet, les exigences d'une tâche ne seront pas perçues de manière identique par tous les individus, de même qu'elles ne seront pas forcément perçues de manière identique par le même individu à des moments différents. La prise en compte de la subjectivité de l'individu, et donc des exigences « perçues », nous paraît nécessaire dans toute étude tenant compte de la charge de travail. Ces différences dans la perception des exigences d'une tâche tiennent aux caractéristiques individuelles des opérateurs (variabilité individuelle). Certaines de ces caractéristiques peuvent être considérées comme relativement stables (l'expertise par exemple), d'autres se révèlent très variables (par exemple la fatigue ou l'anxiété) en fonction de l'état physique et psychologique de l'individu, ainsi que de l'environnement dans lequel il évolue.

Enfin, selon Leplat (1980), l'activité du professionnel est déterminée par des conditions dites « de travail » qui sont internes ou externes à l'individu. Selon les caractéristiques de l'opérateur, les mêmes conditions de travail peuvent aboutir à une charge de travail différente. Il paraît donc réaliste de considérer qu'une même tâche prescrite peut donner lieu à une charge de travail différente selon les compétences de l'individu, les conditions environnementales et le moment d'exécution de la tâche, et l'état physique et psychologique dans lequel il se trouve.

Les facteurs relatifs à l'individu

Pour Leplat (1992), ces facteurs internes à l'individu caractérisent l'état de l'opérateur par rapport à la tâche :

- le niveau d'expertise,
- l'âge et le sexe et les caractéristiques anthropométriques,
- l'état de fatigue et de santé ainsi que les états plus ou moins provisoires liés à des modifications physiologiques (variations du niveau de vigilance principalement),
- certains traits de personnalité (résistance au stress...);
- les attitudes devant la tâche (motivations, satisfactions, intérêt, etc.).

Selon Welford (1977), des variables internes aux individus, comprenant les objectifs et les traits de personnalité, déterminent le niveau d'effort que l'exécutant exige de lui-même. L'auteur décrit ces forces de motivation comme des efforts pour maintenir le niveau de vigilance optimal. Il apparaît que les individus diffèrent selon le niveau qu'ils considèrent comme tolérable, certains étant beaucoup plus durs à l'égard d'eux-mêmes que d'autres.

Enfin, selon Sperandio (1988), la capacité de l'individu n'est pas fixe et la charge maximale qu'il pourra investir dans une tâche peut, entre autres, varier en fonction de son attitude face à cette tâche. Dans des situations de stimulation intense, cette capacité peut être accrue, et on peut supposer que, face à une situation, le sujet détermine, au moins implicitement la charge qu'il accepte de supporter. La charge ressentie est comparée à ce niveau, et l'écart constaté serait un des éléments d'un processus de régulation de l'activité. Ainsi, à de mêmes exigences de travail peuvent correspondre des charges différentes en fonction de l'expertise, des stratégies utilisées, de l'état interne de l'individu, etc. De plus, lorsque la charge de travail augmente, la mise en œuvre de solutions « économiques » (Sperandio, 1980) aboutit à tenir de moins en moins compte des objectifs secondaires afin de préserver les objectifs principaux (exemple des contrôleurs aériens). Enfin, il existe une étroite interaction entre les conditions externes et les conditions internes. L'effet d'une condition externe ne peut être valablement étudié qu'en référence à des conditions internes.

Les facteurs sociaux

Le travail pour l'homme est une activité complexe, non seulement soumise à des contraintes techniques, mais souvent exercée avec d'autres individus au sein d'une société. C'est pourquoi les facteurs sociaux ne sont pas négligeables dans la charge de travail. L'environnement social immédiat au niveau du collectif et de la hiérarchie est prépondérant, mais certaines caractéristiques de la vie hors-travail telles que les conditions familiales, de logement, de transport, les activités extra-professionnelles revêtent une importance particulière (Sperandio, 1988).

La charge de travail selon Hart et Staveland (1988)

Nos expériences passées (Maincent, Martin, Van Box Som, 2005), nous font privilégier l'approche proposée par Hart et Staveland (1988) pour l'étude de la charge de travail résultant d'une activité finalisée. Selon ces auteurs, la charge de travail est une construction hypothétique qui représente le coût imposé à un opérateur humain pour atteindre un niveau particulier de performance. Ils adoptent une approche centrée sur l'opérateur plutôt que sur la tâche (Sheridan, et Stassen, 1979).

L'expérience subjective de charge de travail ressentie par l'opérateur résume les influences de plusieurs facteurs qui s'ajoutent aux exigences objectives imposées par la tâche. La charge de travail n'est donc pas un attribut de la tâche, mais elle émerge de l'interaction entre les exigences de cette tâche, les circonstances dans lesquelles elle est exécutée et les habiletés, comportements et perceptions de l'opérateur. Dans la mesure où, plusieurs variables apparemment non reliées peuvent se combiner pour construire une « expérience subjective » de charge, les auteurs ont proposé un modèle conceptuel dans lequel les différentes sources qui peuvent influencer la charge de travail sont mises en relation (Figure 10).

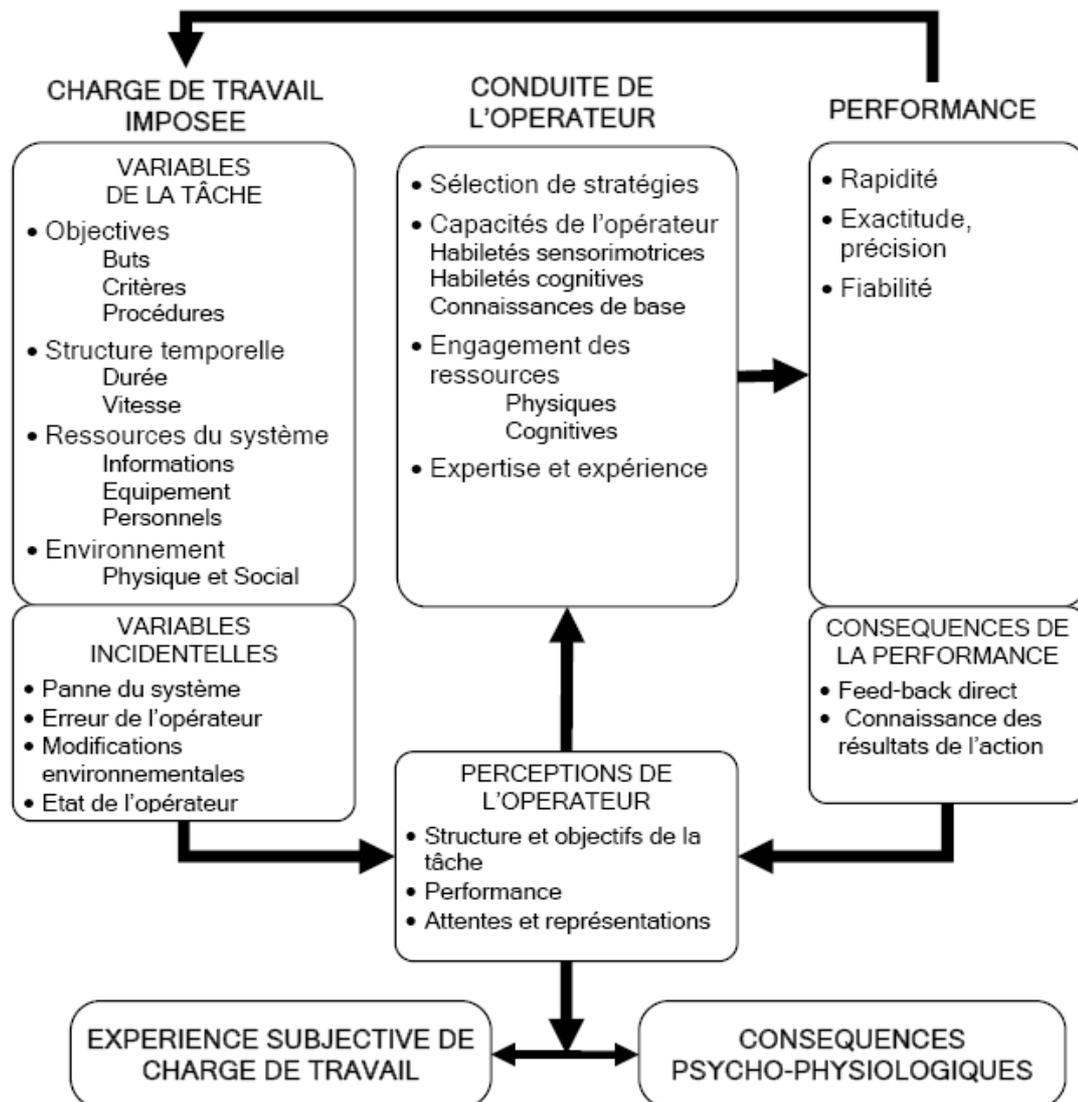


Figure 10 : Modélisation conceptuelle de la charge de travail (d'après Hart et Staveland, 1988)

Dans ce modèle de Hart et Staveland, la charge de travail imposée fait référence à la situation rencontrée par un opérateur. Les exigences théoriques de la tâche découlent de ses objectifs, de la durée requise pour son exécution, de ses caractéristiques, ainsi que des ressources disponibles (humaines et techniques). Les exigences réelles imposées lors de l'exécution d'une tâche donnée à un opérateur spécifique peuvent être influencées par de nombreux facteurs caractéristiques d'un événement particulier (les pannes du système, les erreurs de l'opérateur, etc.). Ces facteurs « incidentels » représentent des sources plus ou moins importantes de variabilité de la charge de travail imposée par la tâche pendant son exécution.

La réponse du système fait référence au comportement et au résultat de l'interaction du système homme-machine. Les opérateurs sont motivés et guidés dans leur action par les exigences imposées, mais leur conduite est aussi fonction de leurs perceptions, qui vont permettre l'anticipation et la mise en œuvre de stratégies, de l'effort qu'ils fournissent et des ressources disponibles pour atteindre les objectifs de la tâche. L'effort physique est le

plus facile à conceptualiser, observer et mesurer, cependant, son importance est moindre dans le pilotage de systèmes complexes comme dans la conduite des véhicules modernes. L'effort mental en revanche, est difficilement observable et quantifiable directement et peut être confondu avec la notion de ressources attentionnelles allouées à la tâche.

Les performances du système représentent le produit des actions et limites d'un opérateur avec les possibilités et caractéristiques du système contrôlé. Le retour d'expérience fournit aux opérateurs une information sur les résultats de leur action face aux exigences de la tâche en leur permettant d'adapter leurs stratégies ou de fournir un effort supplémentaire pour corriger leurs erreurs.

Ce modèle, bien que spécifiquement adapté à la conduite de systèmes complexes dans la forme présentée ci-dessus (Maincent, Martin, Van Box Som, 2005), nous semble pouvoir être appliqué à de nombreuses activités finalisées, dont la conduite de véhicules industriels.

Ainsi, pour Hart et Staveland (op. cité), la charge de travail ressentie, et les conséquences psychophysiologiques qui en découlent, reflètent l'effet de l'exécution d'une tâche sur un individu. Cependant, il paraît peu vraisemblable que la charge de travail ressentie par un opérateur soit une simple combinaison de facteurs observables. En effet, les estimations peuvent être influencées par les attentes et les représentations de l'individu concernant la tâche et par sa définition personnelle de la charge de travail. Puisqu'il est peu probable que les opérateurs soient conscients de toutes les variables de la tâche ou des processus qui sont à l'origine de leurs décisions et de leurs actions, leur évaluation ne reflétera pas forcément tous les facteurs pertinents impliqués dans la charge de travail. Les auteurs estiment donc nécessaire de distinguer un niveau théorique de charge de travail (niveau que le système est censé imposer à l'opérateur), les résultats de l'interaction des opérateurs avec une tâche spécifique, et leur expérience subjective (leur ressenti).



Malgré de nombreuses divergences d'opinion au sujet de sa nature, de sa définition et de son évaluation, la charge de travail n'en reste pas moins une dimension importante, mesurable et qui se révèle pertinente. De nature multidimensionnelle, la charge de travail engendrée par l'exécution d'une activité finalisée fait partie des conditions qui peuvent entraîner des changements provisoires dans les fonctionnements de l'individu (Leplat, 1985). D'importance variable, elle peut être influencée et modulée non seulement par de nombreux facteurs tant individuels que situationnels, mais aussi en fonction des processus de traitement de l'information nécessaires à l'exécution de l'activité. Elle s'exprime, chez l'individu, par une « expérience subjective », un ressenti, et par des manifestations psychophysiologiques. Bien que l'on puisse définir des niveaux de charge théorique associés aux tâches spécifiques composant une activité finalisée, en pratique, pour l'individu, la charge de travail ressentie est une reconstruction subjective qui émerge de l'interaction entre les diverses dimensions, physiques et cognitives, intervenant dans le fonctionnement humain et celles, multiples, provenant de la situation.

Il nous semble donc nécessaire, pour une analyse pertinente de l'activité humaine, d'intégrer la notion de charge de travail en tant que composante à part entière dans un modèle du fonctionnement humain appliqué aux activités finalisées.

En résumé, l'activité de conduite d'un véhicule industriel est une activité de travail finalisée, qui s'effectue au moyen d'un instrument particulier dont le pilotage est médiatisé

par des interfaces techniques. Cette activité s'exerce dans un environnement physique dynamique et complexe et obéit à des contraintes socioprofessionnelles spécifiques en termes de sécurité, de sûreté et de productivité. Elle est composée d'un ensemble de tâches sensorimotrices et cognitives dont l'exécution peut être automatisée ou sous contrôle attentionnel et qui engendre, chez le conducteur, un certain niveau de charge de travail. Cette charge de travail, ressentie par le conducteur, et les conséquences psychophysiologiques qui en découlent font partie des conditions susceptibles de modifier le comportement du conducteur. Enfin, la conduite d'un véhicule industriel est soumise à un apprentissage spécifique et le niveau d'automatisation des habiletés qui la composent est directement dépendant de l'expertise du conducteur.

Dans ces premiers chapitres, nous avons posé le contexte dans lequel s'effectue l'activité du conducteur routier et précisé les dimensions cognitives et ergonomiques en jeu dans l'activité de conduite d'un véhicule. A partir de ces observations, il nous semble possible de proposer un modèle « écologique » adapté à l'étude des activités humaines finalisées. Cette démarche de modélisation est exposée dans le chapitre suivant.

III. Vers un modèle du comportement du conducteur routier

« Arrêter un diagnostic, évaluer plusieurs grandeurs en vue de caractériser une situation, gérer et prévoir l'évolution de systèmes naturels ou technologiques, décider d'une action ou d'un choix entre des éventualités concurrentes... ..représentent autant de situations complexes dans lesquelles une prise de décision s'avère nécessaire. » (Cadet, 2005). L'exercice d'une activité humaine finalisée comprend bon nombre de ces situations complexes et sa modélisation revient à tenter de simplifier la complexité en retenant l'essentiel d'un certain point de vue.

Ce troisième chapitre représente, en quelque sorte, une synthèse de l'étude théorique et contextuelle exposée précédemment et une introduction, ou mieux, un support pour l'établissement d'une démarche méthodologique adaptée à l'analyse des activités humaines finalisées en environnements dynamiques et complexes. A partir des modèles présentés pp. 38-49, nous avons élaboré deux modèles du fonctionnement cognitif humain adaptés à l'exécution d'activités finalisées. Le premier est un modèle générique, adaptable à diverses activités finalisées. Le second est un modèle spécifique à l'activité du conducteur routier. C'est en nous appuyant sur ce dernier modèle que nous avons choisi les outils et méthodes d'analyses appliquées dans les deux études constituant la partie empirique de cette thèse.

Modèle générique du fonctionnement humain dans les activités finalisées

D'un point de vue structurel, notre modèle s'inspire du modèle de Martin (2005), p.41. C'est un modèle dynamique qui situe, de façon écologique, le déroulement de toute activité humaine, de la prise d'information à la finalisation de l'action. Il repose sur l'idée que, bien qu'il existe diverses activités finalisées donnant lieu à une multiplicité de comportements humains, l'individu ne dispose que d'un nombre fini de dimensions permettant son adaptation à l'environnement. De plus, le modèle s'appuie sur le principe que les processus

pour décoder l'information et les modalités des prises de décision qui aboutiront à une action sont identiques pour tous les individus. Les différences comportementales s'exprimeront par la médiation de l'espace et du temps, de l'histoire personnelle et des expériences de chaque individu. Elles dépendront du contexte au sens large dans lequel se déroule l'activité et des stimulations qui en découlent, des objectifs et attentes de l'individu et de la société à son égard, ainsi que des résultats et contraintes de l'activité sur l'individu (Figure 11).

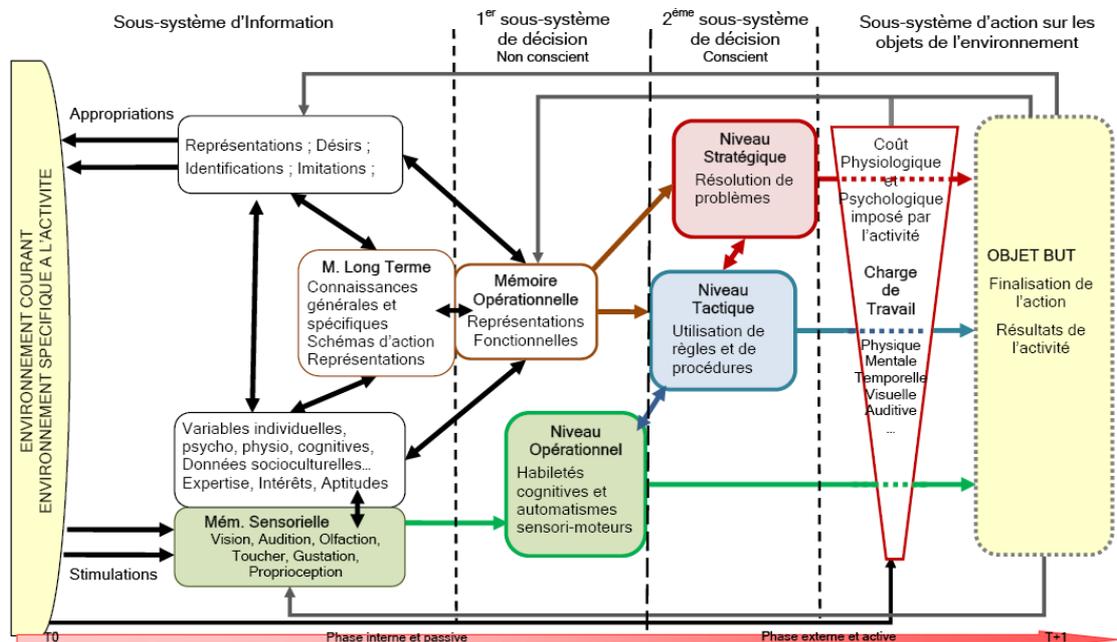


Figure 11 : Modèle fonctionnel du comportement humain dans les activités finalisées

Pour reprendre la terminologie adoptée par Martin (op. cité), notre modèle se compose de quatre sous-systèmes fonctionnels :

- Un sous-système d'information,
- Un premier sous-système de décision « non conscient »,
- Un second sous-système de décision « conscient »,
- Un sous-système d'action.

La démarche menant de la prise d'information à l'action se déroule sur un déroulement temporel comportant deux phases distinctes :

- Une phase interne et passive dans laquelle se retrouvent le sous-système d'information et le premier sous-système de décision. C'est la phase qui correspond aux processus se déroulant sans accès à la conscience de l'individu (traitements perceptifs, activation des représentations en mémoire, automatismes...), stimulations et appropriations des objets de l'environnement.
- Une phase externe et active, dans laquelle se retrouvent le second sous-système de décision et le sous-système d'action. Les décisions et actions qui relèvent de cette phase sont directement observables et « conscientes ». C'est la phase des processus contrôlés, de la résolution de problème, de la finalisation de l'action (comportements, conduites et attitudes).

Les *entrées du système* sont composées des stimulations émises par les objets de l'environnement au sens large. Il ne s'agit pas uniquement de l'environnement spécifique à l'activité considérée, mais aussi de l'environnement personnel, social et culturel de l'individu. Ces stimulations sont modulées par les appropriations que l'individu se fait de cet environnement. De plus, les résultats de l'action en cours sont susceptibles d'orienter la prise d'information et le traitement des stimulations.

Les *sorties du système* sont les résultats de l'action. Ces résultats s'expriment en tant qu'atteinte ou non des objectifs et en tant que coût, physique et psychologique, imposé à l'individu par l'activité et objectivé par la charge de travail. De nature multidimensionnelle, cette charge prend en compte les contraintes inhérentes à la nature de l'activité et aux stimulations de l'environnement, mais aussi le résultat des interactions entre la tâche et l'individu, en termes de satisfaction par rapport à sa performance, d'effort pour atteindre le résultat et de stress engendré par la situation. Les résultats de l'action, perçus par l'individu, ainsi que l'expérience ressentie du coût imposé par l'activité, viendront enrichir le système cognitif sous la forme de nouvelles connaissances, de représentations de la situation, ou de marqueurs somatiques (Damasio, 1995).

Ainsi, dans ce modèle, tous les modules représentés constituent des constantes qui interviennent nécessairement dans le déroulement du fonctionnement cognitif humain pour aboutir à une action finalisée. Cependant, si d'un point de vue fonctionnel, toutes sont incontournables, elles diffèrent du point de vue de leur contenu pour une activité donnée et pour un individu donné. Comme pour de nombreux modèles utilisés en ergonomie, il sera donc nécessaire de l'adapter à l'activité ou à la situation de travail étudiée en insérant dans chaque module le contenu pertinent et utile à l'analyse.

Modèle fonctionnel adapté à l'activité de conduite du conducteur routier

Pour le conducteur, l'action de conduire se traduit par une longue suite de choix et de décisions plus ou moins conscients. L'environnement dans lequel il se déplace et le véhicule qu'il pilote lui transmettent une quantité importante d'informations qu'il reçoit par l'intermédiaire de ses organes sensoriels. Il doit sélectionner celles qui sont immédiatement pertinentes pour l'action engagée, les interpréter et agir en conséquence sur les commandes du véhicule. Prise d'information, interprétation et action sont donc les trois étapes clés de l'action de conduite d'un véhicule et s'exercent selon une boucle répétitive. Cependant, le déroulement de ces étapes est soumis à l'influence de variables

individuelles telles que les connaissances, l'expertise, les représentations, l'état physique et psychologique du conducteur..., de même que par des variables socioculturelles et contextuelles. Tous ces éléments interviennent dans l'élaboration du comportement du conducteur (comme dans tout comportement humain) et en rendent l'analyse complexe.

Notre modèle (Figure 12) a pour objectif d'aider le chercheur ou l'ergonome à situer les différentes étapes cognitives de l'activité de conduite d'un véhicule, d'en identifier les caractéristiques et de déterminer les méthodes les plus pertinentes en fonction de l'objectif de la recherche. Ainsi, on peut imaginer qu'un chercheur en psychologie sociale s'intéressera sans doute plus au sous-système d'information, un psychologue cognitiviste approfondira les sous-systèmes de décision et un ergonome se focalisera sur le sous-système d'action et la charge de travail. Nous tenons à préciser qu'il n'est pas dans notre intention de « dichotomiser » l'activité humaine ou de la réduire à la somme de ses composantes. Ces exemples ne sont pris qu'à titre d'illustration et permettent de souligner le caractère pluridisciplinaire de l'étude des activités humaines finalisées et plus spécifiquement de l'activité du conducteur routier.

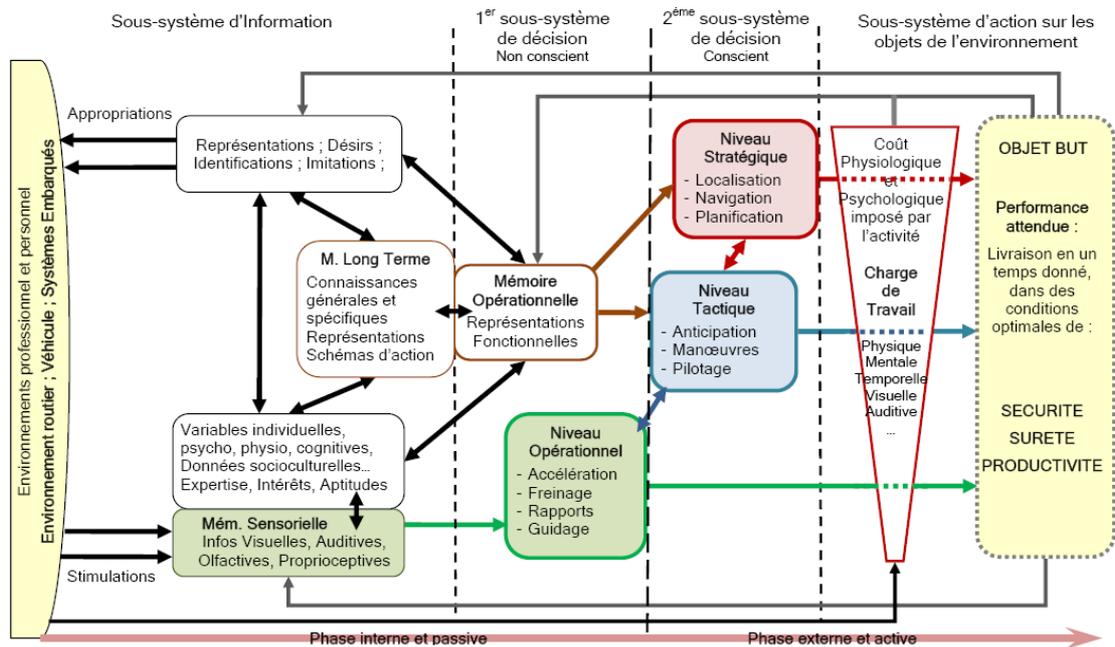


Figure 12 : Modèle fonctionnel du comportement humain adapté à l'activité de conduite d'un véhicule industriel

Les objets de l'environnement

Dans le cadre de son activité, le conducteur routier évolue au volant de son véhicule, dans un environnement dynamique complexe, l'environnement routier. De plus, de par sa nature, cette activité est située dans un environnement socioprofessionnel spécifique. Enfin, toute activité professionnelle est susceptible d'être modulée par l'environnement personnel de l'individu.

Tous ces environnements sont composés d'objets divers qui envoient en permanence des stimulations externes vers le conducteur et peuvent interagir avec son activité de conduite. Ces stimulations ne sont pas uniquement de nature physique, elles sont aussi de nature sociale, culturelle, affective... Par exemple, les attentes de l'entreprise à son égard, ses relations avec ses collègues ou sa vie personnelle affective constituent autant de stimulations qui peuvent retentir sur son activité au volant.

Dans le cadre de nos travaux qui ont pour finalité la conception de systèmes d'assistance à la conduite, nous retiendrons essentiellement les stimulations émises par l'environnement direct du conducteur, Cet environnement est constitué de l'environnement routier et du véhicule et les stimulations seront de nature sensorielle, principalement visuelle, auditive et proprioceptive. Occasionnellement, elles peuvent se révéler tactiles ou olfactives.

L'environnement routier

Les objets de l'environnement routier sont nombreux et très variés, la majorité des stimulations qu'ils transmettent au conducteur sont de nature visuelle et sont complétées par des stimulations auditives et exceptionnellement olfactives. Ces objets peuvent apporter des informations utiles au conducteur pour l'exercice de la conduite, c'est le cas de la signalisation routière par exemple. Cependant, la majeure partie des objets de l'environnement routier représentent des stimuli distrayants ayant pour effet de compliquer le pilotage du véhicule ou de détourner l'attention du conducteur de la tâche de conduite. Ces objets sont notamment les conditions météorologiques, l'état de la route, les signalisations publicitaires... Enfin, les objets de l'environnement routier qui sont sans doute les plus perturbateurs pour la conduite d'un véhicule lourd sont les autres usagers de la route. En effet ils contribuent dans une très large mesure à la dynamique et à la complexité de l'environnement, notamment par leur présence et leurs comportements qui ne sont pas toujours voire même rarement prévisibles.

D'un point de vue méthodologique, l'environnement routier et les événements qui le composent peuvent être relevés à l'aide de méthodes d'observation directe telles que des grilles d'observation ou d'enregistrements vidéo de la scène routière.

Le véhicule et les systèmes embarqués

Le véhicule, objet principal de l'environnement, donne son sens à l'activité de conduite et envoie de nombreuses stimulations au conducteur, de nature visuelle, auditive, proprioceptive, tactile et occasionnellement olfactive.

Les stimulations olfactives résultent généralement de l'état anormal d'un des organes du véhicule (surchauffe des freins, très exceptionnellement du moteur), des matériaux

de revêtement et autres composants (cuir, colles) de la cabine, ou des objets désodorisants ou odorants (nourriture...) apportés par le conducteur.

- Les stimulations tactiles concernent essentiellement le toucher des matériaux de la cabine, organes de commande (volant, levier de vitesses...) et revêtement des sièges.
- Les stimulations proprioceptives sont transmises par l'intermédiaire des mouvements du véhicule, elles permettent de renseigner le conducteur sur diverses dimensions extérieures au véhicule (force du vent, profil de la route, état du revêtement...) ou sur certaines propriétés ou états de ce véhicule (puissance du moteur, vitesse instantanée, position et mouvements du chargement, ballant...).
- Les stimulations auditives peuvent être émises, soit par les organes du véhicule (bruit du moteur, bruits matériels divers), soit par l'intermédiaire d'interfaces spécialement étudiées pour alerter ou informer le conducteur. Enfin, les stimulations auditives peuvent provenir de systèmes embarqués comme la radio, le téléphone portable ou les systèmes de navigation. La stimulation auditive provenant de la conversation d'un passager est peu fréquente dans la mesure où le conducteur routier professionnel n'a pas le droit de transporter de passager sauf dans des situations exceptionnelles comme les situations expérimentales ou les actions de formation.
- Les stimulations visuelles issues du véhicule sont obligatoirement médiatisées par des interfaces situées en principe sur la planche de bord. Elles sont très nombreuses et leur présentation est variable. Elles peuvent se présenter sous la forme de signaux lumineux de couleurs diverses, d'icônes de natures variées, voire même de textes (ordinateur de bord). Elles informent le conducteur de l'état fonctionnel du véhicule, des systèmes en cours d'utilisation ou enclenchés, certaines sont des alarmes, d'autres des informations. Quand elles sont associées à des systèmes d'assistance à la conduite, elles peuvent être simplement informatives ou donner des consignes plus précises de conduite. Certaines alarmes visuelles peuvent être associées à une alarme sonore. Enfin, les stimulations visuelles peuvent aussi provenir de systèmes embarqués dont la navigation par satellite en est l'exemple le plus caractéristique.

D'un point de vue méthodologique, les divers affichages et alarmes résultants du fonctionnement du véhicule peuvent être enregistrés par l'intermédiaire du calculateur électronique du véhicule. Les événements dans la cabine peuvent être relevés par observation directe ou par enregistrements audio ou vidéo. Enfin les stimulations proprioceptives, tactiles et olfactives seront les plus difficiles à objectiver. Celles qui auront fait l'objet d'un traitement contrôlé, conscient, pourront éventuellement être verbalisées par les conducteurs, elles relèvent du domaine de l'analyse sensorielle ; quant à celles qui font l'objet de traitements automatisés et qui sont, probablement les plus nombreuses, nous pensons qu'elles relèvent de l'inventivité du chercheur.

Le sous-système d'information

Le sous-système d'information de notre modèle ne diffère pas du modèle générique de Martin (p. 42). Il est composé des dimensions communes et indispensables à l'adaptation de tout comportement humain. Dans un objectif appliqué aux activités finalisées, nous avons choisi de préciser les contenus, et interactions des différents systèmes de mémoire précédemment abordés (chapitre , p. 50).

La caractéristique principale de ce sous-système est de ne pas déclencher de réponses comportementales directes et observables, exception faite des réponses réflexes.

Il représente, néanmoins, la phase initiale et incontournable de tout comportement humain. Selon Martin (2005), cette phase repose sur deux processus intériorisés :

- les stimulations de l'environnement externe (précisées ci-dessus et variables en fonction de l'activité) et les stimulations internes à l'individu ;
- les appropriations des objets de l'environnement.

Les stimulations internes

Les stimulations internes peuvent être d'ordre physiologiques (fatigue, stress, maladie, âge...), psychologiques (personnalité...), cognitives (expertise, intérêts, aptitudes, résistance au stress...), émotionnelles (peur, joie, colère...)... Elles sont issues de l'état interne de l'individu à un moment donné et peuvent être ou non en lien avec l'activité en cours.

Les processus d'appropriations

Les appropriations des objets de l'environnement semblent, selon Martin (1975, 1985, 2005), se résumer à quatre motifs, les représentations (reconstruction cognitive et affective de l'objet absent), les désirs (souhait en direction de l'objet avec l'intention de le posséder), les imitations (reproduction de personnages existants, de culture...), les identifications (action de reconnaissance avec volonté d'être identique à l'objet, la culture, le personnage...). Ces processus représentent une « capture » caractéristique et spécifique de l'objet, et leurs interactions seront « *co-productrices* » dans les phases de décision.

Enfin, ces différents processus sont médiatisés par les systèmes de mémoire et forment une boucle continue d'interactions ayant pour objectif la production d'informations pertinentes et utilisables en vue de l'élaboration d'un comportement adapté à la situation.

D'un point de vue méthodologique, les dimensions qui interviennent dans ces processus peuvent être mises en évidence, voire évaluées, à l'aide de méthodes relevant de la psychologie cognitive et sociale, de l'ergonomie et de la psychophysiologie : tests cognitifs et de personnalité, questionnaires, tests de connaissance et d'aptitudes, évaluation de la performance (expertise, aptitudes, intérêts...), mesures physiologiques (stress, émotions...).

La mémoire

La mémoire correspond aux structures cognitives permanentes mais dont le contenu n'est pas invariant, c'est-à-dire qu'elles peuvent évoluer et se transformer avec le temps et les expériences individuelles (rôle de l'expertise par exemple). Notre modèle situe le système mnésique en position centrale en ce sens qu'il peut être considéré comme organisateur central permettant de médiatiser, de guider, d'orienter, de supporter les processus menant à la prise de décision et à l'action. La mémoire à long terme, composant central du sous-système d'information, est ici considérée comme un système de stockage dont une partie du contenu est activée et momentanément stockée en mémoire opérationnelle en vue de la prise de décision et de l'action. Du fait de ses caractéristiques fonctionnelles sur lesquelles nous ne reviendrons pas ici (voir chapitre , p. 51), il nous a semblé pertinent de situer la mémoire opérationnelle dans le premier sous-système de décision. Elle est en interaction constante avec l'ensemble des modules du sous-système d'information, elle alimente et sous-tend les différents processus du traitement de l'information des deux sous-systèmes de décision. Enfin la mémoire sensorielle représente la première phase de traitement des stimulations sensorielles de l'environnement. En interaction avec les autres modules du

sous-système d'information, elle alimente de manière directe les traitements automatisés du premier sous-système.

Du point de vue méthodologique, il existe une multiplicité de méthodes qui permettent l'étude du contenu de la mémoire. En ce qui concerne l'analyse de l'activité de conduite, les connaissances déclaratives peuvent être étudiées à l'aide de tests de connaissance, d'entretien, de verbalisations, les connaissances procédurales à l'aide d'observations directes et d'enregistrement des actions sur les commandes du véhicule, d'auto-confrontation. Ces méthodes sont bien souvent communes avec celles utilisées pour l'étude des différents niveaux de traitement de l'information (voir [infra](#)).

Deux sous-systèmes de décision

Ces deux sous-systèmes de décision correspondent à la fonction d'élaboration des décisions d'action pour des tâches décrite par Richard (1998). Les décisions d'action constituent les productions du système cognitif pour atteindre un objectif précis. Leur élaboration correspond à trois types de tâches que nous avons associés dans notre modèle aux niveaux de régulation de l'activité décrits par Michon (1985). De cette façon, les tâches d'exécution automatisée correspondent au niveau opérationnel, les tâches d'exécution non automatisées correspondent au niveau tactique et les tâches de résolution de problème au niveau stratégique de notre modèle.

Compte tenu des spécificités du contrôle du traitement de l'information selon le niveau de régulation (automatisé vs non automatisé), d'un point de vue méthodologique il nous a paru nécessaire de scinder le sous-système de décision inspiré du modèle de Martin (2005) en deux sous-systèmes distincts.

Premier sous-système de décision « automatisé »

Le premier sous-système de décision de notre modèle constitue une boucle courte, rapide et directe menant à l'action. Ce sous-système fait encore partie de la phase interne et passive du processus temporel du modèle de Martin. A ce niveau opérationnel, les prises de décision sont effectuées de manière non consciente et sont difficiles voire impossible à verbaliser. Dans le cadre de la conduite d'un véhicule, les actions issues de ce sous-système sont constituées d'habiletés cognitives telles que les tâches de guidage, de contrôle latéral (suivi de file, virages...) et longitudinal (accélération, freinage...), ou d'exécution motrice des manœuvres. A ce niveau, l'exécution de ces actions engendre chez le conducteur une charge de travail minimale.

D'un point de vue méthodologique, les actions issues de ce premier sous-système de décision pourront être étudiées à l'aide de méthodes d'*observation directe* (enregistrements vidéo, enregistrements de la direction des regards...) et d'*observation indirecte* grâce à l'enregistrement des paramètres du véhicule (vitesse, appuis frein, angles du volant...).

Deuxième sous-système de décision « non automatisé »

Le deuxième sous-système de décision est composé des deux niveaux supérieurs du modèle de Michon, le *niveau tactique* et le *niveau stratégique*. Les processus de traitement de l'information de ces niveaux ne sont pas automatisés et les prises de décision sont effectuées de manière consciente et explicite par le sujet. Ce sous-système fait partie de la phase externe et active du processus temporel du modèle de Martin.

Les prises de décision au niveau tactique s'appliquent à des situations pour lesquelles des procédures générales existent en mémoire mais doivent être adaptées au cas particulier de l'action en cours ou à venir dans des délais très brefs (Richard, 1998). Dans le cadre de la conduite d'un véhicule, les actions issues de ce sous-système sont constituées des tâches d'anticipation des situations et de pilotage du véhicule (manœuvres, dépassement, distance inter-véhiculaire). A ce niveau, la prise de décision et l'exécution de ces actions engendrent chez le conducteur une charge de travail moyennement élevée.

Les prises de décision au niveau stratégique s'appliquent à des situations d'élaboration de procédures (résolution de problème) qui dépendent de la représentation de la situation en cours. Dans le cadre de la conduite d'un véhicule, les actions issues de ce sous-système sont essentiellement constituées des tâches de planification d'itinéraire et de navigation. La charge de travail engendrée par la prise de décision et l'exécution des actions issues du niveau stratégique est généralement élevée.

D'un point de vue méthodologique, les actions issues de ce second sous-système de décision pourront être étudiées à l'aide de méthodes identiques à celles du niveau opérationnel (observations directe et indirecte). Elles seront avantageusement complétées par des *questionnaires* et par le *recueil des verbalisations* des conducteurs.

Le sous-système d'action

Les actions peuvent combiner des résultats des différents niveaux des deux sous-systèmes de décision. C'est à ce niveau que s'extériorisent les résultats des phases précédentes sous la forme d'actions plus ou moins finalisées motrices (action sur les commandes...) et cognitives (anticipation de l'environnement, planification d'un itinéraire...). Elles s'articulent et se combinent pour aboutir à un comportement observable qui obéit à des buts immédiats comme passer une vitesse, effectuer une manœuvre ou se localiser dans l'environnement, en vue d'atteindre un objectif différé et global, prescrit par l'activité elle-même et défini en tant qu'objet-but dans notre modèle.

L'exécution de ces actions engendre chez le conducteur une charge de travail de nature multidimensionnelle susceptible de moduler son activité.

L'Objet But

L'activité de conduite d'un véhicule industriel est l'une des tâches principales de l'activité globale du conducteur routier. A ce titre, l'objet-but vers lequel elle tend peut être considéré comme étant le même que celui de l'activité globale. Il consiste à effectuer la livraison de la marchandise qu'il transporte en un temps donné, et dans des conditions optimales de sécurité, de sûreté et de productivité. La performance attendue à l'endroit du conducteur est donc spécifiée à la fois

- par l'entreprise qui l'emploie en termes de productivité (consommation de carburant, usure des composants, entretien du véhicule...)
- par le client qui espère la livraison de sa marchandise en bon état et dans les délais prévus
- et par le système routier en termes de sécurité.

Les attentes proviennent aussi du conducteur lui-même qui peut se fixer des objectifs personnels de performance, d'itinéraire... Par exemple, il n'est pas rare qu'un conducteur en milieu urbain profite de son trajet pour effectuer une tâche personnelle qui ne perturbe en rien son activité principale. Sur les trajets longs routiers, certains conducteurs sont

susceptibles de faire un détour pour prendre un repas dans un restaurant particulier ou pour rencontrer un autre conducteur de leur connaissance... On s'aperçoit donc que l'activité de conduite tend vers un objet-but aux dimensions multiples qu'il ne sera pas toujours facile d'appréhender lors des analyses.

En résumé, les trois dimensions majeures de l'objet-but de l'activité de conduite susceptibles d'orienter les comportements des conducteurs routiers sont :

1. La sécurité qui s'entend en termes d'accidents. Elle a une incidence sur l'environnement comprenant les autres usagers de la route et l'infrastructure, sur le conducteur en termes d'intégrité physique et psychologique, sur l'état du véhicule et sur l'état de la marchandise transportée.
2. La sûreté qui s'entend en termes de vol de la marchandise ou du véhicule et/ou d'agression physique du conducteur.
3. La productivité qui est fonction de plusieurs paramètres et sous-tend la notion de performance de conduite du conducteur attendue et/ou imposée par l'entreprise. Elle s'exprime en termes de délais de livraison (temps de parcours), d'économie de carburant et d'usure des composants. Elle implique et dépend des interactions à l'intérieur du système global « Conducteur-Véhicule-Environnement ».

D'un point de vue méthodologique, la performance de conduite au niveau du véhicule pourra être évaluée à partir de l'enregistrement des données du calculateur électronique. Quant à la performance globale sur l'ensemble des dimensions de l'objet-but, elle sera relevée à l'aide d'observations directes ou différées, de questionnaires, d'entretiens, de verbalisations, de retours d'expériences (REX)...

La charge de travail

Toute activité humaine engendre une charge de travail ressentie par l'individu. Elle est plus ou moins élevée en fonction :

- de l'implication des niveaux de régulation des différentes tâches qui composent l'activité,
- de la nature de ces tâches (physique, cognitive) et de l'exigence temporelle sous laquelle elles sont effectuées,
- de l'interaction entre la tâche et le conducteur (effort fourni pour son exécution, implication et satisfaction qui résulte de l'activité...),
- de la complexité de l'environnement (urbain vs autoroutier, trafic intense vs trafic faible...),
- et des résultats de l'action en cours (performance attendue vs performance réelle...).

Cette charge de travail est donc une conséquence directe de l'activité du conducteur routier. Elle fait partie des conditions qui peuvent entraîner des changements provisoires dans le fonctionnement de l'individu et a un impact non négligeable sur la régulation de l'activité.

D'un point de vue ergonomique et méthodologique, la charge de travail fait partie des indicateurs incontournables de l'impact de l'activité sur l'individu. Elle peut être évaluée à l'aide de méthodes d'auto-évaluation avantageusement complétées par des mesures physiologiques. Un chapitre sera consacré à l'évaluation de la charge de travail dans la deuxième partie de ce mémoire.

Le modèle comme outil d'aide à la décision

Lorsque nous avons commencé notre travail de modélisation nous avons pour objectifs :

- l'identification des principales dimensions de l'activité de conduite pouvant expliquer les comportements du conducteur au cours de l'activité de conduite,
- le développement d'un modèle qui nous permettrait de définir les méthodes et outils applicables et pertinents pour l'étude des diverses dimensions précédemment identifiées.

En guise de synthèse pour ce troisième chapitre, nous avons donc choisi de présenter le modèle comme outil d'aide à la décision dans le choix des démarches et méthodes pour la suite de nos travaux (Figure 13). A chaque phase significative dans le déroulement de l'activité de conduite du conducteur routier correspond un ensemble de méthodes applicables en situations réelles. Sans prétendre à l'exhaustivité, ces propositions constituent un guide que le chercheur devra s'approprier et pourra personnaliser pour l'appliquer à ses propres objectifs de recherche.

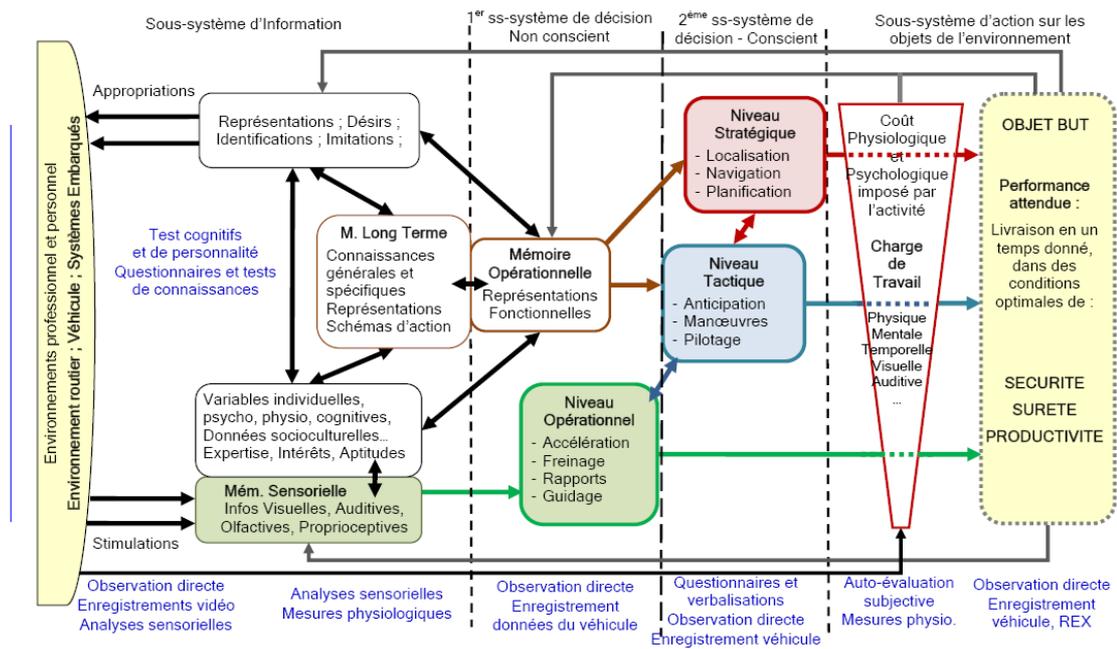


Figure 13 : Identification des outils et méthodes applicables à l'étude de l'activité de conduite d'un véhicule industriel

Deuxième Partie : De la conception à l'évaluation : Principes généraux et méthodologiques

IV. Systèmes d'assistance à la conduite : une approche anthropocentrée

L'orientation actuelle, dans la démarche de conception des diverses assistances à la conduite d'un véhicule, n'est pas, dans cette étude, de remplacer l'homme par la machine, mais d'apporter une aide au conducteur en toute « intelligence ». L'approche de la psychologie cognitive est donc, ici, orientée en termes d'ingénierie cognitive, c'est à dire vers une démarche de conception centrée sur l'homme, une technologie anthropocentrée. Cette démarche a pour objectif la création d'une transparence cognitive entre l'homme et le système ainsi qu'entre le système et l'homme. Elle privilégie l'identification, la description et l'explication des diverses composantes du fonctionnement humain en interaction avec des systèmes techniques tels que les systèmes d'assistance à la conduite d'un véhicule. C'est à ce niveau que les approches pluridisciplinaires prennent sens.

Ce chapitre est consacré à la présentation des différentes dimensions relatives aux systèmes d'assistance à la conduite d'un véhicule. En nous appuyant sur une approche centrée sur l'homme, nous tentons de préciser quelles sont les spécificités des systèmes d'assistance à la conduite d'un véhicule routier. Nous abordons ensuite la problématique de l'interaction homme-machine et des interfaces permettant de médiatiser ces interactions. Pour appréhender de façon correcte ces interactions et appréhender toutes les données du problème, nous avons choisi de présenter, non seulement les interfaces homme-machine techniques (du véhicule), mais aussi les interfaces « humaines », récepteurs sensoriels et commandes motrices. D'un point de vue ergonomique, nous précisons les normes et recommandations en vigueur pour les interfaces techniques présentées. Enfin nous illustrons notre propos à l'aide de divers exemples de systèmes d'aide à la conduite de véhicule routiers.

Nouvelles technologies d'assistance et conduite d'un véhicule industriel

Dans le domaine de la sécurité routière, le conducteur est depuis toujours considéré comme le composant du système à l'origine de la majorité des dysfonctionnements.

Les études mettent en évidence qu'au moins un facteur « humain » est en cause dans 70 à 90% des accidents, tous véhicules confondus, alors que la proportion des accidents pour lesquels l'infrastructure routière est mise en cause est de 15 à 35%, et celle liée au véhicule de 5 à 13%.

C'est pourquoi, sous l'action des constructeurs, des pouvoirs publics et des gestionnaires locaux, l'objectif est la conception de « véhicules intelligents », bénéficiant de plus en plus des développements de l'informatique, et capables de déplacer les personnes et les biens de façon efficace, écologique et sûre (Hillmeyer, 2004).

Rendre le transport routier plus sûr, la conduite des véhicules industriels moins éprouvante et leur insertion dans le trafic plus fluide suppose :

- d'automatiser un nombre croissant de tâches composant l'activité de conduite,
- de disposer d'outils d'aide à la décision capables, dans un environnement à risques, d'émettre des conseils de pilotage (par ex. fonction prédiction de renversement), voire d'activer automatiquement une fonction décisive (par ex. freinage d'urgence face à une menace de collision).

La démarche de conception des systèmes déjà commercialisés (ABS, ESP...) ou en cours de développement (Lane Keeping, Adaptive Cruise Control...) repose sur l'idée que les actions du conducteur doivent pouvoir, dans certains cas, être relayées par des automatismes capables de rétablir des conditions de roulage conformes aux critères requis par la sécurité. Il ne s'agit pas pour autant de substituer la machine à l'homme, mais plutôt de définir une sphère de protection laissant intervenir les systèmes technologiques chaque fois que ceux-ci s'avèrent plus performants que la décision humaine (Stich, 2004).

Néanmoins, l'essor rapide des nouvelles technologies fait apparaître de nouveaux problèmes, notamment d'ordres psychologique et cognitif, qu'il convient de prendre en considération dès la conception. Paradoxalement, l'ajout de systèmes "intelligents" dans les véhicules augmente souvent la charge de travail des conducteurs et la multiplication des retours informatifs peut avoir un impact dispersif sur l'attention et par conséquent sur la sécurité.

De manière générale, les aides à la conduite ont pour principal objectif l'amélioration de la sécurité, tout en favorisant le confort de la conduite (*safety enhancing technologies*). Elles sont développées pour faciliter l'activité de conduite et utiliser au mieux les performances du véhicule tout en maintenant un niveau optimal de sécurité pour le conducteur et l'environnement routier. Toutefois, ces dernières années ont vu apparaître de nombreux systèmes « embarqués » plus ou moins dépendants du véhicule mais sans objectif sécuritaire (*safety impacting technologies*), c'est le cas du téléphone portable ou des outils de gestion de flotte. Ces différents outils, qui sont utilisés régulièrement par les conducteurs routiers dans le cadre de leur activité de travail ont pour effet de multiplier les sources de distraction pendant la conduite du véhicule.

Non seulement le conducteur doit piloter son véhicule en assurant la responsabilité des biens transportés et la sécurité des autres usagers de la route, mais il doit aussi gérer une multitude de systèmes, fournir des consignes, surveiller l'environnement, communiquer avec l'extérieur... Ces systèmes modifient en profondeur l'activité et par conséquent le métier de conducteur routier.

Il est donc nécessaire d'accorder une attention particulière, à la fois aux interfaces qui vont permettre les interactions entre l'homme et la machine, et surtout, à l'utilisateur final, et ce, dès la conception des véhicules, sous peine de développer des systèmes qui ne seront pas (ou mal) acceptés par les conducteurs et donc sous-utilisés, voire rejetés ou détournés.

Spécificités des systèmes d'assistance au conducteur

Le développement des systèmes d'assistance au conducteur a apporté un bon nombre de nouvelles questions concernant le design du véhicule. Comme dans d'autres secteurs de conception centrée sur l'utilisateur - tels que le travail de collaboration informatisée³⁰, la communication assistée par ordinateur³¹, etc. - ces nouvelles questions ont été traitées à la fois dans le domaine des sciences de l'ingénieur et dans celui des sciences humaines, sociales et comportementales. Cette communauté dynamique pluridisciplinaire a intégré l'étude des systèmes d'assistance à la conduite dans le champ de l'interaction homme-ordinateur (*human-computer interaction* : HCI) et a mis au cœur des recherches l'interaction entre le conducteur, le véhicule et le contexte. Dans le domaine des HCI³², l'étude des assistances à la conduite appartient maintenant à la ligne de recherche plus large « *ordinateur mobile et partout*³³ » - et a contribué à faire d'elle un secteur prééminent de recherche - qui a réuni étroitement ingénieurs et comportementalistes sociaux. Au cours des années, le paysage scientifique a évolué pour refléter cette coopération et les nouvelles conférences centrées sur la technologie embarquée et mobile (telle que l'HCI mobile) se sont multipliées dans le monde entier (Fastreza et Haué, 2008).

En tant qu'objet d'étude pour les interactions homme-machine, les systèmes d'assistance au conducteur présentent plusieurs spécificités remarquables.

Sécurité et utilisabilité

La première spécificité des systèmes d'assistance à la conduite de véhicules est une combinaison de fortes conditions de sécurité et d'utilisabilité. L'utilisabilité est définie par la norme ISO-9241-110 : 2006³⁴ comme « *le degré selon lequel un produit peut être utilisé, par des utilisateurs identifiés, pour atteindre des buts définis avec efficacité³⁵, efficience³⁶ et satisfaction³⁷, dans un contexte d'utilisation spécifié* ».

Les interactions homme-machine ont maintenant une longue histoire, avec l'étude des systèmes hautement spécialisés présentant des enjeux de haute sécurité, tels que les centrales nucléaires (Stanton, 1996 ; Roth, 1997 ; Carroll et al., 2001), les salles de commande de métro (Heath et Hindmarsh, 2000), les salles de contrôle de trafic aérien (Bentley al., 1992 ; Hoc, 1996 ; Connelly et al., 2001), ou les habitacles d'avion (Wiener, 1988 ; Sarter et Woods, 1992, 1994).

Dans ce domaine, les systèmes d'assistance à la conduite des véhicules contemporains sont particuliers du fait qu'ils combinent les enjeux de sécurité de l'ancien avec l'éventail d'utilisateurs du récent, apportant une nouvelle orientation à la question de la sécurité. En effet, ces systèmes doivent à la fois préserver la sécurité sans faillir, mais

³⁰ Computer Supported Collaborative Work : CSCW

³¹ Computer Mediated Communication : CMC

³² HCI : Human-Computer Interaction

³³ "mobile and ubiquitous computing"

³⁴ L'ISO 9241 énonce des principes de conception ergonomiques formulés en termes généraux (c'est-à-dire qu'ils sont présentés sans référence à des situations d'utilisation, à des applications, à des environnements ou à une technologie) et fournit un cadre relatif à l'application de ces principes dans l'analyse, la conception et l'évaluation des systèmes interactifs.

³⁵ Un système est efficace lorsqu'il permet à son utilisateur d'atteindre le résultat prévu

³⁶ Un système est efficace lorsqu'il permet à son utilisateur d'atteindre le résultat prévu avec un effort moindre ou un temps minimal

³⁷ La satisfaction est fonction du confort et du ressenti de l'interaction par l'utilisateur

ils doivent aussi être simples d'utilisation, dans la mesure où la plupart de leurs utilisateurs ne sont pas des experts qualifiés. Les conducteurs doivent pouvoir les utiliser sans apprentissage préalable, leurs interfaces doivent être explicites et leurs comportements attendus. En outre, ces systèmes doivent être capables de gérer les erreurs du conducteur, mais sans interférer avec ses actions, et doivent éviter les conflits cognitifs en relation avec la situation en cours. Cette dernière condition implique que, généralement, les systèmes d'assistance doivent se conformer à la manière dont les conducteurs conçoivent les situations dans lesquelles ils sont impliqués, et procurer aux conducteurs l'information qui les aide à élaborer une compréhension correcte de la situation en cours (Fastreza et Haué, op. cité).

Contexte d'activité élargi

Une deuxième particularité des systèmes d'assistance au conducteur est qu'ils sont intégrés dans un contexte d'activité plus large. À la différence d'autres systèmes « temps réel » avec des enjeux de haute sécurité, interagir avec les assistances à la conduite n'est pas la tâche principale du conducteur. Par conséquent, le compromis entre la charge cognitive impliquée par l'utilisation du système et les avantages de cette utilisation doit être minutieusement évalué. Ainsi l'impact du système sur la charge de travail du conducteur fait partie des dimensions incontournables à prendre en compte dans la conception et l'intégration dans le système composé du conducteur, de son véhicule et du contexte environnant (route et trafic). La variété en termes d'infrastructure routière, de véhicules et de profils de conducteur, mais également d'influence du trafic, de valeurs culturelles et même de préoccupations journalières des conducteurs a pour résultat une énorme diversité de situations d'utilisation en comparaison, par exemple, avec l'activité de pilotage d'une centrale nucléaire, activité extrêmement formalisée, qui suit un protocole strict et a lieu dans une culture réglementée soucieuse de la sûreté (Journé, 1999 ; Maincent, Martin, Van Box Som, 2005). Cette diversité complique la tâche lorsqu'il s'agit d'établir des spécifications pour les systèmes d'assistance à la conduite et d'organiser leur intégration dans l'environnement du conducteur. De plus, les principes de fonctionnement des systèmes d'aide à la conduite sont différents selon la stratégie d'assistance définie par les concepteurs :

- Une première approche se fonde sur l'utilisation de l'automatisation : de tels systèmes assistent le conducteur en lui permettant de déléguer une partie de la tâche de conduite au système.
- Dans une deuxième approche, les systèmes assistent le conducteur en l'aidant à rester « dans la boucle », attirant son attention sur des aspects critiques de son activité de conduite. Le conducteur s'appuie alors sur l'information fournie par le système pour ajuster sa conduite.
- Enfin la dernière approche est « mixte », le système apporte de l'information au conducteur et prend en charge temporairement l'action si le conducteur n'a pas la réaction attendue ; dans cette configuration d'assistance, la prise en main par le système n'est pas systématique.

Dispositif secondaire

Une troisième spécificité des systèmes d'assistance au conducteur est leur position de dispositif secondaire qui est prévu, non seulement pour augmenter la sécurité, mais également pour stimuler l'attraction concurrentielle des véhicules de marché grand public (ce qui n'est pas forcément le cas des véhicules industriels). Parce que leur utilisation n'est pas obligatoire, les assistances doivent d'abord être adoptées par les utilisateurs.

- La fiabilité et la facilité d'apprentissage (« apprenabilité »)³⁸ de l'utilisation du système sont parmi les facteurs qui influent sur son acceptation.
- Le sont aussi la confiance et le plaisir. La confiance dans l'automatisation a été minutieusement étudiée (Muir, 1994 ; Muir et Moray, 1996 ; Lee et See, 2004, Rajaonah, Anceaux et Vienne, 2006), et peut être cruciale pour l'adoption du système pour des systèmes conçus dans les deux approches mentionnées ci-dessus : les conducteurs doivent pouvoir faire confiance aux systèmes d'assistance afin de décider de déléguer (pour les systèmes qui prennent le contrôle) ou de se fier aux informations fournies (pour les systèmes qui informent les conducteurs).
- Le plaisir est un objet d'intérêt plus récent dans les HCI (la « conception émotionnelle » commence à devenir une dimension importante de celles-ci – Normand, 2004), mais ce qui semblait être la « cerise sur le gâteau » dans le passé est peu à peu devenu une condition standard pour les systèmes d'aujourd'hui.

Afin d'être adopté, les systèmes d'aide à la conduite doivent être, non seulement, utilisables, « *apprenables* » et dignes de confiance, mais ils doivent également donner lieu à une expérience agréable (Fastreza et Haué, 2008).

Interactions Homme-Machine et systèmes d'assistance à la conduite

L'interaction entre l'homme et le véhicule est spécifique dans la mesure où le conducteur est l'élément central du système et « seul » responsable des actions qu'il pilote par l'intermédiaire des interfaces du véhicule :

- Le conducteur accomplit une tâche principale qui est la conduite du véhicule : contrôler le véhicule, s'intégrer dans la circulation et atteindre une destination tout en assurant non seulement sa sécurité et celle des personnes éventuellement transportées, mais aussi celle des autres usagers de la route et plus particulièrement celle des usagers vulnérables. Cette tâche de conduite est prioritaire sur toutes les autres,
- En parallèle avec cette tâche de conduite, le conducteur doit interagir avec de nombreux systèmes plus ou moins complémentaires, dont certains sont dédiés à la conduite proprement dite, d'autre à des tâches annexes telles que la navigation et d'autres encore à des tâches sans lien avec la conduite comme le réglage de l'autoradio par exemple. L'utilisation de ces divers systèmes peut requérir l'orientation ou le partage de l'attention du conducteur de manière plus ou moins importante, et leur utilisation peut se révéler complexe.
- Enfin le système conducteur-véhicule se déplace dans un environnement routier dynamique et complexe dont l'évolution ne dépend pas uniquement des actions du conducteur.

Les systèmes d'assistance à la conduite sont des dispositifs techniques qui sont conçus pour aider, alerter, voire même remplacer momentanément le conducteur dans la réalisation d'une des tâches qui constituent l'activité de conduite du véhicule. Leurs modes de fonctionnement sont différents selon la fonction pour laquelle ils ont été conçus, et sont décrits classiquement d'après le niveau d'interaction de l'homme avec le système (modes alerte, coopératif, automatique ; modes avertissement, régulé, prescriptif, automatisé...).

Quel que soit le mode de fonctionnement du système, la gestion des interactions entre l'Homme et la Machine suppose la diffusion de l'information, et nécessite une interface, un *intermédiaire technique* par lequel le conducteur est à même de réaliser son activité (Sperandio, 1988).

Du fait de cette spécificité, les interfaces permettant la gestion des interactions homme-machine dans le cadre de la conduite d'un véhicule sont l'objet de nombreux travaux, dans le domaine des sciences humaines, et dans celui des sciences de l'ingénieur. De plus, la notion d'interface peut être envisagée tant d'un point de vue humain, que d'un point de vue matériel ou technologique.

Les interfaces humaines : approche sensori-motrice, récepteurs et commandes

Du point de vue humain, l'activité de conduite d'un véhicule est une activité cognitivo-comportementale qui repose sur un cycle ternaire : une étape sensorielle qui correspond à la prise d'information, une étape cognitive qui correspond au traitement de l'information et à la prise de décision et une étape motrice qui correspond à l'action. Pour cette activité, le conducteur aura recours à :

- des interfaces d'entrée, le système sensoriel,
- un système central de traitement de l'information, le système nerveux central,
- des interfaces de sortie, les mains, les pieds, la voix.

Ce paragraphe présente les interfaces humaines récepteurs et commandes périphériques impliquées dans l'activité de conduite d'un véhicule.

Le système sensoriel humain est composé de cinq sens, dont quatre seulement peuvent être utilisés pour recevoir de l'information lors de la conduite d'un véhicule : la vue, l'ouïe, le canal tactilo-proprio-kinesthésique (dont le toucher fait partie) et l'odorat.

La vue

L'information visuelle est très dense en véhicule. Elle provient à la fois de l'extérieur du véhicule (trafic, signaux routiers, ...) et de l'intérieur (voyants lumineux, afficheurs, ...).

Dans le domaine des assistances à la conduite, le canal visuel est le plus sollicité pour faire passer de l'information du véhicule au conducteur mais il est aujourd'hui saturé par les nombreux systèmes en place ou embarqués. De ce fait, tout affichage visuel supplémentaire risque d'augmenter la charge mentale et le partage des ressources attentionnelles du conducteur.

L'ouïe

L'oreille capte les sons extérieurs à l'habitacle (un coup de klaxon) et les sons générés par les systèmes embarqués (alarmes, synthèse vocale...). Les bruits émis par le véhicule sont également porteurs d'informations (les pneus qui crissent dans un virage indiquent une vitesse excessive, le bruit du moteur renseigne sur le moment de passer un rapport...)

En ce qui concerne les systèmes d'assistance, le canal auditif ne permet pas le passage d'informations précises telles que des consignes de décélération, de freinage, etc. Il est de plus en plus utilisé pour présenter des alarmes ponctuelles afin d'orienter l'attention du conducteur. La multiplication de ces alarmes dans l'habitacle présente le risque de « noyer » l'information au milieu des autres et d'irriter le conducteur par un afflux trop important de sons qu'il ne peut pas ignorer : en effet, contrairement à l'information visuelle que l'individu

peut choisir de ne pas regarder, l'information auditive est forcément intrusive et imposée. De fait, des observations en environnements complexes (contrôle de processus...) ont montré que les utilisateurs avaient tendance à ne plus entendre, voire à désactiver les systèmes sonores jugés souvent trop « envahissants ».

Le toucher et le canal tactilo-proprio-kinesthésique

Le toucher fait référence essentiellement aux mains et aux pieds dans l'activité de conduite, mais on parlera plus globalement ici du canal tactilo-proprio-kinesthésique qui englobe toute l'enveloppe corporelle, les couches musculaires, les récepteurs articulaires et vestibulaires (Vigouroux, 1997, cité par Kamp, 1998). Ainsi, les vibrations, l'inclinaison du véhicule, la forme des boutons et des manettes, le retour de force dans le volant, la dureté d'une pédale sont des sources d'information qui peuvent se révéler pertinentes pour l'activité de conduite.

C'est ainsi que la voie somesthésique commence à être utilisée pour faire passer de l'information au conducteur, par l'intermédiaire de vibrations émises dans le siège du conducteur ou dans le volant, par l'intermédiaire d'un retour d'effort sur une pédale...

L'odorat

L'odeur agit surtout sur le confort des occupants du véhicule mais elle peut transmettre aussi de l'information : « le moteur sent le brûlé ». Des études sérieuses visent à déterminer les odeurs des matériaux qui plaisent le mieux au client lorsque ce dernier désire acheter une voiture neuve. Cependant, à notre connaissance ce canal sensoriel n'est pas actuellement utilisé pour des systèmes d'assistance à la conduite.

Les organes de sortie

En sortie, les organes qui permettent à l'individu de communiquer avec le véhicule sont essentiellement les mains et les pieds et plus rarement la voix.

- les mains et les pieds sont utilisés pour actionner les boutons, enfoncer les touches d'un clavier, pointer sur un écran tactile, tourner le volant, enfoncer une pédale,
- la voix permet de communiquer un message au système par l'intermédiaire de commandes vocales (comme celles utilisées pour les téléphones cellulaires ou pour les systèmes de navigation par satellite).

Le point de vue anthropocentré des interfaces en cabine

D'une manière générale, les interfaces homme-machine en cabine peuvent être représentées par la [Figure 14](#), les entrées et les sorties étant définies par rapport au conducteur.

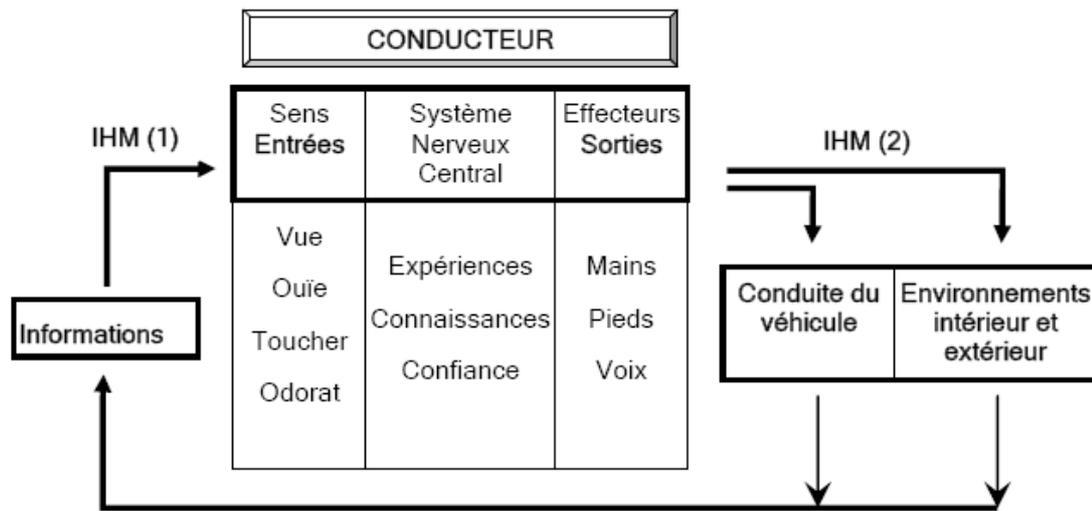


Figure 14 : Représentation schématique des interactions homme-machine en cabine d'après Kamp (1998)

1. En entrée, toutes les informations en provenance à la fois du véhicule, de l'environnement routier et plus globalement de l'environnement extérieur sont captées par les différents canaux sensoriels de l'individu.
2. En sortie, les actions du conducteur sont médiatisées par l'intermédiaire d'actionneurs divers (pédales, volant...) qui représentent autant d'interfaces entre l'homme et le véhicule. Ces différentes interfaces permettent au conducteur de piloter son véhicule (maîtrise de la trajectoire, de la vitesse...) en adoptant un style de conduite qui est fonction de sa personnalité, de son expertise, de ses connaissances et expériences antérieures en situations de conduite. Le conducteur peut agir également sur l'environnement intérieur et extérieur au véhicule pour améliorer son confort et sa sécurité, se divertir et augmenter son pouvoir de communication avec le monde extérieur.

Les Interfaces Homme-Machine (IHM) du véhicule

Jusqu'au début des années 1980, les IHM des véhicules se limitaient à de « simples » boutons et manettes en entrée et à quelques cadrans (compteurs, jauges, ...) et voyants lumineux en sortie. Cette instrumentation convenait très bien pour accomplir la tâche de conduite et aujourd'hui encore, beaucoup d'éléments de l'interface paraissent irremplaçables (par exemple, le volant, les pédales ou les divers actionneurs).

Depuis la fin des années 1980 et sous l'impulsion de grands projets européens (PROMETHEUS³⁹, DRIVE), américains (IVHS⁴⁰) ou japonais (RACS⁴¹, AMTICS⁴²), des systèmes électroniques plus sophistiqués ont été ou sont en cours de développement. Ces nouveaux systèmes ont tous pour objectif commun l'amélioration du trafic routier et de la sécurité. Cependant, là où les technologies récentes permettraient des progrès

³⁹ PROMETHEUS : PROgraMme for a European Traffic with Highest Efficiency and Unprecedented Safety.

⁴⁰ IVHS : Intelligent Vehicle Highway Systems.

⁴¹ RACS : Road/Automobile Communication System.

⁴² AMTICS : Advanced Mobile Traffic Information and Communication System.

impressionnants (guidage automatique du véhicule, vision améliorée, système anticollision, ...), souvent les concepteurs se heurtent à un problème d'interface homme-machine lors de la phase d'installation du nouveau système en véhicule. Comme il a été rappelé lors d'un séminaire de travail organisé par le comité de pilotage de PROMETHEUS (Hartemann, 1993, cité par Kamp, 1998) : « (...) ce bénéfice (des nouvelles technologies) pourrait être lourdement hypothéqué par une mauvaise ergonomie des interfaces. »



Figure 15 : Représentation humoristique de ce que pourrait être, dans un futur proche, le poste de pilotage d'une automobile©

De manière simplifiée, il est facile de comprendre que si chaque nouveau système installé apporte une nouvelle quantité de boutons et d'écrans sur la planche de bord, l'habitacle risque de se transformer rapidement en une cabine de pilotage (Labiale, 1997). Mais il n'y a pas uniquement un problème d'encombrement. En effet, les règles suivies pour assurer une ergonomie optimale se sont longtemps inspirées de notions applicables aux interfaces entre l'homme et l'ordinateur. Or, leur transposition à un contexte mobile et plus particulièrement au domaine automobile peut se révéler, dans bien des cas, tout à fait inadaptée.

Il existe différentes formes d'IHM à bord des véhicules. Elles sont spécifiées en fonction du système auquel elles sont rattachées et en fonction de l'action qu'elles médiatisent. Selon leur présentation (visuelles, sonores, haptiques), ces IHM peuvent avoir plusieurs fonctions. Certaines permettent uniquement la transmission de l'information du système via le calculateur électronique du véhicule (VECU – Vehicle Electronic Control Unit) vers le conducteur. C'est le cas par exemple de tous les retours informatifs par affichage visuel ou alarmes sonores. D'autres sont indispensables au pilotage du véhicule et permettent la transmission d'une commande du conducteur vers le système (volant, frein, accélérateur...). D'autres, enfin, permettent la circulation de l'information en entrée et en sortie du système, c'est le cas de la *pédale à retour d'effort* par l'intermédiaire de laquelle le conducteur peut, non seulement recevoir une information ou une consigne du calculateur, mais, il peut aussi exercer une action sur la machine.

Etant donné la rapidité d'évolution des technologies, ce chapitre n'a pas pour ambition de faire un état des lieux exhaustif des différents types d'IHM, qui se révélerait rapidement obsolète. Nous avons essayé de faire un point, non seulement sur les interfaces homme-

machine actuelles en illustrant notre propos à l'aide d'exemples utilisant divers canaux sensoriels, mais aussi sur les normes et recommandations en vigueur dans le domaine des IHM.

Les interfaces en entrée du système

Les interfaces étant définies en fonction du système auquel elles se rapportent, les interfaces en entrée sont celles qui apportent les données d'entrée du conducteur vers le système, c'est à dire celles qui permettent au conducteur d'avoir une action sur le système. Ce sont plus généralement les commandes et les actionneurs.

Les commandes dites « classiques » sont indispensables à la conduite du véhicule, comme le volant ou les diverses pédales. Si ces commandes ont peu changé depuis de nombreuses années, les systèmes qui les sous-tendent ont, en revanche, subi de nombreuses améliorations.

Pour compléter ces interfaces de base, le poste de pilotage d'un véhicule est équipé de nombreux dispositifs de commandes et actionneurs qui peuvent revêtir des formes variables et variées selon l'usage auquel ils sont destinés ou selon les marques des véhicules. Ces dispositifs se présentent sous forme de manette, de bouton rotatif à cliquets, de sélecteur multi-positions, de commande multifonctions, de bouton poussoir, d'interrupteur, de leviers... Certains de ces dispositifs sont associés à des retours visuels (avertisseurs lumineux, frein à main, ordinateur de bord...) et/ou sonores (clignotants, avertisseurs sonores...).

Ces commandes sont positionnées à divers endroits dans l'habitacle, devant le conducteur : sur le volant, près du volant, sur le boîtier du volant, dans des zones entourant le tableau de bord et sur la console centrale. Leurs fonctions concernent le pilotage du véhicule (clignotants, feux de détresse, avertisseur sonore, phares...), de l'ordinateur de bord, de la radio ou du système de navigation. D'une manière générale, les commandes qui doivent être actionnées rapidement se situent à proximité du volant et des mains.

Aide à la conception, normes et recommandations

Il existe un ensemble de normes et de recommandations pour aider à la conception des commandes et actionneurs ainsi qu'aux retours informatifs associés. Ces documents n'ont pas valeur de réglementation mais peuvent orienter efficacement les choix des concepteurs.

Quelques extraits caractéristiques :

- « Le conducteur doit toujours être en mesure de garder au moins une main sur le volant pendant qu'il manipule le système - Le système ne doit pas exiger de longues séquences ininterrompues d'interactions manuelles/visuelles. Si la séquence est brève, elle peut être ininterrompue – le conducteur doit être en mesure de contrôler le rythme de l'interaction avec le système. Le système ne doit notamment pas imposer de limite de temps au conducteur lorsqu'il introduit des données » (Recommandation 2007/78/CE, 2007),
- « Le conducteur doit pouvoir maîtriser le volume des informations auditives lorsqu'il existe un risque de distraction » (ISO-15006, 2004)⁴³,
- « Les commandes du système doivent être conçues de façon à pouvoir être actionnées sans gêner la fonction première de conduite » (ISO-4040, 2001).

Les interfaces en sortie du système

Que ce soit par l'intermédiaire de l'image, du son ou de la perception tactile, le rôle de l'interface en sortie est primordial : il s'agit d'informer le conducteur tout en minimisant sa charge mentale, sans être une source de distraction susceptible de détourner son attention de la tâche de conduite. Chez l'être humain en situation de tâches multiples, Wickens (1984) montre que, plus les canaux d'information sont en compétition pour la même ressource d'attention, plus les probabilités d'interférences entre tâches augmentent.

En réalité, l'interface en sortie ne doit pas être traitée isolément et les spécialistes s'accordent pour dire qu'il est indispensable de considérer les interfaces en entrée et en sortie de manière globale. Pour que l'intégration de nouveaux systèmes embarqués dans l'habitacle soit une réussite, il est nécessaire d'avoir une vue et une stratégie unifiée de l'interface homme-machine (Renault R&D, 1997). Clarté, simplicité et centralisation de l'information sont les mots clés d'une telle stratégie.

Des recommandations et des normes ont été spécifiées afin de guider la conception des interfaces en sortie (ICE, 1993 ; Recommandation 2007/78/CE, 2007)⁴⁴. Les normes arrêtées au niveau international et/ou national en matière de lisibilité, d'audibilité, d'icônes, de symboles, de termes, d'acronymes ou d'abréviations devraient être utilisées lors de la conception de nouveaux systèmes (Recommandation 2007/78/CE, 2007 ; ISO 15008, 2009 ; ISO 15006, 2004 ; ISO 2575, 2004).

Les interfaces visuelles

La conception d'une interface graphique embarquée reste très empirique. Elle fait appel au « savoir-faire » et à des compétences pluridisciplinaire dont : l'informatique, l'ergonomie, le design, l'optique et l'électronique. La principale difficulté consiste à devoir afficher sur un écran de faibles dimensions la quantité d'informations juste nécessaire à la compréhension du message, sans trop augmenter la charge mentale (Kamp, op. cité).

Dès la fin des années 80, Germain, Alauzet et Blanchet (1990) constataient une inflation du nombre d'indicateurs de fonctionnement sur le tableau de bord des camions. En 1994, les mêmes auteurs remarquent qu'il existe plus de cinquante informations principalement sous forme de cadrans et de témoins lumineux. Pourtant, bien que selon les conducteurs toutes ces informations soient utiles (Germain, Duraz et Blanchet, 1994), hormis le compteur et le compteur de vitesse, les cadrans et voyants sont peu regardés. Il semble que les conducteurs adoptent des stratégies visuelles en fonction des contraintes en favorisant toujours le cycle « *Route / Compteur-tour / Compteur de vitesse* ». Plus précisément, les regards du conducteur sont orientés :

- sur la route, 85 à 90% du temps de conduite ;
- sur les rétroviseurs, 4 à 9% du temps de conduite ;
- sur le tableau de bord, moins de 3% du temps de conduite.

Cependant, avec la multiplication des systèmes d'aide à la conduite et l'évolution de la technologie embarquée, le poste de conduite des véhicules industriels (de même que celui des véhicules automobiles) comporte de plus en plus d'informations visuelles que le conducteur doit connaître et maîtriser (Auboyer, 2005).

Or, compte tenu de la forte composante visuelle de la tâche de conduite, et même si, considérées individuellement, ces technologies, en bénéficiant d'une ergonomie adaptée, étaient susceptibles de bien s'intégrer dans l'activité de conduite lors de leur conception, l'implantation incrémentale de ces systèmes dans l'habitacle soulève plusieurs problèmes

⁴⁴ ICE = CEI (Commission Electrotechnique Internationale)

d'ordre cognitif. L'afflux d'informations visuelles risque d'entraîner une saturation du canal visuel de l'individu pouvant avoir des répercussions négatives sur la sécurité (non prise en compte de messages d'urgence, non détection d'événements critiques dans l'environnement routier...). De plus, la multiplication et parfois la complexité de ces IHM visuelles peuvent avoir pour résultat la dispersion, voire la saturation des ressources attentionnelles du conducteur (téléphone portable, systèmes de communication embarqués...) ⁴⁵. Enfin, la complexité de la gestion de la conduite, associée au traitement de cette multitude d'informations, en augmentant de manière significative la charge mentale du conducteur, risque de créer des situations de surcharge cognitive.

L'une des solutions actuelles pour pallier ces problèmes consiste à présenter une *synthèse hiérarchisée des informations*, plus ou moins bien adaptée à l'activité (aviation civile et militaire) ⁴⁶.

L'autre solution consiste à orienter la conception vers des IHM qui utilisent des canaux sensoriels différents, voire multiples.

Aide à la conception, normes et recommandations

Les interfaces graphiques font, elles aussi, l'objet de normes et de recommandations ergonomiques. Elles guident le concepteur dans ses choix et s'intéressent tant au contexte général du traitement des informations visuelles (charge mentale, fatigue...) qu'à leur présentation physique (position, couleur...). Quelques extraits caractéristiques (ICE, 1993) :

- « Réduire la charge mentale : minimiser la complexité et l'importance de la lecture, de la mémorisation et du traitement des informations »,
- « Limiter la fatigue visuelle : éviter, par exemple, de devoir fixer longtemps un point précis en vision rapprochée. L'accommodation à la lumière et à l'obscurité prend du temps : la fermeture de la pupille nécessite un délai de deux secondes, le retour à l'ouverture un délai de vingt secondes »,
- « Préserver l'homogénéité dans la présentation des informations. Une même information doit être unique à chaque présentation »,
- « Faciliter la détection et la lecture des informations. La couleur discrimine plus que la taille, et la taille plus que la forme. Les caractères doivent être des majuscules et leur taille doit être supérieure à $D/200$ où D est la distance entre l'œil et l'écran ».

Les alarmes visuelles

« *Les informations les plus importantes du point de vue de la sécurité doivent être prioritaires* » (Recommandation 2007/78/CE, 2007 ; ISO/TS16951, 2004). En cas d'urgence, l'information visuelle doit apparaître dans le champ de vision du conducteur pour permettre à celui-ci de réagir rapidement. Une solution possible consiste à projeter directement un icône d'alarme dans le pare-brise (Haehnsen, 1996). Il s'agit du dispositif Head-Up Display (HUD) ou Viseur Tête Haute (VTH). D'un point de vue ergonomique, le Viseur Tête Haute, semble a priori idéal pour perturber le moins possible la tâche de conduite. Cependant, son coût reste élevé et la visibilité des informations est variable, en fonction de l'orientation et/ou des reflets du soleil.

⁴⁵ Multiplication des panneaux de contrôle des premières centrales nucléaires, anciens postes de pilotage des Airbus...

⁴⁶ Verbalisations recueillies (2010) lors d'un entretien avec Daniel Hauret, pilote de Rafale, Département de médecine aéronautique opérationnelle, Centre d'expériences aériennes militaires, BA 118, Mont de Marsan.

En termes de support de présentation de l'information, le projet européen DRIVE propose de signaler par un message visuel sur le rétroviseur qu'un changement de voie à gauche ou à droite est à risque (Hartemann, 1993). Par trafic routier intense, le timing est si fortement contraint que le conducteur n'a pas le temps de saisir un message symbolique présenté ailleurs que sur le rétroviseur lui-même. Cet emplacement est aussi le seul qui permette de savoir quel est le véhicule concerné (celui de la bande de gauche ou celui de la bande de droite). L'image projetée sur le rétroviseur pourrait être un simple cadre rouge qui s'apparenterait à un appel de phare sur le plan perceptif.

Dans le domaine du VI, le camion de démonstration du projet européen FIDEUS (Freight Innovative Delivery of goods in European Urban Spaces) a été équipé de trois voyants lumineux de couleurs différentes (rouge, orange et vert) insérés sur les rétroviseurs latéraux. Ces voyants indiquaient au conducteur la présence d'un objet à l'arrière du véhicule et sa position en fonction de la couleur. De faible coût, ces voyants présentaient l'inconvénient d'être très peu visibles selon l'orientation du soleil, et la stratégie d'assistance (position de l'objet en fonction de la couleur) a été jugée inutile par les conducteurs : selon eux, un voyant d'une seule couleur serait suffisant (Maincent, Martin, 2008).

La distraction visuelle

Le nombre et la qualité des informations visuelles présentées dans le poste de conduite influent nécessairement sur l'attention que le conducteur porte à la route. La distraction du conducteur est un problème reconnu ayant des conséquences graves sur la sécurité (Strayer et al., 2006). Une recherche considérable a accumulé une nombreuse documentation sur les dangers résultant de la distraction visuelle/manuelle à l'intérieur du véhicule. Une étude naturaliste récente de 100 véhicules instrumentés (the "100 Car Study") a montré que le détournement de l'attention du conducteur de la chaussée était un facteur de contribution à 78% des accidents et à 65% des situations proches de l'accident observées dans cette étude (NHTSA⁴⁷, 2006). Wierwille et Tijerina (1998) ont constaté qu'ils pouvaient utiliser la condition visuelle (longueur du regard et nombre de regards) pour l'utilisation des dispositifs dans le véhicule couplée à la fréquence de l'utilisation du dispositif dans le véhicule, pour prédire les taux d'accident. En France, depuis sa création en 2004, le groupe « Attention » du Réseau Eveil, Sommeil, Attention, Transports (RESAT) s'est intéressé au problème de la distraction au volant (Chapon, Gabaude, Fort, 2006). Cet axe de recherche a notamment fait l'objet d'actions de recherche dans le cadre du projet DACOTA (Défauts d'Attention et Conduite Automobile, ANR05-PDIT004-02).

Les interfaces sonores

Le canal auditif possède l'avantage, essentiel en situation de conduite, de permettre au sujet de maintenir le regard sur la route. Cependant, les interfaces sonores peuvent se révéler très intrusives dans la mesure où le son est automatiquement perçu donc imposé au conducteur qui n'a pas la possibilité de « rejeter » l'information, contrairement aux informations visuelles. Il existe deux alternatives pour diffuser des informations sonores :

- les sons « simples » (dong, buzzer, sifflets, cornes, bips). Ils peuvent varier en fréquence, en volume, en durée et en modulation,
- les messages parlés (synthèse vocale).

⁴⁷ NHTSA: National Highway Traffic Safety Administration

De façon générale, le système ne doit pas produire de niveaux sonores, incontrôlables par le conducteur, susceptibles de masquer des avertissements venant de l'intérieur ou de l'extérieur du véhicule (Recommandation 2007/78/CE, 2007 ; ISO 15006, 2004).

Les sons

Les sons prouvent leur efficacité surtout en situation d'alarme car ils permettent les réactions les plus rapides (Doll, Folds, Lieker, 1984 ; Hirst et Graham, 1997). Il existe également quelques recommandations ergonomiques (ICE, 1993) :

- « le son est utilisé pour attirer l'attention :
 - en cas de surcharge des informations visuelles,
 - lorsque plusieurs événements arrivent en même temps,
 - lorsque le message demande une réponse immédiate.
- il faut éviter les fréquences entre 100 et 500 HZ beaucoup moins audibles pour l'être humain ».

Lorsque le conducteur effectue une action, il est indispensable de lui présenter immédiatement un « feed-back ». Ce retour d'information peut être visuel mais le son est, dans ce cas, particulièrement adapté puisque le sujet ne doit plus détourner le regard. L'inconvénient du signal sonore, à l'inverse de l'image, est qu'il ne peut pas transmettre une information complexe. Pour résoudre partiellement ce problème, une étude menée dans le cadre du programme PROMETHEUS (rapportée par Kamp, 1998) propose le concept d'icônes sonores appelées aussi « earcon » (Pleczon, Chalard, De Saint Blanchard, 1994). Il s'agit d'un système audio quadriphonique pour lequel les haut-parleurs sont logés dans les quatre coins de l'habitacle du véhicule (Figure 16).

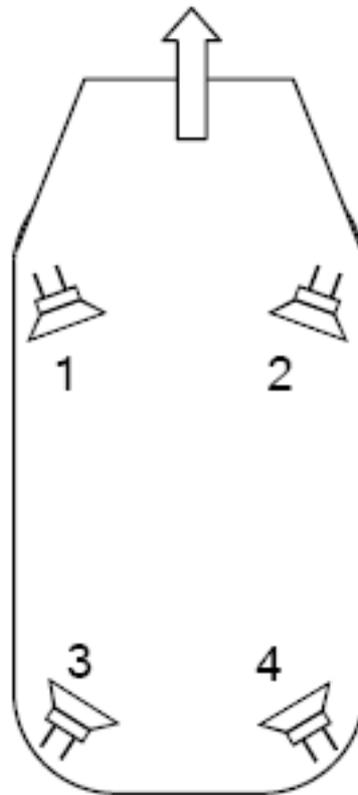


Figure 16 : Le système audio quadriphonique d'après Kamp, 1998

Dans le cas de l'alarme, le son peut transmettre à la fois la nature du danger, le niveau de risque et la localisation du danger grâce à la dimension spatiale introduite par la quadriphonie. Ainsi par exemple, si le conducteur tente un dépassement dangereux, un son de type « coup de klaxon » sort du haut-parleur (3) et si le véhicule dévie anormalement vers l'extrême droite, un bruit de roulement sur des bandes vibrantes sort des haut-parleurs (2) et (4) pour signaler le danger.

La synthèse vocale

Le message parlé, comme le son, perturbe moins la tâche de conduite que les messages visuels. Ce qui le différencie du son simple est sa capacité à communiquer des messages dont le contenu est plus riche comme par exemple une information routière ou de guidage, un conseil ou une consigne. En contrepartie, le principal inconvénient des messages vocaux est leur défaut de permanence. Les conducteurs doivent avoir la possibilité de les réécouter. De plus, ils nécessitent de rester attentif jusqu'à la fin du message pour en comprendre le sens, ce qui provoque un partage des ressources attentionnelles qui peut se révéler problématique dans certaines situations de conduite.

Les technologies mains libres et basées sur la voix sont des choix de plus en plus populaires pour les interfaces de télématique (ITSA⁴⁸, 2005). Du point de vue de la sécurité, ces interfaces permettent aux conducteurs d'interagir avec les dispositifs dans le véhicule sans avoir à détourner le regard de la route. Étant donné que les dispositifs mains libres et basés sur la parole éliminent en grande partie la distraction résultant de l'interaction visuelle/

⁴⁸ ITSA: Intelligent Transportation Society of America

manuelle, il est souvent supposé, à tort (voir [infra](#), *Les interfaces « mains libres »*), que leur utilisation n'a pas d'impact sur le comportement et la sécurité du conducteur.

Les interfaces « mains libres »

Le rapport entre l'utilisation des interfaces mains libres ou basées sur la parole, et la distraction du conducteur est moins évident, mais la recherche indiquant « la distraction cognitive » comme préoccupation de sécurité routière s'accumule (Chapon, Gabaude, Fort, 2006). L'Institut d'Assurance pour la Sécurité de la Route⁴⁹ a rapporté que : quand les conducteurs utilisent un téléphone portable en conduisant, le risque d'avoir un accident assez sérieux pour nécessiter une attention médicale est multiplié par quatre (McEvoy et al, 2005). *Cette étude a également conclu que l'utilisation d'un téléphone mains libres n'était pas plus sûre que celle d'un portable.*

Un certain nombre d'études sur simulateur ont examiné l'impact de la distraction cognitive sur le comportement du conducteur. Strayer et Johnston (2001) ont constaté que les effets distractifs d'une conversation téléphonique pendant la conduite étaient identiques quelle que soit la configuration du téléphone (mains libres ou non) : les conducteurs sont plus susceptibles de manquer les panneaux de signalisation et réagissent plus lentement aux signaux détectés qu'en situation sans conversation téléphonique. Dans une étude postérieure, l'utilisation d'un téléphone mains libres a augmenté de 18% les temps de réaction des participants (freinage), par rapport à une conduite sans discussion téléphonique (Strayer et Drews, 2004).

Les exemples sont nombreux, mais l'ensemble des chercheurs travaillant sur cette problématique s'accorde sur l'orientation des résultats : conduire en téléphonant avec un système mains libres n'est pas plus sécuritaire qu'avec un téléphone cellulaire classique.

La recherche s'est élargie, au-delà des téléphones portables, au domaine plus grand des interfaces susceptibles d'être utilisées dans le véhicule. Lee et al. (2001) ont rapporté un retard de freinage de 300 ms (soit 7,5m à 90 km/h) quand les conducteurs ont utilisé un système d'*e-mail* piloté par la parole, tout en conduisant sur un simulateur. Plus tard, Harbluk et Lalande (2005), toujours sur simulateur, ont observé des réductions ou des retards dans la détection des stimuli visuels dans les rétroviseurs latéraux quand les conducteurs interagissaient avec un système identique au précédent.

Globalement, l'utilisation des technologies mains libres diminue la fréquence des regards sur les régions informatives de l'environnement routier (feux de circulation, intersections) et du véhicule (rétroviseurs, tableau de bord). De plus, le nombre d'incidents de freinage brutal est plus élevé lorsque l'exigence de la tâche est très importante (Harbluk et al., 2007).

Les interfaces haptiques

La perception haptique ou tactilo-kinesthésique (Revesz, 1950) peut être définie comme une *perception tactile*⁵⁰ *active*. Elle implique des mouvements d'exploration actifs, à l'aide du système musculo-squelettique⁵¹, qui associent le toucher et la kinesthésie⁵².

⁴⁹ The Insurance Institute for Highway Safety

⁵⁰ Qui relève du toucher

⁵¹ Muscles, tendons, articulations

Dans le domaine des assistances à la conduite, l'exemple caractéristique de l'interface haptique est celui de la pédale d'accélération à retour d'effort utilisée comme limiteur de vitesse. Ce type d'interface a été principalement étudié dans le cadre des projets LAVIA (Limitation Adaptative de Vitesse) et PROSPER (Project for Research On Speed adaptation Policies on European Roads).

Les limiteurs de vitesse basés sur un retour haptique permettent d'avertir le conducteur du dépassement d'une vitesse programmée soit par le durcissement de la pédale d'accélération, soit par son inhibition. Dans le cas du système LAVIA, lorsque la vitesse est dépassée, une déconnexion partielle de l'accélérateur inhibe l'action du pied droit sur l'accélérateur. Le conducteur peut désactiver le limiteur en appuyant fortement sur la pédale pour passer un point dur, c'est le dispositif « *kick-down* ».

Les limiteurs de vitesse adaptatifs ou systèmes ISA (Intelligent System Adapting) s'appuient sur des informations issues de l'environnement (signaux routiers et/ou balises) pour déterminer la vitesse maximale autorisée et sur des informations issues du véhicule pour connaître la vitesse instantanée du véhicule. L'interface « pédale » est généralement complétée par des informations visuelles et parfois sonores.

Les limiteurs ISA peuvent être déclinés selon trois modalités d'assistance (Page, 2004). Pour exemple le fonctionnement du système LAVIA associe les trois modalités :

- Le mode *Informatif* ou *ISA ouvert* : Le conducteur est informé par affichage sur le tableau de bord de la vitesse autorisée. Lorsque cette vitesse est dépassée et pendant toute la durée du dépassement, l'affichage clignote et un voyant s'allume sur le tableau bord.
- Le mode *Actif volontaire (débrayable)* ou *ISA semi-ouvert* : La vitesse est limitée par l'inhibition de la pédale d'accélération au delà du seuil de vitesse réglementaire. Un commutateur permet de mettre le dispositif hors service. Un appui fort sur la pédale au-delà du point dur permet la désactivation momentanée du système (dispositif "kick down"). Il se réactive dès que le conducteur repasse en dessous de la vitesse réglementaire.
- Le mode *Actif contraint (non débrayable)* ou *ISA fermé* : Le principe de fonctionnement est identique au mode précédent mais le système ne peut pas être neutralisé par le commutateur. Le dispositif "kick down" est toujours actif en cas de besoin.

D'après les premiers résultats⁵³, le système LAVIA est facile d'utilisation et nécessite un délai d'adaptation relativement court. Son efficacité est reconnue et le principe de contrôle de la vitesse est bien accepté (Saad, 2006). En pratique, les avis des conducteurs sont plus mitigés quant à son acceptation, notamment pour le mode « non débrayable ». Selon Pianelli et Saad (2006), les modes actifs (avec la pédale), sont perçus comme les plus efficaces et auraient plus d'impact sur les comportements de conduite des conducteurs que le mode informatif. En revanche, les conducteurs affichent une préférence pour le mode informatif s'ils devaient l'utiliser au quotidien dans leur véhicule personnel.

L'Accélérateur Sensitif⁵⁴

⁵² Perception du corps dans l'espace.

⁵³ <http://heberge.lcpc.fr/lavia/FR/colloque.htm>

⁵⁴ *Les informations contenues dans ce paragraphe sont issues du site personnel de l'inventeur du système (2000-2001).*

Nous n'avons pas trouvé de références bibliographiques correspondant à ce système.

D'après Alain Landerretche⁵⁵, « Le conducteur ne doit pas avoir l'impression que c'est la voiture qui commande. Les limiteurs traditionnels donnent cette impression désagréable, en raison de l'inhibition soudaine de l'accélérateur. C'est un mode d'intervention très autoritaire sur la conduite ». Aussi, cet ingénieur a mis au point il y a quelques années une pédale d'accélération à retour d'effort, l'Accélérateur Sensitif (Image 4).

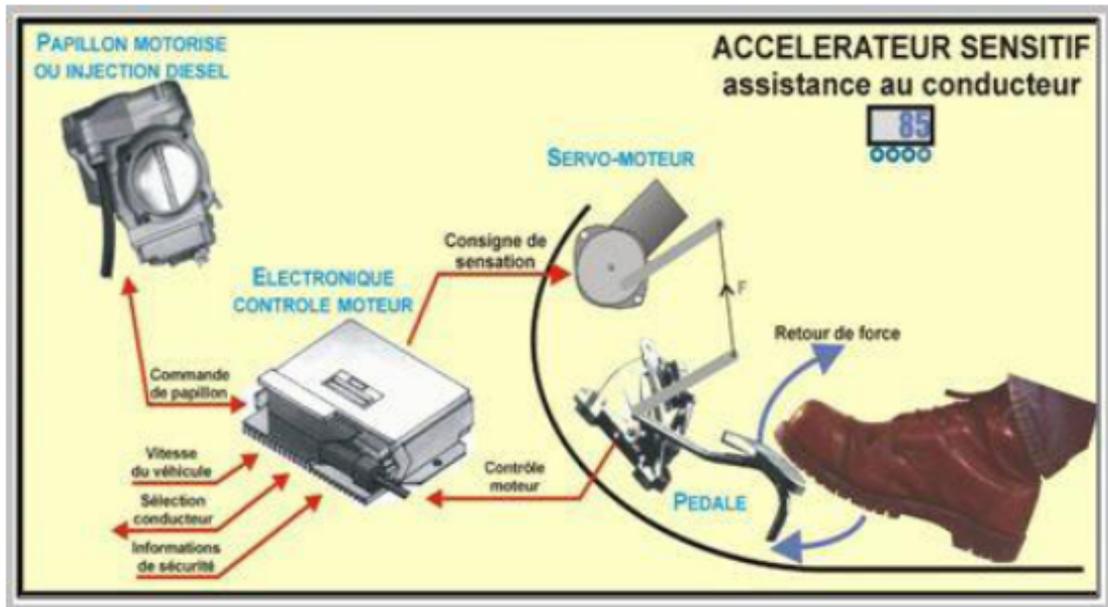


Image 4 : L'accélérateur Sensitif conçu par A. Landerretche

Le fonctionnement de l'accélérateur sensible s'apparente aux commandes « à retour de sensations », ou « retour de forces » des avions de lignes des années 2000. Le principe de cette assistance est connu pour ses qualités d'ergonomie et l'autonomie d'action qu'elle laisse à l'utilisateur. Son fonctionnement se rapproche du type de pédale à durcissement progressif, à la différence qu'il ne bloque jamais la pédale. Le durcissement n'est en effet qu'une sensation visant à informer le conducteur.

Selon A. Landerretche « L'Accélérateur Sensitif informe physiquement le conducteur du dépassement de la vitesse sans pour autant le contraindre à la respecter ». Ce système permet une maîtrise instinctive de la vitesse.

Le conducteur choisit librement la vitesse qu'il souhaite surveiller à l'aide des touches « +/- » situées sur le volant. La pédale remonte progressivement à l'approche de la vitesse définie, elle ne se bloque pas et son effet n'est pas annulé. Il suffit d'une petite pression sur l'accélérateur pour que la pédale revienne à la normale. Ses sollicitations sont perçues comme un conseil, que le conducteur choisit ou non de suivre, selon la situation dans laquelle il se trouve. Un actionneur fournit une force de rappel croissante à la pédale, ce qui provoque la sensation tactile perçue par le conducteur. La vitesse se stabilise si le conducteur ne s'y oppose pas. Son action reste toujours prioritaire, il peut ralentir ou accélérer à tout moment sans avoir à intervenir sur le système.

Exemples de systèmes d'aide à la conduite de Véhicules Industriels

⁵⁵ <http://www.acs.free.fr/>

Ce chapitre serait incomplet sans quelques exemples de systèmes d'aide à la conduite de véhicules industriels. Notre choix s'est porté sur des systèmes que nous avons personnellement vu fonctionner en situation réelle de conduite ou « sur table ». Nous les avons sélectionnés, soit parce qu'ils appartiennent aux domaines d'application traités dans cette thèse (économies de carburant ou détection autour du véhicule), soit parce que les situations de conduite qu'ils préviennent font partie de préoccupations actuelles (problématique du renversement). Chaque système est présenté brièvement en insistant, selon le cas, sur les stratégies d'assistance et/ou sur les interfaces permettant la transmission des informations et alertes au conducteur.

Système anti-renversement

Le LG Alert system

Le système LG Alert a été développé par la société canadienne Stability Dynamics en 2003 sur une demande de Transport Canada pour prévenir le renversement des véhicules poids-lourds de secours incendie pour les avions (*Aircraft Rescue Fire Fighting* : ARFF). A l'origine, le système était prévu comme outil de formation à la prévention du renversement. Progressivement, les conducteurs participant aux formations ont suggéré de ne pas retirer le dispositif à la fin de la formation. Selon eux, « *retirer le dispositif à la fin de la formation était comme de retirer le compteur de vitesse, donc nous avons commencé à verrouiller définitivement les dispositifs dans les véhicules* » (Sheaff, 2004),

L'assistance consiste en un système d'évaluation et d'avertissement de l'accélération latérale instantanée. Cette assistance peut être complétée par l'évaluation des forces axiales exercées sur le véhicule lors d'une accélération longitudinale ou d'un freinage violent. Cette fonction permet aussi d'indiquer la pente. Stability Dynamics propose deux types d'affichages visuels en fonction du système choisi ([Image 5](#) et [Image 6](#)).

Les informations visuelles sont complétées par des alarmes sonores graduelles à mesure que les forces « g » latérales sur le véhicule augmentent, avertissant ainsi le conducteur d'une perte de contrôle imminente. (Site internet de Stability Dynamics, 2008).



Image 5 : Affichage d'axe simple du système LG Alert (Stability Dynamics, 2008)



Image 6 : Affichage d'axe double du système LG Alert (Stability Dynamics, 2008)

L'interface du système LG Alert différencie le sens du renversement (renversement latéralisé gauche/droite, [Image 7](#)). Le cadran est divisé en deux zones comportant des diodes colorées (vertes, orange et rouges). Les diodes allumées sont vertes dans les lignes droites, et orange et rouges dans les courbes. Deux niveaux d'alarme sont distingués : un niveau faible signalé par l'allumage des diodes orange et un niveau fort signalé par l'allumage des diodes rouges. Un signal sonore est couplé aux signaux lumineux : des bips se déclenchent lorsque les diodes sont orange (82dB) et rouges (100 dB).



Image 7. Système LG Alert installé sur un véhicule Lafarge (Ottawa, 2007)

Depuis 2004, L'usage du système LG Alert a été étendu à d'autres types de véhicules de lutte contre l'incendie, aux camions-toupies (transport de béton prêt à l'emploi), aux camions de gestion des déchets et aux véhicules militaires (site de Stability Dynamics, 2008). Depuis 2006, il équipe tous les nouveaux camions-toupie de la flotte Lafarge d'Ottawa et de Montréal.

Systèmes d'assistance à l'éco-conduite

Le « Driving Monitoring System »

Face aux différences de consommation dues aux comportements des conducteurs, un premier système d'aide à la conduite rationnelle, le Driving Monitoring System (DMS) a été développé et installé sur les Magnum (série) et Premium (option) Renault Trucks. L'objectif du système était d'inciter les conducteurs non sensibilisés à la conduite rationnelle, à utiliser leur moteur dans des plages de fonctionnement optimum en vue de maîtriser leur consommation.

Le système fonctionne sur un mode « conseil », il détermine et propose au conducteur le meilleur rapport de boîte à engager pour optimiser l'utilisation du moteur et de la boîte de vitesse. L'information est présentée sous deux formes, visuelles et sonores. Lorsque le système estime nécessaire le changement d'un rapport, l'information « rapport conseillé » s'affiche (sous forme d'un numéro de 1 à 8) sur le tableau de bord du véhicule. L'affichage visuel est accompagné d'un bip sonore, de cette façon, le conducteur n'est pas obligé de garder un oeil en permanence sur le tableau de bord. Le logiciel intégré dans le calculateur du véhicule utilise les données physiques disponibles qui circulent dans le Bus de communication du véhicule. Le choix du rapport est calculé en fonction de la chaîne cinématique du véhicule (moteur, boîte de vitesse...), de la charge du véhicule, du couple s'opposant ou aidant l'avancée du véhicule (pente, force aérodynamique, forces de roulements...), des actions du conducteur sur la pédale d'accélération et les ralentisseurs.

En revanche, le système n'a aucune connaissance de l'environnement routier, de ce fait, il n'anticipe pas sur les événements. Ainsi, il lui arrive, par exemple, de conseiller de « monter un rapport » à l'approche d'un ralentissement (rond-point, feu tricolore...). Ce type de conseil sera compris par les conducteurs expérimentés comme un défaut du système et, s'il se renouvelle fréquemment (hors autoroutes par exemple, sur des itinéraires variés), il peut occasionner un risque de rejet par l'utilisateur. De plus, l'affichage visuel peut poser problème dans la mesure où il peut se confondre avec l'affichage du rapport

engagé et créer de ce fait une interférence cognitive qui pourrait entraîner une diminution des temps de réaction du conducteur voire même des actions inappropriées. Enfin, les « bons » conducteurs en matière de consommation devancent très souvent le système, ce qui leur fait dire qu'il ne sert à rien.

Le système NENPIOH

Le système NENPIOH, développé au Japon par Nissan Diesel Motor, est un système présenté sur support PDA (Personal Digital Assistant) et destiné à évaluer et améliorer la conduite des conducteurs de véhicules lourds du point de vue de la consommation de carburant (Image 8).



Image 8 : Le système NENPIOH sur PDA

Le système NENPIOH évalue différents paramètres de conduite et délivre des indications au conducteur en temps réel (messages visuels et sonores) pour l'aider à atteindre des objectifs de conduite économique. Les stratégies d'assistance diffèrent en fonction des phases de conduite engagées : pendant le roulage (informations temps réel), lors de chaque arrêt ponctuel du véhicule (bilan de l'évaluation sur la phase de roulage précédente) et en fin de parcours (rapport complet de parcours).

L'Interface Homme-Machine du système associe des indications visuelles (messages écrits, jauges colorées, indications chiffrées) et sonores (bips sonores et indications vocales).

Les indications visuelles

En période de conduite, le système NENPIOH affiche en permanence plusieurs informations :

- La position de l'accélérateur en pourcentage d'enfoncement de la pédale indiquée par une jauge colorée (codes couleur : dégradés de rouge) ;
- La consommation instantanée en nombre de litres au 100 kilomètres (L/100km) en pourcentage indiquée par une jauge colorée (codes couleur : vert et bleu) ;
- La consommation moyenne en nombre de litres au 100 kilomètres (L/100km) ;

- La performance en pourcentage indiquée par une jauge colorée (codes couleur : rouge, jaune et vert).

Lors de chaque arrêt ponctuel du véhicule (à un feu rouge, à un stop, etc.), le système NENPIOH affiche un bilan de la performance du conducteur sur la dernière section parcourue (Photos 9 à 14). Cette évaluation comporte plusieurs indications :

- Les consommations réelle et théorique (« à atteindre ») sont affichées côte à côte (en L/100km) ;
- La performance réalisée sur 5 indicateurs est évaluée en pourcentage et indiquée pour chacun d'entre eux par des jauges colorées (codes couleur de 0 à 100% : rouge, orange, jaune et vert). Ces paramètres sont affichés dans l'ordre suivant, de haut en bas : accélération ; montée de rapport ; régime moteur ; décélération et vitesse maxi.

Les indications sonores

En période de conduite, des alarmes sonores sont délivrées par le système NENPIOH à chaque fois qu'un message écrit est affiché sur l'écran. Les bips sont différents selon le message (et spécifiques à chacun).

En période d'arrêt du véhicule, lors de l'affichage du bilan relatif à la dernière section parcourue, des conseils vocaux (huit messages différents) sont délivrés en termes de stratégies de conduite : par exemple : « gardez vos distances et anticipez le freinage », « montez plus tôt les rapports » ou « excellent, ne changez rien »...

D'un point de vue ergonomique, même si le principe d'assistance du système NENPIOH semble intéressant, notamment en termes de « formation continue », les interfaces paraissent trop complexes. Le nombre d'informations visuelles à traiter pendant la conduite vont à l'encontre des principes énoncés précédemment et l'interface vocale peut se révéler « envahissante » à l'usage. A notre connaissance, le système NENPIOH n'est pas encore installé sur des véhicules européens, ce qui explique le peu d'informations dont nous disposons quant aux retours « utilisateurs ».

Systèmes de détection autour du véhicule

L'exemple de FIDEUS

Les véhicules automobiles sont de plus en plus nombreux à être équipés de systèmes de détection de l'environnement. Actifs ou passifs, ils assistent le conducteur pour éviter des accidents (avertissement de collision à l'avant, avertissement de sortie de file, alerte d'angle mort...) ou pour effectuer des manœuvres (aides au stationnement, caméra de recul...).

Sur les camions, les systèmes pour la détection autour du véhicule commencent à se développer, le véhicule de démonstration, développé par Renault Trucks dans le cadre du projet européen FIDEUS⁵⁶ (6^{ème} PCRD, 2005-2008), en représente un exemple concret. Ce véhicule a été équipé de deux dispositifs d'assistance pour faciliter les manœuvres de marche arrière : la rétrovision par système de caméra arrière et la détection des objets situés dans le champ arrière du véhicule par capteurs ultra-sons associés à un retour par diodes lumineuses dans les rétroviseurs latéraux. La vision arrière est assurée par un retour visuel sur un support de navigation par GPS (Image 9). La détection des objets est assurée par

⁵⁶ Freight Innovative Delivery of goods in European Urban Spaces

un système de diodes lumineuses insérées dans les rétroviseurs latéraux (Image 10). Les couleurs sont fonction de la proximité de l'objet détecté.



Image 9 : Interface visuelle pour la vision arrière du camion FIDEUS



Image 10 : Position des diodes dans les rétroviseurs du camion FIDEUS

Les conducteurs professionnels ayant participé aux expérimentations du projet FIDEUS ont apprécié la rétrovision par caméra arrière. En revanche, les diodes lumineuses des rétroviseurs latéraux souffrent d'un manque de visibilité (en fonction des conditions lumineuses extérieures) et les codes couleur ne semblent pas intuitifs (ils n'ont pas été spontanément compris par les conducteurs).

Dans ce chapitre nous avons abordé la problématique de la conception des systèmes d'aide à la conduite du point de vue de l'ergonomie cognitive, en plaçant le conducteur au centre des interactions conducteur/véhicule/environnement. L'approche cognitive du fonctionnement humain traitée dans la première partie a été complétée par une approche sensorielle (réception) et une approche motrice (gestes et actions) de la conduite d'un véhicule.

Après avoir recensé les différentes modalités de présentation de l'information actuellement utilisées en matière d'assistance à la conduite ou de matériels embarqués, force est de constater que :

Si les systèmes d'assistance à la conduite sont conçus pour soulager le conducteur dans sa tâche de conduite, leur nombre croissant, associé à la multiplication des systèmes embarqués, risque de provoquer une surcharge cognitive, et entraîne bien souvent une augmentation de sa charge de travail.

De plus, jusqu'ici, les signaux visuels et auditifs sont dominants dans l'habitacle, bien que la rétroaction haptique soit explorée depuis quelques années. Une interface homme-machine utilisant ce type de signal paraît donc intéressante pour délivrer une consigne de décélération ou pour limiter l'accélération, notamment dans le cadre d'une conduite rationnelle.

Enfin, les exemples d'assistance à la conduite de VI nous ont permis de situer le contexte des parties expérimentales de ce travail.

En conclusion, concevoir une assistance à la conduite d'un véhicule suppose la connaissance :

- du fonctionnement humain,
- du fonctionnement technique,
- des normes et réglementations,
- de l'existant.

Ces exigences sont en faveur d'une complémentarité entre sciences humaines et sciences de l'ingénieur et justifient l'intérêt des collaborations présentées dans cette thèse.

V. Principes méthodologiques pour la conception et l'évaluation des systèmes

Quelle qu'en soit sa finalité (sécurité, confort, économies de carburant), la conception d'un système d'assistance au conducteur est un processus complexe. Cela est dû en partie au fait que ce processus implique la reconfiguration d'un système hôte préexistant qui se compose du conducteur et d'un système technique (le véhicule et toute sa technologie), dans un environnement — le contexte routier — très variable, et sur lequel le comportement du couple conducteur-véhicule peut avoir un impact non négligeable. Ce système hôte a déjà ses propres équilibres, subtils, que le nouveau système vient modifier, voire perturber.

Dans la mesure où la modification du système hôte peut avoir des conséquences sur la sécurité, les systèmes d'aide à la conduite doivent être minutieusement évalués avant d'être développés, testés et commercialisés. Cette évaluation ne peut se limiter à examiner la robustesse ou l'utilisabilité du système d'aide isolément : elle doit décrypter la façon dont le système affecte les processus et les comportements de conduite existants, notamment en termes d'interférence et de charge de travail. En fait, ce n'est pas uniquement le système en soi qui doit être évalué, c'est plus précisément la façon dont le système global « conducteur-véhicule-environnement » se comportera avec la greffe d'un système d'assistance donné. Parmi les éléments à étudier figurent la manière dont les actions du nouveau système interfèrent avec les processus précédemment stabilisés, l'effet du contexte sur son utilisation et la façon dont les interactions avec ce système s'articulent avec d'autres dispositifs dans le véhicule (Fastreza et Haué, 2008).

Plus fondamentalement, la nécessité d'une conception adéquate comme celle d'une évaluation minutieuse du système exigent une profonde connaissance du fonctionnement des conducteurs et de leur activité en situation réelle de conduite. Cette connaissance peut aider à répondre à de multiples questions concernant les différents aspects interconnectés de la conception de systèmes d'assistance à la conduite, tels que le type d'information qu'ils devraient fournir au conducteur, ou la modalité perceptuelle qui devrait être employée pour délivrer cette information.

Un autre ensemble de questions se relie aux propriétés sémiotiques et temporelles des représentations produites par le système : devraient-elles être iconiques (c'est-à-dire ressembler à ce à quoi ils se réfèrent) ou symboliques (c'est-à-dire compter sur l'abstraction et les descriptions conventionnelles ou sur le langage) ? Devraient-elles se fonder sur des métaphores ? Devraient-elles être discrètes (par exemple des signaux binaires) ou continues (flux d'information continu) ? Étudier le comportement du conducteur peut également guider la manière dont ces représentations sont intégrées dans le véhicule (par exemple sur le tableau de bord, dans un affichage tête-haute, etc.) ou indiquer le timing de leur disponibilité (par exemple combien de temps à l'avance doit être produit un message d'alerte ?). De plus, une telle connaissance peut aider à déterminer les demandes attentionnelles du système, et la charge cognitive qu'il engendre chez son utilisateur (Fastreza et Haué, op. cité), sous réserve d'avoir préalablement déterminé un niveau « de base » de la charge de travail des conducteurs en situation réelle.

Ainsi, connaître et comprendre l'activité et le comportement du conducteur est une nécessité pour la conception et l'évaluation de systèmes d'aide à la conduite d'un véhicule. Cette connaissance est acquise à travers une grande variété d'approches méthodologiques, centrées sur l'analyse de l'activité et l'observation des conducteurs interagissant avec des systèmes nouveaux et existants, dans divers contextes. L'une des variables majeures orientant ces approches méthodologiques est le degré de contrôle que le chercheur peut avoir sur les interactions conducteur-véhicule et systèmes embarqués-environnement. Cette dimension peut être décrite sur un continuum allant du niveau de contrôle le plus élevé au niveau le plus faible :

- À une extrémité du continuum, les études en laboratoire représentent les environnements de recherche les plus contrôlés. Elles se concentrent sur l'étude des mécanismes généraux de la cognition et de la perception humaines (tels que l'attention ou la vision) qui sous-tendent la conduite. Cette étape, qui relève d'une démarche fondamentale, fait partie des pré-requis à toute intervention en ergonomie cognitive. Toutefois, ces études sont généralement dissociées des projets appliqués tels que ceux qui sont présentés dans cette thèse. Les connaissances résultant de cette étape de recherche se raccordent généralement aux projets sous la forme d'une étude théorique et bibliographique initiale.
- Viennent ensuite les études sur simulateur de conduite. Elles permettent d'immerger les conducteurs dans des scénarii virtuels préétablis qui assurent à tous les participants la rencontre des mêmes événements.
- Les études effectuées sur circuits fermés représentent l'étape suivante. Elles permettent aux conducteurs d'interagir avec le système évalué, dans des véhicules réels, mais avec un trafic limité et régulé.
- Enfin, les études en situations réelles mettent les conducteurs sur la route et observent comment ils procèdent dans des cadres « naturels ». De telles études peuvent être menées avec la technologie existante avant la conception

des prototypes, puis avec les nouveaux systèmes après validation dans des environnements plus contrôlés.

Dans le cadre d'une recherche appliquée au développement et à l'évaluation d'un nouveau système d'aide à la conduite, le déroulement le plus communément adopté commence par une démarche expérimentale en environnement totalement contrôlé sur simulateur de conduite pour se terminer par des observations en situations réelles sur route ouverte. Le développement de tels systèmes procède bien souvent par phases itératives nécessitant notamment plusieurs expérimentations sur simulateur de conduite.

Nous ajouterons à cette démarche de développement une étape préalable qui nous paraît indispensable : les analyses de l'activité du conducteur en situation réelle. Outre la connaissance du milieu dans lequel l'activité de conduite sera réalisée, cette étape permet de déterminer les besoins réels explicites ou implicites face à une ou des situations données et de situer le contexte dans lequel le système développé sera utilisé.

Dans le chapitre suivant, nous exposerons brièvement les spécificités de chaque environnement évoqué précédemment. Nous traitons plus longuement la simulation de conduite pour terminer par la présentation du simulateur dynamique de camion de Renault Trucks – qui a servi de moyen expérimental pour l'évaluation des systèmes étudiés dans cette thèse.

Compte tenu de l'implication de la charge de travail dans le fonctionnement humain et de sa variabilité en fonction des contextes dans lequel s'exerce une activité finalisée, le dernier chapitre de cette partie méthodologique sera consacré aux problèmes liés à son évaluation.

De l'environnement naturel à l'environnement virtuel

Les recherches en matière d'ergonomie cognitive, dans la démarche de conception de nouveaux systèmes d'assistance à la conduite, s'orientent principalement sur la partie comportementale de la conduite du véhicule en attachant une importance particulière au contexte dans lequel se déroule cette activité. Ainsi, pour assurer une validité écologique des résultats, les psychologues et ergonomes privilégient, quand la problématique de recherche le permet, les observations en situation naturelle ou la plus proche possible de la situation habituelle de l'activité des conducteurs. Cependant, les observations en situations réelles ne permettent pas toujours l'application de paradigmes expérimentaux spécifiques (multi-activité au volant, situations critiques, reproductibilité des situations...) ou l'utilisation de systèmes au stade expérimental, et non encore développés sur le véhicule servant aux observations. Dans ces conditions particulières, la mise en œuvre de protocoles expérimentaux sur simulateur dynamique de conduite semble être la méthode la plus pertinente.

Les travaux réalisés dans cette thèse ont nécessité l'application de dispositifs expérimentaux multidimensionnels s'appuyant :

- sur des observations sur véhicule instrumenté en situation réelle de conduite (projet Conduite Economique Assistée) ;
- sur des analyses de l'activité des conducteurs en situation réelle d'activité (projet VIVRE2) ;
- sur des protocoles expérimentaux sur simulateur dynamique de conduite pour l'évaluation des interfaces et systèmes développés (projets CEA et VIVRE2)⁵⁷.

L'environnement naturel

L'environnement naturel d'un conducteur routier est, par définition, l'environnement routier dans lequel il pilote son véhicule pour exercer son activité de travail. Nous ne reviendrons pas sur les caractéristiques de cet environnement, développées chapitre , p. 28. En revanche, il nous semble intéressant de préciser quels sont les intérêts et les limites des expérimentations en environnement naturel, de même que les conditions dans lesquelles elles peuvent être menées.

De fait, il convient de distinguer deux conditions « expérimentales » pour l'observation de l'activité du conducteur routier professionnel en environnement naturel : les observations effectuées à partir du *véhicule habituel* du conducteur et les observations sur *véhicule d'expérimentation* plus ou moins *instrumenté*.

Les observations sur le véhicule habituel du conducteur

De manière générale, quel que soit le protocole d'observation appliqué, l'environnement routier permet de confronter le conducteur à la richesse des situations naturelles. Que l'itinéraire adopté lui soit ou non familier, les classes de situation rencontrées ne lui sont généralement pas inconnues et leur diversité permet, dans une certaine mesure, l'observation de ses comportements de conduite habituels. C'est le cadre incontournable des analyses d'activité telles qu'elles sont définies par les ergonomes, pour lesquelles aucun protocole spécifique n'est appliqué et qui ne nécessitent pas d'instrumentation du véhicule (cf. projet VIVRE2, quatrième partie, p. 277). Ces analyses sont généralement effectuées sur le véhicule habituel du conducteur, dans le cadre de son activité quotidienne et sur des itinéraires qui lui sont familiers. Les analyses d'activité effectuées dans ces conditions sont généralement antérieures aux démarches expérimentales permettant de tester les systèmes. Outre la connaissance du contexte et des composantes de l'activité des conducteurs, elles permettent d'identifier les classes de situation qui nécessitent une assistance particulière de même que celles qu'il peut être utile de reproduire sur simulateur de conduite pour tester les systèmes développés. Elles sont généralement effectuées au début de la démarche de recherche. Les observations en environnement naturel peuvent aussi être effectuées en fin de démarche de recherche pour la validation d'un prototype qui est alors installé sur le véhicule habituel du/des conducteurs(s).

En revanche, les observations effectuées avec le véhicule habituel du conducteur permettent difficilement l'instrumentation du véhicule (hormis dans le cas de l'installation d'un prototype). De plus, l'utilisation du véhicule habituel détermine les variables résultant des caractéristiques du véhicule. Ainsi, si nous prenons la problématique de la consommation de carburant, il est bien évident que la puissance du moteur, la charge transportée, le type d'attelage, etc., sont des variables qu'il est indispensable de contrôler pour donner une certaine validité aux observations. C'est pourquoi les chercheurs ont bien souvent recours à un véhicule d'expérimentation, qui sera identique pour tous les sujets, et qu'il est possible d'instrumenter (cf. projet CEA, troisième partie, p. 171).

L'utilisation d'un véhicule d'expérimentation

L'utilisation d'un véhicule d'expérimentation en environnement naturel est un moyen relativement écologique qui permet l'application de protocoles expérimentaux grâce à l'instrumentation du véhicule. L'instrumentation est composée de divers appareillages permettant, a minima, l'acquisition des données issues du fonctionnement du véhicule (vitesse, consommation, appuis frein...). Ces enregistrements peuvent être complétés,

d'une part, avec l'enregistrement vidéo de la scène routière, et, d'autre part, avec l'acquisition de données comportementales et physiologiques du conducteur (direction des regards, enregistrement des réactions du système nerveux autonome telles que fréquence cardiaque, résistance cutanée, (Collet et al., 2003). Ainsi, les résultats obtenus sur un véhicule instrumenté offrent une meilleure validité externe et seraient plus facilement généralisables aux situations de conduite naturelle (Nilsson, 1993).

Toutefois, l'utilisation d'un véhicule instrumenté en environnement naturel peut poser des problèmes, notamment en termes de sécurité routière. En effet, la gêne occasionnée par certains appareillages dédiés à l'acquisition de données comportementales ou physiologiques du conducteur pourrait provoquer, chez celui-ci, des réactions inappropriées, notamment face à des situations inattendues. De plus, l'environnement naturel pose des problèmes de contrôle des conditions de recueil des données, notamment en termes de trafic, de conditions météorologiques, de luminosité, d'état de la chaussée, d'interactions avec les autres usagers..., qui peuvent rendre les résultats difficilement exploitables.

Enfin, dans le cadre d'expérimentations liées à la problématique de l'assistance à la conduite, il peut être nécessaire de confronter le conducteur à des situations peu fréquentes et parfois critiques qu'il n'est pas possible de générer en environnement naturel sous peine de répercussions dommageables non seulement sur le conducteur, mais aussi sur les autres usagers de la route (Chapon, Gabaude, Fort, 2006). Dans ce cas, l'alternative à la simulation est l'expérimentation sur un circuit d'essai en environnement « protégé ».

L'environnement protégé

Le circuit d'essai offre l'avantage d'être fermé à la circulation du public. Il a des configurations qui permettent la réplique de situations critiques dans des conditions de sécurité contrôlées. Dans le cas de la conduite d'un véhicule industriel, il est, par exemple, possible de tester les limites de renversement d'un camion en utilisant un véhicule spécialement équipé. Le contexte de conduite est moins écologique qu'en environnement naturel, en revanche, certaines conditions, largement aléatoires en environnement naturel, peuvent être plus facilement standardisées (trafic, interactions, infrastructure). De plus, un circuit d'essai offre la possibilité de recréer des situations spécifiques, telles que l'apparition d'obstacles sur le parcours (Collet et al., 2005). Enfin, le circuit permet la réplique (presque parfaite) des conditions expérimentales pour chaque conducteur.

Simuler pour concevoir et évaluer

La simulation sur ordinateur a débuté dès les années 50 avec un système de surveillance de l'espace aérien américain qui reposait sur un réseau d'énormes ordinateurs. En 1961, dans le domaine de l'aéronautique, le simulateur de Mirage de la société LMT fut le premier à être entièrement transistorisé. Il a ouvert la voie de l'ère électronique, annonciatrice de l'ère numérique grâce à la mise en œuvre des techniques informatiques. C'est vers la fin des années 70, aidée par la baisse des coûts de l'informatique, que la simulation commença à s'appliquer à divers domaines d'activités (Jolival, 1995).

La simulation de tâches réelles et plus particulièrement la simulation de la conduite d'un véhicule est une méthode intermédiaire entre l'observation en situation naturelle et l'expérimentation en laboratoire (Sperandio, 1995). Elle est censée offrir toutes les garanties de réalisme des situations reproduites, tant en termes physiques que psychologiques. Outre un réalisme plus ou moins poussé, la simulation (faite par maquettage, prototypage

ou sur de grands simulateurs informatisés) offre diverses qualités de flexibilité et de recueil automatique des données. La tâche simulée se prête soit à l'observation, soit à l'expérimentation.

Les équipes de recherche et développement des constructeurs automobiles et de véhicules industriels y ont recours lorsque les contraintes (économiques, techniques, de sécurité) liées à la conception et à l'évaluation d'un nouveau système ne permettent pas son installation directement sur un véhicule.

Caractéristiques des simulateurs de conduite d'un véhicule

Un simulateur de conduite est un outil qui permet d'immerger un opérateur réel, dans un environnement virtuel, par l'intermédiaire d'un poste de commandes intégré dans tout ou partie de l'habitacle du véhicule simulé. De plus, il permet les interactions entre cet opérateur et l'environnement virtuel.

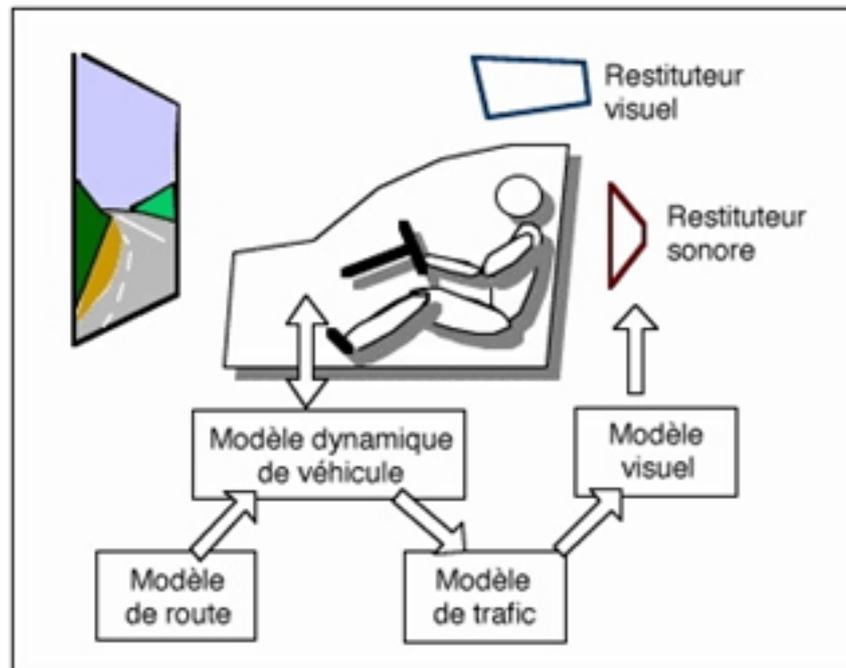
Le simulateur peut être partiel, c'est-à-dire constitué d'une partie de l'équipement d'un véhicule, comme par exemple les simulateurs de tableaux de bord, ou « pleine échelle », c'est-à-dire constitué de l'habitacle complet du véhicule. Les simulateurs « pleine échelle » représentent le stade le plus élaboré techniquement des simulateurs. Ils mettent en œuvre diverses techniques afin de recréer artificiellement des situations de conduite aussi proches que possible de la réalité, tant au niveau des systèmes, qu'au niveau de l'environnement ainsi que de l'interaction avec les autres usagers. Leur degré de fidélité physique⁵⁸ et fonctionnelle⁵⁹ permet d'en accroître la fidélité psychologique⁶⁰. La simulation de situations critiques permet de conserver la richesse des situations réelles sans mettre en danger les conducteurs, mais selon certains auteurs (de Montmollin, 1995), elle présenterait l'inconvénient de réduire les aspects émotionnels et affectifs.

Ainsi, dans un simulateur de conduite d'un véhicule routier (automobile ou camion), un conducteur réel peut piloter un véhicule virtuel dans un environnement virtuel. L'immersion du conducteur dans le monde virtuel est médiatisée grâce à un ensemble d'interfaces permettant la restitution d'informations visuelles, sonores, et, selon les modèles de simulateur (simulateur dynamique vs simulateur fixe), proprioceptives et kinesthésiques correspondant à la situation en cours ([Image 11](#)).

⁵⁸ degré de ressemblance du simulateur avec l'équipement réel

⁵⁹ degré avec lequel un simulateur réagit comme l'équipement réel

⁶⁰ La fidélité psychologique caractérise un système de simulation qui génère les caractéristiques psychologiques des opérations réelles en termes de complexité, d'habiletés perceptives, de prise de décision ou de stress.



61

Image 11 : Illustration des interactions entre conducteur et environnement simulé

Il existe une grande variété de simulateurs de conduite automobile ou de camions. Ils sont généralement classés selon deux catégories : les simulateurs à base fixe et les simulateurs à base mobile ou simulateurs dynamiques.

Les simulateurs à base fixe

Les simulateurs à base fixe sont composés d'un véhicule réel (sans le moteur) ou de la cabine d'un véhicule réel, posé sur le sol, et n'offrant aucune possibilité de déplacement physique pendant la simulation (Image 12).



Image 12 : Exemple de simulateur à base fixe, le simulateur du laboratoire de simulation de conduite de Montréal (Maincent, 2008)⁶²

⁶¹ Source : <http://www.inrets.fr/ur/msis/simus/sim2.htm>

⁶² Avec l'aimable autorisation du Professeur Bergeron, Directeur du laboratoire de simulation de conduite de l'Université de Montréal

L'illusion du déplacement dans l'environnement et de la vitesse du véhicule est alors uniquement assurée par le défilement des images virtuelles sur différents écrans en nombre et taille variables. Ces images peuvent être générées par ordinateur ou vidéo projetées, elles sont fonction des actions du conducteur sur les commandes « réelles » pour déplacer le véhicule virtuel dans l'environnement. Ce type de simulateur ne permet pas la restitution des accélérations latérales ou longitudinales. En revanche, les retours haptiques au niveau des commandes (volant et pédales) sont généralement assurés pour donner au conducteur la sensation d'une rétroaction « habituelle » du véhicule. De plus, les informations sonores correspondant au régime du moteur ainsi que celles provenant du croisement d'autres véhicules ou d'éléments fixes de l'environnement permettent d'améliorer l'immersion du conducteur dans l'environnement virtuel.

Dans la catégorie des simulateurs à base fixe on trouve aussi ce qu'il est convenu d'appeler des « mini-simulateurs à base fixe » (Chapon, Gabaude et Fort, 2006, [Image 13](#)).

Ils présentent les mêmes caractéristiques fonctionnelles que les simulateurs fixes « pleine échelle », en revanche le poste de conduite n'est pas intégré dans un habitacle, et les écrans permettant l'affichage de la scène routière sont plus petits. Leur principal avantage réside en un encombrement réduit, une facilité de déplacement et un coût réduit. dans le domaine des conducteurs routiers professionnels, on pourrait envisager de transporter ce genre de simulateur sur un parking routier, ce qui permettrait d'avoir des échantillons expérimentaux beaucoup plus importants en nombre et plus variés en typologie de conducteurs.



Image 13 : le simulateur F2100R de l'INRETS (Chapon et al., 2006)

Les simulateurs dynamiques



Image 14 : Simulateur dynamique SHERPA du LAMIH-CNRS à gauche⁶³
et Simulateur dynamique de camion de Renault Trucks à droite

Les simulateurs dynamiques (à base mobile) sont composés d'un véhicule réel ou de la cabine d'un véhicule réel (pour les simulateurs de camion) fixé(e) sur une plateforme mobile à six degrés de liberté (Image 14). Les mouvements de la plate forme, en stimulant les récepteurs tactilo-kinesthésiques et vestibulaires du conducteur (Chapon, Gabaude, Fort, op. cité), permettent de lui renvoyer des informations proprioceptives simulant les accélérations latérales et longitudinales. Ces informations, associées aux informations visuelles, sonores et haptiques décrites précédemment, renforcent l'illusion de mouvement du véhicule, nécessaire au réalisme psychologique du simulateur.



Image 15 : Simulateur sur rail de Toyota (Navarro, 2008)
à gauche ; National Advanced Driving Simulator (NADS),⁶⁴
University of Iowa's Oakdale Research Park à droite

Par ailleurs, il existe des modèles de simulateur de conduite dont la plateforme à six degrés de liberté est elle-même posée sur des rails (Image 15). Cette configuration, grâce à la vitesse variable de déplacement sur les rails, associée aux mouvements de la plateforme mobile, permet la restitution de plus fortes et plus durables accélérations.

Avantages des simulateurs de conduite

⁶³ Source : http://www.univ-valenciennes.fr/simulateur_sherpa/Site/simulateur.html

⁶⁴ Source : <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/departments/nrd-12/NationalAdvancedDriverSimulator.html>

Les simulateurs de conduite paraissent des outils expérimentaux pertinents pour l'évaluation de systèmes d'assistance à la conduite. Comparativement aux expérimentations effectuées en environnement naturel, les avantages offerts par la simulation de conduite peuvent se définir selon trois aspects majeurs : la *spécificité*, la *reproductibilité* et la *sécurité*.

La simulation de conduite permet de confronter les conducteurs à des situations spécifiques dans un minimum de temps. C'est notamment le cas d'un certain nombre de situations critiques ou limites, dont l'étude est nécessaire malgré de rares occurrences en environnement naturel. Citons par exemple le roulage sur tous les types d'infrastructure pouvant favoriser le renversement d'un camion. Si ces infrastructures sont effectivement toutes présentes en environnement naturel, il peut être difficile de trouver le parcours idéal, les regroupant toutes, sur une distance limitée et avec une occurrence significative pour l'interprétation des observations. De plus, les expérimentations sur simulateur permettent d'adapter les comportements des mobiles évoluant dans l'environnement en fonction des comportements du conducteur. Il est ainsi possible, par exemple, de faire traverser un piéton à un endroit donné du parcours en fonction de la position du véhicule-cible⁶⁵. Ce type de situation est reproductible pour chaque sujet dans le sens où, quelle que soit la vitesse ou le comportement du conducteur du véhicule-cible, le piéton traversera toujours au « bon » moment devant le véhicule. Ainsi,

La simulation de conduite permet le contrôle des variables liées aux conditions de conduite et la reproductibilité des situations.

Ce contrôle des variables rend les simulateurs de conduite particulièrement adaptés aux études comparatives pour lesquelles un seul facteur peut être manipulé tandis que les autres sont maintenus constants. Il permet aussi la répétition des scénarii à l'identique pour tous les conducteurs.

Dernier avantage majeur de la simulation de conduite, mais non le moindre, est la possibilité d'exposer les conducteurs à des situations critiques et ce, dans des conditions parfaites de sécurité, non seulement pour le conducteur, mais, bien évidemment, pour l'environnement et les autres usagers. Les situations remarquables qu'il n'est pas possible de provoquer en environnement naturel, sont, dans le cas d'un véhicule industriel, les situations de renversement du véhicule et les situations d'interaction avec des piétons. Cet avantage des simulateurs, en termes de sécurité, permet ainsi les études plus spécifiques sur les effets de certaines drogues⁶⁶ sur le conducteur (Richer, Bergeron, 2008 ; Bergeron et al., 1999), les effets de l'âge ou de certaines maladies, ainsi que toutes les études qui relèvent du domaine de l'attention ou de la vigilance (Thiffault, Bergeron, 2003).

Inconvénients des simulateurs de conduite

Les inconvénients liés aux simulateurs à base fixe relèvent essentiellement de l'absence de retours proprioceptifs qui induit une incohérence importante entre le ressenti « physique » et la perception visuelle du mouvement. Cette incohérence diminue le réalisme psychologique de la simulation et semble favoriser le « mal du simulateur », apparenté au mal des transports

⁶⁵ En simulation de conduite, le véhicule-cible est le véhicule virtuel piloté par le conducteur réel.

⁶⁶ Alcool, psychotropes...

En revanche, bien que les simulateurs dynamiques actuels soient très performants, notamment du point de vue de la réalité virtuelle (immersion du conducteur dans des scènes réalistes et possibilités d'interaction avec les éléments virtuels), ils restent néanmoins critiquables sur certains points. Les remarques portent essentiellement sur la restitution des accélérations, sur les limites liées à l'affichage des images virtuelles et sur l'incohérence entre l'éclairage de la scène routière et celui de l'environnement extérieur au véhicule.

Du point de vue de la dynamique du simulateur, la restitution des accélérations reste partielle. En effet, l'accélération simulée est toujours inférieure à l'accélération réelle, ce qui peut induire des différences perceptives entre la situation réelle (accélération perçue par les stimulations proprioceptives) et la situation simulée (accélération perçue par les stimulations visuelles et auditives). L'incohérence entre les messages issus de ces différents systèmes sensoriels peut conduire à l'apparition du « mal du simulateur ». Ce symptôme est favorisé par la complexité de l'environnement, la durée du protocole expérimental et la nature des tâches exigées. De plus, les systèmes de restitution des images virtuelles présentent encore des limites techniques notamment en termes de rafraîchissement et de scintillement des images ainsi qu'en termes de graphismes au niveau des mobiles (autres véhicules et usagers vulnérables). Enfin, la différence entre la luminosité de la scène routière, notamment quand les scénarii sont censés se dérouler de jour⁶⁷, et la luminosité de la salle dans lequel le simulateur est installé⁶⁸, engendre une incohérence perceptive qui peut renforcer la sensation d'être dans un environnement artificiel.

Ces divers inconvénients défavorisent le réalisme psychologique du simulateur et posent la question de la validité écologique des résultats. Néanmoins, en pratique, le simulateur demeure un excellent outil de recherche, qui permet d'étudier le comportement humain, en situation critique, et dans des conditions parfaites de sécurité. Les variables peuvent être aisément contrôlées et les situations sont facilement reproductibles. Enfin, du point de vue des systèmes d'assistance à la conduite, le simulateur permet de tester, à moindre frais, différentes solutions, tant en termes de stratégies d'assistance que d'Interfaces Homme-Machine.

SCOOP, le simulateur de conduite de Renault Trucks

Cette section est consacrée à la présentation du simulateur dynamique de camion sur lequel nous avons évalué les divers systèmes et interfaces proposés dans les deux parties expérimentales.

Le simulateur dynamique de conduite SCOOP (Simulateur de Conduite et d'Objectivation des Prestations) est un modèle de véhicule interactif dans lequel le conducteur est totalement immergé dans un environnement routier virtuel ([Image 16](#)).

⁶⁷ Ce qui est le cas d'une grande majorité des conditions expérimentales

⁶⁸ Nécessité d'être dans le noir pour favoriser la visibilité de la scène projetée et l'immersion du conducteur



Image 16 : Environnement virtuel du SCOOP

Le SCOOP est composé d'une cabine de camion interchangeable, montée sur une plate-forme dynamique à 6 degrés de liberté (Image 17).



Image 17 : Plate-forme dynamique du SCOOP
(Cabine Renault MIDLUM du projet VIVRE2)

Les logiciels de simulation et les systèmes de projection visuelle de la scène routière permettent l'immersion du conducteur dans différentes conditions de conduite en termes d'infrastructures routières, de trafic, de conditions d'éclairage, de type de véhicule (porteur, tracteur solo, ensemble articulé, citerne...), de motorisation et de chargement (liquides, charges suspendues...). Quatre composants principaux structurent l'outil : la

plate-forme dynamique, le poste de conduite (*Image 18*), l'environnement virtuel, et les logiciels de simulation.



Image 18 : Poste de conduite du SCOOP (cabine Volvo FH12)

L'ensemble est complété par une salle de commande dans laquelle sont installés les ordinateurs qui permettent le paramétrage, la commande à distance et le contrôle des simulations en temps réel (*Image 19*).



Image 19 : Salle de commande de SCOOP2

La plate-forme dynamique

Les six axes de mouvement de la plate-forme sont pilotés par des actionneurs électromécaniques qui peuvent produire des accélérations pouvant atteindre 0,5 g pour un déplacement linéaire maximum (longitudinal, latéral et vertical) de 40 cm et une inclinaison de 20°. De plus, la plate-forme peut restituer des vibrations allant de 0 à 8 Hz au niveau de la cabine et de 8 à 40 Hz au niveau du siège. Ces caractéristiques permettent de simuler la majeure partie des stimuli kinesthésiques engendrés par la dynamique d'un camion en condition normale de conduite sur route. Cependant, pour des raisons d'incohérence cognitive entre les vibrations ressenties au niveau du siège et les vibrations ressenties au niveau de la cabine⁶⁹, le responsable du simulateur⁷⁰ a désactivé le système de vibrations du siège.

Le poste de conduite

La cabine du SCOOP est équipée de toutes les commandes opérationnelles d'un camion : volant, levier de vitesses (18 vitesses, quand la boîte de vitesse simulée est manuelle), pédales (embrayage, accélérateur et frein), frein de parc, clignotant, commande d'allumage des phares, avertisseur sonore. Ces commandes sont connectées au tableau de bord et des systèmes de retour d'effort sont couplés au volant, au levier de vitesses et aux pédales de manière à simuler les retours haptiques appropriés à la situation. Diverses commandes et systèmes d'affichage peuvent être ajoutés et connectés au système en fonction des objectifs poursuivis. Par exemple, pour le projet CEA, un écran spécifique permettant de simuler plusieurs types d'affichage a été fixé sur le tableau de bord d'origine (chapitre [Erreur : source de la référence non trouvée](#), p. 223).

L'enregistrement du comportement observable du conducteur est assuré par l'intermédiaire de quatre micro-caméras discrètes installées à divers endroits de la cabine. Il est possible, par exemple, de filmer simultanément et d'afficher, en temps réel, sur un même écran, l'orientation des regards du conducteur, ses actions sur le levier de vitesses, ses actions sur les pédales, et la scène routière ([Image 20](#)).



⁶⁹ Les spectres naturels ne sont pas abrupts : une vibration à 7 Hz, si elle n'est pas purement sinusoïdale, comporte des harmoniques aux fréquences multiples 14, 21, 28, 35... Hz (Fourier), et les transitoires (chocs) sont encore plus riches. D'autre part, un battement entre fréquences f_1 et f_2 engendre une fluctuation perçue ayant pour fréquence la différence, assez basse si f_1 et f_2 sont proches. On peut donc supposer que le simulateur présente une mauvaise corrélation des deux types de son (L. Frécon, 2010, notes personnelles).

⁷⁰ A cette occasion nous tenons à remercier Philippe Crave, responsable du SCOOP chez Renault Trucks, pour l'aide et les conseils qu'il nous a apportés lors de cette étude. et Yann Crenne (ADENEO), « pilote » chevronné et incontestable de la simulation de conduite.

*Image 20 : Vue intérieure du poste de conduite du SCOOP
et exemple d'images enregistrées à l'aide des micro-caméras*

Ces caméras peuvent être orientées différemment en fonction de l'objectif de l'étude en cours, et peuvent, au besoin, être déplacées. Enfin, un microphone est fixé sur le pavillon de la cabine afin d'enregistrer les verbalisations du conducteur et de permettre la communication éventuelle de consignes expérimentales pendant la conduite.

En fonction des objectifs expérimentaux, divers équipements peuvent être ajoutés dans la cabine : oculomètre, acquisition des paramètres neurophysiologiques du conducteur (fréquence cardiaque, réponses électrodermales, etc.)...

L'environnement virtuel

Le conducteur est immergé dans un environnement routier virtuel par l'intermédiaire de trois écrans qui assurent une vision frontale de 200°, et de deux écrans pour les visions arrière, droite, et gauche des rétroviseurs latéraux. Le simulateur assure la restitution, en trois dimensions, de sons extérieurs ou intérieurs à la cabine (moteur, effet Doppler, aérodynamisme, avertisseur sonore, etc.). Divers environnements routiers sont disponibles avec des infrastructures variées (environnements urbains, ruraux, autoroutiers).

Le logiciel de simulation

Pour construire et appliquer ses scénarii, le SCOOP utilise un logiciel de simulation développé par la société OKTAL, le SCANeR II[®]. Ce logiciel est un environnement modulaire dédié à la simulation de la conduite d'un véhicule, automobile ou camion, dont le protocole de communication repose sur plusieurs modules :

- Le module « Modèle de véhicule interactif », permet l'acquisition des données de sortie au niveau des commandes (pédales, volant, levier de vitesse, etc.) et le retour d'information de ces données dans la cabine (tableau de bord, régime moteur, vitesse, etc.). Ce module génère aussi les stimuli kinesthésiques qui simulent la dynamique du véhicule par l'intermédiaire de la plate-forme.
- Le module « Visuel » permet la génération d'images et leur affichage sur les différents écrans du simulateur pour recréer un environnement graphique cohérent pour le conducteur.
- Le module « Trafic » permet la création simultanée de plus de cent véhicules autonomes dans l'environnement. Ces véhicules respectent la signalisation et les autres véhicules présents. Divers paramètres sont programmables (vitesse maximum, distances de sécurité, itinéraire, etc.) et peuvent être changés en temps réel pendant la simulation.
- Le module « Carto », gère l'affichage et le contrôle du trafic programmé, l'affichage des paramètres du véhicule et offre la possibilité de changer les paramètres du trafic.
- Le module « Son », permet de restituer les bruits externes tel que l'effet Doppler, et les bruits du moteur, de l'avertisseur sonore, etc.
- Le module « Scénario », est utilisé pour la définition, la mise en œuvre et l'évaluation de divers scénarii de simulation.
- Le module « Exploitation » permet l'affichage, l'enregistrement et le traitement des données programmées lors du montage de la simulation.

L'ensemble de ces composants fait, du SCOOP, un outil performant pour la simulation de situations de conduite d'un poids lourd. Il offre l'avantage de proposer des situations

expérimentales proches du réel dont toutes les variables sont contrôlées, même si la question de la fidélité psychologique de l'outil reste à résoudre (Auboyer, 2005), de même que les problèmes de « mal du simulateur ».



De l'environnement naturel au simulateur dynamique de conduite pour revenir à la situation réelle, il nous semble que la démarche de conception et d'évaluation de systèmes d'aide à la conduite doit s'articuler en trois phases.

La première phase, qui s'appuie sur l'analyse de l'activité du conducteur, permet généralement de préciser le contexte d'application des systèmes étudiés, d'analyser les stratégies des conducteurs dans les situations que le système se propose d'assister et de prendre connaissance des besoins et attentes des utilisateurs quant à la problématique étudiée. En fonction des objectifs de la recherche, ces analyses peuvent revêtir deux formes distinctes.

- Soit elles sont effectuées en « embarquant », en tant qu'observateur, au côté des conducteurs, sur leur véhicule et sur leurs trajets habituels, sans instrumentation spécifique ;
- Soit elles sont effectuées sur un véhicule d'expérimentation commun à tous les conducteurs, plus ou moins instrumenté et sur un trajet prédéfini.

Ces deux méthodes peuvent être appliquées dans une même démarche de recherche, les analyses en situation d'activité habituelle servant alors à situer et préparer les observations sur véhicule d'expérimentation (cf. projet CEA, troisième partie, chapitres et).

La seconde phase est celle des mises en situation sur simulateur. Elle semble incontournable pour tester des systèmes innovants qui n'ont pas encore de support physique, et pour lesquels il existe différents choix possibles en termes de stratégies et d'interfaces (cf. projets CEA, chapitre et VIVRE2, chapitre). De fait, le simulateur permet tout autant de tester des concepts que d'évaluer des produits. Cette phase peut être scindée en plusieurs étapes itérables jusqu'à la proposition d'un produit prêt à être développé sous forme de prototype.

La troisième phase est celle de l'évaluation du prototype à plus ou moins grande échelle. Elle doit absolument être effectuée en situation réelle, dans les conditions habituelles de l'activité des conducteurs et sur une période suffisamment longue. Cette phase doit permettre la validation du produit du point de vue de l'utilisateur avant la phase finale de développement et de commercialisation.

Les deux premières phases relèvent du domaine de la recherche et s'entendent dans une démarche de développement à plus ou moins long terme. La troisième phase relève du domaine de la validation et, bien qu'elle nous semble faire partie intégrante de la démarche globale de conception d'un système, il n'est pas rare qu'elle soit dissociée de la recherche initiale. C'est notamment le cas pour les travaux qui font l'objet de cette thèse et pour lesquels seules les deux premières phases ont pu être appliquées.

L'évaluation de la charge de travail

Quel est l'effet de la charge de travail résultant de l'activité de conduite sur le fonctionnement cognitif et les comportements du conducteur routier ? Aborder cette dimension méthodologique nous semble pertinent dans la mesure où la charge de travail occupe une position centrale dans notre modèle, non seulement comme conséquence de l'activité sur le conducteur mais aussi en tant que dimension pouvant intervenir dans la régulation de son activité de conduite.

De nature multidimensionnelle, et d'importance variable, la charge de travail est influencée et modulée par de nombreux facteurs externes ou relatifs à l'individu. Elle semble pouvoir être évaluée de manière subjective en faisant appel au ressenti de l'individu et de manière plus objective grâce à l'enregistrement de variables psychophysiologiques du fonctionnement de son système nerveux autonome (Collet, Averty, Dittmar, 2009, Collet et al., 2003).

Complexité de l'évaluation de la charge de travail

L'évaluation de la charge de travail fait partie des critères ou des indicateurs qui expriment les effets du fonctionnement sur le travailleur lui-même c'est à dire l'astreinte imposée à l'organisme. Cette astreinte est l'ensemble des conséquences de la contrainte sur l'opérateur (Sperandio, 1988). Elle dépend directement de l'activité mise en jeu pour répondre à la contrainte, en fonction des circonstances et des caractéristiques individuelles, et peut être d'ordre physiologique et/ou psychologique.

D'une manière générale, la charge de travail ne peut être déduite directement des exigences ou contraintes objectives du travail, des individus différents étant susceptibles de répondre différemment aux mêmes contraintes (Sperandio, op. cité). Ainsi, le sentiment de charge, qui joue vraisemblablement un rôle important dans le processus de régulation de l'activité (Hart et Staveland, 1988), ne doit pas être négligé, d'où l'intérêt des indicateurs subjectifs issus du sentiment de charge (questionnaires, entretiens, échelles d'auto estimation de la charge de travail...).

Toutefois, plusieurs inconvénients inhérents à l'évaluation subjective de la charge de travail ont été relevés : ce serait essentiellement la charge imposée à la mémoire immédiate ainsi que l'effort conscient fourni par le sujet qui se reflèteraient dans les estimations ; de plus, les mesures subjectives ne seraient sensibles que pour des niveaux de charge relativement bas et seraient affectées par la durée de la tâche ; enfin, les évaluations subjectives ne fournissent qu'une mesure globale pour l'ensemble de la tâche, elles ne permettent donc pas de discriminer des variations fines ou continues liées à des événements spécifiques.

Les autres indicateurs pertinents de charge de travail (Sperandio, 1980, 1988) sont issus des modalités de régulation de l'activité (méthodes de travail), de l'interaction organisme-environnement (performance...) et du fonctionnement de l'organisme (mesure de la fréquence cardiaque, de la tension artérielle, dosages hormonaux dans différents fluides biologiques...). A ces facteurs il convient d'ajouter l'analyse des variations du comportement opératoire (variations des stratégies opératoires en fonction de l'augmentation des contraintes de travail). Dans le cas de la conduite d'un véhicule, ces variations pourraient être relevées par l'analyse des erreurs de conduite ainsi que par le relevé des données comportementales du conducteur – médiatisées par ses actions sur les commandes du véhicule (actions sur les pédales de frein et d'accélération, sur le volant, sur les avertisseurs sonores et lumineux...).

L'évaluation subjective de la charge de travail

Bien que les techniques d'évaluation de la charge de travail soient nombreuses, il apparaît que les estimations subjectives sont les méthodes les plus couramment utilisées et qu'elles servent bien souvent de critère de base auquel les autres mesures sont comparées (Hart et Staveland, op. cité).

Compte tenu du cadre opérationnel de nos travaux, les échelles basées sur l'auto-évaluation de la charge de travail par le conducteur lui-même nous semblent être les plus pertinentes, tant du point de vue de la fiabilité de l'outil que d'un point de vue pratique. De fait, ces méthodes présentent des avantages indéniables, notamment en termes de coût, de rapidité de passation et de non interférence avec l'activité dans la mesure où le questionnaire est administré à la fin de chaque tâche. Après avoir rapidement exposé, les quelques échelles que nous avons envisagées pour l'étude de composante mentale de la charge de travail en environnement dynamique, nous présenterons l'outil que nous avons finalement retenu pour la suite de nos travaux : le NASA Task Load index (NASA TLX), qui présente l'avantage de prendre en compte l'aspect multidimensionnel de la charge de travail ressentie.

La Subjective Workload Assessment Technique (SWAT)

La SWAT, destinée à l'évaluation de la charge mentale, est une échelle d'intervalles qui combine les évaluations issues de trois dimensions différentes (Tableau 4).

Tableau 4 : Les échelles de la SWAT (traduit d'après Potter et Bressler, 1989)

Charge temporelle
1. Beaucoup de temps morts. Peu ou pas du tout d'interruptions ou de chevauchement des activités. 2. Des temps morts occasionnels. De fréquentes interruptions ou chevauchements des activités. 3. Presque jamais de temps morts. Les interruptions ou chevauchements des activités sont fréquents ou arrivent continuellement.
Charge d'effort mental
1. Un très petit effort mental, conscient et nécessaire. L'activité est presque automatique, nécessitant peu ou pas d'attention. 2. Un effort mental conscient et modéré est nécessaire. La complexité de l'activité est modérément élevée en raison de son caractère incertain, imprévisible ou peu familier. Une attention considérable est nécessaire. 3. Un énorme effort mental et de concentration est nécessaire. Activité très complexe nécessitant une attention totale.
Charge de stress psychologique
1. Petite confusion, risque, frustration ou anxiété qui peuvent être facilement maîtrisés. 2. Stress modéré dû à la confusion, la frustration ou l'anxiété qui s'ajoute de façon notable à la charge de travail. Une compensation significative est nécessaire pour maintenir la performance adéquate. 3. Stress élevé à très intense dû à la confusion, la frustration ou l'anxiété. Une détermination élevée ou extrême et un self-control important sont nécessaires.

La passation se fait en deux temps : les sujets doivent ordonner 27 combinaisons des propositions contenues dans le tableau ci-dessus sur trois niveaux de charge (faible, moyen, élevé) en fonction de leur définition personnelle de la charge mentale (Reid, Eggemeier et Nygren, 1982). De plus, on leur demande d'évaluer le niveau d'intensité (faible, moyen ou élevé) de chacun des trois facteurs de charge à la fin de chaque tâche. Une technique d'analyse est ensuite appliquée, en combinant les valeurs obtenues, pour produire une

échelle d'intervalles qui servira de référence permettant d'évaluer la charge globale évaluée par un sujet pour une activité donnée.

Bien qu'intéressant sur le fond, ce processus d'évaluation nous semble complexe et fastidieux. Il ne prend en compte qu'une partie des facteurs intervenant dans la charge de travail. De plus, contrairement au NASA TLX pour lequel nous avons communiqué directement avec l'un des auteurs (Staveland), nous n'avons pu avoir accès à la technique d'analyse permettant la production d'un résultat. Enfin, certains auteurs ont remarqué que la SWAT n'était pas aussi sensible que le NASA TLX, ni aussi bien acceptée, notamment par les opérateurs de l'US Air Force (Gawron, 2000).

La Cooper-Harper Modifiée (MCH)

La MCH se présente sous la forme d'un arbre de décision (Figure 17). Elle a été développée pour l'estimation de la charge mentale associée aux fonctions cognitives telles que la perception, le contrôle, l'évaluation, les communications et les résolutions de problème. Elle est particulièrement adaptée à l'évaluation de la charge prescrite en situation expérimentale.

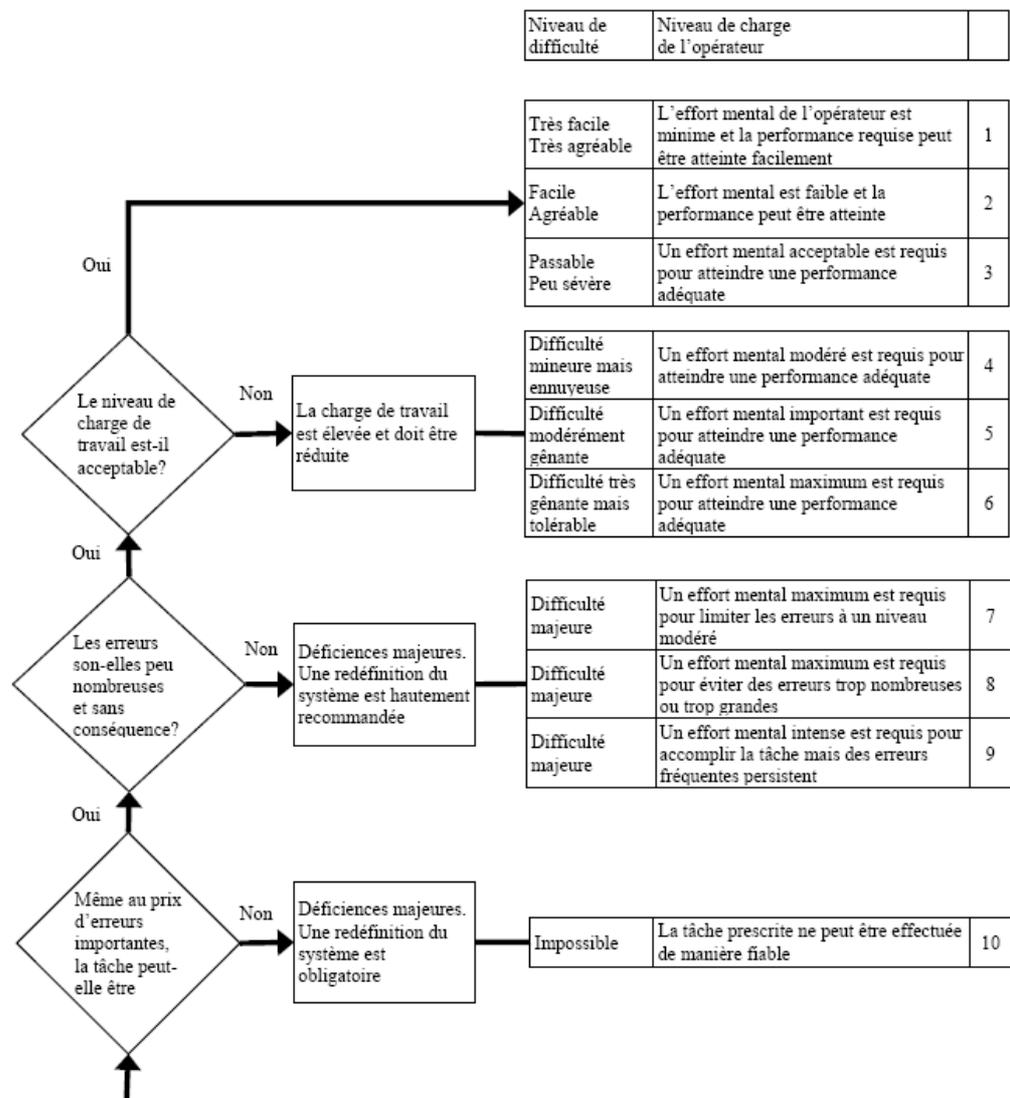


Figure 17 : Echelle de Cooper-Harper Modifiée (traduit d'après Gawron, 2000)

Plusieurs travaux ont montré que la MCH fournissait une évaluation intéressante de la charge globale. Néanmoins, elle ne semble pas aussi sensible ni aussi bien acceptée par les opérateurs que d'autres échelles de charge globale, dont le NASA TLX (Gawron, op. cité). De plus, elle est conçue pour évaluer des tâches précises et ne semble pas adaptée aux activités globales. La MCH ne nous semble donc pas pertinente pour l'activité de conduite d'un véhicule.

Le NASA Task Load index (NASA TLX)

Le NASA TLX est une méthode multidimensionnelle qui permet l'évaluation subjective de la charge de travail globale. Développé au NASA AMES RESEARCH CENTER par Hart et Staveland (1988), cet outil a été testé dans diverses conditions expérimentales : lors de simulations de vol, de simulations de contrôle de processus, ainsi que dans différentes tâches en laboratoire (tâches de calcul mental, d'imagerie mentale, d'acquisition de cible, de raisonnement grammatical, etc.).

La technique prend en compte plusieurs dimensions indépendantes que les sujets doivent évaluer en fonction de leur ressenti (Tableau 5). Les trois premières dimensions représentent les contraintes imposées au sujet par la tâche (exigences physique, mentale et temporelle) et les trois autres rendent compte des interactions du sujet avec la tâche (performance, effort et frustration).

Tableau 5 : Les échelles du NASA TLX (traduit et adapté d'après Hart et Staveland, 1988)

Titre	Descripteurs	Descriptions
Exigence Mentale	De Faible à Elevée	Quelle a été l'importance de l'activité mentale et intellectuelle requise (ex. réflexion, décision, calcul, mémorisation, observation, recherche etc.) ? La tâche vous a-t-elle paru simple, nécessitant peu d'attention (faible) ou complexe, nécessitant beaucoup d'attention (élevée) ?
Exigence Physique	De Faible à Elevée	Quelle a été l'importance de l'activité physique requise (ex. pousser, porter, tourner, marcher, activer, etc.) ? La tâche vous a-t-elle paru facile, peu fatigante, calme (faible) ou pénible, fatigante, active (élevée) ?
Exigence Temporelle	De Faible à Elevée	Quelle a été l'importance de la pression temporelle causée par la rapidité nécessitée pour l'accomplissement de la tâche ? Etait-ce un rythme lent et tranquille (faible) ou rapide et précipité (élevé) ?
Performance	De Bonne à Mauvaise	Quelle réussite pensez-vous avoir eu dans l'accomplissement de votre tâche ? Comment pensez-vous avoir atteint les objectifs déterminés par la tâche ?
Effort	De Faible à Elevé	Quel degré d'effort avez-vous dû fournir pour exécuter la tâche demandée, (mentalement et physiquement) ?
Frustration	De Faible à Elevé	Pendant l'exécution du travail vous êtes-vous senti satisfait, relaxé, sûr de vous (niveau de frustration faible), ou plutôt découragé, irrité, stressé, sans assurance (niveau de frustration élevé) ?

Les sujets doivent évaluer l'amplitude de chacun des six facteurs de charge sur des échelles bipolaires (cf. descripteurs, [Tableau 5](#)). Ensuite, ils pondèrent ces six facteurs suivant une procédure de comparaison par paires (soit 15 paires à évaluer). La technique de calcul permet d'identifier les sources de charge de travail, spécifiques et pertinentes pour une tâche donnée. Leur importance est prise en compte dans le calcul d'un taux global de charge. La méthode associe l'information sur ces différents facteurs de charge, tout en réduisant les sources de variabilité interindividuelle qui ne sont pas pertinentes et en faisant ressortir celles qui le sont. La passation, simple et rapide, peut s'effectuer à la fin de chaque tâche ou partie significative de l'activité selon la procédure d'expérimentation retenue.

Forces et limites de la technique

Les estimations subjectives sont généralement considérées comme des outils comportant des biais indésirables et représentant la pratique discréditée de l'introspection. Néanmoins, il apparaît que les biais observés dans les mesures globales de la charge de travail, de même que ceux observés dans les évaluations subjectives des autres facteurs intervenants, peuvent en fait refléter des processus cognitifs intéressants et importants. Hart et Staveland (1988) ont ainsi identifié au moins cinq sources de variabilité :

1. Des variations de l'importance objective et subjective de différents attributs de la charge de travail pour des tâches différentes,
2. Des variations expérimentales de l'amplitude des différents facteurs,
3. Des différences dans les règles avec lesquelles les individus associent l'information issue de la tâche, leur propre comportement et les réponses psychologiques à la tâche dans les expériences subjectives de charge de travail,
4. Des difficultés associées à la traduction d'une expérience subjective en une évaluation formalisée,
5. Enfin, un manque de sensibilité aux manipulations expérimentales.

Toutefois, l'expérience subjective de charge de travail représente l'interaction entre les exigences objectives de la tâche et chaque réponse de l'individu à ces exigences. Ainsi, les sources de variabilité non contrôlées sont nécessairement prises en compte. Les différences dans la charge de travail associées à la composition spécifique de la tâche et à ses contreparties psychologiques peuvent être identifiées au travers de comptes-rendus subjectifs concernant des activités spécifiques. Cette information est comprise dans la méthode d'évaluation multidimensionnelle proposée. Le NASA TLX, sous forme de pondérations, s'applique à la mesure de facteurs de charge spécifiques. Les deux dernières sources de variabilité, celles qui ont trait aux problèmes psychométriques et de sensibilité, restent probablement des variables indésirables et non contrôlées. Cependant, la prise en compte des facteurs pondérés, des échelles mises au point et des tâches de référence, semble apporter une amélioration suffisante pour la sensibilité et la stabilité du test. Les autres sources de variabilité peuvent alors n'être considérées que comme du « bruit », sans pour autant compromettre l'utilité de cette mesure subjective en tant que source d'information pratique et significative sur la charge de travail.

A partir de toutes les informations recueillies grâce aux analyses initiales de la base de données d'origine, ainsi qu'à celles de la série d'expérimentations incluses dans l'étude de validation, il apparaît que le NASA TLX est plus sensible aux manipulations expérimentales de la charge de travail, que, soit une mesure globale, soit une combinaison pondérée de sous-échelles. De plus, chacune des six dimensions s'est révélée être une source primaire de charge dans au moins une condition expérimentale et a contribué à la charge

de travail des autres. De même, chaque facteur a été en mesure de fournir une information indépendante sur la structure des différentes tâches. Ainsi, le NASA TLX fournit une information supplémentaire sur les tâches, que ne fournissent pas la SWAT ou l'échelle en neuf facteurs préalablement envisagée (Maincent, 2001).

Les mesures du NASA TLX peuvent être obtenues rapidement, il faut moins d'une minute pour obtenir des opérateurs les six taux après chaque condition expérimentale. De plus, il ne leur faut pas plus de deux minutes pour fournir les pondérations pour chaque type de tâches. Ainsi, ce test multidimensionnel semble un outil pratique à utiliser en environnement opérationnel et dont l'analyse des données est plus facile à accomplir que pour la SWAT (qui nécessite un programme d'analyse spécifique associé au test).

La combinaison pondérée des facteurs fournit un indicateur sensible de score global de charge de travail et permet de distinguer différentes tâches et différents niveaux à l'intérieur de chaque tâche. Les pondérations et l'amplitude des mesures des échelles individuelles fournissent quant à elles une information diagnostique importante sur la source spécifique de charge à l'intérieur de la tâche.

Parmi les nombreuses études et recherches qui ont porté sur le NASA TLX ou qui l'ont utilisé en tant que méthodologie principale ou associée à d'autres techniques, Gawron (2000) a relevé quelques résultats qui illustrent selon différents aspects les forces et limites de la méthode.

De manière générale, le NASA TLX est une méthode très largement utilisée aux Etats Unis, dans l'aérospatiale, dans l'aviation civile et militaire, dans le cadre du contrôle aérien et dans de nombreuses études sur les activités dynamiques de l'opérateur humain.

Appliqué à la conduite automobile, MacNeil (1994) a utilisé le NASA TLX pour étudier la charge mentale des conducteurs en environnement urbain dynamique. Elle a rajouté trois échelles pertinentes pour l'étude : sécurité, contrôle et orientation, et le NASA TLX a été suffisamment sensible pour différencier les quatre conditions expérimentales. L'auteur en a conclu que l'utilisation du NASA TLX pour le développement de critères ergonomiques d'évaluation de nouvelles technologies semble tout à fait pertinente et plus particulièrement dans le cadre de l'évaluation des effets des développements technologiques sur la conduite automobile

En France, il est principalement employé dans le contrôle aérien (Averty, 1998 ; Farbos et al., 1998) sous sa version originale américaine. Il a été utilisé en version française pour évaluer la charge de travail d'opérateurs de centrale nucléaire (Maincent, Martin, Van Box Som, 2005), et l'INRETS en a élaboré une version dérivée pour l'évaluation de la charge mentale engendrée par les tâches de conduite automobile : le « Driving Activity Load Index ou D.A.L.I. (Pauzié et Pachiardi, 1996, [Tableau 6](#)).

Tableau 6 : Les échelles du D.A.L.I. (traduit d'après Pauzié et Pachiardi, 1996)

Titre	Descripteurs	Descriptions
Effort ou Attention	Faible/Elevé	Evaluer l'attention requise par l'activité – penser à quelque chose, décider, regarder, etc.
Exigence visuelle	Faible/Elevée	Evaluer l'exigence visuelle nécessaire pour l'activité.
Exigence auditive	Faible/Elevée	Evaluer l'exigence auditive nécessaire pour l'activité.
Exigence temporelle	Faible/Elevée	Evaluer la contrainte spécifique causée par l'exigence temporelle au cours de l'activité.
Interférence	Faible/Elevée	Evaluer la perturbation possible au cours de l'activité de conduite simultanément avec une autre tâche supplémentaire telle que téléphoner, utiliser des systèmes embarqués ou la radio, etc.
Situation stressante	Faible/Elevée	Evaluer le niveau de contrainte dû au stress pendant l'activité de conduite – fatigue, sentiment d'insécurité, irritation, découragement...

Cette échelle a été testée lors de l'évaluation de la charge mentale engendrée par l'utilisation de systèmes de guidage embarqués et de téléphone mobile mains-libres. Les résultats obtenus par le D.A.L.I. ont été confirmés par les autres données recueillies (données objectives et subjectives). L'outil est aussi utilisé pour l'étude de la charge mentale dans le cadre de l'évaluation et de la conception d'un système communiquant à commande vocale embarqué (Nathan, 2001). Ainsi, selon Pauzié et Pachiaudi (1996), le D.A.L.I., associé à des données objectives, semble un outil intéressant pour l'étude de la charge mentale en situation de conduite automobile.



Dans la mesure où l'activité de conduite fait appel à un ensemble de processus cognitifs plus ou moins automatisés, et que cette activité s'effectue dans un environnement complexe, nous avons cherché un outil qui tienne compte de toute la complexité de l'activité, mais qui, pour des raisons pratiques, soit simple d'utilisation. A nouveau nous souhaitons *simplifier la complexité*.

Nous avons donc choisi d'évaluer la charge de travail des conducteurs d'un point de vue subjectif. En effet, comme Sperandio (1988), nous pensons que, dans la mesure où l'individu est le premier concerné par les tâches qui composent son activité, il est utile de connaître son ressenti sur les facteurs intervenant dans la charge de travail. De plus, il semble que les expériences phénoménologiques des opérateurs humains affectent leur conduite ultérieure, et ainsi influencent leurs performances et leurs réponses physiologiques face à une situation. Si un individu se sent en situation de surcharge, même si les exigences de la tâche sont objectivement faibles, il peut alors adopter des stratégies appropriées à une situation de forte charge de travail, se retrouver en situation de détresse psychologique ou physiologique, ou appliquer un critère de performance moins élevé.

Ainsi, il nous semble que l'analyse psychologique et ergonomique de situations dynamiques ne peut s'effectuer sans prendre en compte le ressenti de l'opérateur, et dans la mesure du possible en associant des mesures issues d'indicateurs comportementaux à celles issues de ces évaluations subjectives. Dans le cas de la conduite d'un véhicule, ce sont, par exemple, les actions sur les commandes, la consommation ou la vitesse...

Enfin, compte tenu des avantages qu'il présente, nous avons décidé d'utiliser la version française du NASA TLX. En revanche, il nous faudra modifier la description des facteurs de charge pour l'adapter à la spécificité de la conduite d'un véhicule industriel. Ces définitions pourront varier en fonction de l'environnement dans lequel sera étudiée la charge de travail (naturel ou simulé). Les versions modifiées sont exposées dans le cadre des protocoles expérimentaux correspondants (parties 3 et 4 de ce document).

Troisième Partie Conduite rationnelle d'un véhicule industriel : Assister le conducteur pour économiser du carburant

Le projet Conduite Economique Assistée (CEA)

Cette troisième partie présente la démarche de recherche adoptée en vue de la conception d'un système d'assistance à la conduite rationnelle d'un véhicule industriel. Les études présentées ci-après ont été réalisées dans le cadre du projet CEA (Conduite Economique Assistée, 2001-2006), piloté par Renault Trucks et subventionné pour partie⁷¹ par l'ADEME⁷². Nos travaux ont fait l'objet d'un contrat de recherche, financé par Renault Trucks et géré par AUXIRBAT Recherche pour le compte du constructeur.

La réduction de la consommation des véhicules industriels, en entraînant une réduction des émissions de gaz nocifs et de gaz à effet de serre, ainsi qu'une diminution de l'émission des particules, est devenue un objectif prioritaire pour les constructeurs. En matière de conduite rationnelle d'un camion, il existe des plages de rendement optimal du moteur. Cependant, si le conducteur ne les exploite pas, volontairement ou involontairement (défaut d'attention, absence de motivation, méconnaissances, fatigue, etc.), il en résulte une consommation excessive, non seulement de carburant, mais aussi des divers composants de la chaîne cinématique (freins, pneus, boîte de vitesse). De plus, comme dans toute situation de conduite de mobile, l'anticipation est un aspect fondamental du pilotage d'un véhicule. Ainsi, il peut être judicieux de sortir un temps de la plage où la chaîne cinématique a un rendement optimal afin d'anticiper un événement pour économiser globalement du carburant et minimiser l'usure du matériel (par ex. : *prendre de l'élan avant un fort dénivelé ou lever le pied 100 m avant la rupture de pente plutôt que d'utiliser les freins*). De fait, c'est la "stratégie" mise en œuvre par le conducteur qui semble, principalement, conditionner la consommation des véhicules actuels.

Alors que, lors du démarrage du projet, la plupart des travaux existants ou en cours portaient sur l'optimisation de la machine, le projet CEA a proposé d'aborder le problème sous un angle systémique, en intégrant le profil comportemental du conducteur et la prise en compte de l'environnement routier, dans la démarche de développement d'un système permettant de diminuer la consommation des véhicules. En amont de l'optimisation de la chaîne cinématique, l'objectif du projet était le développement d'un système d'assistance adaptative à la conduite économique afin d'aider le conducteur à piloter son véhicule suivant la meilleure stratégie. Le système conçu devait répondre à plusieurs contraintes :

⁷¹ Convention ADEME n° 03 66 027

⁷² Agence pour la Défense de l'Environnement et la Maîtrise de l'Energie

- Le calculateur embarqué devait jouer le rôle d'un copilote en s'appuyant non seulement sur des données issues de l'environnement et du véhicule, mais aussi sur la connaissance des comportements et des styles de conduite des conducteurs,
- Seuls les comportements trop consommateurs devaient être corrigés,
- Le système ne devait pas perturber la conduite des conducteurs dont les comportements sont en adéquation avec les critères d'une conduite rationnelle,
- La précision des informations à présenter au conducteur ne devait pas augmenter la composante mentale de sa charge de travail,
- L'Interface Homme-Machine proposée devait être innovante.

Les travaux de l'équipe, composée d'ingénieurs, de techniciens et de psychologues, ont été organisés selon deux axes de recherche, effectués en parallèle, mais comportant de nombreux points de rencontre permettant de fusionner les résultats de chaque discipline (Figure 18).

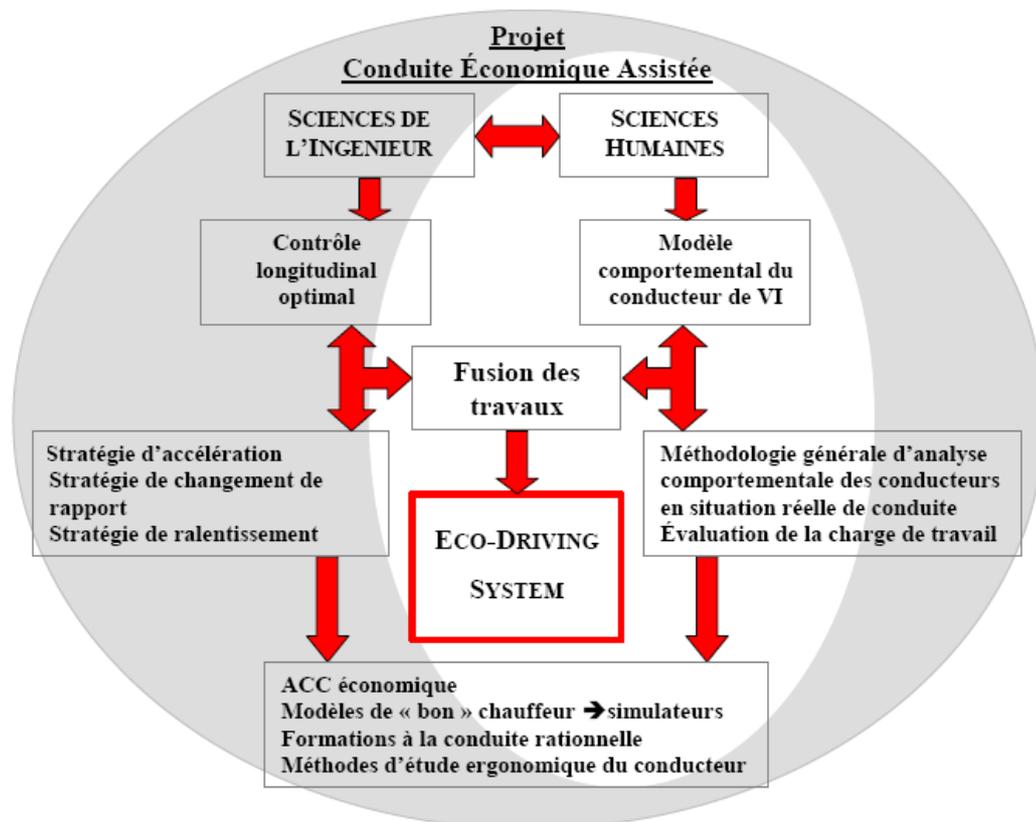


Figure 18 : Organisation générale du projet « Conduite Économique Assistée » (d'après Fornengo, 2004)

1. Le premier axe de recherche, composé d'une étude technique et théorique a été pris en charge par les ingénieurs de Renault Trucks. Il avait pour objectif la proposition de stratégies pour piloter, de façon optimale au sens économique, un véhicule donné (stratégies d'accélération, de changement de rapports et de ralentissement).
2. Le second axe de recherche avait pour objectif, en s'appuyant sur l'analyse de l'activité de conduite d'un camion en situation réelle, de définir un modèle du comportement du conducteur dans le cadre d'une conduite rationnelle. Ces travaux, dont nous avons eu la responsabilité, sont exposés dans les pages suivantes et représentent la première partie « expérimentale » de cette thèse.

La fusion des résultats des deux axes de recherche a abouti à la proposition d'une Interface Homme-Machine innovante permettant de présenter au conducteur les consignes du système d'assistance, sans augmenter sa charge mentale. Cette interface, principalement composée d'une pédale d'accélération « sensitive » à retour d'effort a été complétée par un affichage visuel informatif. L'ergonomie de l'ensemble et de chacun des composants de l'interface a été évaluée sur le simulateur dynamique de conduite de Renault Trucks.

Trois chapitres composent cette troisième partie consacrée à la dimension empirique de nos travaux appliqués à la conception d'une assistance à la conduite rationnelle d'un camion.

1. Le chapitre VI est consacré à la problématique de l'optimisation de la consommation d'un camion en vue d'un développement durable.
2. Le chapitre VII présente la démarche expérimentale que nous avons développée afin d'étudier les comportements des conducteurs en termes de conduite rationnelle. Les observations ont été effectuées à l'aide d'un véhicule d'expérimentation, en environnement naturel sur route ouverte, avec pour objectif la définition de modèles comportementaux exploitables par le calculateur du véhicule.
3. Le chapitre VIII aborde la démarche expérimentale sur simulateur dynamique de conduite pour évaluer la pertinence de l'interface homme-machine, et en discute les résultats.

VI. Transports Routiers et Développement Durable

« Une société qui progresse est une société mobile, c'est vrai pour les idées, les emplois, les capitaux... comme pour les déplacements des personnes et des biens ». C'est ainsi que la Fédération Nationale des Transports Routiers (FNTR) introduit sa brochure d'information destinée au public. De fait, le transport des personnes et des marchandises tient une place considérable dans l'activité économique des sociétés modernes. Pour l'Europe entière, le Transport Routier de Marchandises (TRM) représente une activité essentielle et multiforme, dont la souplesse et la capacité d'adaptation sont aujourd'hui essentiels au développement d'un pays.

Néanmoins, bien que jouant un rôle majeur dans l'activité économique d'un pays, les transports routiers restent sujets à controverse et constituent l'un des paradoxes du développement durable. Non seulement les transports routiers consomment une part non négligeable de ressources fossiles, mais ils représentent maintenant la première source de pollution atmosphérique et d'émissions de gaz à effet de serre – menace directe à court

et moyen terme sur notre santé et nos modes de vie⁷³. Or, l'un des enjeux majeurs du développement durable est de permettre un accès équitable, pour tous et longtemps, tant à l'énergie, qu'aux transports, avec le souci de préserver les équilibres naturels. Loin d'être un simple « moyen », le transport routier est donc devenu l'un des principaux acteurs du développement durable.

Le pétrole, une énergie incontournable ?

Le pétrole, rebaptisé « l'or noir » par le biais d'une métaphore qui l'assimile au précieux minéral jaune, joue, depuis longtemps, un rôle déterminant dans le développement économique et géopolitique de la planète.

Présent dès la formation de la terre, toutes les civilisations anciennes semblent connaître le pétrole (Babyloniens, Perses, Grecs, Romains, Incas, Aztèques...), et son histoire est le reflet de l'histoire de l'humanité. D'abord utilisé comme cosmétique, par ses bitumes (calfatage, pseudo-mortier de constructions babyloniennes) ou dans le feu grégeois (Byzance), devenu, après la découverte de sa distillation, lumière puis source d'énergie, carburant pour les moteurs à combustion interne vers 1900, combustible domestique ou industriel, matière première pour l'industrie chimique, le pétrole est intimement lié à l'histoire économique des sociétés industrielles. Aujourd'hui encore, la recherche de la maîtrise de l'or noir est l'exemple type des causes des guerres économiques que se livrent certains pays de la planète. De fait, les progrès du début du vingtième siècle, et, en particulier, la naissance des moyens de transport modernes (transports routiers, aviation...), ont fait prendre conscience du caractère irremplaçable du pétrole : le monde ne peut plus se passer de l'or noir. Cependant, comme toute ressource d'origine fossile, le pétrole n'est pas inépuisable.

En 1990, la production mondiale de pétrole était de 70 millions de barils par jour⁷⁴, en 15 ans, elle a augmenté de plus de 20% pour atteindre 85 millions de barils en 2005, et, selon une prévision de l'Union Européenne (étude WETO, 2003), les besoins énergétiques mondiaux devraient augmenter de 1,8% chaque année jusqu'en 2030. L'or noir constituant 30% de l'énergie primaire utilisée, sa production mondiale devrait atteindre 120 millions de barils quotidiens en 2030. Regroupés au sein de l'ASPO (Association for the Study of Peak Oil), certains géologues prédisent un déclin de son extraction entre 2006 et 2015. Pétroliers en tête, les plus optimistes repoussent l'échéance à 2025 ou 2030... Tous s'accordent cependant pour prédire une décroissance de la production pétrolière dans moins d'une génération, même si l'échéance précise reste, et restera jusqu'à la fin, un objet de débat (Jancovici et Grandjean, 2006).

Les transports : un secteur captif pour l'industrie pétrolière

En 2008, 58% de la demande mondiale des produits pétroliers avaient pour utilisation finale les transports. Tous types confondus, ceux-ci s'arrogeaient 25% de la production mondiale de l'énergie et dépendaient à 98% de l'offre pétrolière, les bateaux et les avions consommant exclusivement du pétrole. Quant aux transports routiers, en 2003, sur un parc mondial de 900 millions de véhicules, plus de 886 millions roulaient avec des carburants d'origine

⁷³ En 1950/60, les principales sources étaient (1) le chauffage (2) l'industrie (3) les transports ; maintenant l'ordre est inversé, on a en (1) les transports (2) l'industrie et (3) le chauffage.

⁷⁴ Compter 7 barils/m³

pétrolière et consommaient 1500 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep). De plus, de nombreux analystes considèrent que les vingt prochaines années verront, d'une part, le trafic routier continuer à croître et, d'autre part, le moteur thermique à carburants d'origine pétrolière rester majoritairement le système de motorisation privilégié de l'automobile et du poids lourd (Pinchon, 2003). Ainsi, selon les perspectives de l'Agence Internationale pour l'Energie (Bensaïd, 2003), sur les trente années à venir, les trois quarts de l'augmentation de la demande mondiale en produits pétroliers proviendraient des transports et plus particulièrement de la route.

Enfin, en termes de pollution générée, les émissions de gaz à effet de serre, en particulier les émissions de CO₂ provenant des transports routiers, ont une évolution parallèle à celle de la consommation pétrolière.

Energie, transports et développement durable

L'énergie et les transports sont donc indissociables, et se trouvent au centre des multiples préoccupations en matière de développement durable. En effet, tous deux sont indispensables au développement d'un pays et à sa croissance socio-économique, mais leurs évolutions actuelles font craindre l'épuisement des ressources naturelles non renouvelables et la dégradation de l'environnement.

Concilier la mobilité et le développement durable, représente donc un enjeu politique et économique majeur pour aujourd'hui et plus encore pour demain, et une action forte, associant les divers acteurs du secteur, paraît d'ores et déjà indispensable. S'il n'existe pas de solution miracle à court terme, toute initiative de nature à diminuer la consommation de carburant des véhicules devrait contribuer, non seulement à accroître la durée de vie des réserves, mais aussi à réduire les émissions nocives. Dans cette optique, outre les améliorations technologiques des véhicules, selon Stich (2004), il semble indispensable d'agir sur les comportements de conduite des conducteurs.

Innovations technologiques et actions au niveau des comportements humains se retrouvent en tête de liste des problématiques de recherche, tant dans le domaine des transports, que dans celui du développement durable. La prise en compte de ces problématiques représente un enjeu incontournable, que les pouvoirs publics et l'ensemble des acteurs du TRM ne peuvent plus ignorer.

La conduite rationnelle d'un véhicule industriel

Conduite rationnelle, conduite économique, éco-conduite ? Ces trois intitulés semblent recouvrir la même notion, néanmoins, pour un véhicule lourd, le terme de conduite rationnelle est plus approprié. En effet, bien que les coûts de carburant soient en passe de devenir le premier poste de dépenses pour les entreprises de transport, la productivité d'un camion ne se mesure pas seulement en termes de consommation de carburant mais aussi en termes d'usure des composants, de coûts de maintenance et surtout, variable clé du système, en terme de délais de livraison. Ainsi, un système qui optimiserait la consommation du véhicule en impliquant une perte de temps sensible ne semble pas compatible avec la politique actuelle d'exploitation des entreprises de TRM.

La conduite rationnelle peut donc être définie comme un compromis entre la vitesse moyenne et la consommation⁷⁵. Telle qu'elle est préconisée actuellement dans les centres de formation, elle optimise ce rapport en ménageant les composants de la chaîne cinématique, avec, pour résultat, une augmentation de la sécurité, de l'économie, et du confort de conduite.

Reste un problème néanmoins, les bénéfices des formations ne semblent pas durer dans le temps⁷⁶. D'après les propos recueillis auprès de plusieurs formateurs à la conduite rationnelle⁷⁷, les conducteurs reprennent assez vite leurs automatismes de conduite, qu'ils soient bons ou mauvais⁷⁸, bien qu'ayant une connaissance explicite correcte des principes d'application de la conduite rationnelle. C'est l'une des raisons pour lesquelles le constructeur a envisagé la conception d'une assistance « intelligente » à la conduite rationnelle. Cette assistance pourrait jouer le rôle d'un *copilote embarqué* comme le font les formateurs lors des sessions de formation ou encore les formateurs d'entreprises de transport qui accompagnent les conducteurs pendant une journée pour les aider à corriger leur comportements « consommateurs ».

Les systèmes existants sur camion

Au moment du démarrage du projet CEA, en 2001, il n'existait, à notre connaissance, qu'un projet pour assister le conducteur d'un poids lourd à conduire de manière rationnelle : le Driving Monitoring System (DMS). Le DMS a commencé à être installé, de série, sur les véhicules neufs en 2003. Nous ne reviendrons pas sur le détail de ce système présenté p. 117, dans la deuxième partie de ce travail. Rappelons cependant que le DMS propose au conducteur, grâce à une interface visuelle et sonore, le meilleur rapport de boîte à engager pour optimiser l'utilisation du moteur en termes de consommation. Le choix du rapport est calculé en fonction de données physiques du véhicule et des actions du conducteur sur la pédale d'accélération et les ralentisseurs. Sans aucune connaissance de l'environnement routier, il fonctionne en temps réel, à partir des informations transitant sur le Bus de communication et, de ce fait, n'anticipe pas les événements ni l'infrastructure.

Par ailleurs, en 2006, Nissan Diesel Motor (Japon) annonçait le développement du système NENPIOH, destiné à aider, en temps réel, les conducteurs de véhicules lourds à adopter une conduite favorisant les économies de carburant (cf. détails p. 118). L'Interface Homme-Machine du système associe un grand nombre d'indications visuelles (messages écrits, jauges colorées, indications chiffrées) et sonores (bips sonores et indications vocales). Ce système n'est, à notre connaissance, pas encore installé sur des véhicules européens. Cependant, lors d'une démonstration sur table, l'interface nous a paru très chargée, tant d'un point de vue visuel que sonore, ce qui pourrait beaucoup accroître la charge de travail du conducteur.

Ainsi, bien que le projet CEA ait pris fin en 2006, le principe du système proposé semble toujours d'actualité, tant en termes de stratégies d'assistance, qu'en termes d'Interface Homme-Machine. Dans le chapitre suivant, après notre argumentation en faveur d'une

⁷⁵ Par exemple, une consommation optimale demanderait une vitesse moyenne de 80 km/h, alors que la vitesse moyenne optimale sera de 90 km/h si on ajoute à la consommation les coûts salariaux et les délais de livraison.

⁷⁶ Dans de nombreuses professions, les « bonnes pratiques » ainsi enseignées sont rarement appliquées plus de 6 mois, puis chacun retombe dans l'ornière...

⁷⁷ Centre de formation de Renault Trucks, AFT IFTIM, Norbert Dentressangle...

⁷⁸ « Naturam expelles furca, tamen usque recurret » (Horace, 65-8 avant JC)

interface originale, nous présentons le principe retenu pour délivrer les consignes au conducteur en vue d'une conduite rationnelle.

Interactions Homme-Machine et assistance à la conduite rationnelle

Les études théoriques et contextuelles exposées dans les première et deuxième parties de cette thèse ont fait ressortir plusieurs points qui nous ont guidés dans la démarche d'élaboration des stratégies d'assistance et de l'interface homme-machine du projet CEA.

La charge de travail des conducteurs de poids lourds semble de plus en plus importante et les *systèmes d'aide à la conduite actuels ne la réduisent pas sensiblement*. De plus un excès d'informations risque de diminuer l'attention que les conducteurs portent à l'environnement routier ce qui peut se révéler préjudiciable à la sécurité.

Le canal visuel est le canal le plus sollicité pour faire passer de l'information du véhicule au conducteur mais il est aujourd'hui saturé par les nombreux systèmes en place. Ainsi, tout affichage visuel supplémentaire a pour résultat l'augmentation de la charge mentale et le partage des ressources attentionnelles du conducteur. Il paraît donc intéressant d'envisager un canal sensoriel différent pour donner des conseils ou des consignes de conduite au conducteur.

Le canal auditif est peu utilisé mais ne permet pas le passage d'informations précises telles que des consignes de décélération, freinage... Il est actuellement utilisé comme alarme ponctuelle sur certains véhicules afin d'orienter l'attention du conducteur (systèmes DMS et NENPIOH par exemple, cf. pp. 117-119), mais l'expérience a montré que les utilisateurs avaient tendance à désactiver les systèmes sonores jugés souvent trop « envahissants ». On pourrait imaginer, en revanche, créer une « ambiance » sonore particulière de manière à optimiser les performances du conducteur.

Enfin, la voie somesthésique semble actuellement la plus prometteuse. La C4 du groupe Peugeot-Citroën commercialisée en 2004 illustre particulièrement cet intérêt avec notamment le système d'Alerte au Franchissement Involontaire de Ligne (AFIL) par l'intermédiaire de vibrations émises dans le siège du conducteur. De plus, les travaux sur le retour d'effort dans les commandes, principalement au niveau de l'accélérateur, intéressent de plus en plus de constructeurs automobiles. La plupart des marques de véhicules automobiles proposent maintenant un limiteur de vitesse par l'intermédiaire de la pédale d'accélération. Bien que l'idée ne soit pas récente (Malaterre et Saad, 1984), les recherches en ce domaine sont de nouveau d'actualité, et leur application semble particulièrement adaptée au domaine du respect de la vitesse en milieu urbain et sub-urbain (Page, 2004 ; Varhelyi et al., 2002). De plus, sur les gammes Premium et Magnum de Renault Trucks, il existe déjà un « point dur » au niveau de la pédale d'accélération. Le « franchissement » de ce point dur permet au conducteur de basculer sur une cartographie-moteur plus performante quand le besoin s'en fait sentir. Cette fonction a fait l'objet d'une évaluation en termes d'intérêt, auprès des conducteurs à l'occasion des observations en environnement routier.

Compte tenu de ces constats, la voie kinesthésique et les retours de force dans les commandes nous ont semblé des axes de recherche à privilégier en matière d'IHM. Nous avons donc orienté nos travaux sur la mise au point d'une pédale à retour d'effort pour délivrer les consignes d'accélération ou de décélération au conducteur en vue d'une conduite rationnelle. Il semble, en effet, que ce soit par les commandes de frein et d'accélérateur que le conducteur personnalise son style de conduite et façonne ainsi sa propre consommation (Fornengo, 2004).

Les interfaces de l'Eco Driving System

En conclusion nous présentons ci-après l'Interface Homme-Machine envisagée à l'issue d'un état de l'art effectué par l'ingénieur responsable du projet et complété par l'étude théorique et bibliographique précédemment exposée. A ce stade du projet, le principe de l'interface se composait d'une pédale d'accélération à retour d'effort à laquelle nous avons adjoint un retour visuel permettant de « justifier » les consignes du système. Les analyses de l'activité des conducteurs en situation réelle de conduite présentées dans le chapitre suivant ont approfondi ces premières analyses et ont permis d'évaluer l'intérêt des conducteurs pour ce type d'interface.

La pédale d'accélération à retour d'effort

Compte tenu des contraintes ergonomiques en matière de présentation de l'information, après examen des diverses possibilités technologiques, l'équipe projet a choisi une pédale d'accélération à retour d'effort comme interface associée au système d'aide à la conduite économique. Cet ensemble devrait être couplé à une boîte de vitesse automatique.

Dans un objectif de conduite rationnelle, la pédale doit conseiller le conducteur sur les stratégies de décélération ou d'accélération à adopter en fonction de l'environnement routier (l'environnement est supposé connu par le système). Elle doit ainsi lui permettre d'anticiper sur les événements en adoptant un comportement en conformité avec le modèle préconisé par le système. Le principe de fonctionnement de cette pédale est basé sur le durcissement ou le relâchement de l'accélérateur selon les consignes envoyées par le calculateur, associé à la sélection automatique du rapport de boîte. Les sollicitations du système doivent être perçues par le conducteur comme un conseil qu'il choisit de suivre ou non. Il n'est pas déresponsabilisé et son action reste toujours prioritaire, il peut ralentir ou accélérer à tout moment sans avoir à intervenir sur le système. L'attention du conducteur est ainsi attirée à l'endroit même où il exerce le contrôle de la vitesse et son usage devrait rapidement devenir instinctif.

L'interface visuelle complémentaire

Lors des premiers tests techniques sur simulateur pour la mise au point de l'algorithme de l'« Eco Driving System », l'ingénieur responsable du projet avait imaginé coupler l'IHM « pédale » avec une interface visuelle expérimentale ([Image 21](#)) qui permette de « justifier » les comportements du calculateur.

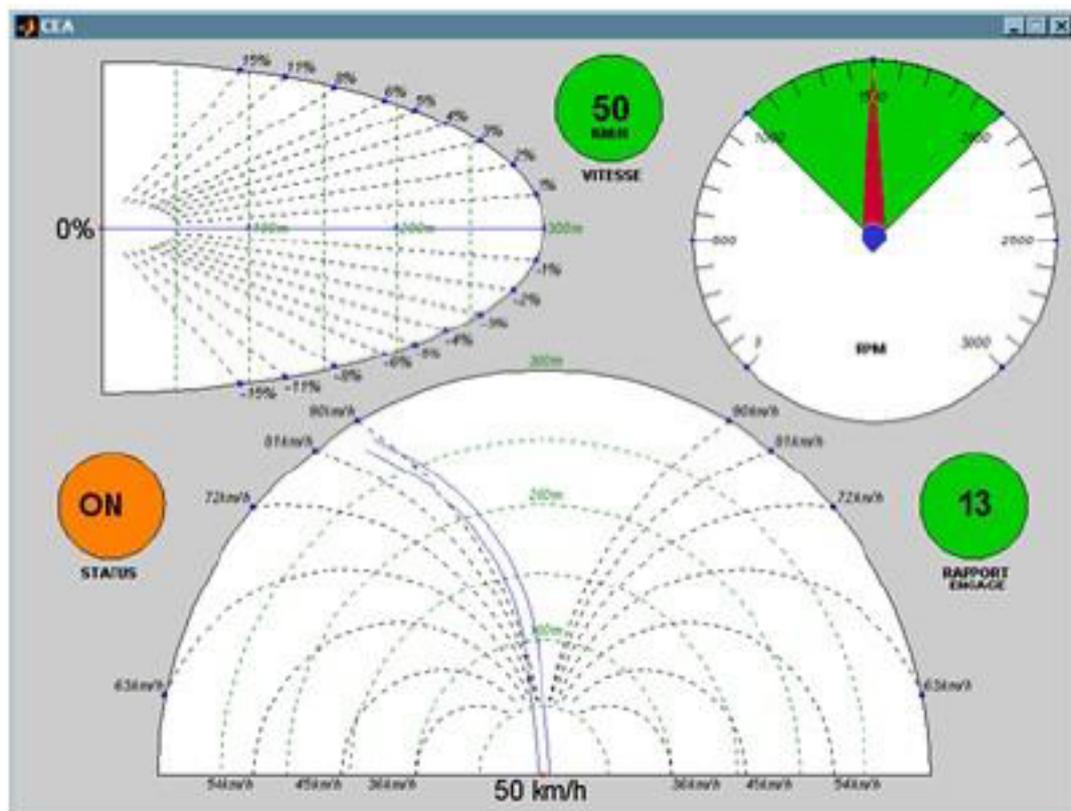


Image 21 : Interface visuelle de justification des comportements du système

Celle-ci présentait, graphiquement, et de manière dynamique le profil de l'environnement (pente et courbe) avec une anticipation de 300 mètres, ainsi que la limitation de vitesse sur le segment abordé, le rapport de vitesse engagé et l'état du système de conduite économique (on/off).

Cette interface a été testée sur le simulateur en pré-expérimentation, mais, bien qu'elle soit ludique, elle est trop complexe et de ce fait mobilise trop de ressources attentionnelles pour être développée en l'état. De plus, son format d'affichage ne permet pas de l'intégrer au tableau de bord des véhicules en obéissant aux spécifications ergonomiques, sans modification fondamentale de la planche de bord. Néanmoins, l'idée de justifier les consignes émises par le système nous a paru judicieuse et nous avons travaillé sur un système d'affichage plus simple qui puisse compléter l'IHM principale, sans surcharger le canal visuel.

Ce complément d'information, couplé à la pédale à retour d'effort, a été installé sur le simulateur à des fins de test et nous a permis de comparer l'intérêt et l'efficacité d'une IHM unique (la pédale) avec un système plus complet mais peut-être plus distrayant en terme d'attention. L'ensemble de la démarche expérimentale ainsi que les résultats sont exposés pp. 220-245.

VII. Approche comportementale et ergonomique de la conduite rationnelle d'un véhicule industriel en environnement naturel

Ce chapitre aborde la démarche expérimentale appliquée en situation réelle de conduite sur route avec, pour objectif, l'analyse comportementale et ergonomique de l'activité de conduite des conducteurs de véhicules industriels. En plaçant le facteur humain au centre des préoccupations, cette action de recherche avait pour objectif l'identification, la description et, dans la mesure du possible l'explication des comportements de conduite et des variables individuelles des conducteurs routiers à l'origine des différences de consommation. Grâce aux méthodes utilisées, les résultats de la recherche devaient permettre d'affiner la réflexion sur la conception du nouveau système, pour le mettre en adéquation avec les exigences fonctionnelles et cognitives des conducteurs dans le cadre de leur activité quotidienne.

Comme vu précédemment, la conduite d'un véhicule fait appel à divers mécanismes qui reposent, non seulement sur les habiletés cognitives, mais aussi sur les connaissances et les représentations des conducteurs. De plus, cette activité est située dans un environnement complexe et dynamique et, pour ce qui concerne les conducteurs routiers, dans un contexte socioprofessionnel spécifique. Du fait de cette complexité, l'analyse comportementale de l'activité de conduite, tant d'un point de vue cognitif, que d'un point de vue ergonomique, nécessite l'application d'un dispositif expérimental multidimensionnel. De plus, pour assurer la validité écologique des résultats, elle se doit d'être effectuée en situation naturelle ou la plus proche possible de la situation habituelle de l'activité des conducteurs. Pour répondre enfin aux objectifs particuliers du projet, et compte tenu de la complexité des environnements routiers, nous avons dû limiter nos recherches aux contextes de conduite pour lesquels les observations des entreprises relevaient les plus gros écarts de consommation en fonction des conducteurs.

Ainsi, nous nous sommes concentrée sur les trajets extra-urbains et nous avons utilisé un tracteur Premium Renault Trucks comme véhicule d'expérimentation.

Ces choix expérimentaux nécessaires permettaient de circonscrire le champ des observations, avec l'inconvénient de ne représenter qu'une partie des véhicules et de l'activité du transport routier de marchandises : les transports moyennes et longues distances. Ainsi, du point de vue de la conduite rationnelle d'un véhicule lourd, la conduite en milieu urbain n'a pas été étudiée dans le cadre de ce projet⁷⁹.

Les chapitres suivants présentent les dimensions contextuelles spécifiques de cet axe de recherche, en détaillent la méthodologie et la justifient en s'appuyant sur une synthèse des résultats, complétée par l'exposé de trois études de cas pour quelques classes de situation pertinentes.

Pour rappel, cette approche expérimentale de la conduite d'un véhicule lourd en environnement naturel avait pour objectif final la modélisation des comportements des conducteurs routiers en fonction des critères définissant une conduite rationnelle. Les modèles identifiés devaient comporter des critères comportementaux observables, identifiables et exploitables par le calculateur du véhicule, permettant au système de personnaliser l'assistance en fonction du style de conduite du conducteur.

⁷⁹ Mais ce secteur s'accommodera mieux de véhicules électriques ou hybrides.

Plus concrètement, nos travaux ont été orientés, d'une part, sur la traduction de la conduite rationnelle en termes de comportements humains objectivables, et, d'autre part, sur l'identification des variables cognitives, ergonomiques et contextuelles à l'origine des différences comportementales. Les résultats devaient aboutir à une classification des conducteurs selon leur style de conduite. Enfin, en termes de méthodologie, nous souhaitions mettre au point un outil destiné à l'auto-évaluation de la charge de travail engendrée par l'activité de conduite d'un véhicule lourd en environnement naturel.

Le protocole expérimental a été élaboré en essayant de privilégier une approche contextualisée, qui tienne compte des divers composants du système « Conducteur/ Véhicule/ Environnement ».

Approche contextuelle de la conduite rationnelle d'un camion

Mener un travail de recherche en environnement naturel, notamment quand il s'agit d'un milieu spécifique tel que le monde des « chauffeurs routiers », ne relève pas d'une démarche « naturelle » en psychologie cognitive. Notre cursus universitaire ne nous ayant pas sensibilisée à la conduite d'un « 38 tonnes » ou à sa connaissance technique, pas plus qu'à l'évolution dans le milieu du TRM, l'une des premières tâches a consisté à nous familiariser avec le contexte dans lequel l'étude devait être menée. Cette étude nous a permis d'approfondir nos connaissances en termes de conduite rationnelle d'un camion et d'activité des conducteurs routiers, tant d'un point de vue humain, psychologique et sociologique que d'un point de vue technique et économique. De plus, les observations réalisées nous ont permis d'identifier les classes de situation qui devaient composer notre parcours expérimental et de définir ce dernier.

Les paragraphes suivants décrivent brièvement les différentes étapes composant cette partie préliminaire des travaux pour laquelle nous avons reçu l'appui de différents départements de Renault Trucks dont la direction commerciale, le centre de formation et le service transports. Ces nombreux contacts nous ont permis, d'une part de participer à divers événements commerciaux⁸⁰ et stages organisés par Renault Trucks, et, d'autre part, de traverser la France comme passagère à bord d'un 38 tonnes. Enfin, pour compléter cette approche sociologique et parallèlement à nos observations, l'équipe de recherche du LEACM a réalisé deux études portant sur les représentations des conducteurs et des différents acteurs du TRM⁸¹ à propos des objets associés à l'activité de conduite. Ces travaux ont fait l'objet d'un contrat de recherche entre le département d'Advanced Engineering de Renault Trucks et le LEACM (Béchet et Combe-Pangaud, 2002 ; Combe-Pangaud, 2002).

Le stage de formation à la conduite rationnelle

Afin d'appréhender les aspects liés à l'apprentissage et à la pratique de la conduite rationnelle, nous avons suivi l'un des stages proposés par le centre de formation de Renault Trucks et destinés aux formateurs des entreprises de transport. Ce stage de formation à la conduite rationnelle, d'une durée d'une semaine (quatre jours), comporte deux jours d'enseignements théoriques et deux jours de pratique sur route. Les roulages s'effectuent

⁸⁰ Le Renault Truckers' tour, d'une durée de deux ou trois mois, permet de présenter les nouvelles gammes de véhicules aux conducteurs et à leur entreprise dans différents lieux sur toute la France.

⁸¹ Les conducteurs, les exploitants d'entreprises de TRM, les formateurs à la conduite et les concepteurs (personnels de recherche d'essais et de validation des systèmes chez Renault Trucks...)

à l'aide d'un véhicule du centre de formation, sur un circuit-type composé d'infrastructures variées (autoroutes, routes nationales et départementales et traversées d'agglomération) sur une distance de 300 km aller/retour. Lors du premier roulage, les stagiaires conduisent le véhicule de façon habituelle, sans avoir suivi les enseignements théoriques. Un rapport statistique des différents critères de conduite est délivré pour chaque conducteur. Le deuxième roulage est effectué en seconde partie de stage, après l'enseignement théorique. Le conducteur stagiaire doit alors essayer de conduire d'une manière rationnelle, il est assisté en cela par le formateur qui le conseille en temps réel. Comme lors du premier roulage, un second rapport statistique est délivré à l'issue du parcours. La dernière demi-journée est consacrée au retour d'expérience de la partie pratique et aux conclusions du stage. Les rapports statistiques du premier et du deuxième roulage sont comparés pour chaque stagiaire ; à cette occasion, d'importants écarts de consommation sont souvent constatés entre le roulage « sans » et le roulage « avec » assistance et formation.

Bien que nous n'ayons participé aux roulages qu'en tant qu'observatrice⁸², l'ensemble du stage nous a apporté les connaissances de base indispensables pour la suite de notre travail. De plus, ces premières observations en situation naturelle nous ont permis de préciser notre démarche expérimentale, notamment du point de vue de la définition des parcours expérimentaux. Nous avons donc complété cette première approche en participant aux roulages des trois stages suivants. A ces occasions, nous avons pu pré-tester, auprès des conducteurs stagiaires, notre adaptation du NASA TLX pour évaluer la charge de travail engendrée par la conduite d'un véhicule (Annexe 3) et observer les mêmes écarts de consommation entre les deux roulages.

Enfin, nos interventions dans le cadre de ces stages ont permis de créer des liens avec différents personnels du département formation de Renault Trucks. Ces interlocuteurs, formateurs ou responsables du parc de véhicules, se sont révélés d'une aide précieuse dans la mise en application pratique de notre protocole expérimental définitif, notamment par la mise à notre disposition d'un véhicule d'expérimentation⁸³.

La France en camion

Pour compléter cette approche initiale de la conduite d'un véhicule lourd, nous avons traversé la France, en tant que passagère, à bord de véhicules du service transport de Renault Trucks effectuant des « relais » entre Lyon (Saint Priest) et Caen (Blainville). Ce voyage, aller/retour, nous a offert l'occasion de discuter, de façon ouverte, « in situ », avec trois conducteurs professionnels. *Il a notamment mis en évidence le peu d'intérêt des stratégies de conduite rationnelle sur des trajets purement autoroutiers avec un dénivelé peu marqué (cas du trajet Lyon/Caen).* Il semble, en effet, que les différences de consommation d'un conducteur à l'autre soient nulles ou peu significatives pour l'entreprise. Dans ce style de transport, la seule variable qui ait une importance primordiale est la variable « temps », à la fois pour le conducteur et pour l'entreprise. Tout retard pris sur un trajet entraîne des répercussions non négligeables au niveau du fonctionnement même du « relais ».

Les représentations sociales de la conduite d'un camion

La démarche créative de l'ingénierie focalise le projet sur la définition des produits, des processus, des fonctions-machines de manière à assurer prioritairement le contrôle du fonctionnement du système. De ce fait, elle ne considère pas toujours, à leur juste mesure,

⁸² Nous n'avions pas le permis poids lourd indispensable pour conduire le véhicule.

⁸³ Nous en profitons pour remercier plus particulièrement Georges Guin et Gilles Morel.

les exigences de l'activité future et les nouvelles contraintes auxquelles devront faire face les opérateurs humains, ici les conducteurs. De fait, les concepteurs qui établissent les procédures, les interfaces homme/machine, le font avec leurs propres représentations de la tâche. Ils se réfèrent à la représentation d'un environnement supposé perçu de manière identique par eux-mêmes et par les utilisateurs, or cette représentation n'est pas toujours en adéquation avec les représentations et le fonctionnement même des conducteurs. Ce défaut de prise en compte de la logique d'utilisation lors de la conception est alors susceptible de renforcer les difficultés d'adaptation de l'utilisateur pouvant avoir un impact sur la fiabilité du système. Il nous a donc paru nécessaire, à fin de mettre en adéquation les représentations des concepteurs avec celles des conducteurs, de *préciser le point de vue de ces derniers à propos des objets composant l'environnement qui sous-tend l'activité de conduite*. Dans le cadre de la conception d'un système d'assistance à la conduite rationnelle d'un véhicule industriel, nous nous sommes intéressés au véhicule, au métier de routier, à la conduite d'un camion, à la conduite « économique » et aux assistances à la conduite.

Le camion vu par les conducteurs

Le camion, composante à part entière du système conducteur-véhicule-environnement, est l'élément indispensable à l'activité des conducteurs routiers. Pour ceux qui font du transport national ou international, il devient un lieu de vie dans lequel les conducteurs peuvent passer plus de temps que dans un domicile fixe. Néanmoins, pour ceux-ci, il représente un élément essentiellement fonctionnel qui est associé aux notions de travail, de transport, de conduite et de sécurité. De plus, le camion reflète l'image de l'entreprise ainsi que celle de son conducteur, image d'autant plus importante lorsque le camion est *attitré*⁸⁴. Toutefois, cette représentation semble variable selon le type de transport effectué par les conducteurs (national et international vs régional et relais). Enfin, le camion, outil de travail (mais pas machine-outil) et objet d'identification doit être confortable, facile à manier et sûr.

Le métier de « chauffeur routier »

La représentation qu'ont les conducteurs de leur métier s'appuie essentiellement sur la dimension de la conduite, associée à un fort sentiment de contrôle de la situation. De plus, le métier mobilise (engage, implique) pour une grande part des facteurs conatifs⁸⁵ qui sont socialement considérés comme positifs : l'estime de soi, la motivation et l'indépendance. On peut supposer que, malgré la conscience d'une image négative auprès du public, les conducteurs possèdent néanmoins une forte identité professionnelle et un goût prononcé pour leur métier. Ainsi, l'exercice de ce métier semble impliquer une forte motivation, qui semble rendre difficile, voire impossible pour les conducteurs routiers, le retour vers des emplois plus classiques. Enfin, pour tous les acteurs du TRM (conducteurs, exploitants, formateurs), un « bon chauffeur » est d'abord quelqu'un de respectueux (des règles, des objets et des personnes) et de débrouillard.

En résumé, le métier de chauffeur routier, bien que mal considéré par le public (au grand regret de ses acteurs), nécessite une forte motivation et implique des responsabilités importantes mais aussi des risques et des contraintes ; il est facilement associé aux idées d'indépendance et de liberté.

⁸⁴ Un véhicule attitré est un véhicule qui n'est conduit que par un seul conducteur. Celui-ci est chargé de l'entretenir, intérieur et extérieur et peut le personnaliser à son gré.

⁸⁵ Par facteurs conatifs nous entendons les dimensions psychiques relevant de la personnalité, de l'affect, des émotions, de la motivation permettant de saisir le rapport affectif entre un sujet et les objets de l'environnement (Béchet et Combe-Pangaud, 2002)

La conduite d'un Véhicule Industriel

La conduite est, pour les conducteurs, l'aspect le plus agréable et le plus valorisant du métier. Selon eux, elle implique un travail mental mobilisant d'importantes ressources attentionnelles et des capacités d'analyse et d'anticipation. Les dimensions fondamentales de l'activité de conduite les plus fréquemment évoquées par les conducteurs sont la *vigilance*, l'*anticipation* et l'*attention*. De plus, ils sont fortement conscients de leur responsabilité envers la sécurité du système routier. Ce sentiment est associé à celui, non négligeable, du contrôle de la situation. Ainsi, les conducteurs routiers qui font du transport moyen et long routier considèrent que la conduite et la maîtrise de leur véhicule est sous leur entière responsabilité et sous leur contrôle permanent. De plus, il semblerait que l'âge et l'expertise confèrent, aux conducteurs, un sentiment de contrôle de la situation plus important.

En résumé, la conduite, élément essentiel du métier (mais il ne s'y réduit pas) est maintenant une tâche éminemment mentale mais qui reste agréable. Sa relation avec les facteurs psychologiques n'est pas à sens unique, le style de conduite influe aussi sur le bien-être psychologique du conducteur (Combe-Pangaud, 2002).

La conduite économique

[La conduite économique⁸⁶]

Les conducteurs accordent une importance capitale à l'influence de leurs comportements et notamment à celle de l'anticipation dans la conduite économique de leur véhicule. Cette constatation, qui semble refléter l'activité cognitive mise en évidence précédemment par les conducteurs, est aussi associée à un fort sentiment de contrôle. Concrètement, les conducteurs estiment qu'ils ont le contrôle de leur consommation, de même que le contrôle de leurs comportements de conduite. Ils semblent avoir une connaissance correcte des principes de la conduite rationnelle et de l'existence des systèmes d'information du camion leur permettant de les respecter (zone verte...). De plus, ils accordent un rôle important à la formation pour la conduite rationnelle, mais lui reconnaissent des effets limités dans le temps.

Ainsi, la consommation est un réel problème dont sont conscients les acteurs du TRM, mais elle n'est pas une fatalité : le niveau de consommation peut être contrôlé, réduit, et cela tient essentiellement aux comportements du conducteur. Enfin, une conduite économique ne semble pas incompatible avec le plaisir de conduire.

Les assistances à la conduite

Pour les conducteurs, les assistances sont des systèmes qui améliorent le confort et l'ergonomie de conduite. Elles sont globalement bien perçues, acceptées et utilisées comme des aides plus ou moins nécessaires. Ils semblent, notamment, apprécier les systèmes qui les soulagent de certaines contraintes liées à la conduite sans pour autant se sentir dépossédés de la responsabilité du contrôle du véhicule. Selon eux, le contrôle et la responsabilité de la conduite dépendent uniquement du conducteur et ne relève pas de la compétence de la machine.

En résumé, si les assistances semblent bien acceptées, elles ne sauraient remplacer le conducteur. De plus, il existe quelques confusions entre assistances à la conduite et

⁸⁶ Afin de conserver l'authenticité des résultats sur lesquels nous nous appuyons, nous avons préféré conserver l'intitulé conduite « économique » qui était l'item original utilisé par les auteurs.

assistances au travail : pour les conducteurs, les assistances à la conduite revêtent surtout une mission de sécurité mais participent aussi au confort du véhicule.

Le rôle du conducteur dans la conduite économique

A la lecture des résultats exposés, il semble qu'avec des efforts, de la volonté et des conseils (formation), il soit facile, pour un conducteur, de maîtriser son niveau de consommation. Aussi, peut-être faut-il réfléchir à l'intérêt d'une assistance dans un domaine où un changement de comportement peut suffire à améliorer les résultats (d'après les personnes interrogées, surtout les formateurs et les transporteurs). D'après Combe-Pangaud (op. cité), l'une des solutions serait de prévoir une assistance qui ait un rôle de conseil, c'est-à-dire qui ne soit pas totalement transparente pour le conducteur, qui lui apporte plus que les systèmes actuels, sans pour autant se substituer à lui.

Etude méthodologique initiale

La mise au point du protocole expérimental en environnement naturel a nécessité une étude initiale qui avait pour objectifs :

- D'une part, la définition et les tests préliminaires des méthodes et outils pertinents pour l'évaluation des dimensions subjectives de la conduite et l'observation ergonomique du conducteur : élaboration des questionnaires et des grilles d'observation, enregistrement audio et vidéo du conducteur, adaptation d'un test d'auto-évaluation de la charge de travail... ;
- D'autre part, la mise au point et les tests préliminaires d'une méthode permettant d'acquérir, en temps réel, et de post-traiter les paramètres du véhicule traduisant les comportements du conducteur : accélérations, freinages, passages des rapports, régime moteur, consommation... ;
- Enfin, le choix et les relevés topographiques et cartographiques des parcours expérimentaux, notamment en termes d'infrastructures (ronds-points, virages, feux tricolores...) de ruptures de profil et de signalisation.

Ces diverses actions ont nécessité plusieurs séries d'essais, notamment pour la mise au point du matériel d'acquisition des paramètres du véhicule. Associé à ce matériel d'acquisition, l'ingénieur responsable du projet a développé une application logicielle sous Matlab, le Driver Behaviour Analysis (DBA), qui permet le post-traitement et l'affichage de ces enregistrements de manière conviviale. Compte tenu de l'évolution des choix en matière de matériel d'acquisition, le DBA a dû être décliné en trois versions successives.

Pour compléter ces données, nous avons envisagé l'enregistrement vidéo des actions du conducteur ainsi que celui de l'environnement routier. Après plusieurs essais sur route, dans différentes conditions de visibilité et de réglages du matériel, les enregistrements se sont révélés ininterprétables, nous avons donc abandonné l'idée des enregistrements vidéo. Nous avons donc construit une grille d'observation de l'environnement routier, complétée par l'utilisation d'un logiciel dédié à l'analyse de l'activité et permettant à l'expérimentateur de relever les actions du conducteur.

Enfin, suite aux premiers contacts que nous avons eus avec les entreprises de transport susceptibles de nous déléguer des conducteurs pour les expérimentations, il s'est avéré que le parcours utilisé pour les formations à la conduite rationnelle était trop long. Ce trajet aurait nécessité une journée complète de roulage, et il paraissait difficile, pour les entreprises, d'immobiliser leurs conducteurs sur des laps de temps aussi importants. Il a donc fallu

déterminer un nouveau parcours qui comporte toutes les classes de situation ainsi qu'un dénivelé suffisant pour obtenir des informations significatives en termes de consommation. Des roulages complémentaires ont été nécessaires pour redéfinir le parcours et refaire les divers relevés topographiques (distances, types d'infrastructure, ruptures de profil, signalisation, etc.).

L'ensemble des matériels et méthodes retenus sont présentés plus longuement dans la section consacrée au dispositif expérimental, pp. 159-180.

Questions de recherche

Les recherches bibliographiques, complétées par la prise de connaissance du contexte et l'étude méthodologique initiale ont fait émerger plusieurs questions à partir desquelles nous avons structuré notre travail. Quatre axes de recherche ont été dégagés en fonction des objectifs précédemment définis :

Axe 1. Modélisation comportementale des conducteurs de V.I., en environnement naturel, selon des critères définissant une conduite rationnelle ;

Axe 2. Proposition et validation d'un test dédié à l'évaluation de la charge de travail des conducteurs de V.I. en environnement naturel ;

Axe 3. Identification des variables différentielles, cognitives et contextuelles pouvant expliquer les différences comportementales des conducteurs en termes de conduite rationnelle ;

Axe 4. Evaluation des représentations qu'ont les conducteurs de V.I. à propos de la conduite rationnelle.

Modélisation comportementale des conducteurs de V.I.

Ce premier axe avait pour objectif l'identification de styles de conduite et de modèles comportementaux permettant de positionner les conducteurs en termes de conduite rationnelle. Nous avons orienté nos recherches en nous appuyant sur le principe que :

Si la consommation d'un véhicule industriel dépend principalement du style de conduite du conducteur, alors il devrait être possible de dégager des invariants comportementaux identifiables et exploitables par le système développé, toutes conditions environnementales égales par ailleurs.

La démarche expérimentale appliquée en situation naturelle de conduite avait pour but de :

- Prouver l'existence d'une variabilité interindividuelle en termes de conduite rationnelle (consommation et vitesse) ;
- Rechercher des invariants comportementaux en termes de vitesse et de consommation ;
- Identifier plusieurs modèles de conduite en fonction des stratégies appliquées par les conducteurs sur des classes de situation typiques.

Evaluation de la charge de travail des conducteurs de V.I.

Le deuxième axe de recherche avait pour objectif la proposition et la validation d'un test destiné à l'auto-évaluation de la charge de travail engendrée par l'activité de conduite d'un

véhicule lourd en environnement naturel. Nous avons orienté nos travaux en nous appuyant sur le principe que :

Le test développé doit être suffisamment sensible pour permettre de discriminer des situations de conduite engendrant une faible charge de travail. Il doit pouvoir fournir une information diagnostique sur les dimensions qui déterminent l'importance de cette charge de travail. Il doit être facilement compris par les conducteurs, simple et rapide d'utilisation pour les utilisateurs (ergonomes, formateurs...).

Pour évaluer et valider ce test, nous avons proposé notre adaptation du NASA TLX aux conducteurs à la fin de chacun des deux parcours expérimentaux dans le but de :

- Discriminer deux parcours différents en termes d'infrastructures, à l'aide de la mesure de la charge de travail globale engendrée par la conduite sur chacun des parcours ;
- Mettre en évidence l'existence de différences significatives entre les composantes de la charge de travail engendrée par la conduite en fonction des infrastructures abordées.

Explication des comportements des conducteurs de V.I.

Le troisième axe de recherche avait pour objectif l'identification de variables différentielles, cognitives et ergonomiques à l'origine des différences comportementales des conducteurs. L'étude s'est appuyée sur le principe que :

Les comportements de conduite d'un conducteur sont fonction de variables différentielles (âge, formation), de variables cognitives (connaissances, métaconnaissances et styles cognitifs) et de variables ergonomiques et contextuelles (charge de travail ressentie, complexité de l'environnement)

Pour tenter d'expliquer les comportements des conducteurs, nous leur avons administré un ensemble de tests (cognitifs et de charge de travail) et de questionnaires, pour rechercher l'existence de corrélations :

- entre plusieurs variables différentielles du conducteur et leurs performances en termes de consommation et de vitesse ;
- entre la charge de travail ressentie par les conducteurs et leurs performances en termes de consommation et de vitesse.

Etude des représentations associées à la conduite rationnelle

Le quatrième et dernier axe de recherche avait pour objectif l'étude des représentations qu'ont les sujets de l'expérimentation à propos de la conduite rationnelle en partant du principe que :

Les comportements et attitudes des conducteurs sont orientés par les représentations sociales que ceux-ci ont de la conduite rationnelle. Si celles-ci sont positives, on peut supposer que les conducteurs ne rejeteront pas un système pour les aider à économiser du carburant.

Le questionnaire construit à partir des résultats de l'étude préalable avait pour objectifs :

- Evaluer les représentations qu'ont les sujets de l'expérimentation, à propos de la conduite rationnelle ;

- Rechercher les corrélations entre représentations, connaissances et formation en matière de conduite rationnelle.

Dispositif expérimental

La méthode d'observation s'est appuyée sur une analyse ergonomique et cognitive de la conduite d'un véhicule industriel, en situation naturelle, et sur différents types d'infrastructures routières de la région Rhône-Alpes. Compte tenu de la complexité liée à l'analyse d'une activité humaine finalisée, nous nous sommes appuyée sur le modèle développé dans la seconde partie de cette thèse pour mettre au point un dispositif expérimental multidimensionnel (Figure 13, p. 92). Ce chapitre présente l'échantillon expérimental, les parcours définis, les outils et méthodes développés et le déroulement des observations.

La population

Afin de garantir une validité écologique aux résultats, il nous a paru indispensable de travailler avec des conducteurs routiers en activité et non avec les pilotes d'essais ou les démonstrateurs de l'entreprise. Nous avons donc établi nos critères de sélection en fonction du type d'activité professionnelle des sujets. Pour assurer une cohérence à l'échantillon, seuls les conducteurs faisant du transport régional et/ou national et international ont participé aux observations. De plus nous avons proscrit les conducteurs faisant des transports spéciaux (matières dangereuses, béton, liquides, viandes suspendues...), ces types de transport faisant appel à des habiletés particulières et à une législation spécifique qui peuvent avoir une influence sur les comportements de conduite. Enfin, la population féminine ne représentant que 0,5% des conducteurs de poids lourds, nous avons choisi de ne pas inclure de conductrices dans notre échantillon.

Pour compléter cette population, et afin d'avoir quelques conducteurs « novices », nous avons fait appel au Centre de Formation de Renault Trucks qui nous a orienté vers des conducteurs possédant le permis PL (formateurs et responsables commerciaux) mais ne conduisant pas régulièrement. Lors de l'étude préliminaire, nous avons pensé faire appel à des conducteurs professionnels novices, mais les entreprises partenaires ne pouvaient nous déléguer que des conducteurs confirmés. De plus, la condition de « novice » en matière de conduite ne peut être qu'éphémère dans le cadre d'une entreprise de TRM dans la mesure où les conducteurs parcourent entre 500 et 800 km par jour selon leur type d'activité.

Enfin, nous avons sollicité les deux formateurs à la conduite rationnelle, ainsi que le pilote d'essai de Renault Trucks responsable des essais consommation pour la presse, afin d'avoir trois sujets « témoins ». L'échantillon, composé de trente trois conducteurs masculins se décompose donc de la façon suivante :

- Vingt trois « experts »⁸⁷, chauffeurs routiers professionnels envoyés par leurs entreprises respectives, Darfeuille et Venditelli (agences de St Priest), avec lesquelles Renault Trucks avait conclu un accord de partenariat ; quatorze d'entre eux ont suivi une formation spécifique à la conduite rationnelle.
- Sept « non experts », salariés de Renault Trucks et parcourant moins de 5000 km par an ; trois d'entre eux ont suivi une formation spécifique à la conduite rationnelle.
- Trois « témoins », pilotes spécialisés dans la conduite rationnelle chez Renault Trucks.

La moyenne d'âge pour l'ensemble de l'échantillon est de 41 ans (en France, 34,9% des conducteurs ont entre 36 et 45 ans) avec un écart-type de 8,29, le plus jeune conducteur ayant 19 ans et le plus âgé, 57 ans (Figure 19).

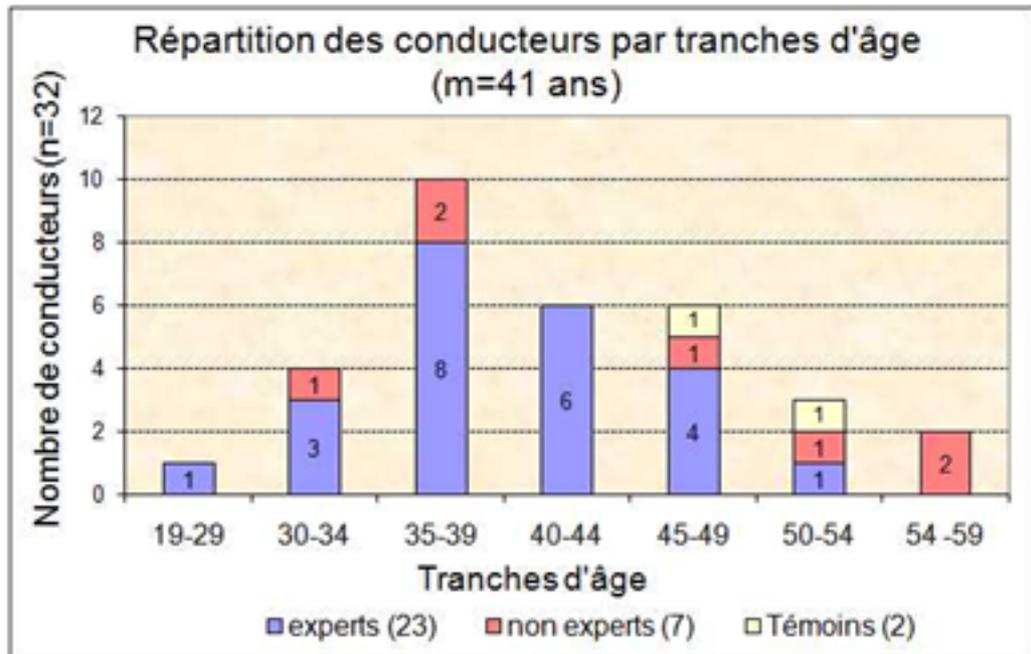


Figure 19 : Répartition des conducteurs par tranches d'âge

Les experts ont en moyenne 14 ans de permis E (super lourd) pour 13 ans d'expérience professionnelle, et parcourent en moyenne 500 km par jour travaillé. Les « non experts » ont en moyenne 18 ans de permis E, sans aucune expérience du métier de conducteur routier, et parcourent moins de 1000 km par an.

Le matériel roulant

L'ensemble roulant, identique pour tous les conducteurs, était composé d'un tracteur Renault Trucks de type Premium 420dci longue distance, récent, attelé d'une semi-remorque de type « fourgon bâché », chargée de gueuses en béton pour un poids total en charge de 38 tonnes. Cet ensemble a été mis à notre disposition par le centre de formation (International Training Centre) de Renault Trucks.



Image 22 : Type de matériel roulant utilisé pour les observations sur route

Le tracteur était un véhicule de série avec une cabine de type « déménageur », c'est à dire pouvant accueillir trois passagers à l'arrière. Equipé d'un régulateur de vitesse, la pédale d'accélération comportait un « point dur » permettant au conducteur de choisir la cartographie moteur (Conso vs. Perfo) en fonction de l'environnement abordé. Seul le point dur sur la pédale était signalé au conducteur ainsi qu'une brève information sur son utilité. En revanche, aucune consigne ne lui était donnée quant à l'utilisation de ces systèmes pendant le roulage.

Le parcours expérimental « Isère »

Afin de pouvoir effectuer et répliquer au besoin des observations en situation réelle de conduite et sur différents types d'infrastructures routières en région Rhône-Alpes, un parcours type a été défini et cartographié. Il a été choisi, non seulement afin de répondre aux objectifs spécifiques du travail, mais aussi dans le but d'être réutilisable pour des études ultérieures :

- Il comporte les différentes classes de situations à prendre en compte lors de l'analyse d'activité des conducteurs de camions, quelle que soit la problématique de l'étude. Dans le cas de la conduite rationnelle, il s'agit plus spécifiquement des ruptures de profil (de 5 à 10%), des ronds-points, des feux tricolores, des virages, des arrivées sur péage et des traversées d'agglomération.
- Les infrastructures routières rencontrées sont suffisamment variées pour représenter la majeure partie des modes de TRM, hormis la distribution, et permettre de faire la distinction entre un trajet non autoroutier et un trajet autoroutier.
- Enfin, il permet la comparaison des stratégies de pilotage enregistrées en situation réelle avec les modèles numériques déjà existants et les stratégies calculées par le système de conduite économique.

Compte tenu de ces impératifs, notre choix s'est orienté vers un modèle de parcours déjà numérisé au format du simulateur « GEODE » de Renault Trucks et sur lequel l'ingénieur chargé du projet a travaillé pour développer le système. Ce parcours « Isère », après avoir

été reconnu et remis à jour, tant au niveau des infrastructures, que de la signalisation, a été divisé en deux trajets expérimentaux distincts :

- Le parcours A, varié et « difficile » (Figure 20) réplique les situations auxquelles sont majoritairement confrontés les conducteurs qui font du transport régional. D'une distance de 92 km entre St Priest (Rhône) et Voiron (Isère), il présente 500 m de dénivelé, 10 traversées d'agglomérations, 20 feux tricolores, 16 ronds-points et 17 virages (Figure 22, page suivante).
- Le parcours B, autoroutier, plus « facile » (Figure 21) illustre le transport de type « long routier », c'est à dire national, international et de relais. D'une distance de 78 km entre Voiron et St Priest, il présente 400 m de dénivelé, 1 arrivée en agglomération, 5 feux tricolores, 1 rond-point et 1 virage (Figure 23, page suivante).

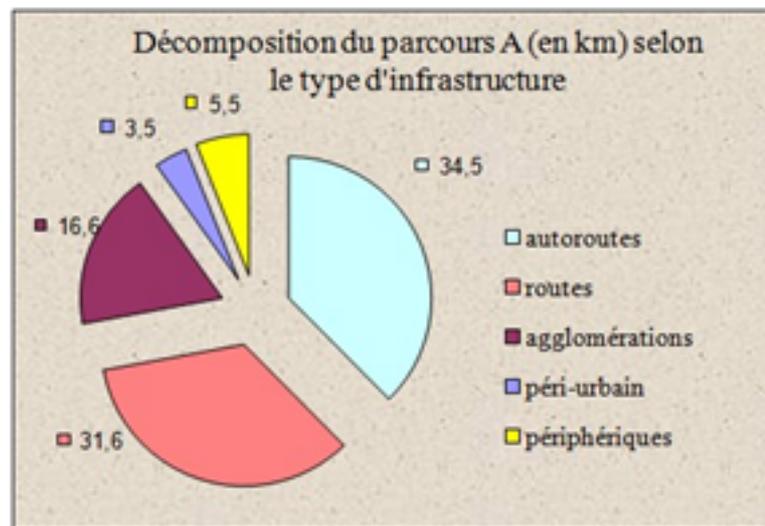


Figure 20 : Décomposition du parcours A (en km) en fonction du type d'infrastructure

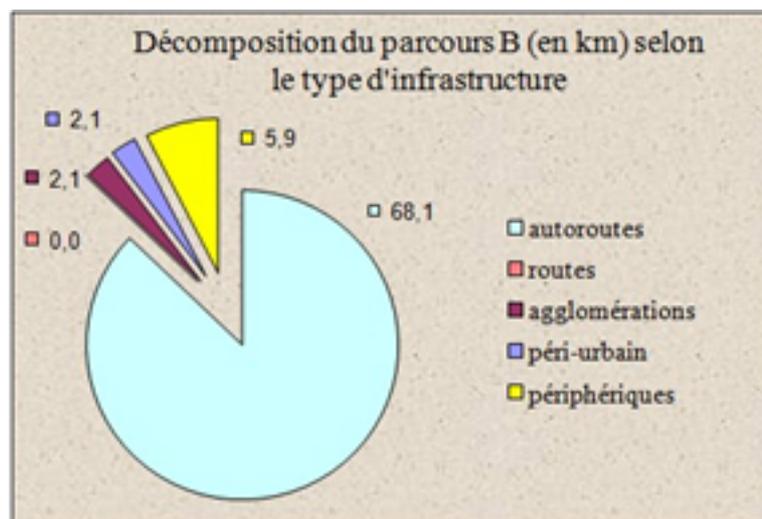


Figure 21 : Décomposition du parcours B (en km) en fonction du type d'infrastructure

Pour faciliter les analyses ultérieures, chaque parcours a été subdivisé en plusieurs tronçons selon le type d'infrastructure rencontré : autoroute, périphérique, traversée d'agglomération... (Annexe 4).

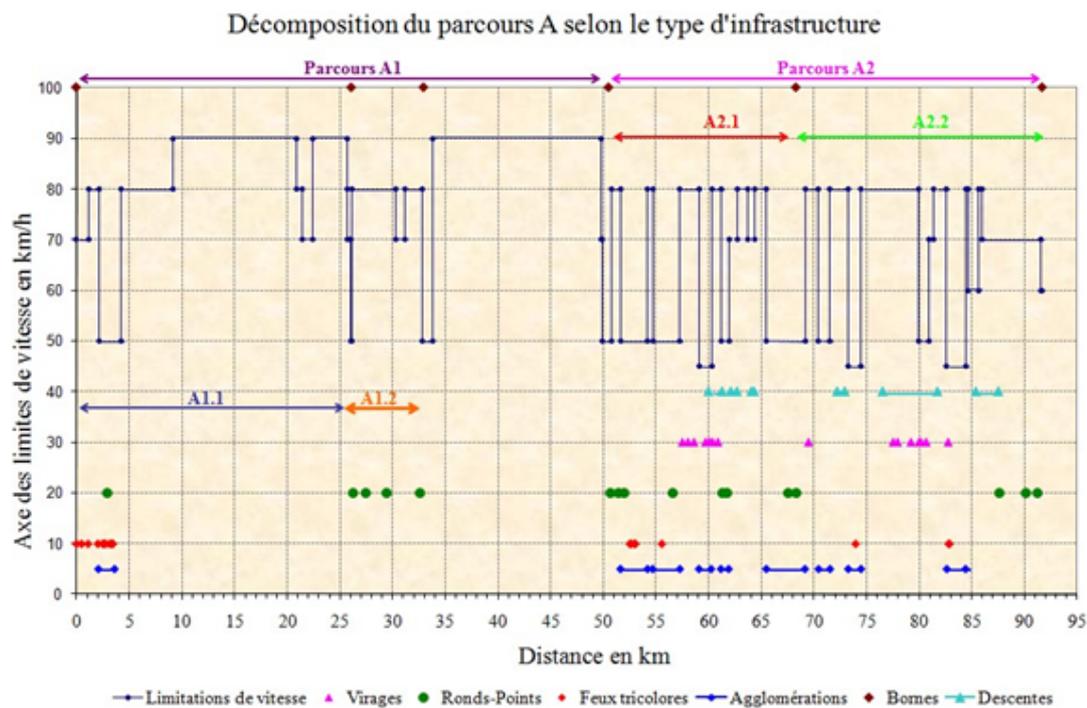


Figure 22 : Représentation graphique des classes de situations rencontrées sur le parcours A

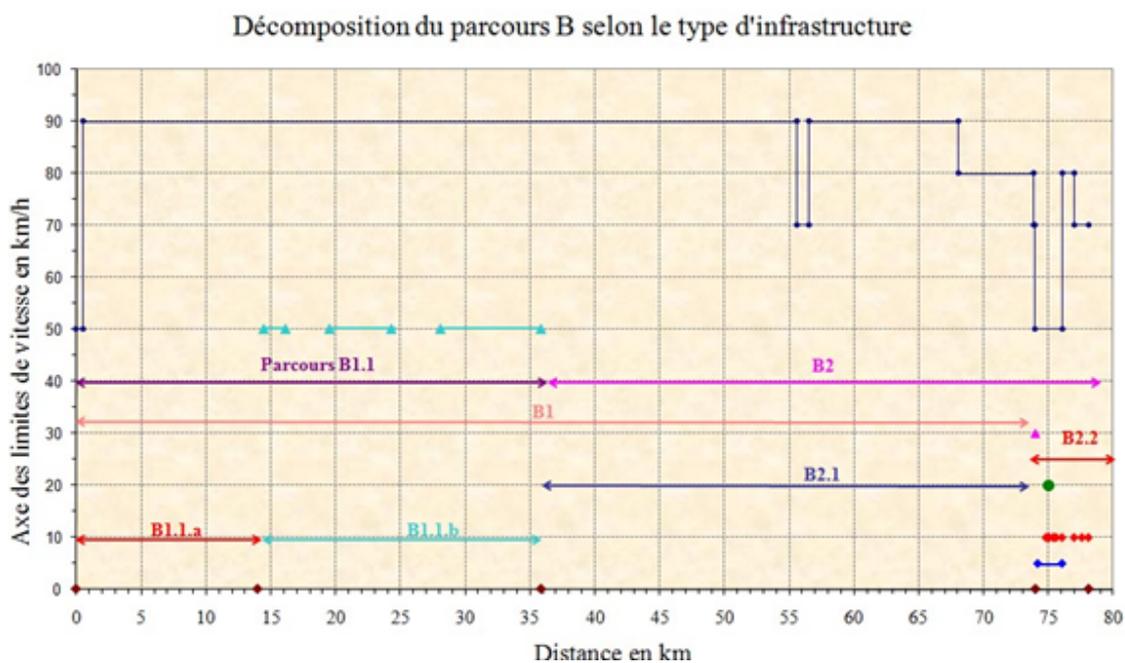


Figure 23 : Représentation graphique des classes de situation rencontrées sur le parcours B

Le matériel d'observation

Les outils utilisés pour l'observation comportementale des conducteurs sont de quatre types :

- Les outils d'enregistrement et de traitement des indicateurs comportementaux issus du véhicule (consommation, vitesse, passage des rapports, régime moteur, etc.),
- Les outils d'enregistrement et de traitement des données d'observation de l'activité du conducteur et de l'environnement routier,
- L'outil d'évaluation de la charge de travail du conducteur,
- Les outils dédiés au recueil des variables différentielles, à l'évaluation cognitive du conducteur et à l'étude des représentations.

Les indicateurs comportementaux issus du véhicule

Les comportements qui sous-tendent l'activité de conduite d'un véhicule sont composés, pour une grande part, d'habiletés cognitives et sensori-motrices qui s'expriment au travers des actions du conducteur sur les commandes du véhicule et qui relèvent de la mémoire procédurale. Ces comportements sont, de ce fait, peu faciles d'accès d'une manière déclarative. Nous avons donc choisi d'enregistrer, en temps réel, les actions du conducteur sur les commandes à partir de diverses informations présélectionnées circulant sur le Bus Can du véhicule. Les données ont été prélevées, en temps réel, sur le calculateur électronique du camion à l'aide d'un PC portable connecté au VECU (Vehicle Electronic Control Unit) et d'un logiciel spécifique d'acquisition, le « Vector CANalyser » (Image 23). L'enregistrement des données était piloté par l'expérimentateur installé aux côtés du conducteur.

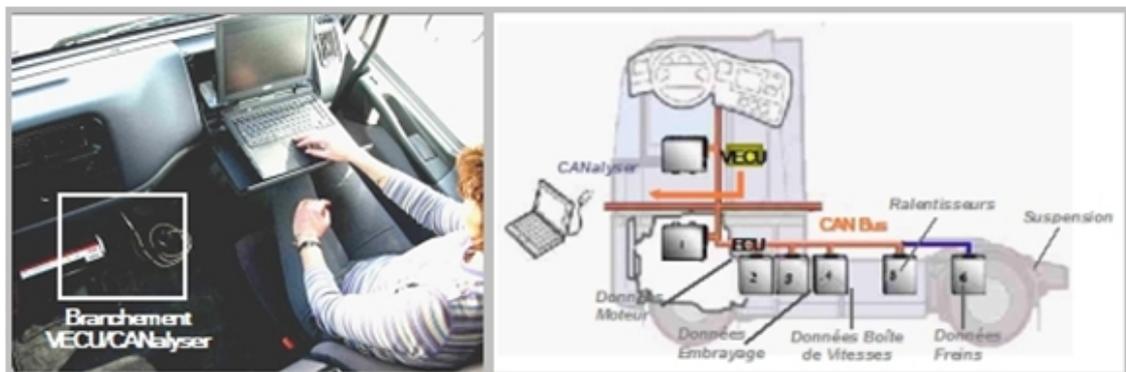


Image 23 : Dispositif expérimental d'acquisition des données du VECU

Ces données ont ensuite été traitées à l'aide d'un programme logiciel spécifique, écrit sous notre direction (Fornengo, Rochas, Maincent, 2004), le Driver Behaviour Analysis (DBA, [Annexe 5](#)).

Le Driver Behaviour Analysis (DBA)

Le DBA, développé sous MatLab, est dédié au traitement et à la présentation conviviale d'un ensemble de données horodatées prélevées sur le Bus de communication d'un véhicule Renault Trucks ou sur le simulateur SCOOP de l'entreprise. Trois versions du DBA ont été écrites en fonction du matériel d'acquisition des données, pour cette partie de l'étude nous avons utilisé la troisième version (DBA3), dont la dernière mise au point des fonctionnalités a été effectuée à l'issue de l'étude méthodologique initiale.

Les paramètres traités sont la consommation, la vitesse, le nombre de tours moteur, l'utilisation de la boîte de vitesse, l'utilisation des freins, l'utilisation de la cartographie « moteur » et la température extérieure pour un véhicule réel. Les diverses fonctionnalités du logiciel permettent une analyse chronologique et individualisée des comportements de conduite (Figure 24) ainsi que l'édition de nombreux rapports statistiques personnalisés (Annexe 5).

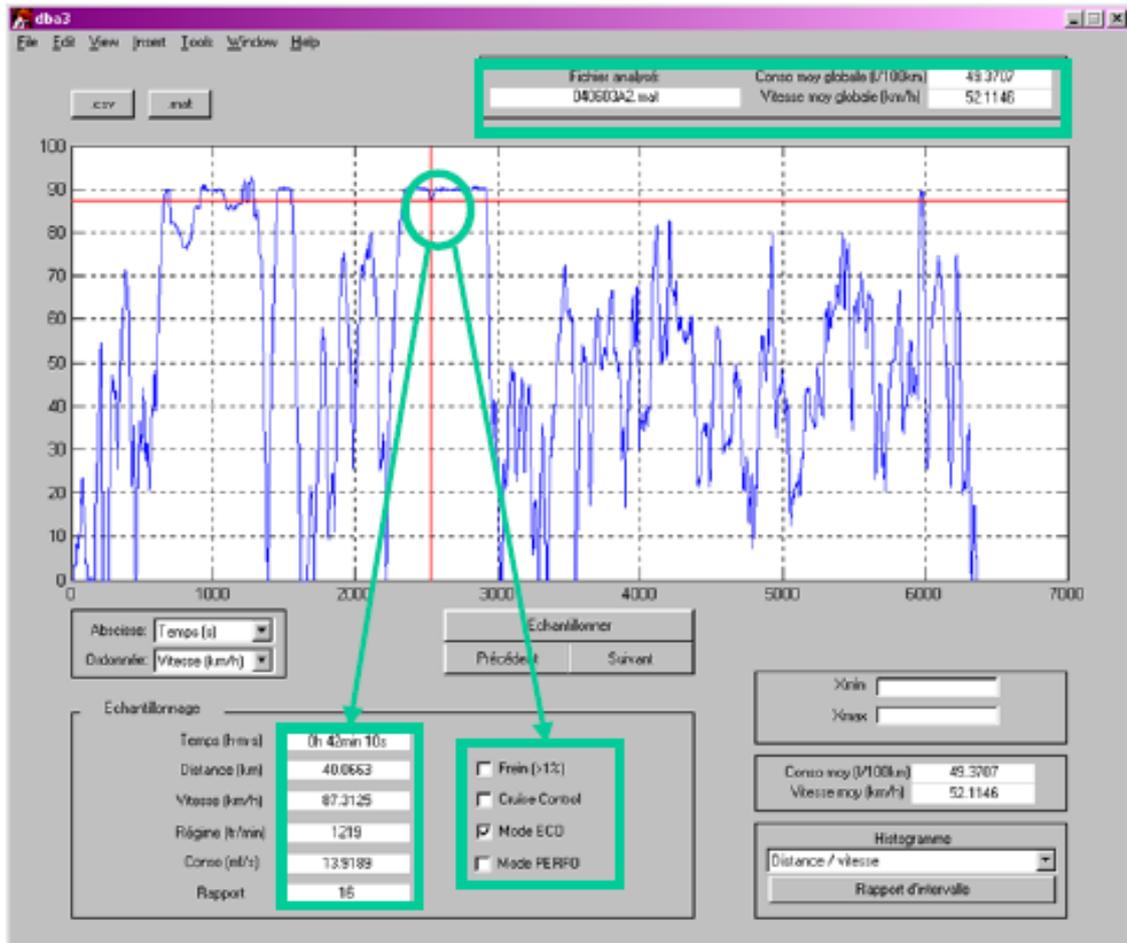
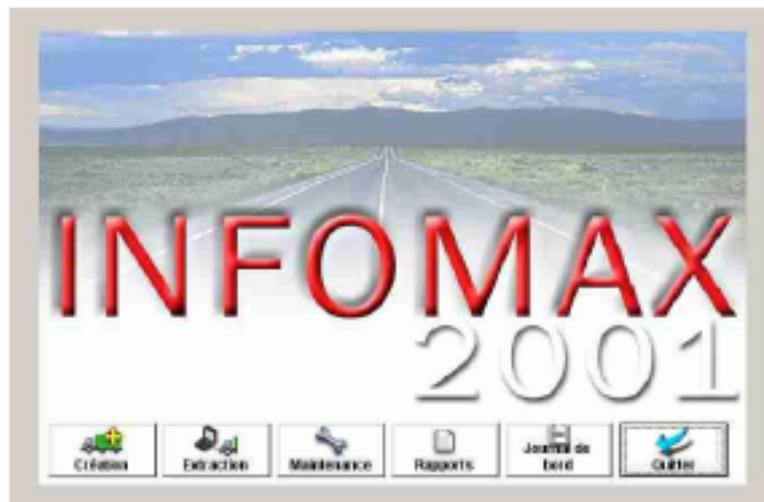


Figure 24 : Le Driver Behaviour Analysis (S. Fornengo, C. Rochas, A. Maincent, 2004)

Les données ont ensuite été analysées en les confrontant à des grilles d'observation de l'environnement et du conducteur, complétées in situ par l'expérimentateur.

INFOMAX



Afin de minimiser les risques de pertes de données et pallier les dysfonctionnements éventuels du matériel informatique d'acquisition, chaque parcours a été enregistré de manière globale à l'aide de l'application INFOMAX développée par Renault Trucks. Cette application, déjà installée sur le véhicule expérimental et disponible en option sur les véhicules de série, présente l'avantage d'être totalement transparente pour le conducteur pendant la conduite. Elle enregistre les données de manière automatique dès la mise en marche du moteur et jusqu'à son arrêt. Les données recueillies sont présentées sous forme de statistiques globales pour un parcours (vitesse, consommation, utilisation du moteur, des freins, etc.). En revanche, les données enregistrées sous INFOMAX ne sont pas horodatées, il n'est donc pas possible d'éditer des statistiques pour un segment particulier du parcours, ni de visualiser ces données sous formes de courbe comme le fait le DBA. De plus, les indicateurs utiles à notre travail ne sont pas tous disponibles via INFOMAX (nombre de changements de rapport, nombre d'arrêts, etc.).

D'un point de vue pratique, les rapports INFOMAX ont été prélevés sur le véhicule, à la fin de chaque parcours expérimental, à l'aide du PC portable utilisé pour les autres enregistrements.

L'observation de l'environnement routier et de l'activité du conducteur au volant

Pour permettre une analyse fine et pertinente de l'activité de conduite du véhicule, il était indispensable de confronter les enregistrements des paramètres du véhicule avec des données d'observation directe du comportement du conducteur « en action » (dépassement, avertisseur sonore, téléphone portable, etc.) ainsi que des données ponctuelles issues de l'environnement routier (travaux, circulation, météo, etc.). Ces observations ont été effectuées de deux façons, d'une part, à l'aide d'une application logicielle installée sur un « Palm m515 », l'« Actopalm de Kronos », et, d'autre part, à l'aide d'une grille d'observation papier/crayon comportant initialement toutes les données topologiques, les types d'infrastructures abordées, la signalisation routière, etc.

L'Actopalm – Kronos

L'Actopalm est une application logicielle dédiée à l'analyse de l'activité en situation naturelle. Elle permet le relevé horodaté de divers types d'observables prédéfinis par

l'expérimentateur et leur enregistrement selon différentes modalités. Pour cette étude, nous avons défini deux classes d'observables : les événements liés à l'environnement routier, et ceux liés aux comportements du conducteur et ne pouvant être enregistrés par le CANalyser ou INFOMAX.

L'environnement routier

- **Trafic** à 5 modalités exclusives : fluide, médium, dense, ralentissement, bouchon ;
- **Météo** à 2 modalités exclusives : sec, pluie – vent (début/fin) ;
- **Événements extérieurs** avec 2 modalités (oui/non) : travaux, accident + prise en compte d'une limitation de vitesse occasionnelle (début/fin) ;
- **Feux tricolores** à 3 modalités (ponctuelles) : rouge, vert, clignotant ;
- Franchissement d'un **rond-point** (début/fin) et arrêt au **péage** (début/fin) ;

Les comportements du conducteur

- **Insertion et dépassement** (début/fin) ;
- Utilisation de l'**avertisseur sonore** (ponctuel), de la **climatisation** et des **essuie-glaces** (début/fin) ;
- Utilisation du **téléphone portable** et de la **radio** (début/fin).

Le relevé des observations chronologiques s'effectue par désignation de zones préalablement dessinées par l'expérimentateur sur l'écran sensible d'un Palm Pilot ([Image 24](#)), données auxquelles des codes d'observables sont attribués. Pendant le déroulement des observations, l'appui sur une zone entraîne l'enregistrement de son code et son horodatage. Les données enregistrées à l'aide de l'Actopalm, sont ensuite traitées avec l'application ACTOGRAM-KRONOS pour PC.



Image 24 : Zones de saisie ActoPalm sur l'écran du Palm

Les grilles d'observation

Les grilles d'observation (papier/crayon) permettent de situer précisément sur le parcours les divers événements de l'environnement routier. Remplies par l'expérimentateur en temps réel, elles complètent les enregistrements informatisés et permettent l'explication de données comportementales inattendues ou remarquables. Elles ont été construites à partir du relevé topographique du parcours et comportent les types d'infrastructures abordées (RN, autoroute, agglomérations...), les différentes classes de situation (ronds-points, feux tricolores, péages, virages, rupture de profil...), la signalisation routière, etc. Elles sont précises aux 10 mètres près ([Annexe 6](#) et [Annexe 7](#)).

Explication des comportements du conducteur

En complément de l'enregistrement des données du véhicule avec pour objectif l'explication des comportements des conducteurs, nous avons élaboré une série de questionnaires ([Annexe 8](#) et [Annexe 9](#)) pour :

- connaître les variables personnelles et professionnelles du conducteur (âge, date du permis, type de transport, formation à la conduite rationnelle...),
- évaluer les connaissances, méta connaissances et représentations des conducteurs, notamment en matière de conduite rationnelle
- aborder l'utilisation et l'acceptation des assistances à la conduite déjà installées sur le camion ainsi que l'intérêt de la pédale d'accélération à retour d'effort,

Ces outils ont été construits ou choisis à partir des résultats des études bibliographiques et méthodologiques initiales. Nous nous sommes notamment inspirée des outils et questionnaires utilisés par Béchet et Combe-Pangaud (2002), ainsi que des observations que nous avons effectuées en situation naturelle ou à l'occasion des formations à la conduite rationnelle. Ces questionnaires ont été pré-testés auprès d'une dizaine de conducteurs professionnels afin de vérifier la compréhension et la pertinence des items.

Enfin, certains auteurs ayant relevé un lien entre les comportements d'évitement d'obstacles en conduite automobile et la résistance à l'interférence des conducteurs (Collet et al., 2005 ; Priez et al., 1998 ; Collet et al., 1994), il nous a semblé intéressant d'explorer cette dimension chez nos conducteurs de camion. Il paraît donc pertinent de poser l'hypothèse selon laquelle l'influence de l'environnement et du contexte sur les automatismes de la conduite rationnelle sera différente en fonction de la résistance du conducteur à l'interférence cognitive (Effet Stroop,). Pour tester cette hypothèse, nous avons inclus le test dit « de stress », issu du Stroop Color Word Test, dans notre dispositif expérimental.

Le test de Stroop

Le test de stress est un test « papier-crayon » qui permet d'évaluer la résistance d'un individu à l'interférence cognitive (Editions du Centre de Psychologie Appliquée). Il doit être administré aux sujets dans une pièce avec un éclairage correct permettant une bonne discrimination des couleurs.

Le test se présente sous la forme d'un livret composé de trois parties. Chaque partie comporte les consignes correspondantes, deux exemples résolus en guise d'illustration et cinq exercices d'entraînement pour que le sujet se familiarise avec ce qu'il doit faire. Le sujet a ensuite 90 secondes pour faire l'exercice « *le plus vite et le mieux possible* ». Avant de déclencher le chronomètre, l'expérimentateur doit s'assurer que le sujet a bien compris la consigne.

Le principe du test est la dénomination de quatre couleurs : rouge, bleu, vert et jaune. Cette dénomination est effectuée par le sujet en inscrivant l'initiale de la couleur ou du nom décrivant la couleur dans la case correspondante.

Les items de la première partie sont des noms de couleur, imprimés en noir :

Jaune Rouge Bleu Vert Le sujet devra inscrire :

Les items de la deuxième partie sont des carrés de couleur :

Le sujet devra inscrire :

Les items de la troisième partie sont des noms de couleur, imprimés dans une couleur différente. Le sujet doit dénommer la couleur de l'encre dans laquelle le nom est inscrit :

Vert Jaune Rouge Bleu Le sujet devra inscrire :

A la fin du test, l'examineur fait le total des carrés remplis pour chaque partie. L'indice de résistance au stress est ensuite calculé en appliquant la formule indiquée dans le livret de l'examineur fourni avec le kit de passation.

Auto-évaluation de la charge de travail engendrée par l'activité de conduite d'un camion

L'un des objectifs de cette première phase du projet CEA était l'élaboration et la validation d'un test pour l'auto-évaluation, par les conducteurs, de la charge de travail engendrée par la conduite d'un camion en situation naturelle. L'outil que nous avons proposé est la version française du NASA TLX développé par Hart et Staveland (1988). Nous l'avons adapté aux situations de conduite de véhicules et pré-testé auprès de conducteurs professionnels lors de roulages effectués dans le cadre des stages de formation à la conduite rationnelle.

Le test se présente sous la forme d'un questionnaire papier/crayon que le conducteur doit compléter à la fin de chaque partie du parcours. La méthode fournit une information à la fois qualitative et quantitative de la charge de travail engendrée par la conduite sur un parcours donné. Elle permet, d'une part, l'identification des sources spécifiques de charge, et, d'autre part, la prise en compte de l'importance de ces sources dans le calcul d'un taux global de charge (Figure 25).

Le test repose sur l'évaluation de six sources potentielles de charge : trois de ces sources représentent les exigences imposées au conducteur par la tâche de conduite (l'exigence mentale, l'exigence physique et la pression temporelle) ; les trois autres rendent compte des interactions du conducteur avec la conduite (l'effort, le stress et la performance) (Annexe 3). Les sujets doivent tout d'abord évaluer, quantitativement, à l'aide d'échelles bipolaires, l'importance de chaque source en fonction de leur ressenti durant le parcours (Annexe 10). Ces facteurs sont ensuite pondérés suivant une procédure de comparaison par paires (Annexe 11). Cette pondération permet l'évaluation à la fois qualitative, et quantitative, de la charge de travail en minimisant les sources subjectives de variabilité.

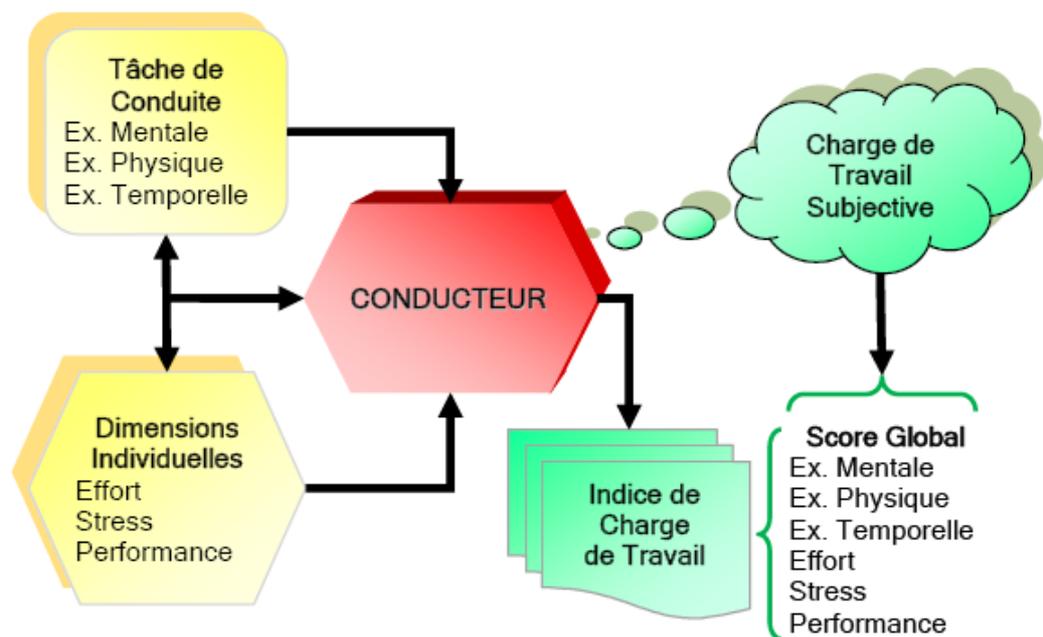


Figure 25 : Représentation schématique de l'auto-évaluation de la charge de travail (d'après Maincent et Martin, 2004)

Nous souhaitons tester la sensibilité de l'outil pour des situations de faible charge telles que celles observées lors de la conduite de camions en environnement non perturbé, d'en vérifier la compréhension auprès de conducteurs routiers professionnels, et enfin d'en établir la validité pour l'utiliser par la suite dans une démarche d'analyse ergonomique en situation naturelle. De plus, si l'outil se révélait pertinent, nous espérons tester l'hypothèse selon laquelle les comportements liés à la conduite rationnelle sont influencés par la « quantité » de charge de travail ressentie par le conducteur.

Application du modèle de l'activité à la démarche méthodologique

Afin de permettre une lecture synthétique du dispositif expérimental mis en place, nous avons repris le modèle proposé page 92 (Figure 13) et l'avons complété avec les outils et méthodes que nous avons retenus pour l'analyse de l'activité de conduite d'un camion en environnement naturel (Figure 26, page suivante).

Certains modules du modèle ont été « grisés » dans la mesure où nous n'avons pas intégré leur exploration dans notre démarche de recherche : soit parce que leur prise en compte nécessiterait un matériel expérimental que nous n'avons pas et qu'il aurait été difficile d'installer dans notre véhicule d'expérimentation (informations sensorielles) ; soit parce que leur étude n'est pas pertinente pour cette recherche (niveau stratégique du traitement de l'information) ; soit enfin, parce nous avons dû effectuer un « découpage » nécessaire de l'objet de recherche afin de concilier les contraintes expérimentales et les objectifs spécifiques du projet.

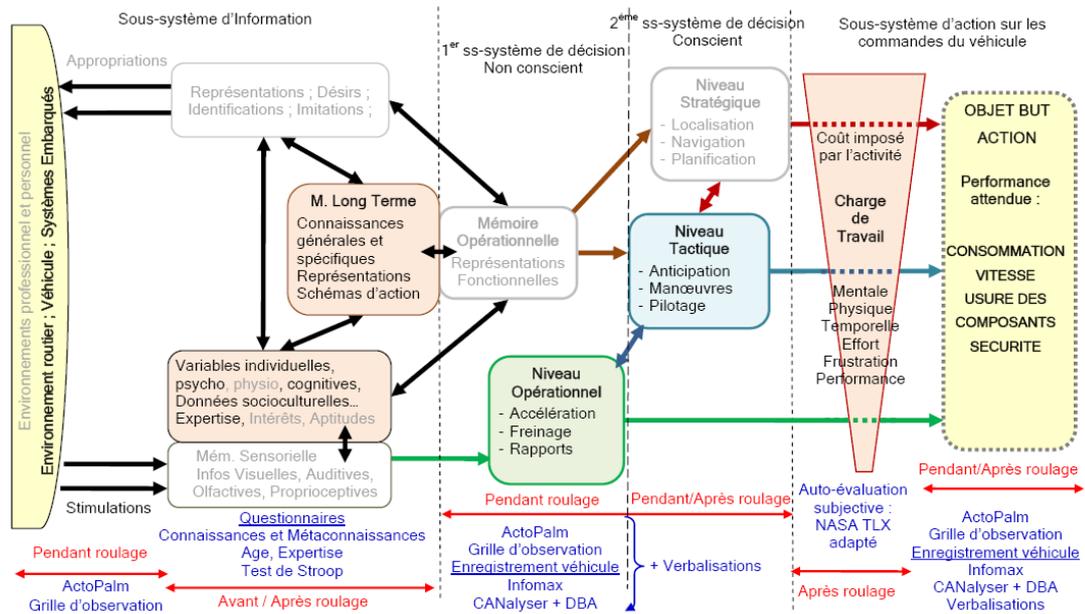


Figure 26 : Représentation schématique des outils et méthodes utilisés pour l'analyse comportementale de la conduite en environnement naturel

Déroulement des observations

Le protocole complet, assez lourd, est composé d'environ trois heures de conduite auxquelles s'ajoute la passation des questionnaires et tests divers. L'ensemble a représenté environ cinq heures d'observation par conducteur.

Afin de garantir un maximum de similitudes dans les situations (conditions de trafic, chronobiologie des conducteurs, etc.), les observations ont été programmées au même moment de la journée (début d'après-midi). Les roulages étaient annulés en cas de situation routière perturbée (pluie intense, vent violent, neige, circulation difficile, etc.) ou de refus de participer du conducteur (un seul refus a été exprimé). Enfin, en raison des impératifs des entreprises de transport partenaires et des aléas météorologiques et techniques, elles n'ont pu être conduites qu'une fois par semaine en moyenne, hors vacances scolaires, ce qui a impliqué une durée de plus d'une année pour effectuer l'ensemble des trente trois observations.

La procédure expérimentale est identique pour tous les conducteurs : même véhicule, mêmes parcours, mêmes horaires et même ordre de passation des divers tests et questionnaires :

1. Accueil du conducteur et présentation de la recherche :

- Présentation de l'étude et du programme de la journée,
- Présentation et vérification du véhicule et de l'attelage⁸⁸,
- Passation du questionnaire d'accueil : Variables personnelles du conducteur (5 à 10mn)
- Présentation du trajet global et description du parcours A avec le support d'une carte routière.
- La consigne donnée au conducteur était de conduire de manière habituelle, il lui était précisé que l'observateur n'était pas là pour juger ou noter sa façon de conduire, et que toutes les données recueillies seraient traitées statistiquement et resteraient anonymes et confidentielles.

2. « Roulage Parcours A » (agglomérations et route nationales, environ 2 heures), de la sortie « Direction Commerciale » de Renault Trucks St Priest (Rhône) au péage d'entrée de l'autoroute A48 de Voiron (Isère) :

- Enregistrement en continu des données du VECU + enregistrement automatique par INFOMAX,
- Enregistrement horodaté des événements extérieurs et du comportement du conducteur à l'aide d'ActoPalm et de la grille d'observation (papier-crayon).

3. Arrêt péage A48, fin du parcours A :

- Auto-évaluation de la charge de travail par le conducteur pour le parcours A (10 mn) + pause de 5 mn.,
- Parallèlement, extraction des rapports INFOMAX du parcours A par l'expérimentateur,
- Présentation de la carte routière pour le parcours B.

4. « Roulage Parcours B » (autoroutier, environ 1 heure), du péage d'entrée de l'autoroute A48 de Voiron (Isère) à l'entrée « Direction Commerciale » de Renault Trucks St Priest (Rhône) :

- Consignes et enregistrements identiques au parcours A.

5. Arrivée Renault Trucks St Priest, fin de la partie "roulage"

- Auto-évaluation de la charge de travail par le conducteur pour le parcours B (10 mn) + administration des questionnaires C1 à C5 et post-expérimental : comportements généraux de conduite, représentations et connaissances, assistances (15 mn),
- Extraction des rapports INFOMAX du parcours B par l'expérimentateur,
- Passation du test de Stroop (8mn) dans une salle du centre de formation.

Présentation des résultats

Cette section présente les résultats des quatre axes de recherche précédemment définis :

Axe 1. la modélisation comportementale de la conduite rationnelle,

Axe 2. la mise au point d'une méthode d'évaluation de la charge de travail engendrée par l'activité de conduite d'un camion,

Axe 3. l'explication des comportements de conduite des conducteurs de V.I.,

Axe 4. l'étude des représentations des conducteurs à propos de la conduite rationnelle.

Les données comportementales ont fait l'objet d'un traitement quantitatif sur l'ensemble de l'échantillon et d'un traitement qualitatif sur trois cas représentatifs en termes de conduite rationnelle : conducteur « performant », « moyen » et « inefficace ».

Analyse quantitative des données comportementales des conducteurs

Les analyses comportementales reposent essentiellement sur les enregistrements, en temps réel, des actions du conducteur sur les commandes du véhicule. Ces données ont été enregistrées à l'aide des applications logicielles CANalyser et DBA. Elles sont complétées par les rapports des statistiques de parcours de l'application INFOMAX.

Les grilles d'observation et les relevés de l'ActoPalm ont servi à préciser les conditions expérimentales, à expliquer les données atypiques (ralentissements, travaux, dépassement...) et à relever les actions et comportements du conducteur ne pouvant être enregistrées par les outils informatiques (téléphone, radio, avertisseur sonore...).

Les traitements statistiques des données ont été effectués à l'aide du logiciel Statistica 9.0.

En raison de difficultés techniques liées au système d'enregistrement, la totalité des soixante six parcours⁸⁹ n'a pu être enregistrée via le CANalyser. Nous avons donc effectué deux séries d'analyses quantitatives distinctes en fonction de l'outil d'enregistrement utilisé.

- La première série d'analyses s'appuie sur les rapports statistiques INFOMAX et porte sur les soixante six observations (33 sur le parcours A et 33 sur le parcours B). Ces analyses quantitatives sont orientées sur la recherche d'une variabilité inter-individuelle liée à la conduite rationnelle (consommation et vitesse).
- La deuxième série d'analyses s'appuie sur les données chronologiques issues du CANalyser, plus précises mais avec un nombre d'enregistrements moins important (27 sur le parcours A et 26 sur le parcours B). Nous avons nettoyé l'ensemble de ces données en écartant les observations atypiques du point de vue des conditions environnementales (travaux, bouchons, événements météo particuliers). Ces analyses portent, d'une part, sur la recherche d'une variabilité intra-individuelle et, d'autre part, sur l'impact de la conduite rationnelle en termes d'usure des composants au travers de l'utilisation des freins et de la boîte de vitesse.

Variabilité inter-individuelle

Hypothèse de travail

Si la consommation d'un véhicule dépend du style de conduite du conducteur, alors on devrait observer une variabilité inter-individuelle en termes de consommation et de vitesse.

Variables indépendantes

- Parcours A = Parcours complexe, varié avec tous types de classes de situation
- Parcours B = Parcours simple, autoroutier

Variables dépendantes

⁸⁹ Pour rappel, chacun des trente trois conducteurs a effectué deux parcours

- Consommation
- Vitesse

Variables contrôlées

- Conditions météorologiques
- Véhicule et chargement
- Pression temporelle

Population

- 33 Conducteurs (traitement des données INFOMAX)

Résultats

Comme nous l'avons supposé, les analyses ont mis en évidence une importante variabilité inter-individuelle, tant en termes de consommation, qu'en termes de vitesse, quelle que soit la complexité du parcours (Figure 27 et Figure 28).

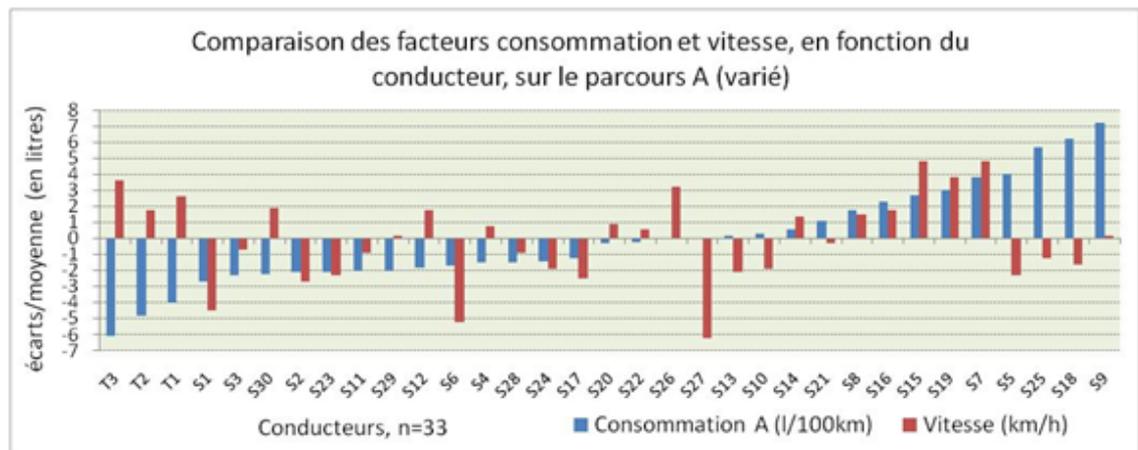


Figure 27 : Répartition des sujets en fonction de leurs consommation et vitesse moyennes sur le parcours A (varié et complexe)

Les écarts de consommation, par rapport à la moyenne des 33 conducteurs, s'échelonnent de -6 à $+7,5$ litres/100km sur le parcours A, varié, pour une moyenne égale à $53,6$ l/100km) et de $-4,5$ à $+4$ litres/100km sur le parcours B, autoroutier, pour une moyenne de $35,9$ l/100 km.

Des observations identiques sont relevées en ce qui concerne la vitesse : de $-6,5$ à $+5$ km/h sur le parcours A, varié, et de -6 à $+6,5$ km/h sur le parcours B, autoroutier.

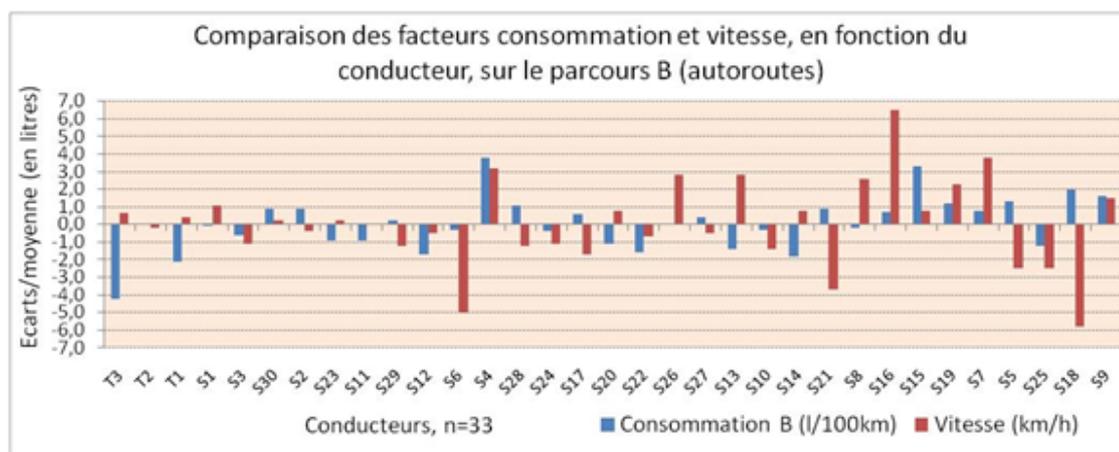


Figure 28 : Répartition des sujets en fonction de leurs consommation et vitesse moyennes sur le parcours B (autoroutier et plus simple)

L'existence de cette variabilité inter-individuelle n'est pas surprenante puisqu'elle est à l'origine du projet. Néanmoins, nous ne nous attendions pas à trouver une dispersion et des écarts aussi importants.

Sur un trajet varié, cette dispersion observée en matière de consommation permet d'espérer un gain minimum de 3 litres au 100 km (pour une moyenne de 53,6 l/100km). Ce gain est calculé en considérant la consommation des 13 conducteurs les plus consommateurs qui présentent un écart de + 0,2 l à + 7,2 l par rapport à la moyenne du groupe.

Sur un trajet autoroutier, les observations relevées permettent de prévoir un gain minimum de 1,3 litres au 100 km (pour une moyenne de 35,9 l/100km). Ce gain est calculé à partir de la consommation des 15 conducteurs qui présentent un écart de + 0,2 litres à + 3,8 litres par rapport à la moyenne du groupe.

Constance intra-individuelle

Après avoir mis en évidence l'existence d'une importante variabilité inter individuelle en termes de consommation et de vitesse, nous pouvons supposer l'existence d'une constance intra individuelle dans les comportements de conduite des conducteurs. Pour ce faire, nous nous sommes appuyée sur les enregistrements issus du CANalyser. Ils présentaient l'avantage de comporter un plus grand nombre de données horodatées que n'offrait pas INFOMAX. Enfin, l'application DBA nous permettait de sélectionner des événements particuliers ou des tronçons de parcours pour l'analyse qualitative.

En revanche, en raison de problèmes techniques, un certain nombre de parcours n'ont pas été enregistrés. De plus, afin de contrôler au mieux les variables environnementales, indépendantes du conducteur, et susceptibles d'influer sur la consommation du véhicule (trafic anormalement perturbé, travaux sur le parcours, événements météorologiques imprévus), nous avons dû nettoyer les fichiers de données. L'échantillon est donc réduit à vingt cinq conducteurs dont trois témoins.

Hypothèse de travail

S'il existe des invariants comportementaux en termes de consommation et de vitesse, il est permis de supposer qu'un conducteur aura le même style de conduite quel que soit le

type de parcours abordé. Par conséquent on devrait observer des corrélations entre les comportements observés sur le parcours A et ceux observés sur le parcours B en termes de consommation et de vitesse.

Variables indépendantes

- Parcours A = Parcours complexe, varié avec tous types de classes de situation
- Parcours B = Parcours simple, autoroutier

Variables dépendantes

- Consommation
- Vitesse

Variables contrôlées

- Conditions météorologiques
- Véhicule et chargement
- Conditions de trafic (ralentissements dans la mesure du possible)

Population

- 25 Conducteurs (traitement des données « nettoyées » du CANalyser)

Recherche de corrélations entre la consommation sur le parcours A et la consommation sur le parcours B

Les analyses statistiques (coefficient de Pearson) ont mis en évidence l'existence d'une corrélation positive entre la variable « consommation » sur le parcours A et la variable « consommation » sur le parcours B ($r=.4773$ pour $p=.016$, [Figure 29](#)) : il est donc permis de supposer l'existence d'une constance intra-individuelle en termes de comportements de conduite liés à la consommation du véhicule, quel que soit le type d'infrastructure abordé.

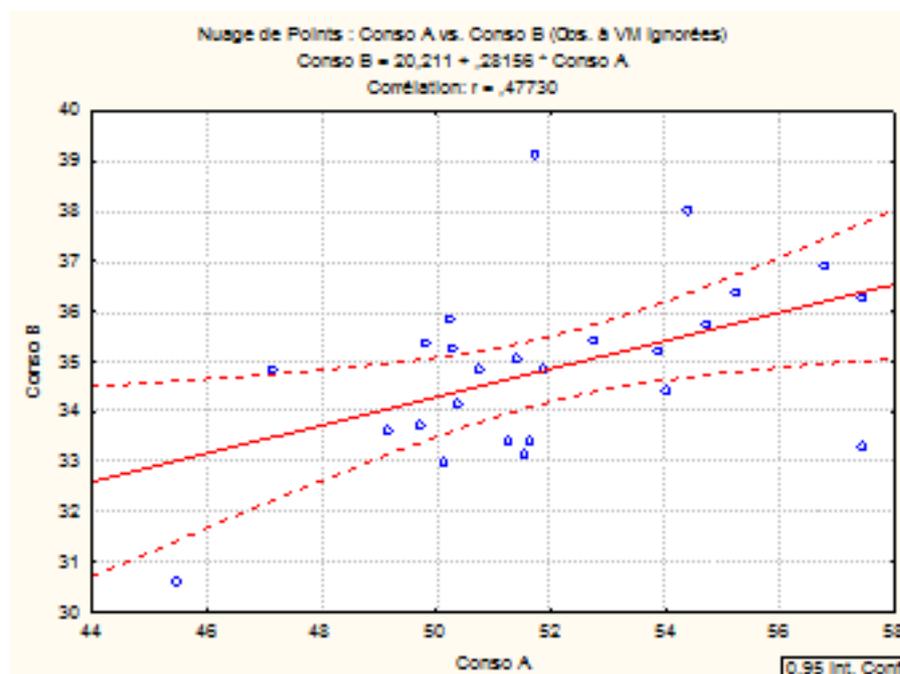


Figure 29 : Représentation en nuages de points de la corrélation observée en termes de consommation pour les parcours A et B, n=25 (coefficient de Pearson)

Recherche de corrélations entre la vitesse sur le parcours A et la vitesse sur le parcours B

Contrairement à la consommation, les analyses statistiques n'ont pas relevé de corrélation entre la variable « vitesse » sur le parcours A et la variable « vitesse » sur le parcours B. Cette absence de corrélation laisse supposer une dissociation entre la vitesse et la consommation en fonction du parcours abordé. Avant de poursuivre plus loin dans la recherche de critères comportementaux en lien avec la conduite rationnelle, nous avons vérifié l'existence de cette dissociation consommation/vitesse.

Dissociation consommation/vitesse

Variables indépendantes

- Parcours A = Parcours complexe, varié avec tous types de classes de situation
- Parcours B = Parcours simple, autoroutier

Variables dépendantes

- Consommation
- Vitesse

Variables contrôlées

- Conditions météorologiques
- Véhicule et chargement
- Pression temporelle

Population

- 33 Conducteurs (traitement des données INFOMAX)

Résultats

Conformément aux observations précédentes, les analyses ont mis en évidence l'existence d'une dissociation consommation/vitesse (Figure 30 et Figure 31) Cette dissociation a été révélée par une dispersion importante et l'absence de corrélation statistique entre la consommation et la vitesse et ce, quel que soit le parcours abordé (coefficient de Pearson).

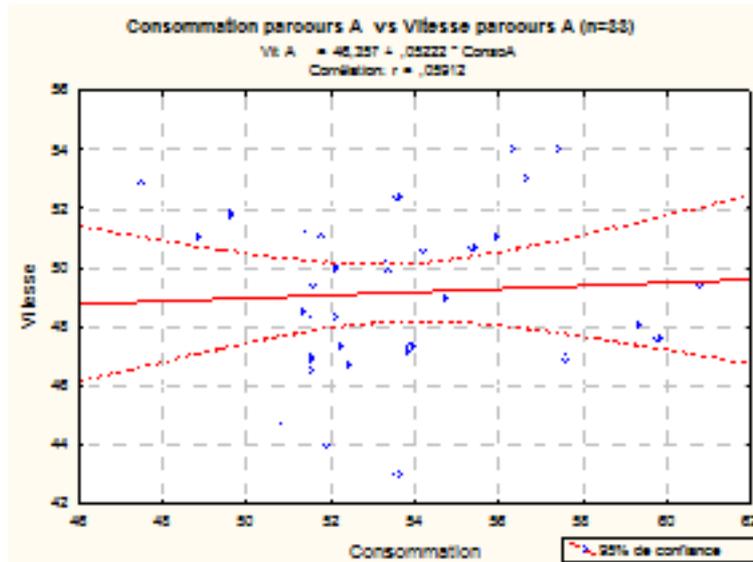


Figure 30 : Représentation en nuage de points de la dissociation consommation/vitesse sur le parcours A

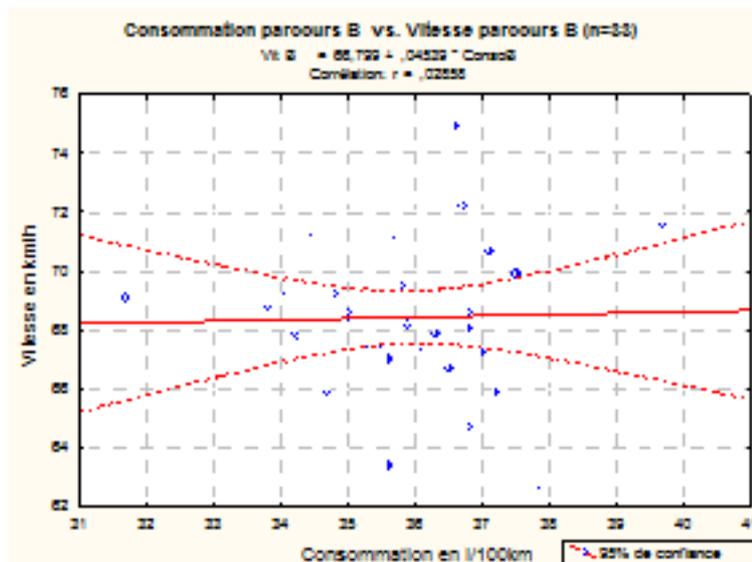


Figure 31 : Représentation en nuage de points de la dissociation consommation/vitesse sur le parcours B

Ces observations démontrent que la consommation d'un véhicule industriel dont la vitesse maximale est limitée techniquement à 90 km/h n'est pas intimement dépendante de la vitesse . Ainsi, il semble tout à fait possible , pour un conducteur ou pour un système électronique, de réduire la consommation de carburant sans toutefois perdre trop de temps , quelle que soit la configuration du parcours .

Les observations sont donc en accord avec les principes de la conduite rationnelle, c'est à dire que l'on peut maîtriser la consommation des véhicules d'une flotte, sans pour autant augmenter les délais de livraison et, de ce fait, sans nuire à la productivité du véhicule. Reste à définir, par les analyses individuelles, si cette conduite dite « rationnelle » ne va pas à l'encontre des règles élémentaires de sécurité ainsi que de la réglementation routière, notamment en termes de respect des limitations de vitesse.

Les critères comportementaux d'une conduite rationnelle

Compte tenu de l'existence d'une certaine constance dans les comportements des conducteurs, en termes de consommation, nous avons effectué une série d'analyses pour tenter de dégager les invariants associés à la consommation et exploitables par un système électronique. Dans ce but, nous avons recherché, d'une part, l'existence de corrélations entre chaque indicateur observable par l'intermédiaire des enregistrements des données du véhicule, selon le parcours abordé ; d'autre part, l'existence de corrélations entre la consommation et ces indicateurs du comportement du conducteur. Cette recherche aurait nécessité l'application d'analyses statistiques multivariées et notamment d'une analyse discriminante. Cependant, en raison de la petite taille de notre échantillon, nous n'avons pu appliquer que des statistiques descriptives.

Variables indépendantes

- Parcours A = Parcours complexe, varié avec tous types de classes de situation
- Parcours B = Parcours simple, autoroutier

Variables dépendantes

- Consommation (données CANalyser)
- Nombre d'arrêts (données CANalyser)
- Nombre d'appuis sur les freins (données INFOMAX)
- Nombre d'activations du ralentisseur (données INFOMAX)
- Distance parcourue avec le régulateur (données INFOMAX)
- Distance parcourue hors de la zone verte, au-dessus de 1500 tours/minute⁹⁰ (données INFOMAX)
- Nombre de changements de rapport (données CANalyser)

Variables contrôlées

- Conditions météorologiques
- Véhicule et chargement
- Conditions de trafic (ralentissements dans la mesure du possible)
- Pression temporelle

Echantillon

- 25 Conducteurs (données « nettoyées » CANalyser + INFOMAX)

Résultats

En ce qui concerne les indicateurs enregistrés via CANalyser et INFOMAX, nous avons relevé trois corrélations positives significatives en fonction du parcours abordé (Coefficient de Pearson, [Tableau 7](#)) :

- Existence d'une corrélation positive entre l'utilisation du régulateur de vitesse sur le parcours A et l'utilisation du régulateur de vitesse sur le parcours B ($r=.7957$ et $p<.0005$) ;
- Existence d'une corrélation positive entre la distance parcourue hors zone verte sur le parcours A et la distance parcourue hors zone verte sur le parcours B ($r=.8081$ et $p<.0005$) ;
- Existence d'une corrélation positive entre le nombre de changements de rapport sur le parcours A et le nombre de changements de rapport sur le parcours B ($r=.5966$ et $p=.002$)

Tableau 7 : Résultats des analyses de corrélation entre les indicateurs comportementaux enregistrés via CANalyser et INFOMAX (coefficient de Pearson, n=25)

Variable	Corrélations (parcours A et B) Corrélations significatives marquées à $p < ,0500$ N=25 (Observations à VM ignorées)				
	Appuis freins B	Ralentisseurs B	Régulateur B	Hors zone verte B	Changements rapports B
Appuis freins A	,2114 $p=,310$				
Ralentisseurs A		,2416 $p=,245$			
Régulateur A			,7957 $p=,000$		
Hors zone verte A				,8081 $p=,000$	
Changements rapports A					,5966 $p=,002$

Nous avons confronté ces résultats à la consommation en recherchant l'existence de corrélations entre ces indicateurs et la consommation observée en fonction du parcours (Coefficient de Pearson).

Tableau 8 : Résultats de la confrontation de la variable « consommation » aux indicateurs comportementaux enregistrés sur le parcours A (coefficient de Pearson, n=25)

Variable	Corrélations (Données nettoyées parcours A) Corrélations significatives marquées à $p < ,0500$ N=25 (Observations à VM ignorées)						
	Vitesse A	Arrêts A	Appuis freins A	Ralentisseurs A	Régulateur A	Hors zone verte A	Changements rapports A
Conso A	-,1454 $p=,488$,1859 $p=,374$,4775 $p=,016$,3912 $p=,053$	-,3958 $p=,050$,6093 $p=,001$,0466 $p=,825$

Sur le parcours A, les analyses ont mis en évidence deux corrélations significatives ([Tableau 8](#)) :

- Existence d'une corrélation positive entre le nombre d'appuis sur les freins pour le parcours A et le nombre d'appuis sur les freins pour le parcours B ($r=.4775$ et $p=.016$) ;
- Existence d'une corrélation positive entre la distance parcourue hors zone verte sur le parcours A et la distance parcourue hors zone verte sur le parcours B ($r=.6093$ et $p=.001$) ;

Tableau 9 : Résultats de la confrontation de la variable « consommation » aux indicateurs comportementaux enregistrés sur le parcours B (coefficient de Pearson, n=25)

Variable	Corrélations (Données nettoyées parcours B) Corrélations significatives marquées à $p < ,0500$ N=25 (Observations à VM ignorées)						
	Vitesse B	Arrêts B	Appuis freins B	Ralentisseur B	Régulateur B	Hors zone verte B	Changements rapports B
Conso B	,0318	-,0283	,0973	-,0529	-,0913	,3872	,0441
	$p=,880$	$p=,893$	$p=,644$	$p=,802$	$p=,664$	$p=,056$	$p=,834$

Contrairement aux résultats obtenus sur le parcours A, nous n'avons observé aucune corrélation significative entre la consommation et les indicateurs comportementaux sur le parcours B.

Styles de conduite et usure des composants

A partir des analyses précédentes, il nous est possible de vérifier si l'adoption d'une conduite rationnelle a un impact positif sur l'usure des composants (freins et boîte de vitesse) : Si tel est le cas, on devrait observer des corrélations positives entre la consommation et les indicateurs d'utilisation des freins et de la boîte de vitesse (nombre d'appuis freins et nombre de changements de rapports), quel que soit le parcours abordé.

Résultats

Cette hypothèse n'est que très partiellement vérifiée pour le parcours A pour lequel on observe l'existence d'une corrélation positive entre la consommation et le nombre d'appuis sur les freins pour le parcours A, varié et « exigeant » pour les composants ($r=.4775$, $p=.016$).

Les deux autres indicateurs (utilisation du ralentisseur et de la boîte de vitesse) ne semblent pas corrélés avec la consommation (Tableau 10).

Tableau 10 : Résultats de la confrontation de la variable « consommation » aux indicateurs de l'utilisation des composants sur le parcours A (coefficient de Pearson, n=25)

Variable	Corrélations (Données nettoyées parcours A) Corrélations significatives marquées à $p < ,0500$ N=25 (Observations à VM ignorées)		
	Appuis freins A	Ralentisseurs A	Changements rapports A
Conso A	,4775	,3912	,0466
	$p=,016$	$p=,053$	$p=,825$

Pour le parcours B, autoroutier, aucune corrélation n'est observée entre la consommation et l'utilisation des organes de freinage et de la boîte de vitesse (Tableau 11).

Tableau 11 : Résultats de la confrontation de la variable « consommation » aux indicateurs de l'utilisation des composants sur le parcours B (coefficient de Pearson, n=25)

Variable	Corrélations (Données nettoyées parcours B) Corrélations significatives marquées à $p < ,0500$ N=25 (Observations à VM ignorées)		
	Appuis freins B	Ralentisseurs B	Changements rapports B
Conso b	,0973	-,0529	,0441
	p=,644	p=,802	p=,834

La lecture de ces analyses ne permet pas de conclure à une relation nette entre la consommation et l'usure des composants. De plus, la seule corrélation observée (le nombre d'appuis sur les freins) ne concerne que le parcours A, alors que la consommation sur le parcours A est corrélée à celle sur le parcours B. Ainsi, l'utilisation des freins ne semble clairement associée à la consommation qu'en parcours difficile.

Ces résultats ne nous permettent pas de valider l'hypothèse selon laquelle une conduite rationnelle favorise une optimisation de l'usure des composants de la chaîne cinématique.

Synthèse de l'analyse quantitative des données comportementales

L'ensemble de ces analyses ne nous permet pas de dégager des critères comportementaux individuels, stables, permettant de caractériser une conduite rationnelle, hormis peut-être l'utilisation de la zone verte. Néanmoins, en dehors de la relation avec la conduite rationnelle, les analyses ont mis en évidence une certaine constance dans les comportements de conduite, notamment en termes d'utilisation du régulateur de vitesse et d'utilisation de la boîte de vitesse (Tableau 12).

Critères inconstants	Critères constants	Corrélation avec la consommation	
		Parcours A	Parcours B
	Utilisation du régulateur d'allure	NON	NON
	Dépassement de la zone verte	OUI	NON
	Utilisation de la boîte de vitesse	NON	NON
Utilisation des freins		OUI	NON

Tableau 12 : Synthèse des relations entre les indicateurs comportementaux des conducteurs et la consommation

Compte tenu de la faiblesse de ces résultats, nous avons effectué une analyse qualitative à partir de trois cas représentatifs : un conducteur performant, un conducteur moyennement efficace et un conducteur inefficace en termes de conduite rationnelle. Ces cas seront confrontés à un témoin, le pilote responsable des essais presse pour la

consommation chez Renault Trucks. Ces trois études de cas devraient nous permettre de préciser les stratégies correspondant à chaque style de conduite et d'en identifier les composantes.

Enfin, nous tenterons d'apporter une explication aux comportements de conduite, en confrontant la consommation observée, aux données cognitives et ergonomiques (charge de travail) des conducteurs.

Analyse qualitative par études de cas des données comportementales en termes de styles de conduite

Afin de compléter les analyses quantitatives et avec l'objectif d'apporter une explication comportementale aux différences de performance observées, nous avons effectué une analyse qualitative des données sous la forme d'études de cas. Les résultats devraient nous permettre de dégager trois modèles en termes de stratégies de conduite : une stratégie efficace, une stratégie moyennement efficace et une stratégie inefficace en matière de conduite rationnelle.

Les analyses ont été effectuées à partir des enregistrements horodatés du CANalyser. Les comportements ont été analysés en fonction de quelques classes de situations significatives et permettent de mettre en évidence trois types de stratégie qui définissent trois typologies comportementales en termes de conduite rationnelle.

Pour effectuer cette étude, nous avons retenu trois styles de conduite représentatifs, un « efficace », un « moyennement efficace » et un « inefficace » en termes de consommation, de temps de parcours réalisé et d'utilisation des freins et de la boîte de vitesse (Tableau 13). Le choix a été effectué à partir des enregistrements horodatés obtenus via le CANalyser et traités à l'aide du DBA3. Ces conducteurs sont comparés à un « témoin », spécialiste de la conduite rationnelle et connaissant parfaitement les parcours. Ce témoin avait eu pour consigne, lors du roulage, de conduire de façon « rationnelle ».

Tableau 13 : Description des performances sur le parcours A des 3 conducteurs, sujets de l'étude de cas

	Consommation (l/100km)	Vitesse (km/h)	Distance parcourue en freinant (km)	Nombre de changements de rapports
Témoin	45,47	59,39	2,28	331
CH1 Efficace	50,16	51,97	4,37	525
CH2 Moyen	51,75	51,01	5,61	564
CH3 Inefficace	57,45	50,77	6,56	609
Moyenne (n=23)	52,74	51,83	5,05	534

Question de recherche a priori

A partir des stratégies de conduite appliquées par les conducteurs sur des classes de situation définies, il doit être possible de dégager des invariants comportementaux significatifs de styles de conduite spécifiques.

Question de recherche a posteriori

L'analyse quantitative ayant montré une dissociation consommation/vitesse, nous avons cherché à savoir dans quelle mesure nos trois conducteurs respectaient la réglementation routière en termes de vitesse.

L'analyse présentée ci-après a été effectuée en fonction de quelques classes de situation pertinentes prélevées sur le parcours A :

- Parcours complet
- Arrivée sur péage
- Franchissement de ronds-points
- Descente + Franchissement d'un virage + Entrée en agglomération

Deux raisons ont orienté le choix de ce parcours : d'une part, les différences de performance observées sont beaucoup plus importantes que sur le parcours B, et, d'autre part, les classes de situation sont plus variées, notamment en termes de ruptures de profil, ronds-points et virages. Les stratégies mises en évidence ont été vérifiées, pour les trois cas, sur la majorité des classes de situation comparables et ce, sur les deux parcours A et B.

Parcours complet

Une première analyse macroscopique de la courbe de vitesse sur le parcours complet a été effectuée notamment en termes de régularité (maintien de la vitesse, décélérations et reprises). Les comparaisons ont été faites, toutes les conditions étant comparables par ailleurs (utilisation des grilles d'observation et des relevés ACTOPALM).

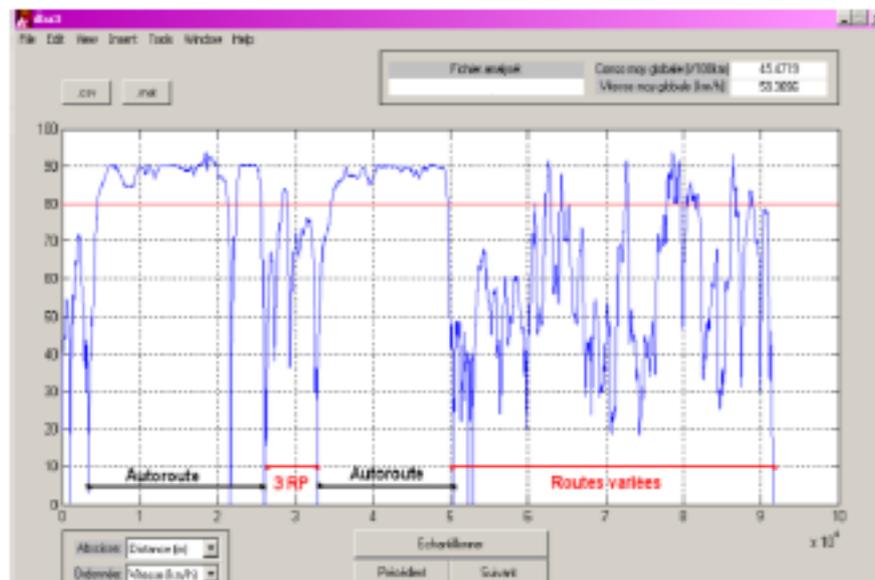


Figure 32 : Parcours complet – Témoin

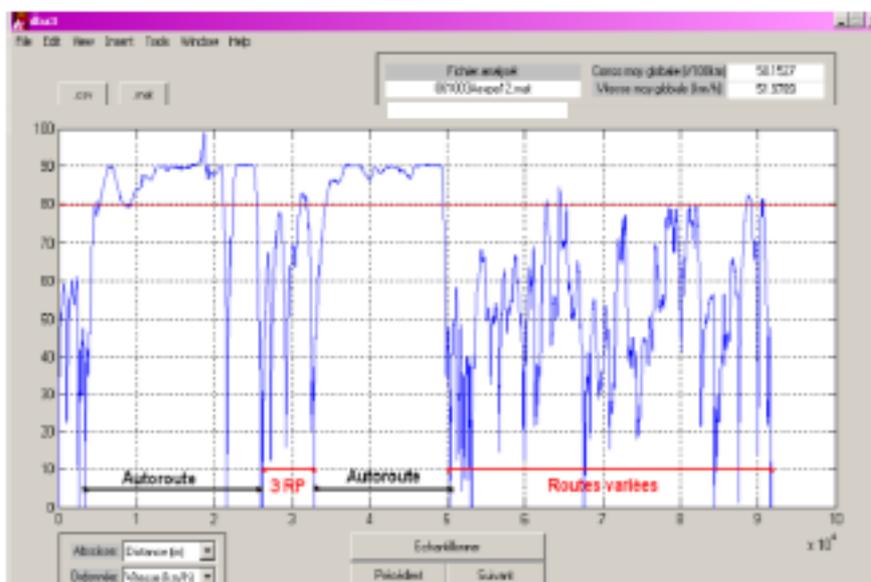


Figure 33 : Parcours complet – CH1

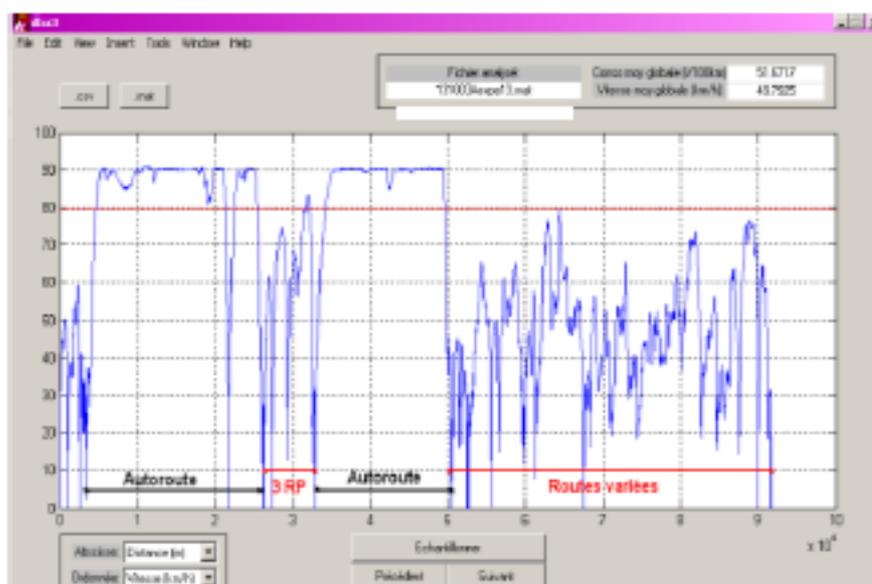


Figure 34 : Parcours complet – CH2

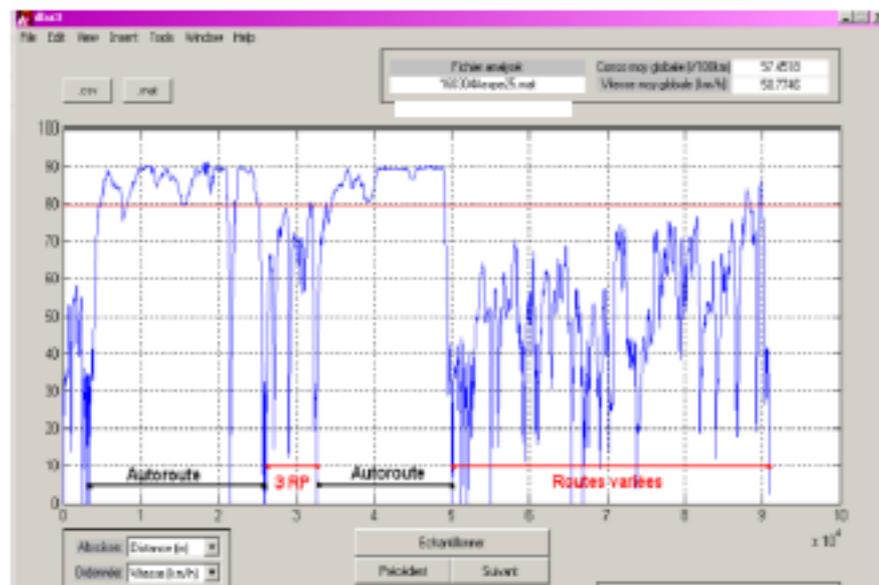


Figure 35 : Parcours complet – CH3

Analyse

Le comportement du conducteur témoin sert de référence pour les analyses individuelles. Le régulateur de vitesse n'a pas été utilisé. Hors autoroute, on constate des dépassements réguliers de la vitesse autorisée sur route (80 km/h), essentiellement dans les descentes.

CH1. La courbe de vitesse est un peu plus irrégulière sur autoroute que celle du témoin. Sur routes variées, la courbe est plus proche du témoin mais sans dépassement de la vitesse autorisée.

CH2. La courbe de vitesse est très régulière sur la deuxième partie d'autoroute en raison de l'utilisation du régulateur. En revanche, dès l'arrêt du système, la vitesse relevée est moins régulière (première partie d'autoroute). Sur routes variées la courbe est proche de celle du CH1 avec une vitesse moins élevée. On ne constate pas de dépassement de la vitesse autorisée sur route.

CH3. La courbe de vitesse est la plus irrégulière, notamment sur autoroute où l'on observe de nombreuses décélérations inutiles. Le comportement sur routes variées se rapproche de celui du CH2 avec une vitesse irrégulière qui n'est pas optimisée et quelques dépassements de la vitesse autorisée en descente.

Les différences comportementales s'expriment principalement en termes de **régularité** et d'**optimisation de la vitesse**.

Sur le parcours complet, la vitesse moyenne du témoin n'est pas comparable dans la mesure où elle est au-dessus de la limite autorisée sur route sur un total d'environ 7 km. Si l'objectif de la conduite rationnelle est bien d'optimiser le rapport consommation sur temps de parcours, il n'est absolument pas question d'induire des comportements en contradiction avec les règles de sécurité routière.

Arrivée sur péage

L'analyse est effectuée sur le péage d'entrée du premier tronçon d'autoroute au km 21,7. Il est situé au bout d'une longue ligne droite avec une bonne visibilité permettant l'anticipation.

L'anticipation est prise en compte à partir du moment où la consommation est nulle. Cette situation correspond au « lever de pied » du conducteur, c'est à dire qu'il n'a plus aucune action sur l'accélérateur, quel que soit le régime moteur et le rapport engagé (un rapport doit néanmoins être engagé, le véhicule ne doit jamais être piloté en « roues libres »). Il se sert alors de l'énergie cinétique de son véhicule. Cette énergie lui permettra d'aller d'autant plus loin sans accélérer que la charge du camion sera élevée. Hormis un gain en consommation, cette stratégie permet une décélération progressive et une utilisation modérée des dispositifs de freinage. Le curseur (en rouge) est positionné sur le début de l'appui sur les freins. Les paramètres correspondant à ce point sont affichés dans les diverses fenêtres sous le graphique.

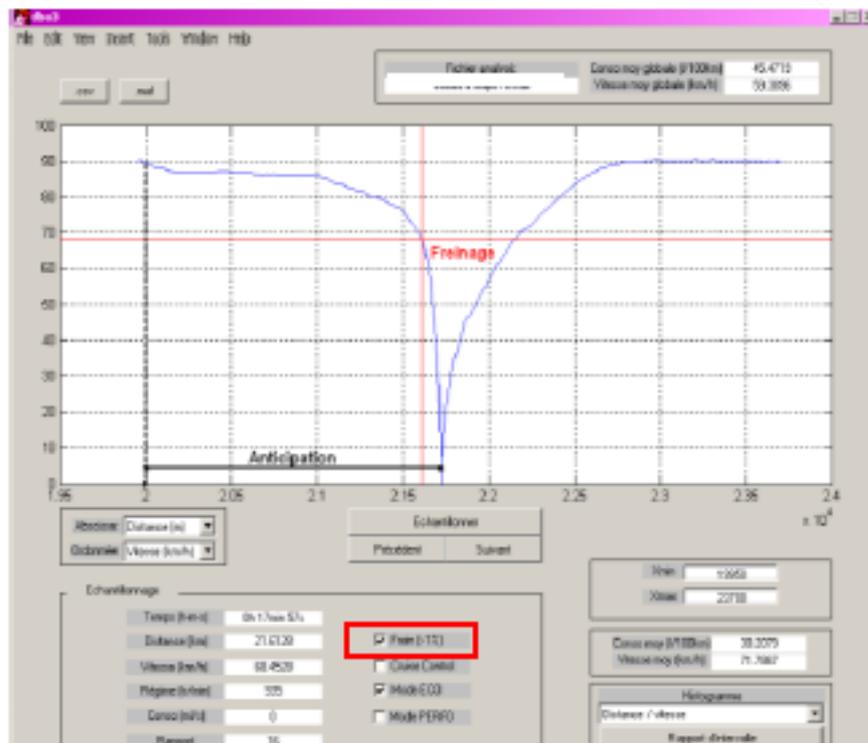


Figure 36 : Arrivée sur un péage – Témoin

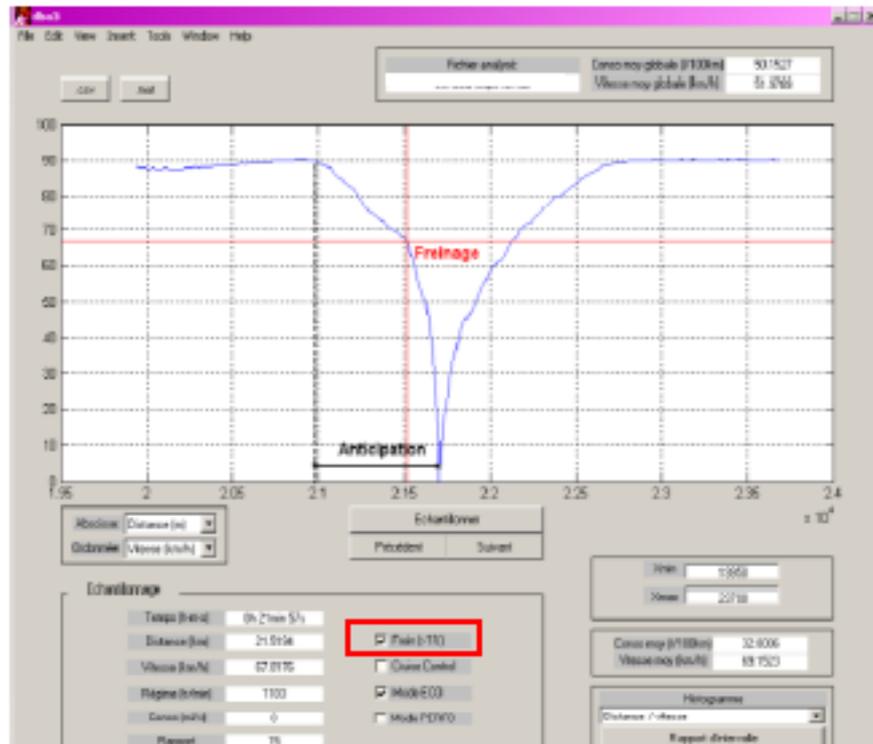


Figure 37 : Arrivée sur un péage – CH1

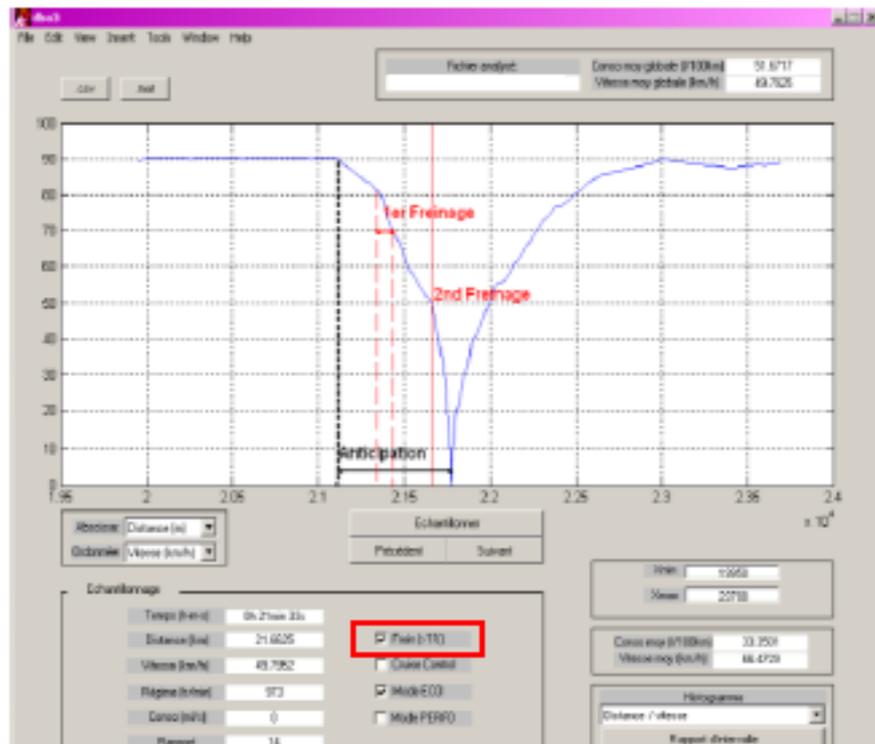


Figure 38 : Arrivée sur un péage – CH2

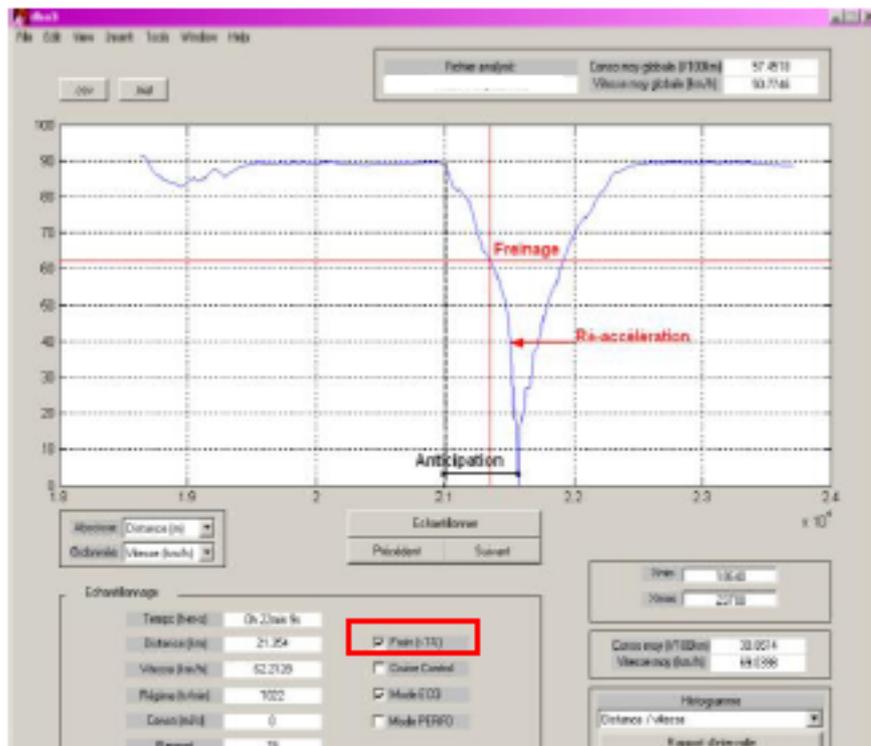


Figure 39 : Arrivée sur un péage – CH3

Analyse des arrivées sur péage

Témoin : Une phase de **lever de pied** 1640m avant une **courte phase de freinage** de 90m avec une décélération régulière et constante jusqu'au péage. **Anticipation** environ **1730m** avant le péage (conso = 0). Utilisation maximale de l'énergie cinétique du véhicule.

CH1. Une phase de **lever de pied** sur 500m avant un **freinage continu** sur 230m avant le péage. **Anticipation 730m** avant le péage. Utilisation régulière de l'énergie cinétique.

CH2. Une phase de **lever de pied**, ponctuée par **deux phases de freinage** (200m au total). **Anticipation 640m** avant le péage. Utilisation irrégulière de l'énergie cinétique.

CH3. Décélération plus brutale avec une phase de lever de pied sur 300m suivie d'un **freinage brusque** sur 266m. On remarque même une **reprise de l'accélération** 100m avant l'arrivée sur le péage. **Anticipation 570m** avant le péage. Mauvaise utilisation de l'énergie cinétique.

Les différences comportementales s'expriment principalement en termes d'**anticipation**, de **freinage**, et d'utilisation de **l'énergie cinétique** du véhicule.

Franchissement de ronds-points (RP)

L'analyse a été effectuée sur la partie du parcours qui comprend une série de trois grands ronds-points avec large visibilité permettant l'anticipation, du km 26 au km 33. Ce tronçon est situé sur route nationale, hors agglomération, la vitesse réglementaire pour notre véhicule d'expérimentation est limitée à 80 km/h. Les conditions de circulation au moment du franchissement des ronds-points ont été contrôlées avant l'analyse. Le curseur rouge est placé sur le point d'insertion du véhicule dans le troisième rond-point (franchissement de

la signalisation horizontale). L'anticipation est prise en compte à partir du premier lever de pied (conso=0).



Figure 40 : Ronds-points – Témoin

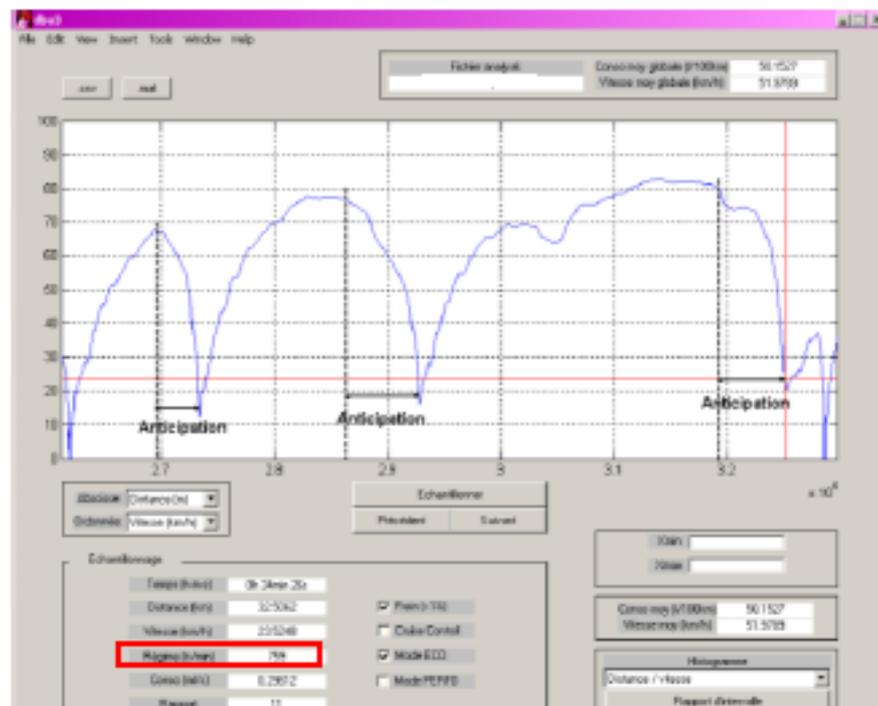


Figure 41 : Ronds-points – CH1

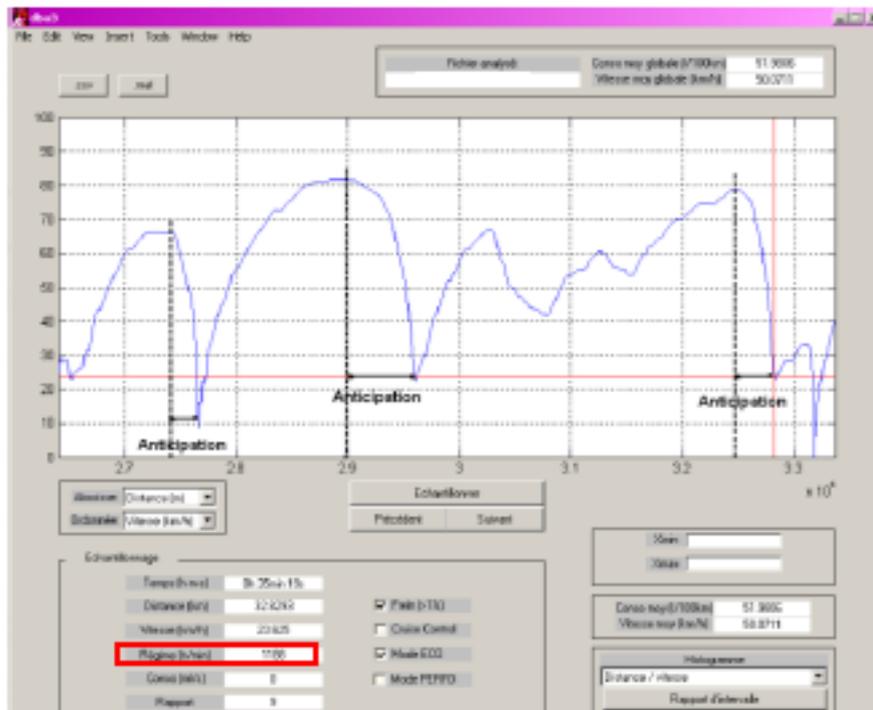


Figure 42 : Ronds-points – CH2



Figure 43 : Ronds-points – CH3

Analyse des franchissements de ronds-points

Témoin : Anticipation entre 500 et 700m avant les ronds-points. Franchissement « **en arrondi** ». Vitesse de franchissement entre 30 et 40 km/h. Régime moteur bas (1048 T/mn sur le 3^{ème} rond-point).

CH1. Anticipation entre 350 et 600 m avant les ronds-points. Franchissement « **en pointe** ». Vitesse de franchissement entre 10 et 20 km/h. Conduite régulière. Régime moteur bas (759 T/mn).

CH2. Comportement proche du CH1 avec une anticipation quasi identique, entre 200 et 600m avant les ronds-points et des franchissements « **en pointe** ». Vitesse de franchissement entre 10 et 25 km/h. Régime moteur élevé (1188 T/mn).

CH3. Peu d'anticipation, entre 90 et 300m. Franchissement « **en pointe** ». Courbe de vitesse irrégulière avec des décélérations et des accélérations brutales. Vitesse de franchissement entre 10 et 20 km/h. Régime moteur très élevé (1423 T/mn).

Tableau 14 : Récapitulatif des données comportementales observées pour le franchissement des ronds-points

	Anticipation	Style de franchissement	Vitesse de franchissement	Régime moteur (3 ^{ème} rond-point)
Témoin	500 à 700m	En arrondi	Entre 30 et 40 km/h	1048 T/mn
CH1	350 à 600m	En pointe	Entre 10 et 20 km/h	759 T/mn
CH2	200 à 600m	En pointe	Entre 10 et 25 km/h	1188 T/mn
CH3	90 à 300m	En pointe	Entre 10 et 20 km/h	1423 T/mn

Pour les classes de situation « rond-point », les différences s'expriment en termes d'**anticipation**, de **régime moteur** et de **style de franchissement** du rond-point () :

- Franchissement « **en arrondi** » : Vitesse constante élevée. Décélérations et accélérations souples et régulières.
- Franchissement « **en pointe** » : Forte décélération avant le rond-point suivie d'une accélération brutale. Faible vitesse.

A priori, seul le témoin, spécialiste de la conduite rationnelle, a un style de franchissement « en arrondi ». Reste à savoir si le calculateur peut faire aussi bien que notre témoin sans nuire à la sécurité (vitesse assez élevée), mais surtout si les conducteurs accepteront d'adopter un comportement assez éloigné de leur comportement habituel sur conseil d'une assistance.

Sur cette classe de situation, il nous semble plus raisonnable de ne prendre en compte que l'anticipation et le régime moteur.

Descente + Virage + entrée en agglomération

L'analyse a été effectuée sur une partie du parcours d'environ 9 km, comprise entre deux agglomérations du km 74 au km 83. Ce tronçon comporte une longue descente à 7% ponctuée d'un virage et suivie d'une entrée en agglomération. Le comportement est traduit en termes d'utilisation de l'énergie cinétique du véhicule, de franchissement du virage et d'anticipation sur l'arrivée en agglomération. Le curseur est positionné sur le lever de pied (conso=0) avant l'arrivée sur agglomération. Les irrégularités dans la courbe de vitesse s'expliquent par l'existence de courbes légères sur le parcours.

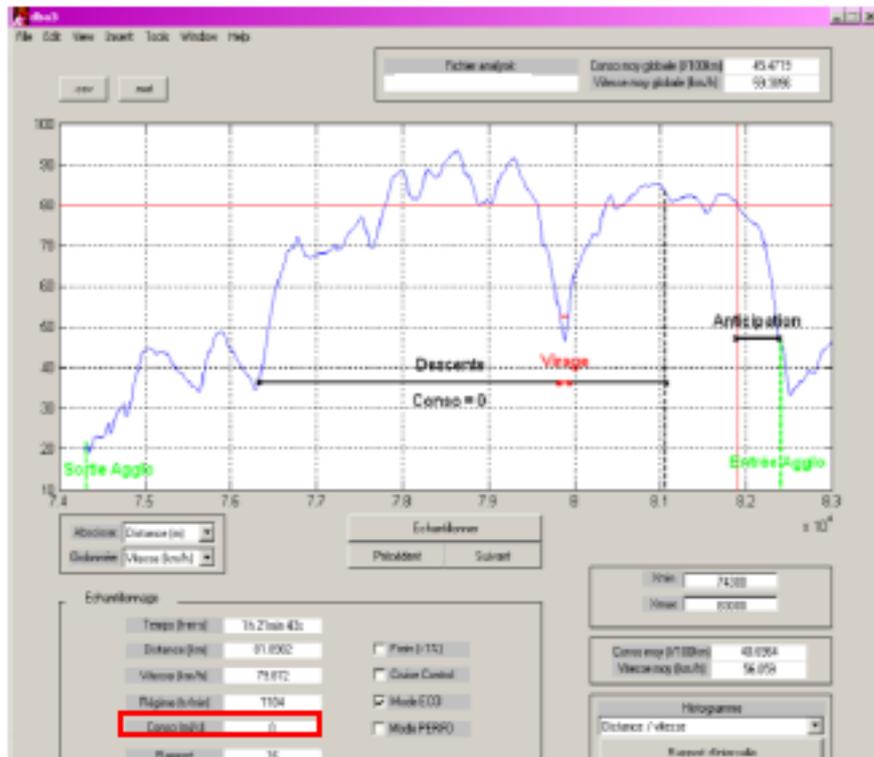


Figure 44 : Descente + Virage + agglo – Témoin

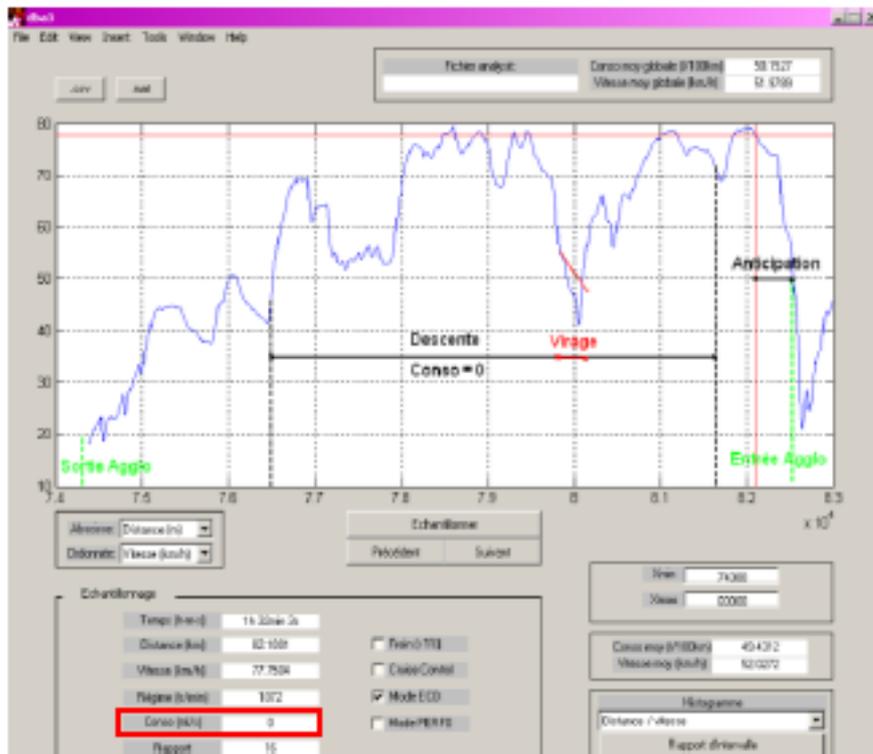


Figure 45 : Descente + Virage + agglo – CH1

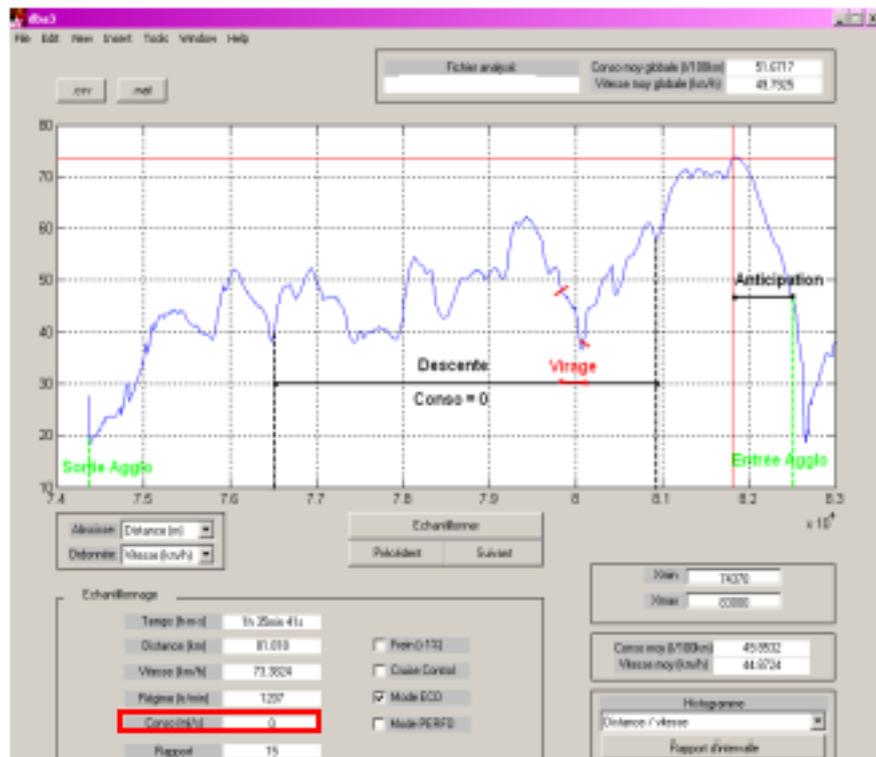


Figure 46 : Descente + Virage + agglo – CH2

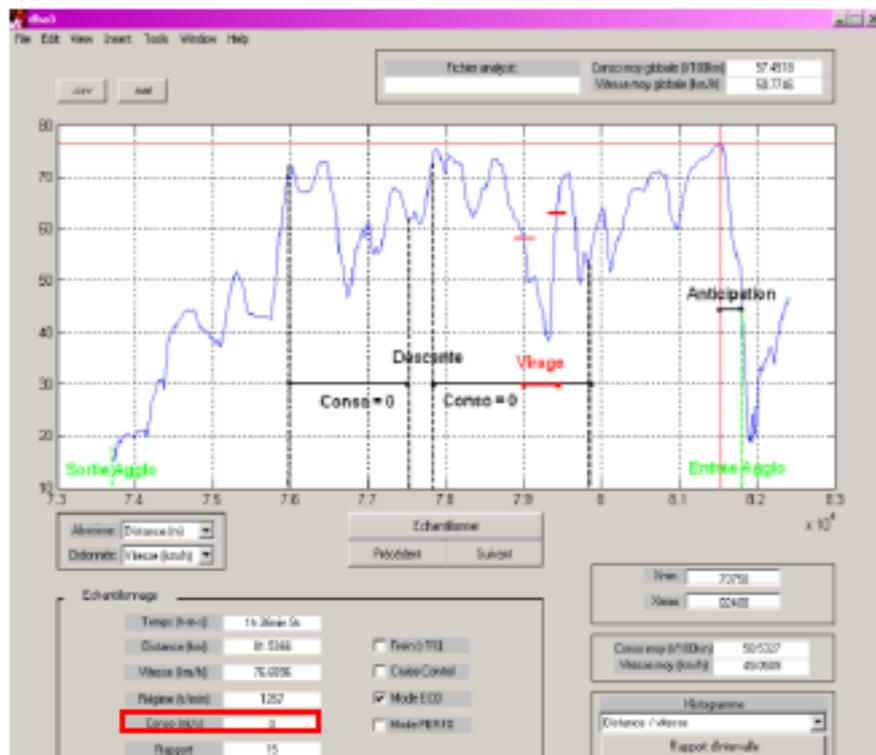


Figure 47 : Descente + Virage + agglo – CH3

Analyse d'un tronçon « descente + virage + entrée en agglomération »

Témoin : Utilisation de l'énergie cinétique (conso = 0) sur **4650m**, avec une légère accélération sur **100m** pour franchir le **virage**. Franchissement du **virage** à **47 km/h**. **Anticipation** de l'entrée en agglomération sur **520m** à partir de 80 km/h. Courbe globale très régulière mais beaucoup de dépassement de la vitesse autorisée (80km/h) dans la descente ce qui explique la performance de vitesse sur le parcours global.

CH1. Utilisation de l'énergie cinétique sur **4900m**, avec une accélération sur **150m** pour franchir le **virage**. Franchissement du **virage** à **41km/h**. **Anticipation** de l'entrée en agglomération sur **420m** à partir de 78 km/h. Courbe peu régulière dans la descente mais meilleure utilisation de l'énergie cinétique que le témoin sans pour autant dépasser la vitesse autorisée.

CH2. Utilisation de l'énergie cinétique sur **4150m** avec une accélération sur **260m** pour franchir le **virage**. Franchissement du **virage** à **37 km/h**. **Anticipation** de l'entrée en agglomération sur **680m**, meilleure que le témoin et le CH1, mais à partir d'une vitesse moins élevée (73 km/h) qui entraîne une perte de temps. Courbe irrégulière avec une vitesse peu élevée.

CH3. Utilisation de l'énergie cinétique sur **3175m**, avec une accélération sur **315m** pour franchir le **virage**. Franchissement du **virage** à **38 km/h**. **Anticipation** de l'entrée en agglomération sur **290m** à partir de 78 km/h. Courbe de vitesse très irrégulière sans dépassement de la vitesse autorisée.

Tableau 15 : Récapitulatif des données comportementales pour les classes de situation descente + virage + entrée en agglomération

	Energie cinétique en descente	Reprise dans virage	Vitesse virage	Anticipation sur agglomération
Témoin	4650m	100m	47 km/h	520m à 80 km/h
CH1	4900m	150m	41 km/h	420m à 78 km/h
CH2	4150m	260m	37 km/h	680m à 73 km/h
CH3	3175m	315m	38 km/h	290m à 78 km/h

Les différences comportementales sur ces classes de situation s'expriment en termes d'**utilisation de l'énergie cinétique**, de reprise de l'accélération dans les virages (en relation avec l'utilisation de l'énergie cinétique), de **vitesse de franchissement** des virages (similaire au franchissement des ronds-points), et d'**anticipation** de l'entrée en agglomération (similaire aux arrivées sur péage).

Remarques

- Ces comportements se retrouvent de façon assez similaire pour plusieurs classes de situation, que ce soit sur le parcours A ou sur le parcours B. Ainsi, les comportements d'arrivée sur un événement qui nécessite un arrêt complet (péage, feu rouge, etc.) sont souvent identiques pour chaque conducteur. Il en est de même pour les franchissements de virages ou de ronds-points, toutes autres conditions étant semblables par ailleurs (trafic, visibilité, etc.).
- Le CH1 et le CH3 n'ont pas suivi de formation spécifique à la conduite rationnelle, seul le CH2 en a suivi une. Les trois conducteurs ont obtenu la note de 2/4 aux questions sur les connaissances en termes de conduite rationnelle. Notamment, ils

savaient tous que le fait de relâcher complètement l'accélérateur quand le camion est en mouvement permet d'avoir une consommation nulle, malgré cela le CH3 n'a pas mis le principe en application.

- *Il semble donc que les connaissances explicites et le fait d'avoir suivi ou non une formation spécifique à la conduite rationnelle n'influencent pas ou peu le style de conduite habituel des conducteurs.*

Synthèse de l'analyse qualitative

Les analyses permettent effectivement de dégager trois styles comportementaux distincts, associés à la conduite rationnelle : un style peu consommateur, un style moyennement consommateur et un style très consommateur.

Les styles de conduite se traduisent en termes de stratégies de conduite :

- par l'anticipation sur les événements ;
- par l'utilisation de l'énergie cinétique du véhicule ;
- par l'utilisation correcte du régime moteur ;
- et par la vitesse de franchissement des différents types d'infrastructure, notamment les ronds-points et les virages.

Ces stratégies sont constituées d'ensembles organisés d'actions sur les commandes du véhicule qui peuvent être traduits en critères objectifs, reconnaissables et exploitables par un système « intelligent ». Les critères comportementaux pourraient être utilisés par le système dans la mesure où celui-ci serait en relation avec une cartographie précise (pourcentage des pentes, angles des virages, etc.), adaptée à la circulation des poids lourds (limites de vitesse correctes, interdictions PL, hauteur de ponts...).

Enfin, si les principes de la conduite rationnelle, que notre conducteur témoin a appliqués, concilient la consommation de carburant et le gain de temps, il nous semble déraisonnable de conseiller à un conducteur d'adopter une vitesse plus élevée que celle qu'il estime adaptée. De plus, sur l'ensemble des deux parcours, le témoin a bien souvent dépassé les limites de vitesse réglementaires pour un véhicule de ce gabarit, ce que, de tous points de vue, nous ne pouvons approuver.

Validation du NASA TLX pour l'évaluation de la charge de travail des conducteurs en situation naturelle

Les analyses des données du NASA TLX adapté à la conduite d'un camion en situation naturelle ont été orientées en fonction de deux objectifs : le premier pour vérifier que la méthode permet de discriminer différentes situation de conduite et d'en définir les composantes ; le second pour étudier les relations possibles entre la charge de travail ressentie par les conducteurs et leur consommation de carburant.

Dans cette section, nous abordons les résultats permettant de valider la forme et l'intérêt de l'utilisation de ce test pour discriminer deux situations de conduite. Les résultats concernant les relations possibles avec la consommation sont présentés dans la section suivante, avec l'étude des dimensions cognitives en lien avec la conduite rationnelle.

Variables indépendantes

- Parcours A = Parcours complexe, varié avec tous types de classes de situation
- Parcours B = Parcours simple, autoroutier

Variables dépendantes

- Score Global de charge de travail
- Six facteurs de charge de travail : Exigence Mentale, Exigence Physique, Exigence Temporelle, Effort, Stress et Performance.

Variables contrôlées

- Conditions météorologiques
- Véhicule et chargement
- Pression temporelle

Population

- 33 Conducteurs

Chaque conducteur a rempli deux tests, le premier à l'issue du parcours A et le second à l'issue du parcours B. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide de Statistica 9.0.

Résultats

Les analyses statistiques (t pour échantillons appariés) ont mis en évidence des différences significatives en termes de charge de travail ressentie par les conducteurs en fonction du parcours abordé. Ces différences s'expriment tant sur un plan quantitatif (score global de charge) que sur un plan qualitatif (identification des facteurs de charge).

Analyse quantitative de la charge de travail

Les résultats ont mis en évidence une différence significative au niveau du score global de charge de travail en fonction du parcours suivi ($t=6,55$, $p<0,0005$; [Tableau 16](#)).

Ainsi, le Score Global relevé pour le parcours A, complexe, est deux fois plus élevé que le Score Global relevé pour le parcours B. Ce score de charge de travail reste néanmoins très faible si on le compare à des activités à forte composante cognitive, telles que le contrôle de processus par exemple (pilotage de centrale nucléaire, contrôle aérien...). Ces résultats semblent démontrer que l'activité de conduite d'un véhicule, en situation naturelle et hors situations critiques, est essentiellement composée d'habiletés cognitives engendrant une faible charge de travail.

Tableau 16 : Synthèse des analyses statistiques pour le score global et chaque facteur de charge de travail en fonction du parcours abordé

Variables	Test t pour des échantillons appariés (NASA TLX adapté conduite) Différences significatives marquées à $p < ,05000$							
	Moyenne	Ec-Type	N	Différ.	Ec-Type Différ.	t	dl	p
C. Ment A	46,76	28,40	33	24,76	25,59	5,56	32	0,000
C. Ment B	22,00	17,60						
C. Phys A	16,52	17,11	33	9,00	17,26	3,00	32	0,005
C. Phys B	7,52	6,05						
P. Temp A	9,94	13,03	33	3,52	10,61	1,90	32	0,066
P. Temp B	6,42	6,95						
Effort A	14,97	14,06	33	5,91	16,16	2,10	32	0,044
Effort B	9,06	12,44						
Stress A	20,21	27,84	33	14,33	24,02	3,43	32	0,002
Stress B	5,88	16,57						
Perf. A	27,73	18,21	33	4,33	21,98	1,13	32	0,266
Perf. B	23,39	18,88						
S. Glob A	22,69	8,70	33	10,31	9,04	6,55	32	0,000
S. Glob B	12,38	7,22						

C. Ment. = Charge Mentale ; C. Phys. = Charge Physique ; P. Temp. = Pression Temporelle ; Perf. = Performance ; S. Glob. = Score Global.

Analyse qualitative de la charge de travail

Le NASA TLX adapté à la conduite semble suffisamment puissant pour faire ressortir les facteurs prédominants dans la charge de travail globale (Figure 48), même dans des situations de faible charge comme la conduite hors situations critiques.

Différenciation Parcours A vs Parcours B

Les analyses (t pour échantillons appariés) ont mis en évidence une différence significative en fonction du parcours abordé sur quatre des six dimensions de la charge de travail (Tableau 16) :

- La charge mentale ressentie est plus élevée sur un parcours complexe et varié que sur un parcours simple et autoroutier ($t=5,56$, $p<0,0005$) ;
- La charge physique ressentie est plus élevée sur un parcours complexe et varié que sur un parcours simple et autoroutier ($t=3,00$, $p=0,005$) ;
- L'effort fourni est plus important sur un parcours complexe et varié que sur un parcours simple et autoroutier ($t=2,10$, $p=0,0044$) ;
- Le stress ressenti est plus élevé sur un parcours complexe et varié que sur un parcours simple et autoroutier ($t=3,43$, $p=0,002$).

Seuls les facteurs « Performance » et « Pression Temporelle » semblent d'importance équivalente sur les deux parcours (Figure 48).

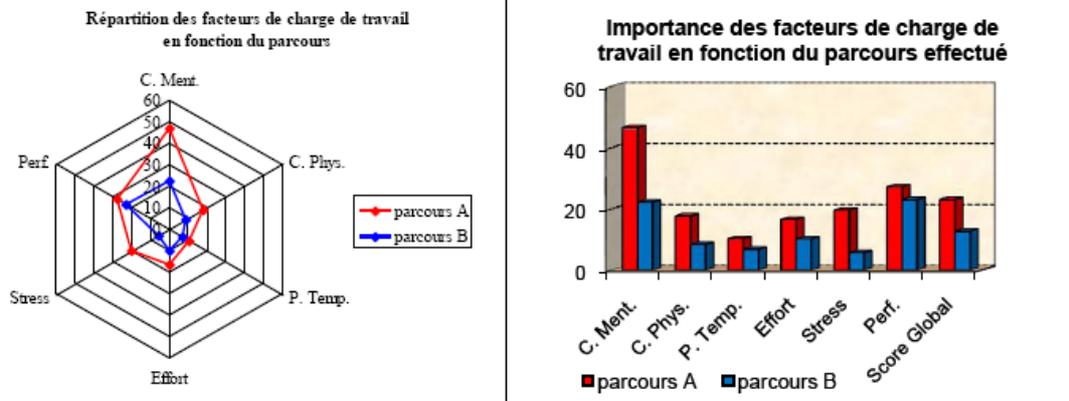


Figure 48 : Évaluation qualitative de la charge de travail en fonction du parcours abordé

Composition de la charge de travail pour le parcours A

Sur le parcours A, complexe et varié, le test différencie deux facteurs principaux intervenant dans la charge de travail engendrée par l'activité de conduite d'un camion : la charge mentale et la performance (Tableau 17). De plus, la charge mentale est significativement plus élevée que les cinq autres facteurs. Pour rappel, ce facteur est principalement décrit en termes d'attention et de charge sensorielle (visuelle, auditive, etc.).

En ce qui concerne la performance, second facteur mis en évidence par les analyses, il convient de signaler que, plus elle est élevée et plus elle est considérée comme « mauvaise » par les conducteurs (selon l'échelle du NASA TLX). Pour rappel, la performance est décrite en termes de sécurité, de rapidité et de consommation.

Tableau 17 : Comparaison des facteurs de la charge de travail sur le parcours A

	Valeurs t (facteurs de charge de travail sur le parcours A) Différences significatives marquées à $p < ,05000$					
	C. Ment A	C. Phys A	P. Temp A	Effort A	Stress A	Perf. A
C. Ment A	0,00000					
C. Phys A	-4,95649	0,00000				
P. Temp A	-6,23397	-1,90367	0,000000			
Effort A	-5,73636	-0,50046	1,433634	0,00000		
Stress A	-4,11025	0,61947	2,096310	1,03715	0,00000	
Perf. A	-3,41165	2,16624	4,199108	3,03995	1,40832	0,00000

Enfin, la pression temporelle, bien que n'étant pas significativement différente des facteurs « effort » et « charge physique », est le facteur qui présente le moins d'importance dans la charge globale des conducteurs pour ces conditions expérimentales.

Composition de la charge de travail pour le parcours B

Comme pour le parcours A, les analyses ont permis de différencier deux facteurs principaux intervenant dans la charge de travail engendrée par l'activité de conduite d'un camion : la charge mentale et la performance (Tableau 18). En revanche, sur ce parcours autoroutier, la charge mentale ne présente pas plus d'importance que la performance et reste peu élevée.

Tableau 18 : Comparaison des facteurs de la charge de travail sur le parcours B

Variables	Valeurs t (facteurs de charge de travail sur le parcours A) Différences significatives marquées à $p < ,05000$					
	C. Ment B	C. Phys B	P. Temp B	Effort B	Stress B	Perf. B
C. Ment B	0,00000					
C. Phys B	-4,52635	0,000000				
P. Temp B	-4,68779	-0,646723	0,000000			
Effort B	-3,59557	-0,750477	0,960023	0,000000		
Stress B	-6,05264	-0,509384	-0,164107	0,923889	0,000000	
Perf. B	0,33808	4,577401	5,022535	3,964489	4,506737	0,00000

Synthèse

La charge de travail globale ressentie par les conducteurs est, comme attendu, plus élevée sur un parcours complexe, principalement composé de routes nationales et de zones urbaines avec des classes de situation variées (ronds-points, virages, ruptures de profil, etc.), que sur un parcours simple, principalement composé d'autoroutes avec des situations peu variées. Ces différences sont importantes, bien que la charge de travail soit peu élevée, comparée à d'autres activités de pilotage (pilotage d'un avion, contrôle aérien, etc.).

De plus, il semble que la charge de travail engendrée par l'activité de conduite d'un camion soit à dominante cognitive, notamment sur un parcours varié, plus exigeant en termes de ressources attentionnelles et cognitives, qu'un parcours autoroutier.

En ce qui concerne le facteur « Exigence Temporelle », on pourrait s'attendre à des résultats différents en situation naturelle. Cependant, dans le cas de notre expérimentation, nous avons contrôlé ce facteur, ce qui peut expliquer son peu d'importance dans le score global de même que l'absence de différence entre les deux parcours.

En ce qui concerne la « Performance », ce facteur est quasiment identique, quel que soit le parcours. En examinant les contraintes spécifiques liées à l'activité de conduite d'un camion, en termes de sécurité et de consommation de carburant, il est permis de supposer que les conducteurs attachent la même importance à leur performance, quel que soit l'environnement routier.

Ainsi, le test utilisé s'est révélé suffisamment sensible pour discriminer deux situations normales de conduite sans contraintes particulières, engendrant une faible charge de travail, et qui ne diffèrent que sur le plan des infrastructures routières.

Ce test semble être une méthode pertinente pour l'évaluation de la charge de travail engendrée par l'activité de conduite d'un camion en environnement naturel, utilisée seule

ou en complément d'une analyse d'activité. De plus, il présente l'intérêt d'apporter des informations diagnostiques sur les différentes sources de la charge de travail.

Peut-on expliquer la variabilité inter-individuelle en matière de consommation ?

Cette série d'analyses avait pour objectif la recherche de facteurs différentiels permettant d'expliquer la variabilité inter-individuelle des comportements des conducteurs en termes de conduite rationnelle. Nous n'avons pas pris en compte les données des témoins (formateurs et pilote d'essais) afin d'avoir un groupe cohérent. Nous avons en effet supposé que l'activité professionnelle de ces témoins devait orienter leurs connaissances, méta-connaissances et comportements en matière de conduite rationnelle.

Variables différentielles

- Age
- Formation à la conduite rationnelle
- Résultats au Test de Stroop : dédié à l'évaluation des styles cognitifs des conducteurs en termes de résistance au stress (résistance à l'interférence)
- Résultats au questionnaire d'évaluation des connaissances sur la conduite rationnelle ([Annexe 9](#), La conduite économique)
- Réponses aux questionnaires d'évaluation des métaconnaissances en termes de consommation sur le parcours A et B ([Annexe 9](#), La conduite économique)
- Auto-évaluation de la charge de travail ressentie sur les parcours A et B

La composition de l'échantillon (23 experts pour 7 non experts) n'a pas permis de tester les liens entre expertise et conduite rationnelle.

Variables dépendantes

- Consommation parcours A et B
- Vitesse parcours A et B

Variables contrôlées

- Conditions météorologiques
- Véhicule et chargement
- Pression temporelle

Population

- 23 Conducteurs professionnels (traitement des données INFOMAX pour la consommation et la vitesse)

Résultats

Contrairement à l'hypothèse selon laquelle les comportements des conducteurs routiers en matière de conduite rationnelle pourraient être expliqués par des variables différentielles, cognitives ou ergonomiques, les résultats n'ont montré aucune corrélation significative entre les facteurs pressentis et la conduite rationnelle (consommation et vitesse, [Tableau 19](#)).

Tableau 19 : Résultats de la confrontation des variables « consommation » et « vitesse » aux variables différentielles sur les parcours A et B (n=23)

Variable	Corrélations (Conducteurs professionnels) à $p < ,0500$ N=23 (Observations à VM ignorées)				Corrélations significatives marquées			
	S Glob A	S Glob B	MétaCo A	MétaCo B	Age	Connaissances	Stroop	Formation
Conso A	,1977 p=,366		-,2156 p=,323		,2337 p=,283	,0368 p=,868	-,1400 p=,524	-,3828 p=,071
Vitesse A	-,0923 p=,675		,2028 p=,353		-,1659 p=,449	-,1871 p=,393	,1084 p=,623	-,1772 p=,419
Conso B		,1446 p=,510		,3977 p=,060	,0551 p=,803	,1165 p=,596	-,2746 p=,205	-,0681 p=,758
Vitesse B		,0100 p=,964		,0265 p=,905	-,1615 p=,462	-,1641 p=,454	,3788 p=,075	-,1080 p=,624

Ainsi, pas plus que les critères comportementaux, aucun des facteurs étudiés ne semble expliquer la variabilité inter-individuelle en matière de consommation et de vitesse dans le cadre de ce protocole expérimental.

Il convient néanmoins de souligner la petite taille de l'échantillon qui n'a pas permis l'application d'analyses statistiques mieux adaptées à ce type de recherche.

Les représentations de la conduite rationnelle

La dernière série d'analyses concerne les représentations qu'ont les conducteurs professionnels de la conduite rationnelle. Ces analyses ont été effectuées à des fins exploratoires, d'une part, pour préciser les résultats des études préliminaires et, d'autre part, pour vérifier l'existence de liens entre les connaissances, la formation des conducteurs et leurs représentations. L'échantillon est identique à la série précédente.

Variables explorées

- Items 48 à 57 du questionnaire post-expérimental ([Annexe 9](#), La conduite économique)

Les items ont été choisis à partir des résultats obtenus lors des études préliminaires sur les représentations qu'ont les acteurs du TRM à propos de la conduite économique (Les représentations sociales de la conduite d'un camion, troisième partie, page [164](#)).

Variable indépendante

- Connaissances en matière de conduite rationnelle ([Annexe 9](#), La conduite économique)
- Formation à la conduite rationnelle

Population

- 23 conducteurs professionnels

Résultats

Sur les dix items proposés, six émergent de manière significative ([Figure 49](#)) : pour cinq d'entre eux (items 48, 50, 54, 55, 56), la plupart des conducteurs sont en accord avec les propositions, pour le sixième (item 53), la plupart des conducteurs ne sont pas en accord avec la proposition.

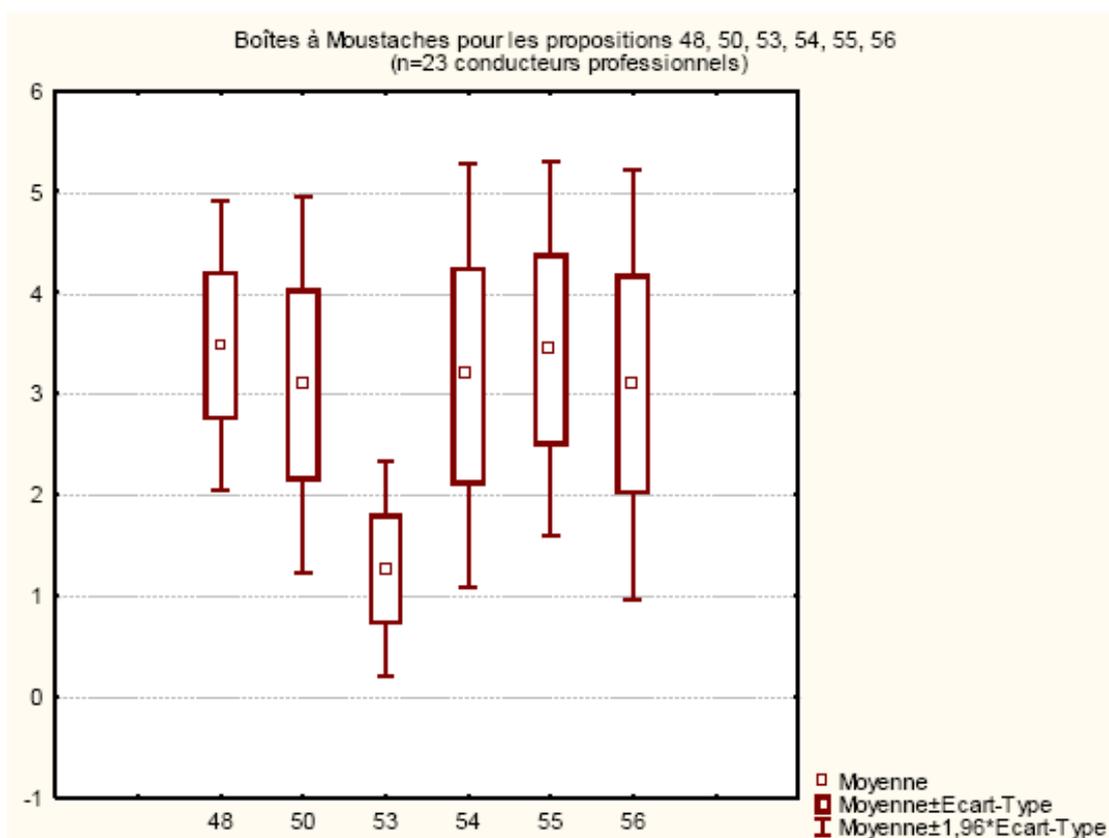


Figure 49 : Représentation graphique de la description statistique des représentations significatives attachées à la conduite rationnelle

Les items sur lesquels les conducteurs s'accordent sont :

- Item 48 : « N'importe qui peut diminuer sa consommation de carburant »,
- Item 50 : « Les effets des formations sont très limités dans le temps et on reprend vite ses anciennes habitudes »,
- Item 54 : « On consomme plus quand on est stressé »,
- Item 55 : « La conduite économique est une question de formation »,
- Item 56 : « La connaissance du trajet permet de diminuer la consommation du camion ».

La proposition avec laquelle la grande majorité des conducteurs est en désaccord est l'item 53 : « La conduite économique enlève tout le plaisir de la conduite ».

Les quatre items pour lesquels les résultats présentent une dispersion importante concernent :

- Les connaissances « a priori » en matière de conduite rationnelle, plus précisément les liens entre consommation et vitesse :
 - Item 49 : « On ne peut pas faire d'économies de carburant sans perdre de temps sur un trajet varié »,
 - Item 57 : « Pour consommer moins, il faut rouler moins vite ».
- Les liens entre consommation, personnalité et expérience (items 51 et 52, [Annexe 9](#)) :

- Item 51 : « La conduite économique est une question d'expérience »,
- Item 52 : « La conduite économique est une question de personnalité ».

Ces résultats concordent avec les travaux effectués par Combe-Pangaud (2002). Ils sont en faveur de l'adoption d'une conduite rationnelle.

En effet, pour les conducteurs, conduire en essayant de consommer moins de carburant ne signifie pas perdre le plaisir de conduire. De plus, les conducteurs reconnaissent l'intérêt des formations, même si, selon eux, elles n'ont qu'un impact limité dans le temps.

Enfin, en dernière analyse, aucune corrélation n'a été relevée entre représentations, connaissances explicites et formation, ni entre la consommation sur les parcours A et B et la connaissance du trajet (11 conducteurs sur les 23 composant l'échantillon connaissaient le trajet).

Discussion

De l'intérêt d'une assistance à la conduite rationnelle

Les analyses quantitatives des données comportementales des conducteurs ont permis de dégager quelques points fondamentaux en faveur de la conception d'une assistance à la conduite rationnelle pour un véhicule industriel :

- L'importante variabilité inter-individuelle relevée lors des observations en matière de conduite rationnelle permet d'espérer des gains minimums en consommation de carburant de 4% (trajets autoroutiers) à 8% (infrastructures variées) en apportant une assistance "intelligente" au conducteur.
- L'adoption d'une conduite rationnelle avec une consommation peu élevée sans diminuer sensiblement la vitesse moyenne semble liée à une utilisation moindre des freins et de la boîte de vitesse.
- L'existence d'une dissociation consommation/vitesse prouve que les conducteurs peuvent gagner en consommation sans nécessairement perdre de temps.
- La mise en évidence d'une constance intra-individuelle en termes de consommation, quel que soit le type de parcours abordé, prouve que la conduite d'un camion est composée pour une grande part d'habiletés cognitives qui s'expriment de manière identique chez un individu donné, indépendamment du contexte.

Ces diverses observations montrent que la consommation d'un véhicule industriel est très largement dépendante du style de conduite du conducteur. De plus, la consommation d'un camion dont la vitesse maximale est techniquement limitée à 90 km/h n'est pas intimement dépendante de la vitesse. Enfin, il semble qu'une conduite rationnelle, avec une consommation optimisée sans perte de temps, permette aussi une optimisation en termes d'usure des composants.

Il semble donc tout à fait possible, pour un conducteur ou pour un système électronique, de réduire la consommation de carburant sans toutefois perdre de temps, par conséquent, sans nuire à la productivité du véhicule, et ce, quel que soit le trajet.

Des stratégies de conduite aux stratégies d'assistance

Les analyses qualitatives ont permis de dégager trois styles de conduite différents à partir des stratégies appliquées sur des classes de situation significatives : un style peu

consommateur, un style moyennement consommateur et un style très consommateur. Ils s'expriment essentiellement par l'anticipation des événements, l'utilisation de l'énergie cinétique du véhicule, l'utilisation correcte du régime moteur et la vitesse de franchissement des différents types d'infrastructure, notamment les ronds-points et les virages.

Chaque style de conduite se traduit par un ensemble organisé d'actions sur les commandes du véhicule. Ces actions correspondent à des indicateurs identifiables et observables à partir du busCAN du véhicule : l'utilisation du régime moteur et de la boîte de vitesse, l'utilisation des freins, ainsi que les actions sur l'accélérateur.

Toutefois, pris isolément et sans référence à l'environnement, ces indicateurs sont peu significatifs. Les analyses quantitatives ont montré qu'il y a peu de relations directes entre la consommation et l'un ou l'autre de ces indicateurs.

Il semble donc peu réaliste de concevoir un système d'assistance à la conduite rationnelle sans le mettre en relation avec un système de localisation par satellite et une cartographie précise (pourcentage des pentes, angles des virages...), adaptée à la circulation des poids lourds (limites de vitesse correctes, interdictions PL, hauteur de ponts...). Cette cartographie, associée à une information sur les événements routiers aléatoires (bouchons, accidents, intempéries...), devraient permettre au système d'assistance de reconnaître le style de comportement du conducteur au volant en fonction de l'environnement, et ainsi de l'assister efficacement.

Enfin, si les principes de la conduite rationnelle concilient la consommation du carburant et l'optimisation du temps de déplacement, il semble déraisonnable de conseiller à un conducteur d'adopter une vitesse plus élevée que celle qu'il estime adaptée à la situation. Il est absolument nécessaire, pour ce type de système qui n'intervient pas sur des problèmes de sécurité active, de toujours laisser, au conducteur, la maîtrise de son véhicule.

De l'évaluation de la charge de travail des conducteurs de V.I.

La charge de travail ressentie par les conducteurs fait partie des conditions qui peuvent modifier notablement leurs comportements. D'un point de vue ergonomique, l'analyse de l'activité de conduite d'un camion inclut l'étude de la charge de travail engendrée par cette activité. Cependant, cette activité étant composée d'un grand nombre d'habiletés cognitives, il est légitime de supposer qu'elle n'engendre qu'une très faible charge de travail. Nous avons donc pour objectif, la proposition et la validation expérimentale d'un outil qui soit assez sensible pour discriminer deux ou plusieurs situations de faible charge telles que celles composant l'activité de conduite d'un véhicule lourd. De plus, la passation de ce test devait être simple et rapide pour permettre son utilisation en situation réelle d'activité. Pour répondre à ces exigences, nous avons traduit et adapté le NASA TLX pour l'appliquer à l'activité de conduite d'un véhicule en situation naturelle.

Ce test, proposé aux trente trois conducteurs composant l'échantillon à la fin de chacun des deux parcours expérimentaux, semble pertinent pour l'étude de la charge de travail engendrée par l'activité de conduite. Il s'est révélé suffisamment sensible pour discriminer deux situations normales de conduite sans contraintes particulières, et qui ne diffèrent que sur le plan des infrastructures routières. Ainsi, conduire un camion sur un parcours complexe, plus exigeant en termes de ressources attentionnelles et cognitives, provoque une charge de travail plus élevée que sur un parcours autoroutier. De plus, le *NASA TLX modifié* a mis en évidence l'importance et le rôle de la charge mentale dans l'activité de

conduite d'un camion. Ce résultat corrobore les représentations qu'ont les conducteurs de leur activité de conduite.

Le *NASA TLX modifié* peut donc être utilisé pour l'évaluation de la charge de travail des conducteurs de camion en situation réelle d'activité. Bien compris par ceux-ci, il offre l'intérêt d'une passation rapide, sur un support « papier-crayon » utilisable par tous. De plus, il est assez sensible pour discriminer des situations de faible charge et apporter des informations diagnostiques sur les différentes dimensions de la charge de travail.

De la difficulté d'expliquer les comportements des conducteurs

En ce qui concerne l'explication de la variabilité inter-individuelle des comportements de conduite des conducteurs, en termes cognitifs (connaissances, formation, style cognitif) ou ergonomiques (charge de travail), les tests et analyses appliqués n'ont montré aucun résultat significatif. Il semble que le style de conduite d'un conducteur de camion, en termes de conduite rationnelle, repose essentiellement sur des automatismes acquis, peu sensibles à l'interférence et ne générant que pas, ou peu de charge mentale.

De plus, dans la mesure où les analyses n'ont pas mis en évidence de liens entre la formation à la conduite rationnelle et les comportements de conduite, nous pensons que ces automatismes dépendent, presque exclusivement, de l'apprentissage initial ainsi que des expériences rencontrées par les conducteurs au cours de leur activité de conduite (bien qu'ils puissent être temporairement modifiés par une formation récente).

Toutefois, ces résultats sont à considérer avec prudence. En effet, la taille de l'échantillon, sa composition et l'orientation même de l'étude, n'ont pas permis l'application d'un plan d'expérience pertinent pour une réelle étude différentielle.

En revanche, les analyses des représentations qu'ont les conducteurs de la conduite rationnelle, ont été globalement positives. L'information qui nous semble la plus importante est celle qui a trait au plaisir de conduire. En effet, puisque les conducteurs estiment que la conduite « économique » ne supprime pas le plaisir de conduire, on peut supposer qu'ils suivront les conseils donnés par un système d'assistance leur permettant de consommer moins de carburant, sans perdre de temps.

De plus, les conducteurs reconnaissent l'intérêt des formations. On peut donc supposer qu'un système qui conseillerait efficacement les conducteurs pourrait être considéré comme un bon complément à la formation, voire même comme un vecteur pertinent pour une formation continue.

VIII. Approche expérimentale sur simulateur de conduite

Ce chapitre présente la démarche expérimentale appliquée sur le simulateur dynamique de conduite de Renault Trucks (SCOOP), avec, pour objectif, l'évaluation ergonomique d'une interface de conduite innovante : une pédale d'accélération à retour d'effort. Cette action a été réalisée en collaboration avec l'ingénieur responsable du projet⁹¹ et le pilote du

⁹¹ Stéphane Fornengo, Auxirbat Recherche pour Renault Trucks.

simulateur de conduite⁹². Nous avons été assistée par une étudiante de Master 2 Recherche du LEACM (Auboyer, 2005).

Deux questions ont été à l'origine de cette action de recherche :

1. Une interface utilisant la voie haptique présente-t-elle un intérêt pour transmettre aux conducteurs des informations ou des consignes de conduite en vue d'une conduite rationnelle ? 2. Quels peuvent être les avantages subjectifs (intérêt, satisfaction...) et fonctionnels (incidence sur les comportements de conduite...) que présente une pédale d'accélération à retour d'effort pour les conducteurs de véhicules industriels ?

L'évaluation de l'interface a été orientée en termes :

- d'efficacité pour faire passer l'information au conducteur,
- de compréhension et d'acceptation par les conducteurs,
- de facilité d'utilisation,
- d'absence de perturbation dans l'exécution de la tâche de conduite du véhicule.

Préambule

Pour des raisons techniques et organisationnelles indépendantes du projet, l'algorithme installé pour les expérimentations sur le simulateur de conduite n'a pu être appliqué à la conduite rationnelle. Nous avons donc dû simuler des cas d'usage pertinents, permettant l'utilisation de l'interface dans des conditions plus ou moins similaires à celles de la conduite rationnelle.

Pour ces tests, le principe de la pédale d'accélération à retour d'effort a été appliqué au respect des limitations de vitesse, au franchissement des virages ainsi qu'à l'anticipation de situations inattendues (bouchons, accidents), sans tenir compte de la consommation. Si l'évaluation s'avère positive, un prototype de la pédale sera installé sur un véhicule réel de démonstration équipé de l'Eco Driving System.

Dispositif expérimental

La démarche expérimentale s'est appuyée sur deux protocoles expérimentaux distincts sur le simulateur dynamique de l'entreprise, le premier ayant servi de pré-test pour l'élaboration du protocole définitif et le réglage des interfaces. Après avoir présenté le matériel expérimental commun aux deux protocoles, nous évoquerons les résultats du pré-test avant de décrire protocole définitif.

Le simulateur de conduite de Renault Trucks : SCOOP

Pour cette étude, le simulateur dynamique de conduite SCOOP (Partie 2, p. 134) était équipé d'une cabine de type « Renault Premium distribution », montée sur une plate-forme dynamique à 6 degrés de liberté ([Image 25](#)).

⁹² Philippe Crave, Renault Trucks.

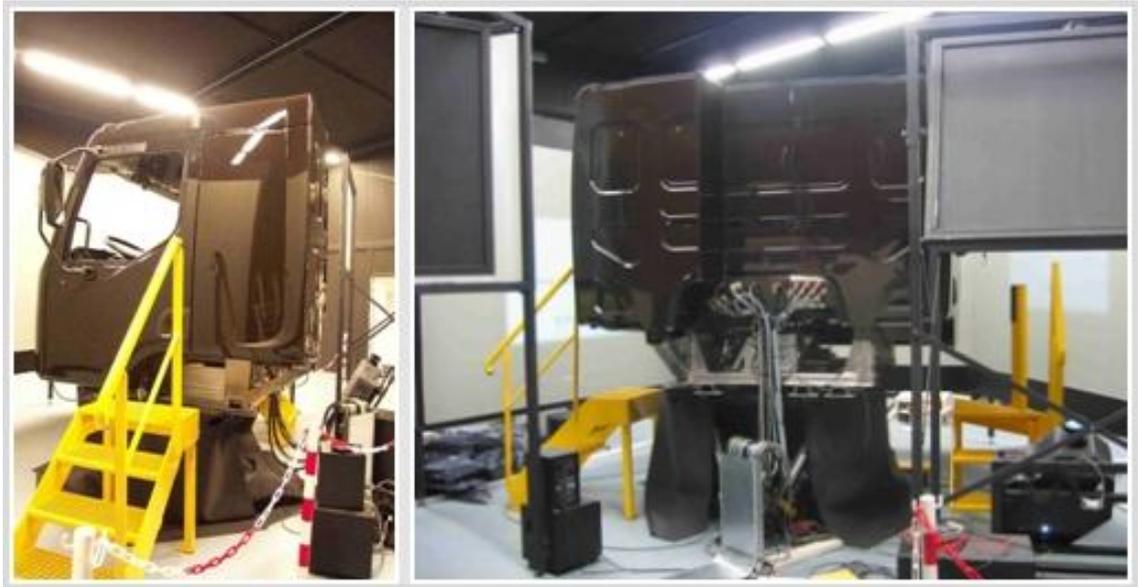


Image 25 : Vues extérieures (latérale et arrière) de la cabine du SCOOP

Les interfaces utilisées pour l'analyse

Comme précisé en préambule, l'algorithme de contrôle utilisé pour ces tests, n'a pas pu être appliqué à la conduite rationnelle sur des situations simulées. Toutefois, les stratégies d'assistance sont proches du concept de base et le système a été programmé de façon à proposer au conducteur un conseil de vitesse à adopter, avec un objectif sécuritaire, dans différentes classes de situation :

- La vitesse conseillée peut être fonction de la limitation de vitesse en cours sur l'infrastructure abordée,
- Elle peut être calculée pour le franchissement de certains virages. Dans ce cas, le système prend en compte non seulement la courbe abordée, mais aussi la vitesse du véhicule et sa charge, c'est à dire qu'il peut faire fonction de système de prédiction du renversement,
- Enfin, le système peut donner un conseil de ralentissement à l'approche de situations critiques nécessitant l'arrêt du véhicule, et ce, avant que le conducteur ne les ait détectées (bouchons, accidents...).

La pédale d'accélération à retour d'effort

Le prototype, installé sur le simulateur, est constitué d'une pédale d'accélération fournie par la société IMITA AB (basée à Lund en Suède) et adaptée pour une utilisation sur simulateur. Le système est relié à un ordinateur qui compare en continu les données issues du véhicule (vitesse, charge...) avec celles issues de l'infrastructure (vitesse réglementaire, courbe, événements critiques). Il est associé à une boîte de vitesse automatique. Lorsqu'un ralentissement est nécessaire, l'information est envoyée à la pédale. Celle-ci est soumise à un durcissement progressif dont l'intensité est fonction du dépassement de la vitesse préconisée par le calculateur, mais sans jamais bloquer la pédale. Le conducteur a le choix de se laisser guider ou non par le système qui l'informe physiquement de la vitesse à adopter, sans pour autant le contraindre à la respecter. Dès que la vitesse conseillée est atteinte, le retour d'effort de la pédale revient à la normale.

L'affichage visuel

Lors des premiers essais techniques effectués sur le simulateur, la pédale à retour d'effort avait été couplée à une interface visuelle de justification du comportement du calculateur. Bien que cette interface se soit révélée trop complexe et mobilisant trop de ressources attentionnelles, les quelques personnes ayant testé le système ont exprimé l'intérêt de coupler la pédale avec un retour d'information visuel. Il nous a donc semblé pertinent de comparer la pédale seule avec une IHM à double modalité, haptique et visuelle.

L'interface visuelle que nous avons utilisée (Image 26) est un modèle expérimental simplifié, conçu dans le cadre d'un précédent projet (Safe Tunnel, 2004) à l'aide d'une application logicielle de simulation (Simulink). Cette interface n'est pas destinée à être développée ou installée en l'état sur des véhicules de série, mais elle permet de simuler différents types d'affichage et de les adapter en fonction des scénarii d'expérimentation. L'affichage est présenté sur un écran qui a été fixé sur la planche de bord, devant l'afficheur classique et relié au calculateur du simulateur. L'écran peut être installé indifféremment sur le simulateur de conduite ou sur un véhicule de démonstration.



Image 26 : Affichage visuel utilisé pour l'évaluation sur simulateur de conduite

La zone d'affichage comporte deux compteurs, l'un dédié au régime moteur et le second à la vitesse. Entre les deux compteurs, une zone est réservée à l'affichage d'informations spécifiques. D'après Germain et al. (1990), la stratégie visuelle opératoire dominante des conducteurs est basée sur un cycle « route/compte-tours/compteur de vitesse. Partant de ce principe, nous avons supposé qu'une information, ou une consigne de vitesse, affichée directement sur le compteur de vitesse, serait rapidement perçue, sans provoquer de surcharge cognitive. Nous avons donc inséré une zone multifonction sur le compteur de vitesse (Image 26) :

- Cette zone est de couleur orange pour informer le conducteur de la vitesse limite autorisée sur le segment de route abordé
- Elle devient rouge et clignote lorsque la vitesse est dépassée.

Trois zones de vitesse ont été définies en fonction des limites imposées sur le parcours expérimental : 50, 70 et 90 km/h. L'affichage a été programmé sur la base de la réglementation française concernant les véhicules automobiles et non les véhicules lourds, ainsi il indique 90 km/h sur route, conformément à la signalisation routière (et non 80 km/h

pour les camions). Ces deux affichages étaient actifs dans tous les types de situations de limitation de vitesse et ne pouvaient être désactivés par le conducteur.

Le circuit expérimental

La base de données, routière, utilisée pour notre étude est d'origine norvégienne. Elle représente un circuit de campagne de 5 km, composé de voies à double sens de circulation, d'une agglomération, de limitations de vitesse variées et de différentes classes de situation. Le circuit sélectionné pour nos observations comprend (Figure 50) :

- Un grand rond-point à 2 voies et 3 branches,
- Sept intersections de différents types,
- Plusieurs passages pour piétons,
- Des virages avec des courbes fixes ou progressives,
- Un virage en « épingle à cheveu »,
- Un tunnel de 75 m de long, non éclairé,
- Une section de 150 m de long, bordée de murs de 4 m de hauteur de chaque côté de la route,
- Une traversée d'agglomération.

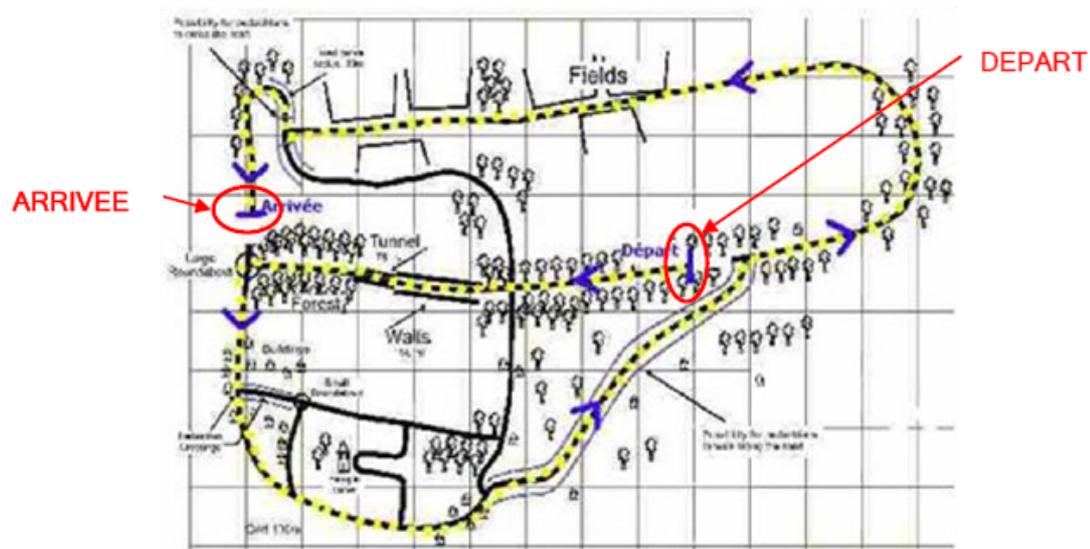


Figure 50 : Schéma du circuit expérimental sur simulateur

Le scénario se déroule par temps clair, de jour et sans trafic. Afin d'éviter les risques d'erreurs d'itinéraire, des camions ont été stationnés à chaque intersection (Image 27) de façon à bloquer la voie que le conducteur ne doit pas emprunter.



Image 27 : Exemple d'intersection sur le parcours expérimental

Les limitations de vitesse sont signalées sur le parcours. En agglomération elles sont conformes à la réglementation française pour les véhicules automobiles (50 km/h). En revanche, hors agglomération la limite affichée est de 100 km/h. Enfin, la vitesse est limitée à 70 km/h quand l'infrastructure le nécessite (Figure 51).

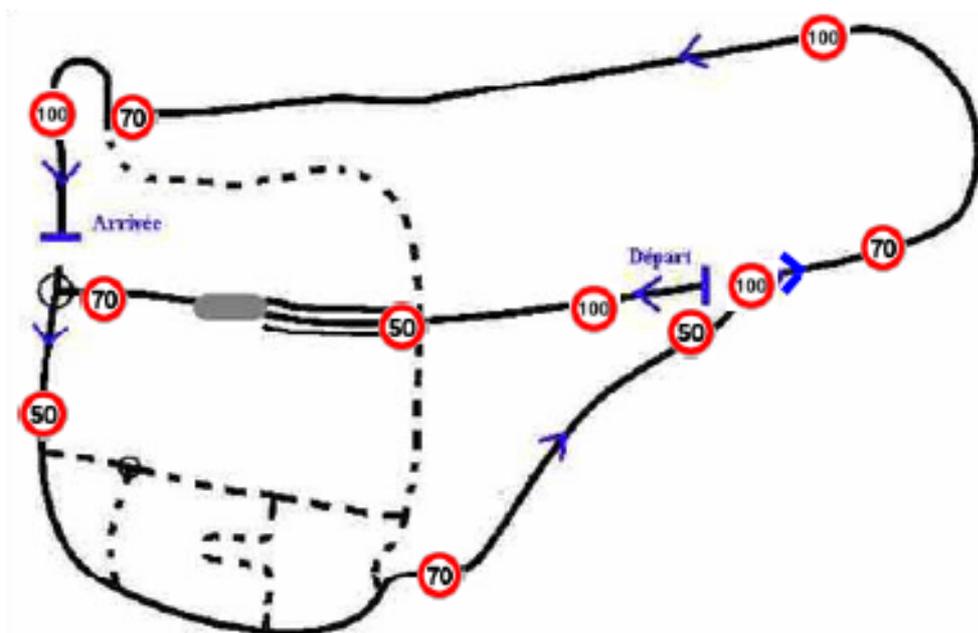


Figure 51 : Localisation des limitations de vitesse sur le circuit expérimental

Cependant, quelle que soit la signalisation, les limitations ne sont valables que pour les véhicules automobiles. Les conducteurs doivent donc se baser sur la réglementation française et adapter leur vitesse en fonction du véhicule qu'ils conduisent et des infrastructures abordées, comme en situation réelle⁹³. Ainsi, pour un ensemble attelé de plus de 12 tonnes, tel celui du simulateur, les conducteurs sont limités à 80 km/h sur route,

⁹³ Les conducteurs de poids lourds sont habitués à cette incohérence entre la signalisation routière courante, qui est adaptée aux véhicules légers, et la réglementation qu'ils doivent appliquer en fonction du tonnage et de la taille de leur véhicule.

50 km/h en agglomération et doivent suivre les prescriptions indiquées par la signalisation locale, soit pour ce parcours, 70 et 50 km/h selon les classes de situation abordées (virages, intersections, tunnel).

Pré-test

Le premier protocole, que nous ne développerons pas ici⁹⁴, a fait office de pré-test et a été appliqué à douze conducteurs salariés de l'entreprise Renault Trucks (formateurs, pilotes et techniciens d'essai, commerciaux, et service transport).

Les hypothèses sous-tendant notre démarche étaient basées sur l'intérêt des conducteurs pour notre IHM et son efficacité pour respecter la vitesse. En raison de contraintes temporelles, le simulateur est un outil très utilisé et les créneaux horaires disponibles sont limités, il ne nous a pas été possible d'évaluer la charge de travail engendrée par les différentes IHM. Néanmoins, la pédale n'étant que le premier prototype, sa validation avant développement nécessitera une étude ergonomique plus complète à l'occasion de laquelle il sera pertinent d'évaluer la charge de travail engendrée par le système. Nous avons donc choisi de nous focaliser sur les questionnaires subjectifs et sur la partie comportementale de la simulation.

Résultats du pré-test

Les résultats de ce pré-test ont mis en évidence un intérêt certain des conducteurs pour la pédale, intérêt néanmoins accompagné de nombreuses remarques.

La pédale a été considérée comme un bon vecteur d'information car en lien physique direct avec le conducteur, facile d'utilisation et pouvant avoir un impact positif pour la sécurité. Néanmoins, cette interface a été globalement jugée plus « stressante » que le retour visuel, sans doute en raison du peu de familiarité qu'avaient les sujets avec le système.

- De plus, plusieurs conducteurs ont évoqué un effet de « surprise » engendré par le déclenchement du système, effet qui, selon les conducteurs pourrait être accompagné d'une réaction de freinage « brusque ». Cependant, les analyses des données comportementales n'ont montré aucun freinage lié au déclenchement du retour d'effort.
- Plusieurs conducteurs ont également noté que le signal seul de la pédale, est insuffisant pour comprendre l'information transmise. Des propositions ont été émises pour coupler le système avec un signal sonore ou une information visuelle.

Bien que l'objectif ne soit pas le développement d'une IHM visuelle, l'affichage que nous avons ⁹⁵ proposé pour informer le conducteur de la limitation de vitesse en cours sur le parcours abordé a été trouvé globalement très intéressant par les conducteurs. La raison évoquée par les sujets pour l'intérêt de cet affichage est liée principalement au fait que la vitesse autorisée est signalée en continu sur le compteur de vitesse. Cette information, qui n'est pas disponible sur les véhicules

⁹⁴ Auboyer, 2005

actuels, a été appréciée très positivement et jugée majeure en termes de développement futur sur les camions.

Protocole définitif

Les différents résultats du pré-test nous ont permis d'élaborer le protocole définitif, plus complet et plus pertinent pour répondre aux interrogations du constructeur et éventuellement lui proposer des solutions ergonomiques. De plus, bien que l'étude bibliographique ait mis en évidence les problèmes de saturation du canal visuel des conducteurs, l'intérêt montré par nos sujets pour une interface visuelle associée au retour d'effort de la pédale, nous a engagés à travailler sur l'affichage. Nous l'avons donc enrichi, afin de tester la pertinence de son utilisation selon les situations, en veillant à ne pas saturer les ressources attentionnelles des conducteurs.

Interfaces utilisées

Le système testé dans le protocole définitif est composé des deux IHM utilisées pour le pré-test et présentées précédemment (pédale + retour visuel). Le calculateur est basé sur la même programmation en ce qui concerne les limitations de vitesse, qu'elles soient imposées par l'infrastructure (signalisation...), ou qu'elles soient conseillées par le système dans un objectif sécuritaire (prévention du renversement). De plus, à la lecture des résultats du pré-test, il est apparu que la plupart des sujets souhaitaient obtenir un retour visuel en complément de l'information transmise par l'interface « pédale », notamment quand le système anticipe l'infrastructure et se déclenche en deçà de la limite autorisée (virages, situations critiques). Nous avons donc ajouté deux icônes complémentaires pour justifier l'information donnée par l'interface.



Image 28 : Information avant un virage



Image 29 : Information d'un danger potentiel

- Une icône « virage dangereux » s'affiche à l'abord de chaque virage, avec ou sans durcissement de la pédale (Image 28).
- Une icône « danger à proximité » justifie le déclenchement de la pédale dans les situations potentiellement critiques (Image 29), c'est à dire 250 mètres avant la situation qui nécessite un ralentissement ou un arrêt.

Matériel d'observation

Les données recueillies lors des observations sont de deux natures complémentaires :

- Les données objectives, proviennent du système de recueil de données du simulateur de conduite, vitesse, freinages, distance parcourue, et reflètent le comportement de conduite du conducteur.
- Les données subjectives, sont issues de questionnaires proposés aux conducteurs après chaque changement de mode d'utilisation du système ainsi qu'à l'issue de l'expérimentation.

Les données du simulateur

Les données qui objectivent le comportement de conduite du conducteur devraient permettre de tester le système en termes d'efficacité, de facilité d'utilisation et de compréhension des consignes. Elles ont été prélevées à partir du calculateur et enregistrées, en temps réel, par le simulateur. Elles ont ensuite été traitées à l'aide d'une version du Driver Behaviour Analysis (DBA3, Annexe 5), adaptée pour les données du simulateur.

Les paramètres retenus pour cette évaluation sont :

- Le temps écoulé à partir de la mise en route du moteur,
- La distance parcourue en mètres,
- La vitesse maximale en km/h,
- La vitesse moyenne en km/h,
- La distance de freinage en km et en pourcentage,
- La durée de freinage en temps (minutes et secondes et en pourcentage),
- Le nombre de coups de freins.

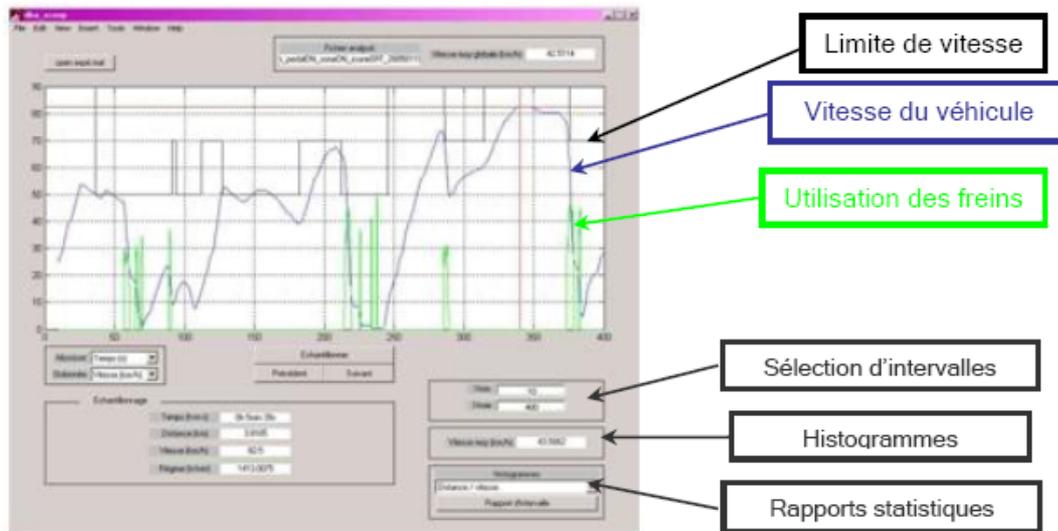


Figure 52 : Exemple d'un segment de parcours affiché sous dba3_scoop

Les applications du DBA permettent divers traitements à partir de chacun de ces paramètres : affichage de données instantanées sous forme graphique, échantillonnage de segments de parcours, édition de rapports statistiques de parcours en fonction du segment échantillonné, visualisation d'histogrammes (Figure 52).

Les questionnaires

Les questionnaires ont été construits pour recueillir l'opinion et le ressenti des conducteurs en matière d'acceptabilité, de facilité d'utilisation et de compréhension du système. Outre les caractéristiques du conducteur (âge, nombre de kilomètres parcourus, expérience du métier, etc.), les différentes questions concernent la perception que les conducteurs ont du système, leurs avis au sujet des systèmes testés ainsi que leurs préférences et choix entre les divers systèmes proposés.

Plusieurs types de questionnaires ont été utilisés de façon à obtenir une évaluation aussi précise que possible : des échelles bipolaires, des échelles d'accord, des questions fermées (oui/non) et quelques questions ouvertes. Pour optimiser les temps de passation, ils ont été conçus afin que la majorité des questions puisse être présentée oralement par l'expérimentateur.

Enfin, quelques questions ont été posées pour tester l'intérêt du simulateur et les différences ressenties par les conducteurs entre les situations simulées et les situations réelles (comportement du véhicule, mal du simulateur, réalisme de l'environnement...). La démarche et les résultats de cette partie de l'étude font l'objet d'un rapport spécifique (Auboyer, 2005).

Population

Étant donné le caractère innovant du système étudié, pour des raisons de confidentialité il nous était difficile de travailler avec des conducteurs d'entreprises extérieures. De plus, afin de minimiser le temps de familiarisation sur le simulateur et les risques de mal du simulateur, nous avons sollicité des sujets ayant déjà une expérience de l'outil. Toutes ces conditions, ajoutées au fait que les créneaux disponibles sur le simulateur sont rares, expliquent la taille

réduite de l'échantillon. Il convient cependant de préciser que la démarche expérimentale a été mise en place à des fins purement exploratoires et non avec un objectif de validation statistique du système.

L'échantillon est donc composé de 19 conducteurs masculins employés chez Renault Trucks. Les trois quarts des sujets sont des techniciens d'essais confirmés, deux sont des conducteurs routiers professionnels du service Transports et deux sont des formateurs.

La moyenne d'âge pour l'ensemble de l'échantillon est de 46 ans avec un écart-type de 7,4, le plus jeune conducteur ayant 26 ans et le plus âgé, 55 ans. Les conducteurs ont en moyenne 18 années de permis E, cinq d'entre eux ont une expérience du métier de conducteur routier et trois d'entre eux parcourent plus de 50 000 km par an.

Plan expérimental

Les observations ont été effectuées sur une période d'une semaine. Les conducteurs ont été reçus individuellement et n'avaient pas connaissance à l'avance du déroulement du test.

Chaque conducteur devait effectuer quatre fois le même parcours en respectant le même ordre de passation :

1. Parcours sans aucun système d'assistance (parcours de familiarisation),
2. Parcours avec la pédale seule,
3. Parcours avec la pédale + l'affichage de la vitesse,
4. Parcours avec la pédale + l'affichage de la vitesse + les icônes de signalisation.

Variables expérimentales

Les sources de variations (variables indépendantes) prises en compte pour l'analyse et l'interprétation des résultats ont été réparties en deux catégories, les types d'IHM et les situations de conduite.

1. Les types d'IHM sont déclinés selon trois modalités :

- Pédale d'accélération à retour d'effort
- Pédale d'accélération à retour d'effort + Affichage de la vitesse
- Pédale d'accélération à retour d'effort + Affichage de la vitesse + Icônes de signalisation d'une situation critique nécessitant un arrêt

2. Les classes de situation de conduite sont déclinées selon quatre modalités :

- Parcours Total
- Segment « agglomération »
- Segment « virage »
- Situation critique « bouchon »

Le parcours comprend trois situations « virage dangereux » et une situation « traversée d'agglomération » ([Figure 53](#)).

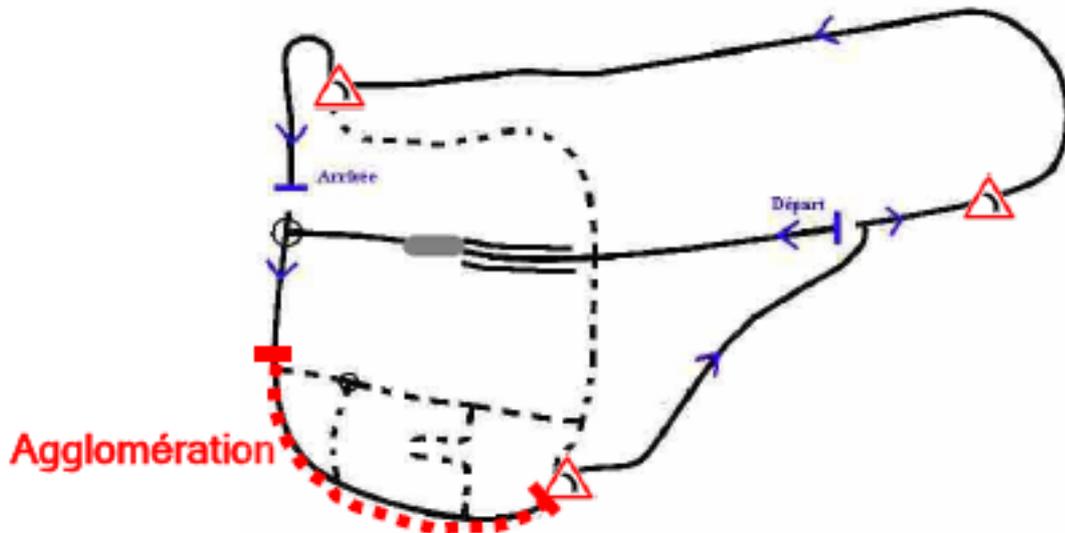


Figure 53 : Positions des virages dangereux et de l'agglomération sur le parcours

Une situation critique nécessitant l'arrêt du véhicule (bouchon), a été positionnée sur chaque parcours afin de tester l'utilité et l'efficacité des IHM pour cette classe de situation. Pour simuler cette situation, deux véhicules automobiles sont arrêtés au milieu de la route à différents endroits sur le parcours (Image 30).



Image 30 : Exemple de situation critique de type « bouchon »

Afin d'éviter un biais d'apprentissage (habitude) et pour que les conducteurs n'anticipent pas l'arrivée de cet événement, le bouchon a une position différente pour chaque parcours (Figure 54).

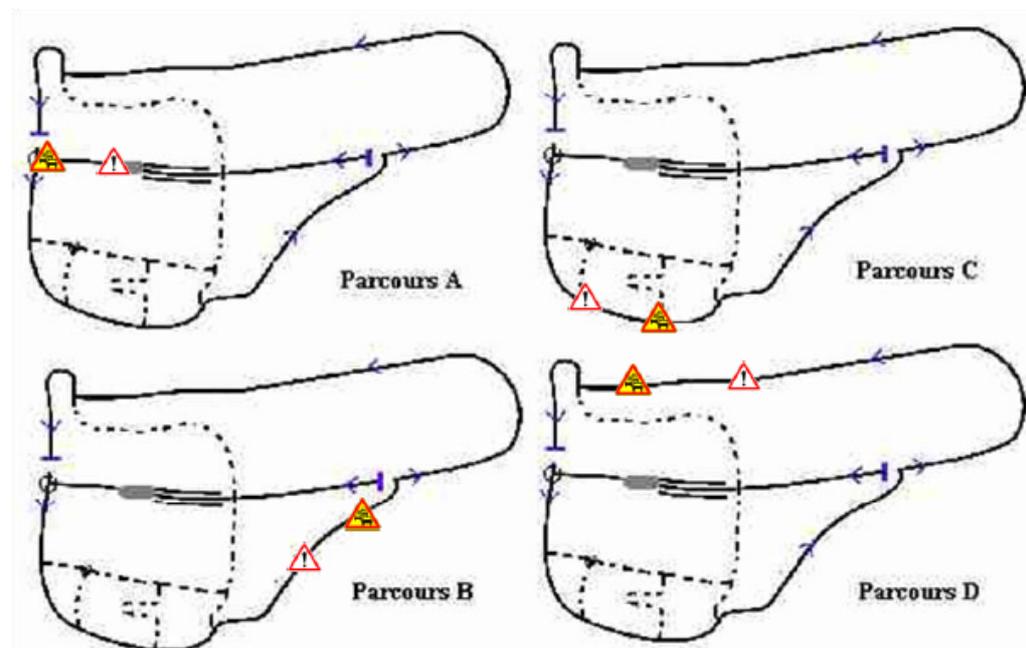


Figure 54 : Position des situations critiques sur le parcours

De plus, chaque conducteur aborde les situations dans un ordre différent ce qui permet d'éviter un effet d'ordre de présentation.

Les variables dépendantes sont de deux ordres :

1. Les variables subjectives issues des questionnaires et qui peuvent être définies comme des variables qualitatives
2. Les variables objectives provenant de l'enregistrement des données du véhicule et qui peuvent être définies comme des variables essentiellement quantitatives.

Protocole expérimental

Le protocole complet se compose de quatre séances de conduite, de dix minutes chacune, auxquelles s'ajoute la passation des questionnaires. L'ensemble représente environ une heure d'expérimentation par conducteur. Le véhicule simulé est un ensemble articulé, tracteur avec semi-remorque, totalisant une charge de 33 tonnes.

Pendant les séances de conduite, le conducteur est en liaison audio avec l'expérimentateur. Celui-ci lui précise quelques consignes de conduite en temps réel, notamment en lui indiquant comment franchir chaque bouchon. Le conducteur est averti avant chaque parcours qu'il peut à tout moment arrêter la simulation s'il se sent trop malade ou pour toute autre raison. De même, il peut communiquer à tout moment avec l'expérimentateur.

Déroulement des observations

Le protocole était identique pour tous les conducteurs : même parcours, même type de véhicule, même ordre de passation des questionnaires et même ordre de présentation des IHM. Seul l'ordre de présentation des bouchons était différent (cf. ci-dessus). Pour tous les parcours il était demandé au conducteur de conduire de manière habituelle, en respectant les limites de vitesse dans la mesure du possible. A chaque pause, l'expérimentateur

proposait au conducteur de descendre de la cabine s'il le souhaitait ou s'il se sentait malade. Les consignes pour le franchissement des bouchons ont été données de façon identique pour chaque parcours en temps réel, par liaison radio. Les conducteurs étaient seuls dans la cabine pour tous les parcours, et l'expérimentateur suivait la simulation à partir de la salle de contrôle du simulateur.

1. Accueil du conducteur et présentation de la recherche :

- Présentation de l'étude et du déroulement global de l'expérimentation
- Passation du questionnaire d'accueil : variables personnelles du conducteur
- Présentation du simulateur et précisions sur le type de véhicule simulé et sur la boîte de vitesse automatique.

2. Roulage parcours 1 – Témoin

- Lecture des consignes de conduite avec l'expérimentateur puis roulage.

3. Pause 1

- Passation du questionnaire de fin de parcours 1

4. Roulage parcours 2 – Pédale seule

- Lecture des consignes de conduite avec l'expérimentateur puis roulage.

5. Pause 2

- Passation du questionnaire de fin de parcours 2

6. Roulage parcours 3 – Pédale + Affichage visuel

- Lecture des consignes de conduite avec l'expérimentateur puis roulage.

7. Pause 3

- Passation du questionnaire de fin de parcours 3

8. Roulage parcours 4 – Pédale + Affichage visuel + Icônes

- Lecture des consignes de conduite avec l'expérimentateur puis roulage.

9. Dernier arrêt

- Passation du questionnaire de fin de parcours 4 dans la salle de contrôle du simulateur.
- Passation du questionnaire de fin d'expérimentation

Synthèse des résultats

Cette section présente les résultats de l'évaluation des interfaces sur le simulateur de conduite. Les analyses ont été effectuées sur deux types de données :

- Les données comportementales, issues de l'enregistrement en temps réel des actions des conducteurs sur les commandes du simulateur, devaient permettre une évaluation quantitative de l'efficacité des interfaces.
- Les données issues des questionnaires administrés aux conducteurs devaient permettre une évaluation qualitative en termes d'ergonomie des interfaces.

Analyse quantitative des données comportementales en termes de vitesse et de freinage

Les analyses quantitatives ont été effectuées sur les données chronologiques enregistrées pendant chaque simulation et traitées à l'aide du Driver Behaviour Analysis version 3 (DBA3). Les tests statistiques non paramétriques ont été réalisés à l'aide du logiciel Statistica 6.0. Du fait de problèmes liés, soit à l'enregistrement des données par le simulateur, soit à des caractéristiques individuelles des conducteurs (mal du simulateur...), toutes les observations n'ont pu être analysées. Les analyses ont été effectuées à partir des enregistrements de la vitesse et de l'utilisation des freins.

Les analyses des vitesses moyennes et maximales devaient permettre d'évaluer l'efficacité des systèmes pour aider le conducteur à respecter les consignes de vitesse.

Les analyses des données du freinage devaient permettre d'évaluer l'efficacité des systèmes pour aider le conducteur à anticiper l'abord des infrastructures ou les événements aléatoires.

Variables indépendantes

Un premier parcours sans IHM a servi de parcours de familiarisation et de situation de contrôle par rapport aux trois autres situations avec IHM

4 parcours expérimentaux définis en fonction des IHM présentées

- Sans IHM = P0
- Pédale seule = PS
- Pédale + affichage des vitesses limites et conseillées = PA
- Pédale + affichage des vitesses + icônes d'avertissement = PAI

Classes de situation

- Parcours total
- Agglomération
 - Vitesse limitée par panneau de signalisation = 50 km/h
 - Vitesse de sécurité conseillée par le calculateur = 50 km/h
- Virage
 - Vitesse limitée par panneau de signalisation = 70 km/h
 - Vitesse de sécurité conseillée par le calculateur = 60 km/h
- Bouchon

Variables dépendantes

- Vitesse maximale (km/h) + Vitesse moyenne (km/h)
- Durée de freinage (en secondes)
- Pourcentage de temps passé en freinant
- Nombre de coups de frein

Population

16 observations valides (sur les 19 conducteurs)

Synthèse des résultats

Le [Tableau 20](#), ci-dessous, présente la synthèse des résultats obtenus en termes de vitesse (vitesses moyennes et vitesses maximales) et d'anticipation (durée et temps de freinage).

Tableau 20 : Synthèse des analyses des données comportementales enregistrées sur le simulateur

	Parcours Total	Agglomération	Virage	Bouchon
Vitesse maxi. (km/h)	Non Significatif	PS > PA PS > PAI	PA > P0	
Vitesse moy. (km/h)	PS > P0 PA > P0	Non Significatif	Non Significatif	P0 > PS
Durée de freinage (secondes)	Non Significatif	Non Significatif	PAI < PA	PS < P0
% temps passé en freinant	PS < PA	Non Significatif	PAI < PA	
Nombre de coups de freins	PS < P0	Non Significatif	Non Significatif	PS < P0 PAI < P0

- P0 = sans système d'aide
- PS = Pédale seule
- PA = Pédale + Affichage des vitesses limites et conseillées
- PAI = Pédale + Affichage des vitesses + Icônes explicatives (virage dangereux ou bouchon)

Temps de parcours et respect des consignes de vitesse

- Résultats des observations sur le *parcours total* :
 - vitesse moyenne PS Pédale Seule > vitesse moyenne P0 sans système ;
 - vitesse moyenne PA Pédale + Affichage > vitesse moyenne P0 sans système.

La vitesse moyenne observée sur l'ensemble du parcours est supérieure lorsque les conducteurs disposent d'une assistance pour les conseiller en temps réel sur les vitesses à adopter : interfaces « *pédale seule* » et « *pédale couplée à un affichage visuel* ». Toutefois, on n'observe pas plus de dépassements des limites autorisées, avec assistance ou sans assistance.

Il semble donc que notre système permette au conducteur de ne pas perdre de temps sur un parcours donné (conformément au principe de la conduite rationnelle), sans pour autant favoriser l'adoption de comportements contraires à la sécurité. Toutefois, ces résultats nécessitent d'être précisés en fonction de chaque classe de situation.

- Résultats des observations en *agglomération* :
 - vitesse maxi PA Pédale + Affichage > vitesse maxi PS Pédale Seule ;
 - vitesse maxi PAI système complet > vitesse maxi PS Pédale Seule.

En *agglomération* les vitesses maximales observées restent supérieures à la vitesse autorisée et ce, quel que soit le système. Cependant, les dépassements de la vitesse limite sont moins importants avec la « *pédale couplée à un affichage visuel* » ou avec le « *système complet* » que sans système d'assistance. Ces résultats semblent conforter l'idée que *l'information donnée par la pédale doit être associée à un affichage complémentaire*.

- Résultats des observations en *virage* :
 - vitesse moyenne PA Pédale + Affichage > vitesse moyenne P0 sans système.

Dans le *virage*, bien que les vitesses moyennes observées ne présentent pas de différence significative avec ou sans système, les vitesses maximales enregistrées sans système d'assistance sont inférieures à celles enregistrées avec la pédale couplée à l'affichage. De plus, dans toutes les situations, la vitesse de franchissement reste globalement supérieure à la vitesse conseillée.

- Résultats des observations en *situation critique* :
 - vitesse moyenne P0 sans système > vitesse moyenne PA Pédale + Affichage.

Pour les arrivées sur la *situation critique* (bouchon), la vitesse moyenne observée est moins élevée avec l'utilisation de la pédale que sans aucune assistance. *Dans cette condition particulière, la pédale semble être efficace pour anticiper un ralentissement imprévu.*

Utilisation des freins et anticipation

- Sur le *parcours total*, la durée de freinage (%) du véhicule et le nombre de coups de frein sont inférieurs lorsque la *pédale* est utilisée *seule* que lorsqu'elle est couplée avec l'affichage ou les icônes.
- En *agglomération*, aucune différence n'est observée quant à l'utilisation des freins. Cette observation n'est pas surprenante, dans la mesure où la traversée de l'agglomération ne présente pas d'événement nécessitant un ralentissement inattendu pour les conducteurs.
- En *virage*, les durées de freinage avec le *système complet* (pédale + freinage + icônes) sont inférieures à celles obtenues avec la pédale couplée à l'affichage de la vitesse conseillée. Il semble que, dans cette situation particulière où le calculateur conseille une vitesse inférieure à celle indiquée par la signalisation routière, le complément d'information apporté par les icônes permette au conducteur d'anticiper l'événement et ainsi d'optimiser son ralentissement.
- Pour aborder la situation de *bouchon*, la *pédale seule* ou la *pédale complétée par les icônes* semblent permettre au conducteur d'anticiper cet événement imprévu en réduisant le temps d'utilisation de la pédale de frein. La pédale et le système complet semblent donc efficaces pour aider le conducteur en termes d'anticipation dans des situations incertaines (virage) ou imprévues (bouchons).

Post-expérimentation

- Tous les conducteurs ont affirmé avoir « toujours » ou « souvent » essayé de respecter les limitations de vitesse quelles que soient les conditions (P0, PS, PA et PAI). 80% d'entre eux pensent les avoir « toujours » respectées avec les différents systèmes (PS, PA et PAI).
- Un seul conducteur a dit ne pas avoir senti le durcissement de la pédale, en revanche, tous les conducteurs ont perçu les deux affichages visuels (consignes de vitesse et icônes).
- Un tiers des conducteurs a dit ne pas se laisser guider par la pédale seule. En revanche, il semble que, *plus les informations visuelles étaient nombreuses, et plus les conducteurs ont eu tendance à se laisser guider par la pédale.* Ceci paraît

confirmer les résultats du pré-test pour lesquels les conducteurs semblaient avoir besoin d'informations complémentaires afin de comprendre et accepter l'information donnée par la pédale.

Analyse des données des questionnaires

Population

Les analyses portent sur les réponses aux divers questionnaires remplis par les dix neuf conducteurs. Étant donné la taille restreinte de l'échantillon, la grande majorité des réponses ont été traitées de manière qualitative.

Réponses aux échelles d'accord en fonction du système évalué

D'un point de vue ergonomique, les IHM testées doivent répondre à quelques critères indispensables:

- Le conducteur ne doit pas être surpris par le déclenchement du système,
- Les consignes, conseils ou informations données par l'IHM doivent être comprises par la majorité des conducteurs,
- L'attention du conducteur ne doit pas être perturbée par le déclenchement du système,
- Le déclenchement du système devrait orienter l'attention du conducteur sur la route,
- L'IHM ne doit pas nuire à la sécurité et ne pas provoquer de freinages brusques,
- Le système doit apporter une aide efficace au conducteur pour être accepté et utilisé.

Variables indépendantes

- **PS** = Pédale seule
- **PA** = Pédale + Affichage des vitesses limites et conseillées
- **PAI** = Pédale + Affichage des vitesses + Icônes d'avertissement

Après chaque parcours, les conducteurs ont rempli un questionnaire sous forme d'échelles d'accord contenant des propositions sur le système testé.

Interprétation

Dans les tableaux suivants, les réponses situées dans les colonnes colorées en vert sont positives pour le système évalué, et les réponses situées dans les colonnes colorées en rose sont négatives pour le système évalué.

Pédale Seule - Questionnaire Parcours 2				
	Tout à fait d'accord	Plutôt d'accord	Plutôt pas d'accord	Pas du tout d'accord
On est surpris lorsque la pédale se durcit		♦		
Avec la pédale, on a tendance à faire moins attention à ce qui se passe sur la route			♦	
Lorsque la pédale se durcit, on a tendance à freiner		♦		
Les situations dangereuses sont suffisamment signalées par le durcissement de la pédale		♦		
Ce système est un bon moyen pour faire passer une information de « dépassement de la limite de vitesse »	♦			
Le durcissement de la pédale oriente l'attention vers la route		♦		
Les informations données par la pédale sont compréhensibles		♦		
Ce système est un bon moyen pour faire passer un avertissement de danger		♦		
Avec cette pédale on se sent plus en sécurité lorsqu'on conduit		♦		

Tableau 21 : Évaluations moyennées de la Pédale Seule pour l'ensemble des conducteurs

Pédale + Affichage - Questionnaire Parcours 3				
	Tout à fait d'accord	Plutôt d'accord	Plutôt pas d'accord	Pas du tout d'accord
On est surpris lorsque l'affichage devient rouge			●	
Avec cet affichage visuel on a tendance à faire moins attention à ce qui se passe sur la route			●	
Lorsque l'affichage devient rouge et clignote, on a tendance à freiner			●	
Ce système est un bon moyen pour faire passer une information de « dépassement de la limite de vitesse »		●		
L'affichage utilisé est compréhensible	●			
Avec l'affichage visuel on se sent plus en sécurité lorsqu'on conduit		●		
L'affichage visuel oriente l'attention vers la route			●	
Avec cet affichage, les situations dangereuses sont suffisamment signalées		●		
Avec le système complet (pédale + affichage) on se sent plus en sécurité lorsqu'on conduit		●		

Tableau 22 : Évaluations moyennées du système Pédale + Affichage pour l'ensemble des conducteurs

Pédale + Affichage + Icônes - Questionnaire Parcours 4				
	Tout à fait d'accord	Plutôt d'accord	Plutôt pas d'accord	Pas du tout d'accord
On est surpris lorsque les icônes apparaissent				
Lorsque les icônes apparaissent, on a tendance à faire moins attention à ce qui se passe sur la route				
Lorsque les icônes apparaissent, on a tendance à freiner				
Elles sont un bon moyen pour faire ralentir				
Les informations données par les icônes sont compréhensibles				
Avec les icônes, les situations dangereuses sont suffisamment signalées				
L'apparition des icônes oriente l'attention vers la route				
Les symboles et abréviations des icônes sont compréhensibles				
Avec ces icônes on se sent plus en sécurité lorsqu'on conduit				

Tableau 23 : Évaluations moyennées du système Pédale + Affichage + Icônes pour l'ensemble des conducteurs

Résultats

Les résultats se révèlent globalement positifs pour l'ensemble des systèmes évalués.

La pédale utilisée est le système d'information qui semble poser le moins de problème d'un point de vue ergonomique et cognitif. Toutefois, les deux autres interfaces sont très proches en termes de cotation et aucune solution ne devrait être éliminée a priori.

Le [Tableau 24](#) présente une hiérarchie des différents points positifs et négatifs pour chaque système. Il pourra servir de base pour établir les spécifications et apporter les améliorations indispensables lors de la conception du système définitif.

Tableau 24 : Synthèse des réponses aux échelles d'accord

	Pédale Seule	Pédale + Affichage Vitesse	Pédale + Affichage + Icônes
+ de 3,5 : (+++)			
Entre 3 et 3,5 : (++)	Bon moyen pour signaler les limites de vitesse Bon moyen / situations danger Informations compréhensibles	Informations compréhensibles	Informations / situations compréhensibles Icônes compréhensibles Bon moyen pour ralentir
Entre 2 et 3 : (+)	Orientation de l'attention / route Information suffisante / danger Impression de sécurité Ne détourne pas l'attention de la route	Impression de sécurité Bon moyen pour signaler les limites de vitesse Impression de sécurité Bon moyen / situations danger Orientation de l'attention / route	Information suffisante / danger Orientation de l'attention / route Impression de sécurité
Entre 2 et 1 : (-)	Provoque un freinage Réaction de surprise	Provoque un freinage Détourne l'attention de la route	Provoque un freinage Détourne l'attention de la route Réaction de surprise
- de 1 : (-)			

PS = 3 (++) ; 4 (+) ; 2 (-)

PA = 1 (++) ; 5 (+) ; 2 (-)

PAI = 3 (++) ; 3 (+) ; 3 (-)

Réponses au différenciateur sémantique en fonction du système évalué

Variables indépendantes

- **PS** = Pédale seule
- **PA** = Pédale + Affichage des vitesses limites et conseillées
- **PAI** = Pédale + Affichage des vitesses + Icônes d'avertissement

Après chaque parcours, les conducteurs ont rempli un questionnaire sous forme de différenciateur sémantique avec six items permettant d'évaluer le système testé sur une échelle bipolaire.

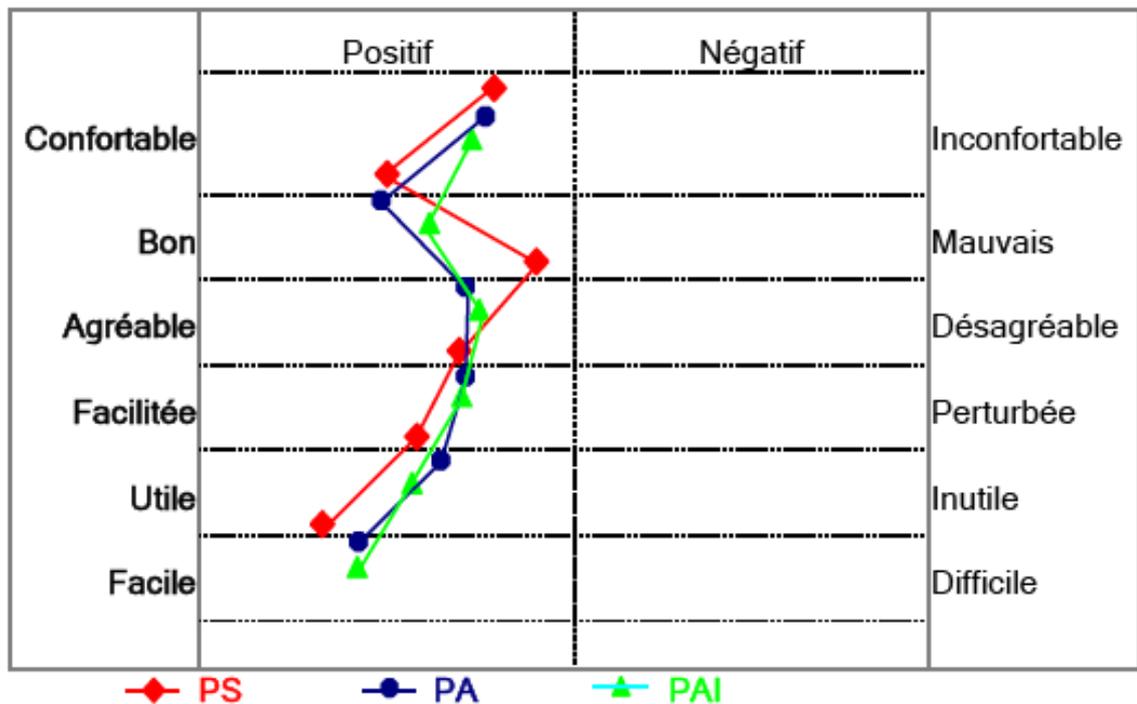


Figure 55 : Représentation graphique de la moyenne des évaluations des conducteurs (n=19)

Résultats

La présentation graphique des résultats montre que tous les systèmes proposés sont évalués de manière positive par les conducteurs. Les résultats des analyses statistiques (test U de Mann Whitney) permettent de décrire les systèmes en fonction du classement statistique des critères proposés.

Pédale seule

- **Facile** d'utilisation
- Intéressant en matière de **sécurité**
- Utile et facilite la conduite
- Confort et agrément de conduite

Pédale + Affichage

- **Facile** d'utilisation et intéressant en matière de **sécurité**
- Utile, facilite la conduite, agrément et confort de conduite

Pédale + Affichage + Icônes

- **Facile** d'utilisation et utile et intéressant en matière de **sécurité**
- Facilite la conduite, agrément et confort de conduite

Les deux caractéristiques les plus saillantes (qui ont eu les évaluations les plus positives) sont la **facilité d'utilisation** des trois systèmes ainsi que l'**intérêt en termes de sécurité**.

Les trois caractéristiques suivantes (avec des évaluations pratiquement identiques) sont l'utilité de développer de tels systèmes, l'optimisation de la conduite et le confort. L'agrément pour la conduite est la caractéristique la moins bien notée pour la pédale seule.

Note globale tous facteurs confondus (sur 10)

PS = 7,3 ; PA = 7,3 ; PAI = 7,2

Les analyses statistiques n'ont pas montré de différences significatives entre chaque système y compris pour la caractéristique « agrément de conduite ». On ne peut donc pas conclure à la lecture des résultats qu'un système est meilleur ou moins bon que l'autre.

Critiques et remarques

Tableau 25 : Récapitulatif des critiques et remarques de tous les conducteurs

	Critiques	Propositions d'améliorations
Pédale	- Durcissement trop dur, gêne - Informations données par le durcissement pas assez compréhensibles - Claquement désagréable - Pas assez d'anticipation dans les virages	- Plus souple et plus transparent - Ajouter un système sonore ou visuel - Supprimer le claquement - Supprimer le durcissement si accélération
Affichage	- Mal positionné - Limitation 90 km/h au lieu de 80 km/h - Pas assez d'anticipation (avis partagé 50/50) - Informations de la zone rouge pas assez compréhensibles	- Placer l'affichage sur le pare-brise - Adapter l'affichage des limites de vitesse à la réglementation PL - Donner les informations plus tôt - Ajouter un système sonore - Chiffre de la vitesse en rouge et qui clignote
Icônes	- Pas assez d'anticipation avant le virage - Affichage masqué par le volant dans les virages - Icône pas assez significative	- Donner les informations plus tôt - Voyants plus visibles - Ajouter une information sonore
Système complet	- Contraignant, diminue le plaisir de conduire - Trop d'informations à gérer simultanément	- Meilleure adéquation entre les trois systèmes

Préférences des conducteurs

Réponses à la question posée en fin de séance : « *Sur les camions que je conduis j'aimerais avoir...* » :

- **6** conducteurs ont choisi la **Pédale Seule**
- **7** conducteurs ont choisi l'interface **Pédale + Affichage + Icônes**
- **3** conducteurs ont choisi l'interface **Pédale + Affichage**
- **2** conducteurs ont choisi l'**Affichage visuel** sans la pédale sinon rien
- **1** conducteur préfère ne **rien** avoir.

Ainsi, 16 conducteurs sur les 19 (80%) ont choisi une interface constituée a minima de la pédale à retour d'effort. On peut noter une petite préférence pour le système complet, celui-ci étant préféré de beaucoup à l'interface pédale + affichage visuel.

Discussion

L'objectif des travaux exposés dans cette seconde partie était d'évaluer l'intérêt, pour le constructeur, d'utiliser une pédale d'accélération à retour d'effort pour faire passer des informations ou donner des conseils de conduite au conducteur. Compte tenu de la taille réduite de l'échantillon, les résultats doivent être considérés avec précaution, et la validation de l'interface définitive nécessitera une évaluation ergonomique complémentaire, sur véhicule réel, avec des conducteurs routiers professionnels pour assurer la validité écologique des résultats.

Quelle que soit l'Interface Homme Machine utilisée, les évaluations globales sont positives et un système comprenant a minima une pédale d'accélération à retour d'effort ne devrait pas poser de problèmes en termes d'acceptabilité par les conducteurs.

L'utilisation d'une pédale à retour d'effort, complétée ou non par des informations visuelles, peut se révéler intéressante en termes d'anticipation sur des événements critiques d'apparition aléatoire (ralentissements, bouchons) ou dans des situations incertaines (prédiction de renversement). Elle serait d'autant plus intéressante si elle était associée à une cartographie routière adaptée aux poids lourds pour anticiper efficacement les éléments de l'infrastructure nécessitant un arrêt complet (péages, stops, etc.) ou un ralentissement important (ronds-points, feux tricolores, etc.).

Ainsi, une utilisation judicieuse de tels systèmes d'assistance pourrait permettre, non seulement de réduire l'usure de certains des composants de la chaîne cinématique (freins, pneus...), mais aussi d'avoir un impact positif en termes de sécurité par l'anticipation de situations potentiellement dangereuses ou délicates. De plus, l'anticipation étant le facteur « clé » de la conduite rationnelle, on peut supposer que le système présenterait un intérêt certain dans ce contexte.

La pédale est un système « sensitif » qui passe par un canal sensoriel plus direct que les affichages visuels demandant un traitement cognitif plus long. C'est sans doute pour cette raison qu'elle peut être efficace dans les situations imprévues et critiques qui nécessitent une réponse motrice rapide relevant d'automatismes acquis de longue date.

En revanche, l'efficacité des systèmes n'a pas été démontrée pour le respect des consignes de vitesse. L'utilisation simultanée de plusieurs types d'IHM a pu perturber les réponses des conducteurs. Un dispositif expérimental plus long et plus coûteux en ressources humaines aurait sans doute permis de limiter ces effets, mais le temps restreint dont nous disposons sur le simulateur ainsi que le caractère confidentiel de l'étude ne nous a pas permis d'appliquer un tel protocole.

Néanmoins, bien que la vitesse moyenne observée soit plus élevée avec les systèmes d'assistance testés, les analyses ont mis en évidence une diminution des vitesses maximales. On peut donc supposer que l'utilisation de ce type d'interface pour faire passer des consignes de conduite rationnelle pourrait se révéler pertinente, notamment dans un objectif d'optimisation de la consommation, sans pour autant augmenter les temps de parcours.

Enfin, les résultats des analyses subjectives amènent quelques commentaires, relatifs aux points négatifs :

- Le durcissement de la pédale et l'apparition des icônes d'avertissement ont provoqué une réaction de surprise pour plus de la moitié des conducteurs. Cela ne suppose pas un rejet du système dans la mesure où la surprise est une réaction émotionnelle qui ne s'exprime que lors des premières rencontres du sujet avec l'objet. En termes

clairs, après un temps rapide d'apprentissage, ces systèmes ne devraient plus provoquer cette réaction.

- En ce qui concerne le freinage, bien que les conducteurs aient eu l'impression subjective que les trois IHM pouvaient provoquer une réaction de freinage, les analyses des données comportementales sur les parcours ont montré une diminution significative du nombre de coups de freins avec les trois systèmes.
- Un problème reste à résoudre, celui posé par l'IHM « Pédale + Affichage » qui a été évaluée comme pouvant détourner l'attention du conducteur de la route. Ce problème est commun aux divers affichages visuels et est à l'origine de la proposition d'une IHM haptique. Cependant, bien que les conducteurs aient conscience de ce risque, ils semblent avoir besoin de retours informatifs pour justifier le déclenchement du système et ainsi éviter l'effet de surprise décrit ci-dessus. Ce problème devra être reconsidéré lors du développement et de la validation définitive du système choisi.

Le projet CEA, conclusions et recommandations

Etant donné le contexte économique actuel, la consommation des camions est devenue un problème majeur pour les entreprises de transport routier de marchandises.

En concevant une assistance à la conduite rationnelle, le constructeur peut espérer réduire d'environ 7% la consommation des véhicules industriels, quel que soit le conducteur et son style de conduite.

A défaut d'une assistance adaptative qui identifierait le style de conduite du conducteur, un système d'assistance s'appuyant sur les données d'une cartographie adaptée, associée à une information correcte des événements routiers, représenterait un compromis acceptable. Il pourrait aider efficacement les conducteurs ayant un comportement habituel moyennement ou très consommateur, à anticiper les événements et l'infrastructure routière nécessitant un arrêt complet (péages, stops, etc.) ou un ralentissement important (ronds-points, feux tricolores, etc.).

Ainsi, l'installation sur les véhicules industriels d'un tel système, qui puisse gérer efficacement la consommation de carburant et ce, quel que soit le conducteur, semble être une solution incontournable pour l'avenir en accord avec les principes du développement durable. De plus, les conducteurs ne semblent pas opposés à l'utilisation d'un tel système, pas plus qu'ils ne considèrent la conduite économique comme une contrainte diminuant le plaisir de conduire. Le fait qu'ils pensent que tout conducteur peut diminuer sa consommation de carburant devrait les inciter à suivre les conseils d'un système d'assistance à la conduite rationnelle.

Néanmoins, pour être accepté et utilisé correctement par les conducteurs, le système développé devra bénéficier d'une interface homme-machine cohérente, ne mobilisant pas ou peu les ressources attentionnelles du conducteur. Les consignes devront être simples et intuitives, en évitant les traitements cognitifs complexes au profit de traitements perceptifs simples. Les concepteurs doivent conserver à l'esprit qu'une assistance à la conduite rationnelle doit rester secondaire par rapport aux objectifs de sécurité attachés à la conduite de tout véhicule et a fortiori aux véhicules les plus lourds.

L'utilisation d'une pédale à retour d'effort, complétée ou non par des informations visuelles, devrait se révéler intéressante pour aider le conducteur en termes d'anticipation,

« facteur clé » de la conduite rationnelle. De plus, l'étude empirique sur simulateur a montré que ce type d'interface peut être avantageusement utilisé pour anticiper des événements critiques d'apparition aléatoire (ralentissements, bouchons) ou des situations incertaines (prédiction de renversement). La pédale est un système « sensitif » qui passe par un canal sensoriel plus direct que les affichages visuels demandant un traitement cognitif plus long. C'est sans doute pour cette raison qu'elle peut être efficace dans les situations imprévues et critiques qui nécessitent une réponse motrice rapide relevant d'automatismes acquis de longue date.

Ainsi, une utilisation judicieuse d'un système d'assistance à la conduite, complété par une interface « sensitive » telle qu'une pédale d'accélération à retour d'effort, pourrait permettre, non seulement de réduire la consommation de carburant, mais aussi d'avoir un impact positif en termes de sécurité par l'anticipation de situations potentiellement dangereuses ou délicates. Plutôt que développer différents systèmes d'assistance indépendants les uns des autres, il semble plus rationnel, quand c'est possible, de conjuguer différentes fonctions dans un seul support. On pourrait imaginer, par exemple, coupler un système d'assistance à la conduite rationnelle avec un système de prédiction du renversement...

Enfin, cette action de développement ne doit pas ignorer le bénéfice des formations à la conduite rationnelle. Même si celles-ci semblent avoir des effets limités dans le temps, il n'en reste pas moins qu'elles permettent aux conducteurs de diminuer sensiblement leur consommation quand ils font l'effort d'en appliquer les principes. De plus, ceux-ci en reconnaissent l'intérêt, on peut donc supposer qu'un système qui conseillerait efficacement les conducteurs pourrait être considéré comme un bon complément relayant la formation, voire comme un support pour une formation continue.

Quatrième Partie La sécurité des usagers vulnérables en milieu urbain : Assister le conducteur pour prévenir les accidents

Le projet VIVRE2

Cette dernière partie présente la démarche de recherche adoptée en vue de la conception d'un système d'assistance à la conduite d'un camion en milieu urbain pour améliorer la sécurité des usagers vulnérables. Les travaux présentés ci-après ont été effectués dans le cadre du projet VIVRE2 (Véhicules Industriels et usagers Vulnérables de la Route) labellisé par le pôle de compétitivité LUTB2015⁹⁶, subventionné par l'ANR⁹⁷ dans le cadre du PREDIT⁹⁸ (ANR-05-PDIT-002-04) et géré par l'ADEME⁹⁹. Piloté par Renault Trucks, le consortium de recherche pluridisciplinaire associait la société INGELUX, le CEESAR¹⁰⁰, l'ENTPE¹⁰¹ (LASH)¹⁰², l'Université LYON2 (LEACM)¹⁰³ et l'INRETS¹⁰⁴ (LESCOT)¹⁰⁵.

La sécurité des usagers vulnérables de la route représente un enjeu important en termes de santé publique : la majorité des accidents impliquant ce type d'utilisateur et un camion en milieu urbain a des conséquences dramatiques souvent mortelles pour l'utilisateur et remet en cause la circulation des camions en milieu urbain. Face à ce constat, le projet VIVRE2 avait pour objectif l'étude et l'évaluation expérimentale de solutions technologiques à implanter sur les véhicules pour réduire significativement le nombre de ces accidents.

Dans le domaine de la circulation des véhicules industriels, l'activité de livraison est devenue un élément majeur au sein du Transport Routier de Marchandises pour assurer le développement économique des villes. Cependant, en milieu urbain, la présence des camions provoque des réactions négatives, voire agressives, de la part des autres usagers de la route. De fait, la proximité avec la population, la lutte pour l'occupation de l'espace public renforcent le rejet de ce type de véhicule et expliquent les politiques coercitives dont ils font l'objet. Acteur central du système, le chauffeur-livreur fait face à des tâches

⁹⁶ Lyon Urban Truck and Bus 2015

⁹⁷ Agence Nationale de la Recherche

⁹⁸ Programme national de REcherche et D'Innovation dans les Transports terrestres

⁹⁹ Agence pour la Défense de l'Environnement et la Maitrise de l'Energie

¹⁰⁰ Centre Européen d'Etudes de Sécurité et d'Analyse des Risques

¹⁰¹ Ecole Nationale des Travaux Publics d'Etat

¹⁰² Laboratoire des Sciences de l'Habitat

¹⁰³ Laboratoire d'Etude et d'Analyse des Comportements et des Modèles

¹⁰⁴ Institut National de REcherche sur les Transports et leur Sécurité

¹⁰⁵ Laboratoire Ergonomie et Sciences Cognitives pour les Transports

variées, à une pression temporelle constante et à un environnement complexe et hostile qui engendrent un stress permanent et renforcent l'intérêt du développement de systèmes d'aide à la conduite. Néanmoins, l'introduction de solutions onéreuses s'avère difficile dans cette catégorie de véhicules car un prix faible est le critère d'achat prépondérant des transporteurs qui interviennent en ville. Dans un contexte économique défavorable, le choix de solutions réellement pertinentes et adaptées au contexte d'utilisation est devenu une nécessité absolue pour la diffusion de technologies innovantes, d'autant plus que le choix d'un camion est lié principalement à une nécessité de productivité. Ainsi, avant de se lancer dans la démarche de développement de systèmes destinés à la prévention des accidents avec des usagers vulnérables, il était indispensable d'effectuer une étude exploratoire afin de préciser la pertinence et la faisabilité de tels systèmes. Dans cette optique, le projet VIVRE2 a adopté une démarche systémique prenant en compte la problématique de la sécurité des usagers vulnérables dans sa globalité en intégrant les facteurs contextuels, les facteurs humains et les facteurs technologiques (Figure 56).



Figure 56 : Représentation schématique du programme de recherche du projet VIVRE2

La démarche de recherche a suivi une logique de réalisation en trois étapes : analyse, conception, et évaluation. L'équipe pluridisciplinaire regroupée autour du constructeur de véhicules industriels était composée de chercheurs en sciences humaines, en sciences de l'ingénieur, de spécialistes en accidentologie, en éclairage et en sécurité des transports¹⁰⁶. En s'appuyant sur les analyses d'accidentologie, des comportements des usagers vulnérables et de l'activité des conducteurs, le projet de recherche a suivi deux approches complémentaires :

- l'une sur l'éclairage extérieur et la visibilité du véhicule par les usagers,
- l'autre sur les systèmes d'assistance à la détection des usagers par le conducteur pour les situations de manœuvres et de basse vitesse (0 à 30 km/h).

L'ENTPE et Ingelux ont travaillé ensemble sur les conditions lumineuses à partir d'un cas réel d'accident mortel impliquant un camion et un motard en ville¹⁰⁷. A partir de relevés photométriques, des coefficients de réflexion des matériaux et des indices de luminance de l'éclairage public relevés sur place, l'équipe a réalisé une simulation 3D de l'accident, vue du conducteur du camion et vue du motard. Ce travail a permis de proposer des solutions pour améliorer la visibilité et la compréhension des intentions d'un poids lourd en manœuvre.

Autour de la plateforme de simulation de conduite SCOOP2 de Renault Trucks, en coopération avec le LESCOT (INRETS), nous avons défini les stratégies d'assistance à apporter au conducteur en fonction des situations à risques et spécifié les interfaces homme-machine nécessaires pour délivrer les informations et les alertes.

Afin d'évaluer l'ergonomie des systèmes sur plusieurs dimensions telles que la charge mentale des conducteurs, l'acceptabilité, l'utilité ou la compréhension des assistances, nous avons organisé une campagne de tests sur simulateur dynamique de conduite de camion.

Le système d'assistance retenu est composé d'un antidémarrage, d'un freinage d'urgence et d'un limiteur de vitesse. L'ensemble est complété par des retours informatifs visuels par caméras arrière et latérale et par des alarmes lumineuses et sonores en cabine.

Quatre chapitres structurent cette dernière partie. Les deux premiers présentent les études que nous avons effectuées dans une démarche d'analyse. Ces travaux s'intéressent plus spécifiquement aux comportements et représentations des usagers vulnérables ainsi qu'à l'activité des conducteurs de camions en milieu urbain. Le chapitre suivant présente les stratégies d'assistance et les IHM et précise le contexte d'application des systèmes proposés (définitions des situations critiques et des scénarii de simulation). Le dernier chapitre aborde la démarche expérimentale mise au point pour l'évaluation des systèmes et en discute les résultats.

En conclusion, après avoir présenté nos contributions, nous faisons un point sur le devenir du projet VIVRE2.

IX. Les Usagers vulnérables : comportements, attitudes et représentations face aux camions

¹⁰⁶ Les travaux du projet ont fait l'objet d'un DVD qui comprend un court métrage destiné à la communication grand public et un long métrage destiné à la dissémination scientifique. Ces films sont visibles sur : <http://25images.ish-lyon.cnrs.fr/Portails/VIVRE2/>

¹⁰⁷ Cas relevé par le CEESAR dans le cadre d'une Etude Détaillée d'Accident

La problématique de la conception d'une assistance à la conduite est située dans le contexte d'un système routier dynamique multi composite. Les «composants» de ce système sont, non seulement les objets technologiques (véhicules, infrastructures), mais aussi et surtout les acteurs humains, qu'ils soient conducteurs de camion ou usagers vulnérables de la route. De ce fait, la difficulté de réalisation est ici liée à la connaissance et la prise en compte des interactions entre ces différents usagers.

De manière générale, les différentes catégories d'usagers de la route, chacune se déplaçant selon sa propre logique et ses propres buts, ont des difficultés pour cohabiter et perçoivent toujours les autres comme responsables des dysfonctionnements. De plus, les processus de décision et d'action des usagers dans leurs déplacements ne dépendent pas uniquement de la manière dont ils se représentent le système routier, mais aussi de leur compréhension du danger et de la prise de risque ainsi que de la nature de l'activité sous-tendant leurs déplacements. Ainsi, développer des systèmes d'aide à la conduite des VI pour éviter les accidents avec des usagers vulnérables suppose, non seulement la connaissance de l'activité des conducteurs, mais aussi la connaissance des interactions entre les usagers, et celle des attitudes et comportements à l'origine des dysfonctionnements.

Après avoir précisé le contexte des travaux, ce chapitre présente le cadre théorique sur lequel nous nous sommes appuyée pour explorer l'étude des comportements, attitudes et représentations des usagers vulnérables. Nous détaillons ensuite la démarche expérimentale adoptée et nous en discutons les résultats.

Secteur expérimental

La zone d'étude du projet est limitée au milieu urbain. Elle correspond à l'ensemble des réseaux situés à l'intérieur d'une agglomération définie au sens du code de la route (parties de routes situées entre les panneaux de début et de fin d'agglomération), quelle qu'en soit l'étendue. D'un point de vue réglementaire, notamment en ce qui concerne la vitesse, les véhicules industriels, quelle que soit leur taille, sont limités à 50 km/h ou moins selon la réglementation locale. Dans le cadre du projet VIVRE2, c'est l'agglomération Lyonnaise qui a fait office de secteur expérimental et plus particulièrement le centre ville. Nous y avons relevé les situations de référence pour l'étude des attitudes et comportements des usagers vulnérables et fait les analyses d'activité sur un panel de conducteurs effectuant des livraisons quotidiennes.

Les véhicules industriels sont nombreux à circuler dans le centre ville de Lyon, notamment les camions de distribution. Cela tient en partie aux évolutions logistiques des zones urbaines en général (Cholez, 2001) : certains magasins du centre ville n'ont plus d'arrière boutique, le camion du transporteur remplace pour ainsi dire l'entrepôt de stockage et le trottoir sert de zone de réception juste avant la mise en rayon. La vitesse est limitée à 50km/h dans l'agglomération et à 30km/h dans le centre ville et l'accès des camions de plus de 3T5 est strictement réglementé, notamment en ce qui concerne les secteurs piétonniers (accès autorisé le matin jusqu'à une certaine heure, \pm 11h00 selon la localisation), certains secteurs résidentiels et les zones autour des établissements scolaires (accès déconseillé aux heures d'entrée et de sortie des élèves). Enfin, comme dans toute agglomération, des places de stationnement sont réservées pour la livraison, places qui, concrètement, sont rarement disponibles en centre ville ce qui oblige les chauffeurs livreurs à stationner très souvent en double file ([Image 31](#)).



Image 31 : Exemples de stationnements fréquemment observés en milieu urbain

Le piéton, Usager Vulnérable de la Route

Bien que le terme d'usager vulnérable de la route recouvre plusieurs catégories d'usagers (piétons et deux roues motorisées et non motorisées), étant donné l'ampleur du travail et compte tenu des résultats issus de l'étude accidentologique préalable, nous nous sommes intéressée plus particulièrement à l'étude des interactions entre les piétons et les conducteurs de camion et notamment à l'étude des comportements et attitudes liés à la conscience du danger et à la prise de risque par les piétons. Utilisant un mode de déplacement si naturel que l'on a tendance à l'oublier, le piéton, usager vulnérable par définition, est encore peu considéré comme un usager de la route responsable de ses actions. Ainsi, sa protection et sa sécurité font-elles l'objet de nombreuses campagnes de sensibilisation à destination des automobilistes. Cependant, jusque récemment, les actions d'éducation routière restent à destination des écoliers et des collégiens, et le piéton adulte est rarement lui-même le destinataire de ces campagnes.



Image 32 : Exemples de comportements de traversée de piétons en milieu urbain devant un camion

De plus, en ce qui concerne les risques d'accident entre piétons et camions en milieu urbain (Image 32), il n'y a pas d'action de prévention spécifique mise en œuvre à notre connaissance en France. Si les conducteurs routiers sont effectivement sensibilisés au risque « piéton et usagers vulnérables » lors de leur formation à la conduite (permis C, D et E), les piétons, en revanche, ne reçoivent aucune information quant aux difficultés que peuvent rencontrer les conducteurs de poids lourds face aux comportements inattendus des autres usagers (difficultés de freinage, de perception arrière notamment...). Ce constat interpelle dans la mesure où :

- non seulement, la majorité des accidents impliquant un piéton et un camion ont des conséquences dramatiques souvent mortelles pour le piéton ;
- mais surtout, dans 23% des cas, la responsabilité du piéton est mise en cause dans ces accidents (traversée hors passage protégé, par exemple).

Conscience du danger et prise de risque des piétons confrontés aux camions en milieu urbain

Tous les usagers de la route sont, *a minima*, des piétons, et la marche, qui représente le deuxième mode de déplacement en milieu urbain, peut être considérée comme un mode de transport à part entière. Malgré cela, nombreux sont les piétons qui ne respectent pas les règles en matière de sécurité routière. Ainsi, pour faciliter la cohabitation entre les usagers de la route et améliorer la sécurité, nous allons tenter de comprendre la nature des interactions entre usagers, et identifier les comportements et attitudes à l'origine des dysfonctionnements.

Notre étude s'appuie sur l'idée que les comportements et attitudes des piétons confrontés à des situations urbaines particulières seront très largement orientés par les représentations qu'auront ces usagers vulnérables des véhicules impliqués ainsi que par la notion de la prise de risque et du danger associés aux situations présentées. Ainsi, par l'évaluation des représentations du danger et du risque chez le piéton pour des situations potentiellement accidentogènes, nous espérons apporter un point de vue différent de celui adopté habituellement en accidentologie (Maincent, Brun, Martin, 2008).

Compte tenu de la complexité de l'environnement routier urbain, et de la difficulté méthodologique que représente l'accès au contenu des représentations des piétons, deux outils complémentaires ont été utilisés. Le premier est une méthode originale, constituée de quinze scènes vidéo, qui permet :

- de rendre compte de la dynamique des situations sur lesquelles nous souhaitons faire s'exprimer les individus
- d'être comprise par une population de piétons suffisamment large en termes d'âge, aussi bien que par une population de conducteurs de camions (pour une étude ultérieure).

De plus, afin d'aborder la structure de la représentation des piétons en ce qui concerne les camions en ville, nous lui avons associé un questionnaire basé sur une méthode d'associations d'idées (n=232). Au total, 419 piétons de 12 à 93 ans, les deux sexes étant également représentés, ont participé aux différentes phases de l'étude.

Risque et danger, deux facettes d'une situation ?

Pour le piéton qui se déplace, la sécurité ne constitue ni un but, ni même un moyen : elle n'est qu'une condition subjectivement évaluée et acceptée comme telle. En revanche, c'est la représentation¹⁰⁸ qu'a cet usager de l'environnement routier qui va constituer le modèle mental (Bainbridge, 1980) sur lequel il va se baser pour réguler son activité de déplacement.

Or, il s'avère que cet environnement est hostile pour le piéton qui est particulièrement vulnérable aux collisions avec des véhicules en mouvement. Ainsi, tout déplacement en ville peut être considéré comme dangereux, et les activités piétonnières intègrent, naturellement une dimension de risque d'accident (Granié, 2004).

¹⁰⁸ Les notions théoriques attachées aux représentations ont été traitées dans la première partie de ce mémoire, chapitre II, pp. 58-61.

Dans le domaine de la sécurité routière, les notions de risque et de danger sont intimement liées et représentent deux facettes de la réalité pour le piéton qui effectue un déplacement dans un environnement routier, urbain ou non :

- Le danger représente une variable objective, quantifiable en termes de probabilités d'accident dans une situation donnée,
- la notion de risque peut représenter une variable psychologique, subjective, qui ne coïncide pas forcément avec la dangerosité réelle de la situation (Charron, 2005).

Cependant, dans sa définition même, le concept de risque est loin d'être univoque ; il renvoie autant au caractère dommageable et dangereux d'un événement qu'à son caractère incertain. De même, pour ce qui concerne le domaine de la psychologie du risque, Turner, McClure, Pirozzo (2004) cités par Thiffault (2005) font état d'un urgent besoin de développer un cadre conceptuel précis et opérationnel. En effet, pour certains auteurs, la notion de prise de risque renvoie à un simple comportement observable qui augmente la probabilité d'un accident (Cvetkovich et Earle, 1988 ; Jonah, 1986) alors que, pour d'autres, elle implique nécessairement une certaine conscience du risque encouru (Irwin et Millstein, 1992 ; Yates et Stone, 1992). Pour d'autres encore la prise de risque implique non seulement la conscience du risque mais aussi sa recherche délibérée (Thuen, Klepp, Wold, 1992). D'un point de vue épidémiologique, Leight (1999) aborde la notion de facteurs de risque, dans un secteur d'activité donné, en insistant sur le fait que l'adoption d'un comportement à risque n'est pas forcément lié à la conscience de la prise de risque qu'implique ce comportement. Ainsi le piéton âgé qui traverse hors passage pour piéton n'a pas nécessairement conscience qu'il prend plus de risque qu'un jeune, mais il fait néanmoins partie d'une population plus « à risque » d'avoir un accident dans ce type de situation.

Pour Thiffault (op. cité), il semble donc important de distinguer les comportements à risque (exposition au risque sans en avoir conscience), des conduites de risque qui font, selon lui, obligatoirement référence à une exposition consciente et volontaire à une situation dangereuse. Dans ce cadre, la compréhension du danger est un facteur déterminant dans la modification du comportement et dans l'évaluation de la prise de risque volontaire.

Enfin, pour Shtarkshal (1987), la prise de risque repose sur trois éléments majeurs. D'une part, le risque doit être perçu comme tel : la connaissance ou une certaine conscience du risque est indispensable pour évoquer la notion de prise de risque. D'autre part, la métaconnaissance de ses propres capacités à faire face à la situation est importante dans la prise de risque. Enfin, le troisième facteur, mais non le moindre pour l'auteur, concerne l'acceptation du risque qui implique une volonté consciente à accepter le risque. Cette volonté serait en lien avec la personnalité.

De plus, la nature du risque dans le cadre de déplacements piétonniers peut revêtir différents aspects. On pense avant tout au risque physique d'accident pour l'utilisateur vulnérable, mais le risque peut aussi concerner le temps ou le coût du déplacement (*prendre le risque de passer par tel itinéraire pour ne pas perdre de temps...*) voire même des motifs plus triviaux (*prendre le risque de traverser n'importe où pour éviter une rencontre inopportune...*). Enfin, la prise de risque s'exprimera par l'intermédiaire des représentations du piéton (de la situation, de lui-même, de l'activité, de l'environnement...), qui ajustera son comportement selon un rapport « risque préférentiel/risque perçu » (Delignières, 1993), en vue, d'une part, de réduire la dissonance entre ces deux aspects de la représentation, mais aussi en répondant à un sentiment de plaisir associé à une certaine estime de soi dans la maîtrise du risque (Wilde, 1988).

A ces deux variables, risque et danger, nécessairement impliquées dans l'adoption d'un comportement en environnement routier, viennent s'ajouter des variables psychologiques qui sous-tendent tout comportement humain (Martin, 2005), dont la notion d'intention (choix délibéré d'un comportement, dangereux ou non), la notion de but (motif du déplacement) et la notion de satisfaction associée à la maîtrise de la situation. Ainsi, face à une même situation routière, objectivement dangereuse ou non, la notion de risque associée à un comportement pourra être totalement différente selon les individus, non seulement en fonction de leurs connaissances, de leurs représentations, mais aussi en fonction de la perception qu'ils ont de la situation ainsi que de leurs buts et intentions à ce moment précis.

Nous avons construit notre démarche méthodologique à partir de ces notions multiples, en essayant de prendre en compte l'expérience d'usager des individus, d'évaluer la représentation du danger et du risque qu'ils ont face à une situation dynamique et d'en déterminer les éléments saillants.

Partie expérimentale

Afin de tester la pertinence de notre modèle dédié aux activités humaines finalisées, nous l'avons appliqué aux dimensions de l'activité de déplacement des piétons en milieu urbain. Nous avons ensuite identifié les dimensions de cette activité que nous souhaitons étudier et défini les outils et méthodes potentiellement intéressantes pour atteindre nos objectifs de recherche (Figure 57).

L'approche méthodologique est centrée :

- sur la structure de la représentation mentale qu'ont les piétons des camions en ville.
- sur la variabilité des représentations individuelles qu'ont les piétons du risque et du danger dans une perspective contextuelle, face à des situations données,

La méthode que nous avons développée associe un questionnaire d'évocations pour l'étude de la structure de la représentation et un questionnaire qui s'appuie sur des scènes vidéo pour l'étude des représentations du danger et de la notion de risque à partir de situations dynamiques.

Nous avons volontairement mobilisé deux échantillons expérimentaux distincts pour chacune des investigations. Ce choix permettait que les questionnaires n'interfèrent l'un sur l'autre par un effet de halo.

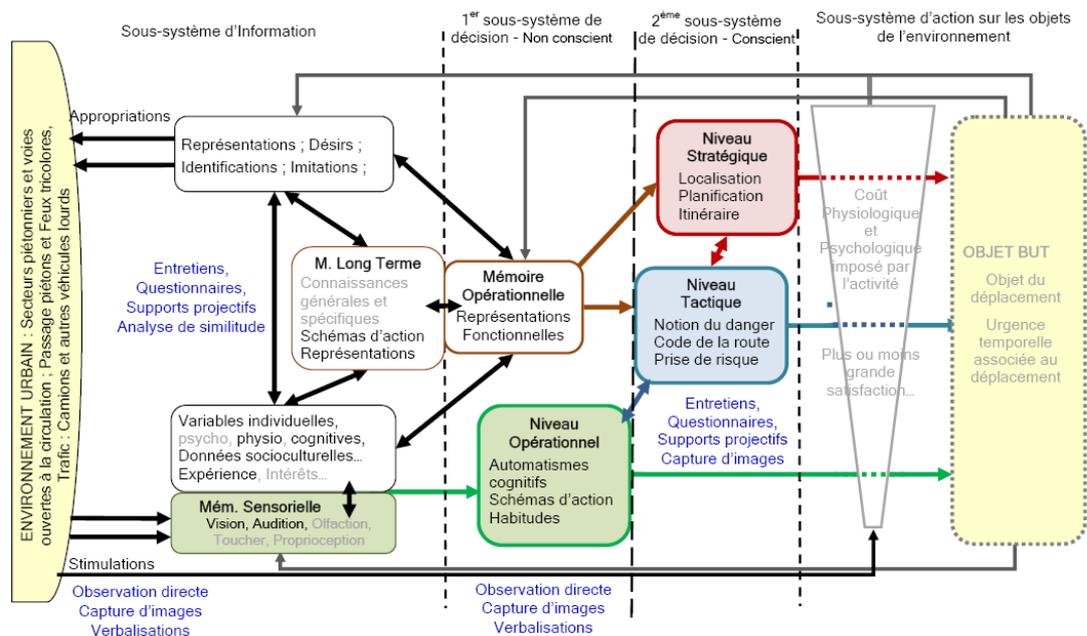


Figure 57 : Application du modèle à l'étude de l'activité de déplacement des piétons en ville dans le cadre du projet VIVRE2

Le questionnaire d'évocations

Selon Cholez (2001) et Revah (2001), le public a une représentation globalement négative des camions et du métier de conducteur routier. C'est à partir de cette hypothèse, et afin de préciser la structure de la représentation des piétons à propos des camions en ville, que nous avons élaboré un questionnaire d'évocations (Marchand, 2007, Vergès, 1992). Il était demandé aux sujets de proposer 5 mots évoquant les « camions en ville » et de classer ces mots selon leur valence (positive vs négative). La connaissance des différents constituants de la représentation devrait permettre d'aborder la dimension attitudinale vis-à-vis des camions et le niveau d'information détenu par les piétons à leur propos.

232 sujets des deux sexes de 13 à 93 ans ont répondu au questionnaire, dont 86% d'adultes actifs de 20 à 59 ans. 71% des sujets sont multi-usagers et les 29% restants ont déclaré se déplacer en ville uniquement à pied. Ont été exclus de l'analyse les usagers

possédant et utilisant régulièrement un permis PL. Les données ont été traitées à l'aide des programmes EVOC2003 et SIM2003 de Pierre Vergès¹⁰⁹.

Le questionnaire à partir de situations dynamiques

La mise au point de l'outil développé pour l'étude, s'est appuyée sur une série de dix-sept entretiens auprès de divers usagers vulnérables (piétons, cyclistes et cyclomotoristes) ainsi qu'auprès de conducteurs routiers effectuant des trajets urbains. La principale difficulté a été, d'une part de contextualiser le questionnement, et, d'autre part, de rendre compte de la dynamique des situations abordées. De plus, la méthode devait être comprise et utilisable individuellement, sans l'accompagnement des chercheurs, par un large échantillon de sujets, notamment en termes d'âge (de 12 à 77 ans) et de sexe.

Les résultats de cette pré-enquête ont montré que des supports projectifs étaient nécessaires pour faciliter les verbalisations, et les contextualiser. Cependant, l'utilisation de photographies s'est avérée peu pertinente dans la mesure où la dimension dynamique de la situation n'était pas représentée. A l'issue de cette pré-enquête, il a donc été décidé d'utiliser de courtes séquences vidéo, plus appropriées à la problématique de l'étude basées sur les représentations en environnement dynamique complexe.

La méthode principale pour l'étude des représentations du danger et du risque associées à des situations contextualisées dynamiques est finalement composée d'un « Kit DVD » qui comprend un DVD lisible sur ordinateur (PC ou MAC) ou sur lecteur DVD de salon accompagné d'un questionnaire papier-crayon¹¹⁰.

Le DVD¹¹¹ comporte quinze séquences vidéo filmées en milieu urbain (centre ville de Lyon - France) dont douze mettent en scène des piétons confrontés à des camions, dans des situations observées quotidiennement. Les scènes ont été sélectionnées à partir des données d'accidentologie issues de divers registres régionaux et nationaux¹¹², d'études effectuées par l'INRETS (Brénac, Nachtergaële et Reigner, 2003) et de verbalisations de conducteurs de camions obtenues à l'occasion d'analyses d'activité. Elles sont axées sur les traversées de section rectiligne, la circulation de piétons sur la chaussée et les manœuvres basse vitesse de camions en secteur piétonnier. Cinq scènes se déroulent en secteur piétonnier et les sept autres en secteur ouvert à la circulation.

Le questionnaire, anonyme, comprend deux parties pour chaque séquence () :

- Une première partie identique pour toutes les séquences qui permet au sujet d'évaluer globalement la situation en terme de dangerosité, de familiarité et de localisation (secteur piétonnier ou non). Pour les scènes de traversée de voie et de circulation sur la chaussée, il est, de plus, demandé au sujet s'il lui arrive d'adopter un comportement identique.
- La deuxième partie est spécifique à chaque séquence et l'évaluation des sujets porte sur la notion de prise de risque par le ou les piétons et sur la notion de danger du comportement du ou des camions envers les piétons.

¹⁰⁹ verges@mmsch.univ-aix.fr

¹¹⁰ Le DVD et le questionnaire qui l'accompagne sont protégés par l'article L. 122-4 du Code de la Propriété Intellectuelle (dépôt légal : janvier 2007).

¹¹¹ Le DVD a été réalisé avec le support du pôle Image Animée de l'Institut des Sciences de l'Homme de Lyon

¹¹² BAAC (Bulletin d'Analyse des Accidents Corporels), ARVAC (registre INRETS des accidents de la circulation dans le Rhône).

Compte tenu du caractère exploratoire de l'étude et des objectifs généraux du projet, les séquences mettent en scène divers types d'usagers vulnérables (piétons, cyclistes et utilisateurs de 2 roues motorisées). La majorité des sujets ne pouvant se reconnaître dans toutes les situations, nous avons choisi de les placer en position de spectateurs et non d'acteurs. Il ne leur était pas demandé de se projeter dans la scène, mais d'évaluer la dangerosité de la situation, la notion de prise de risque par les différents usagers en scène et l'évaluation du comportement du camion en termes de danger. De cette façon nous espérons contourner le biais de désirabilité sociale, avoir un accès plus spontané aux représentations des comportements sécuritaires et de la notion de prise de risque dans les déplacements en milieu urbain, sans pour autant que les sujets se sentent jugés ou évalués.

Afin de limiter les effets d'apprentissage, d'ordre et de rang, les deux premières scènes sont identiques pour tous les sujets et n'ont pas été prises en compte dans le traitement des données. Elles ont été choisies en fonction de la « neutralité » de la situation. Toutes les autres scènes sont présentées dans un ordre semi-aléatoire, différent pour chaque sujet, et obéissant à une contrainte : deux scènes qui présentent le même type de situation ne devaient pas être consécutives.

Echantillon

L'échantillon est composé de 142 citadins de 12 à 77 ans. Les sujets, hommes et femmes également représentés, ont été répartis selon quatre groupes d'âge : G1, de 11 à 19 ans (n=33) ; G2, de 20 à 39 ans (n=48) ; G3, de 40 à 59 ans (n=36) et G4, plus de 60 ans (n=25).

Nous avons limité notre panel aux individus de plus de 11 ans, âge où les jeunes citadins commencent à se déplacer seuls en milieu urbain, notamment pour se rendre au collège. De plus, les méthodes d'études des représentations des jeunes enfants sont fondamentalement différentes de celles à destination des adultes ou des adolescents et l'outil utilisé dans cette étude ne convient pas à cette tranche d'âge. Enfin, les situations présentées dans le DVD et les objectifs même de l'étude ne sont pas pertinentes pour des enfants de cet âge.

Variables expérimentales

Les variables dépendantes sont pour chaque scène :

- l'évaluation du danger global de la situation,
- l'évaluation de la prise de risque par le piéton mis en scène,
- l'évaluation de la dangerosité du comportement du camion et le positionnement des sujets par rapport à la prise de risque du piéton mis en scène (pour 3 scènes dans lesquelles le piéton a un comportement contraire au code de la route).

Les variables indépendantes sont de plusieurs types :

- l'âge des sujets : quatre groupes d'âge,
- l'environnement routier : secteur piétonnier vs secteur ouvert à la circulation,
- l'action du camion mis en scène : en mouvement vs stationné,
- les classes de situation : traversée sur passage piétons vs hors passage piéton, circulation sur la chaussée.

Modalités de passation

Les 142 sujets ont visionné le DVD et répondu au questionnaire de manière individuelle, sans expérimentateur, généralement à leur domicile.

La passation d'une durée de 30 à 45 minutes, nécessitait de disposer, soit d'un ordinateur personnel de type MAC ou PC, soit d'un lecteur DVD de salon et d'en maîtriser le fonctionnement a minima.

Les consignes figuraient en première page du questionnaire, elles étaient rappelées oralement lors du démarrage du DVD puis figuraient sous forme de rappel dans le corps du questionnaire et sous forme d'instructions courtes avant et après chaque séquence vidéo.

Synthèse des résultats

L'exposé ci-après constitue une synthèse des analyses les plus significatives réalisées lors de cette étude. La totalité des résultats a fait l'objet d'un livrable spécifique dans le cadre du projet VIVRE2 (Maincent, Brun, Martin, 2007).

Le questionnaire d'évocations

Au total, 1061 termes ont été cités par les 232 sujets dont 1037 ont été classés selon leur valence positive/négative. 44% des sujets associent cinq termes négatifs à la proposition « camions en ville ». En revanche, plus de la moitié des personnes interrogées (soit 56% des sujets) a proposé au moins un terme positif (Figure 58). Cette répartition a permis d'effectuer les analyses d'évocations selon deux orientations : l'une à partir des données globales recueillies tous sujets confondus (1061 données), et la seconde à partir de l'échantillon des sujets ayant donné au moins un terme positif (847 données).

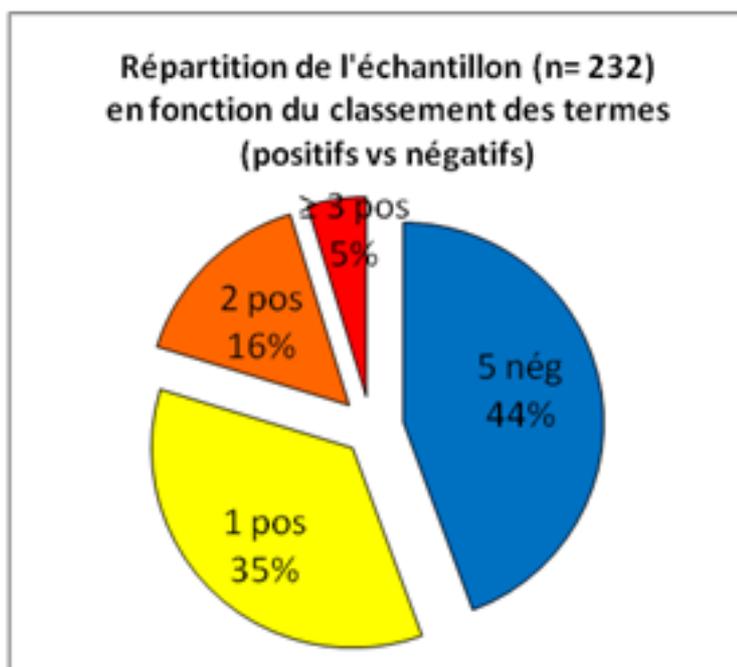


Figure 58 : Répartition de l'échantillon selon la valence de la représentation

Ces analyses distinguent les composants structurels de la représentation en les classant selon trois ensembles distincts :

- Le noyau central qui regroupe les éléments stables de la représentation. Il est composé des termes les plus souvent associés (prise en compte de la fréquence

de citation d'une proposition) de façon immédiate (prise en compte du rang moyen d'apparition).

- Deux ensembles d'éléments périphériques : l'un composé des éléments les plus fréquemment associés et qui apparaissent dans les derniers rangs et l'autre composé des éléments les moins fréquemment associés mais qui apparaissent dans les premiers rangs.

Les termes formant la représentation du camion en ville, qu'ils soient centraux ou périphériques, sont essentiellement négatifs (Figure 59). Ils concernent la pollution, le bruit, les problèmes de circulation et de stationnement, l'encombrement et le danger.

Quelques éléments positifs émergent des éléments périphériques les plus fréquents avec la notion de service associée à la livraison et au transport ainsi qu'au ramassage des ordures ménagères associée au terme « poubelle ». Notons que le terme d'accident n'apparaît dans aucune des analyses.

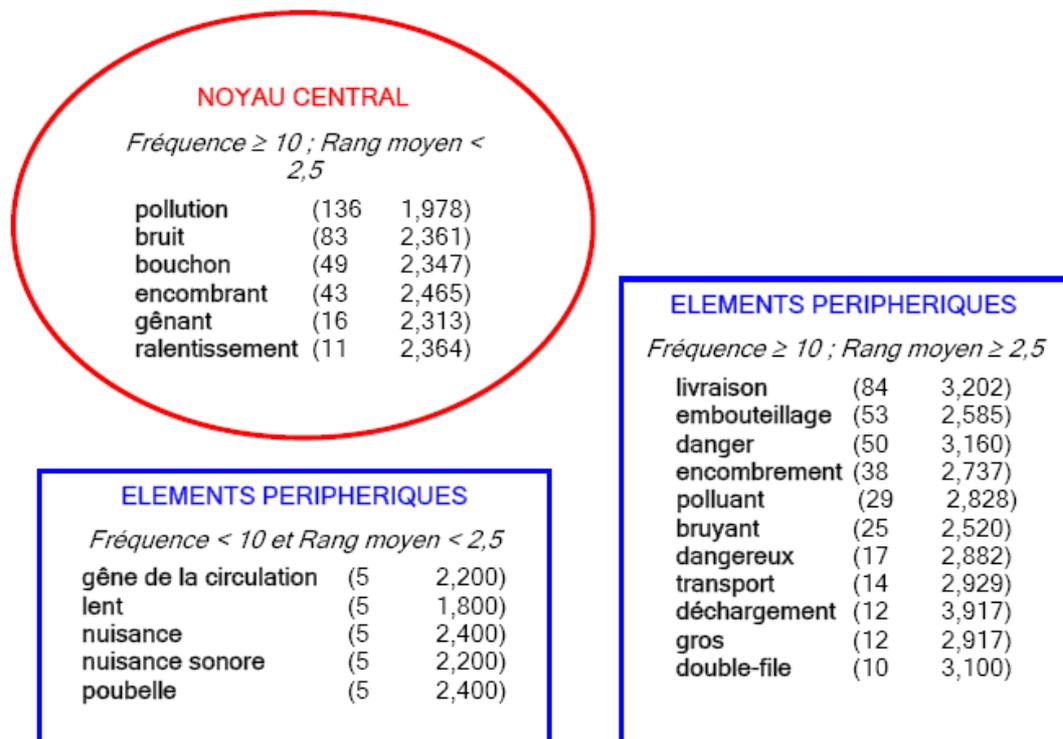


Figure 59 : Structure de la représentation des camions en ville à partir des données globales (1061 termes, n=232)

Les données globales ont été regroupées en 9 catégories sémantiques à l'aide du logiciel SIMEVOC. Ces données ont ensuite fait l'objet d'une analyse de similitude permettant d'établir la force des relations entre les différentes catégories sémantiques et leur proximité (Figure 60).

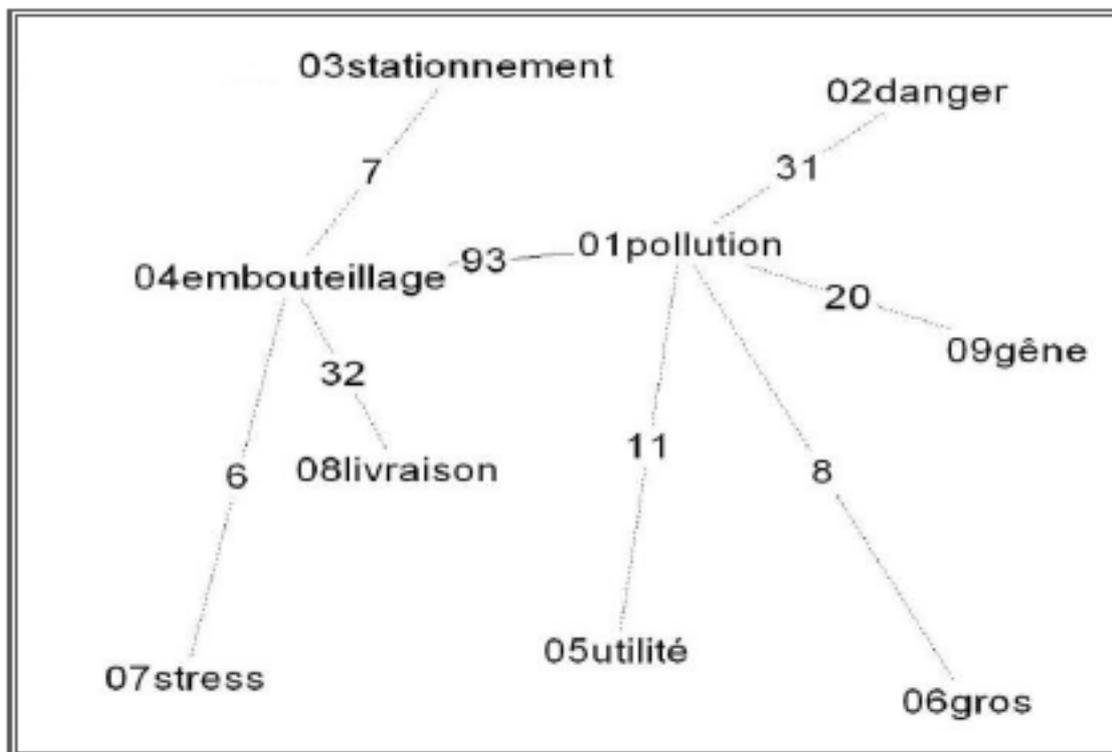


Figure 60 : Structure de la représentation des camions en ville à partir des données globales classées en catégories sémantiques : force et proximité des relations.

L'analyse montre une proximité étroite et une relation très forte entre les catégories « pollution » et « embouteillage ». Les autres catégories s'articulent autour de celles-ci avec notamment la notion de « livraison » fortement liée à la catégorie « embouteillage » et la notion de « danger », fortement liée à celle de « pollution ».

Le questionnaire à partir de situations dynamiques

Sur les quinze situations présentées aux sujets, outre les deux scènes de familiarisation qui n'ont pas été analysées, neuf séquences mettent en scène des piétons. Trois séquences se passent en secteur piétonnier et les six autres en secteur ouvert à la circulation (Image 33). Ce chapitre présente une synthèse des analyses des questionnaires correspondants à ces neuf séquences.



Photo 1 : Secteur piétonnier1



Photo 2 : Secteur piétonnier3



Photo 3 : Circulation chaussée



Photo 4 : Poussette1



Photo 5 : Poussette2



Photo 6 : Poussette3 + traversée PP1



Photo 7 : Traversée HPP1



Photo 8 : Traversée HPP2



Photo 9 : Traversée PP2

Image 33 : Synoptique de l'ensemble des scènes analysées

Pour trois scènes présentant un danger objectif et un comportement contraire au code de la route (traversées hors passage protégé, photos 7 et 8 ; et circulation sur la chaussée à côté du trottoir, photo 9), des comparaisons ont été effectuées entre l'évaluation de la prise de risque par le piéton et le positionnement des sujets en termes d'adoption d'un comportement similaire.

Familiarité des situations présentées

Une première analyse a été effectuée afin de vérifier la pertinence des scènes que nous avons présentées aux sujets (Figure 61).

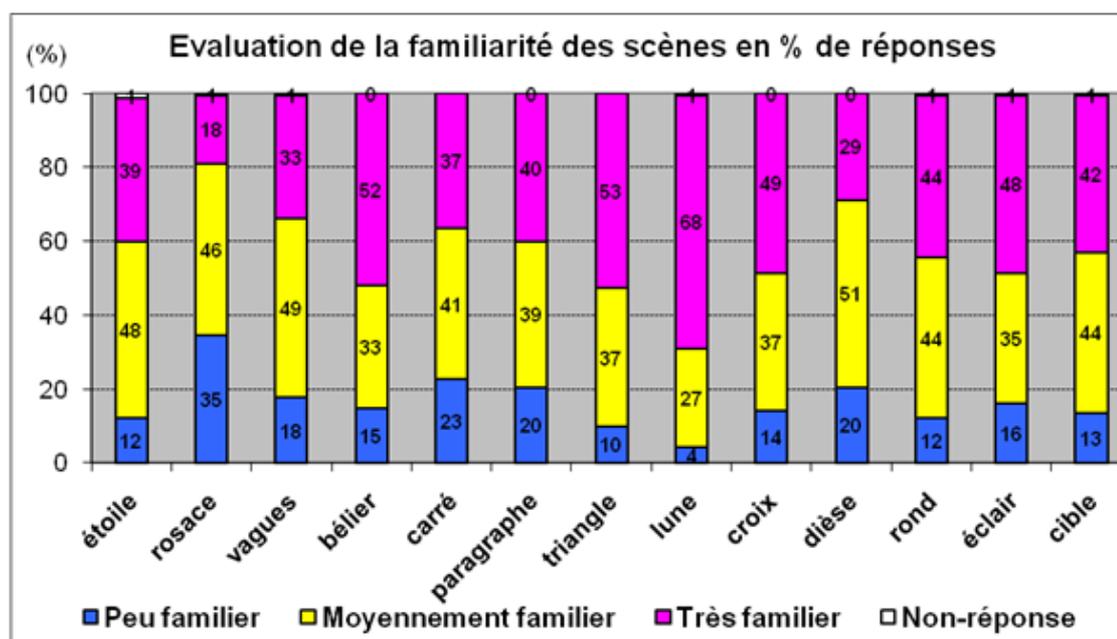


Figure 61 : Evaluation de chaque scène en termes de familiarité (en % de réponses)

Les résultats montrent que la grande majorité des séquences présentées sont familières à très familières pour plus de 80% des sujets.

La scène « rosace », qui présente le moins de familiarité pour les sujets met en scène une situation de marche arrière en secteur piétonnier.

Les scènes les plus familières sont les scènes de traversée d'un piéton hors passage pour piétons (les scènes « lune » et « triangle »).

De plus, l'environnement routier (secteur piétonnier/ouvert à la circulation) a été correctement identifié. Ces résultats ont permis de vérifier la pertinence des situations proposées et de valider l'intérêt de l'outil pour une étude sur les représentations qu'ont les usagers vulnérables de l'environnement urbain.

Influence de l'environnement routier sur les représentations du danger et de la prise de risque

L'analyse comparative des données globales issues de l'évaluation des trois variables dépendantes, la prise de risque par le piéton, la dangerosité du comportement du camion et l'indice global de dangerosité en fonction de l'environnement routier (secteur piétonnier vs secteur ouvert à la circulation) permet d'affirmer qu'il existe une différence dans la représentation de l'espace routier chez le piéton (Figure 62) :

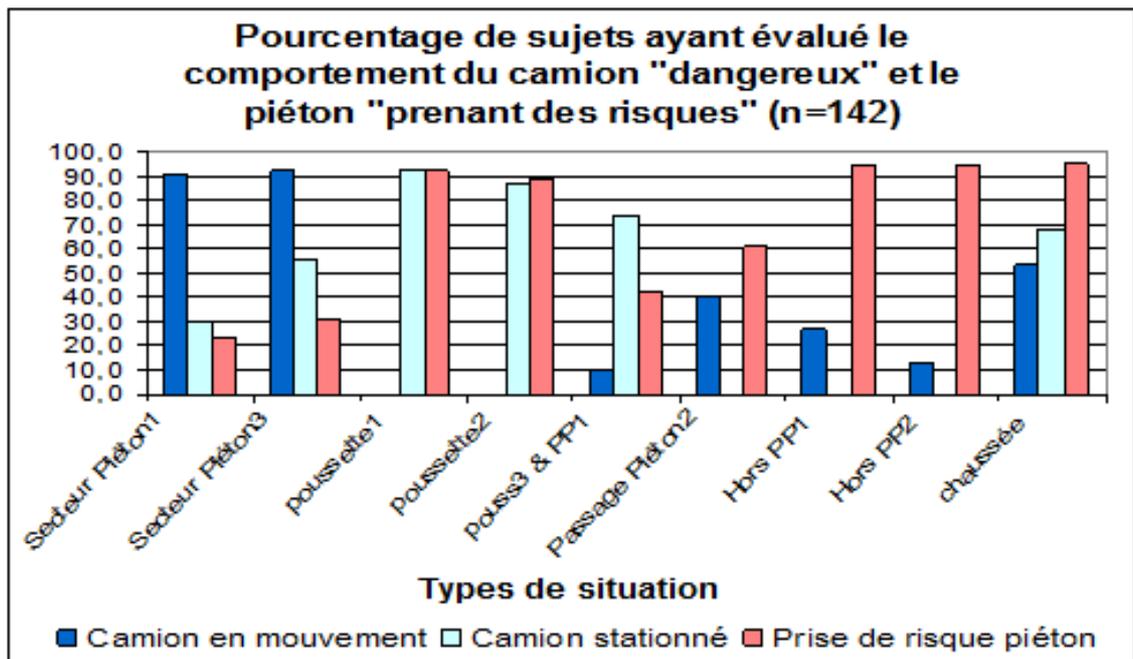


Figure 62 : Comparaison, en fonction de la situation et de l'environnement, de l'évaluation de la prise de risque par le piéton et du comportement du camion en termes de danger.

- Pour les scènes en secteur piétonnier, il existe une dissociation entre l'évaluation du comportement du camion en mouvement et la prise de risque par le piéton, le camion étant perçu comme dangereux par une grande majorité des sujets (plus de 90%) et le piéton comme ne prenant pas de risque par 70 à 80% d'entre eux. En revanche, les camions stationnés ne sont pas perçus comme dangereux par 50 à 70% des sujets.
- A l'inverse, en secteur ouvert à la circulation, les piétons sont évalués comme prenant des risques par la majorité des sujets (60 à 95%) dans six situations sur sept. En ce qui concerne le comportement des camions, seuls ceux qui sont en stationnement (pour la plupart sur un trottoir ou en double file près d'un passage pour piétons) sont évalués comme « étant dangereux » par 75 à 90% des sujets. Lorsqu'ils sont en mouvement, ils sont perçus comme peu ou pas dangereux par 60 à 90% des sujets, à l'exception d'une scène complexe dans laquelle la circulation est très dense avec des véhicules de tous types.

Le secteur piétonnier semble donc représenter un espace privilégié pour les piétons, espace dans lequel le camion est toléré lorsqu'il est à l'arrêt alors qu'il est jugé comme représentant un danger lorsqu'il se déplace ou effectue une manœuvre, même à basse vitesse.

Influence de l'âge

Au niveau de l'analyse globale, toutes scènes confondues, aucune différence n'a été trouvée entre les quatre groupes d'âge, tant au niveau de la représentation du danger, qu'au niveau de celle de la prise de risque. Cependant, de manière ponctuelle, les deux groupes d'âge extrêmes ont tendance à se différencier des deux groupes intermédiaires. Il semblerait que les usagers les plus jeunes et les usagers les plus âgés aient une perception accrue de la vitesse et du danger que représentent les camions. Ces différences ne sont pas

systematiques et varient en fonction du contexte et des acteurs mis en scène dans la situation.

Influence des classes de situation (contexte et infrastructure) sur l'évaluation de la prise de risque

Comme nous l'attendions, l'évaluation de la prise de risque des usagers mis en scène est significativement dépendante non seulement de l'infrastructure mais aussi du contexte de la situation. Ainsi pour les scènes dans lesquelles les piétons prennent un risque objectif lié à un comportement contraire au code de la route (traversées hors passage protégé, circulation sur la chaussée), la presque totalité des sujets (94 à 95%) estime que l'usager prend des risques pour lui-même. De même, pour les séquences avec une circulation dense, les sujets ont tendance à surévaluer le danger global et la prise de risque par l'usager (photo 5, indice de dangerosité = 7,2/10).



Image 34 : Traversée d'une personne âgée sur passage piéton, circulation dense.

Positionnement des sujets sur la prise de risque

Trois scènes proposées aux sujets présentaient des piétons adoptant des comportements contraires aux règles élémentaires de sécurité routière et/ou au code de la route :

Dans deux des scènes, un piéton traverse la chaussée, devant un camion, en dehors d'un passage pour piétons, avec très peu de circulation ; dans la troisième scène, un piéton remonte la chaussée dans le sens inverse des véhicules, avec une circulation très dense (camions, bus et voitures).

Traversée en marchant hors passage pour piétons, scène « triangle » (Figure 63), sur 131 réponses :

- la moitié des sujets prétend adopter un comportement identique à celui du piéton « rarement » (43) ou « jamais » (23) ;
- l'autre moitié, « de temps en temps » (46) ou « souvent » (19).
- Aucune différence significative n'est observée en fonction de l'âge des sujets.

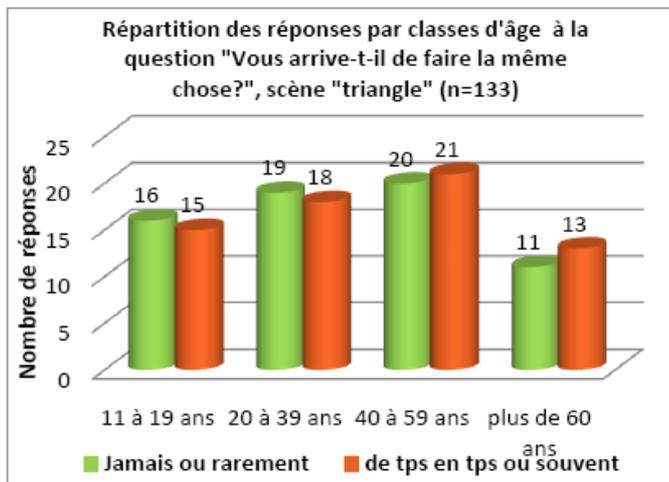


Figure 63 : Un piéton traverse en marchant hors passage pour piétons devant un camion

Traversée en courant hors passage pour piétons, scène « lune » (Figure 64), sur 132 réponses :

- Un tiers des sujets prétend adopter un comportement identique « rarement » (31) ou « jamais » (16) ;
- Les deux autres tiers, « de temps en temps » (56) ou « souvent » (29) ;
- Les sujets les plus âgés semblent les plus prudents : plus de la moitié d'entre eux ont dit n'adopter un comportement identique que rarement ou jamais.

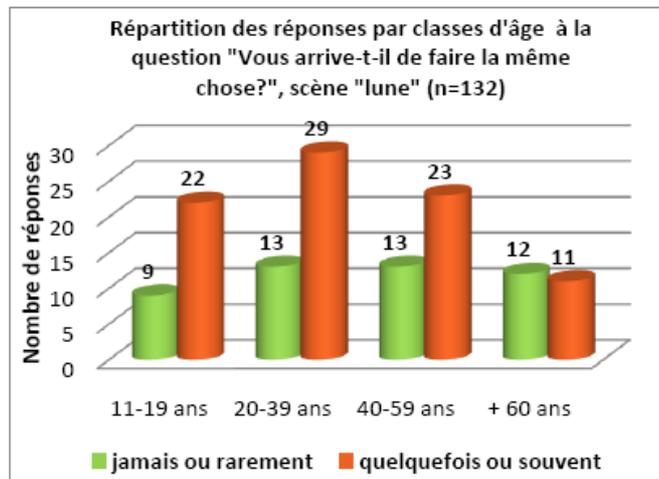


Figure 64 : Un piéton traverse en courant hors passage pour piétons devant un camion

Circulation sur la chaussée, scène « cible » (Figure 65), sur 132 réponses :

- La moitié des sujets prétend adopter un comportement identique « rarement » (44) ou « jamais » (23) ;
- L'autre moitié, « de temps en temps » (51) ou « souvent » (14).
- Des différences significatives liées à l'âge sont observées : les sujets les plus âgés et les plus jeunes semblent plus prudents, alors que les sujets de 40 à 59 ans sont les plus nombreux à adopter un comportement similaire.

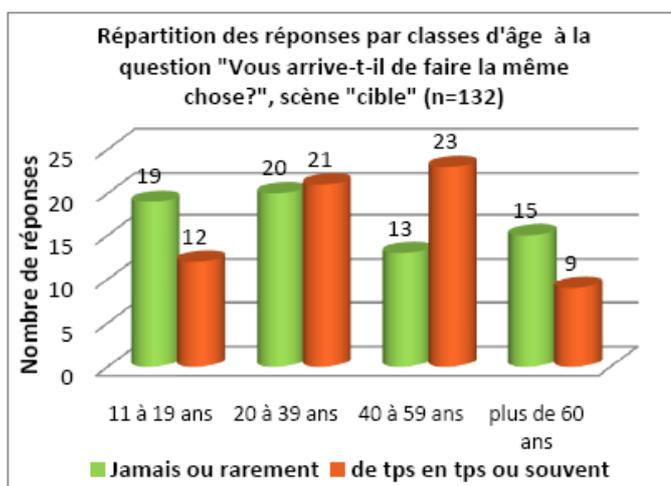


Figure 65 : Un piéton marche sur la chaussée à côté du trottoir, circulation dense

Notons que plus de 95% des sujets estiment que les piétons prennent des risques et ce, dans les trois situations précédentes.

De plus, en ce qui concerne l'évaluation du danger :

- dans le cas des traversées hors passage pour piétons, l'indice de dangerosité se situe entre 6,5 et 7 (sur une échelle de 0 à 10) ;
- pour la situation de remontée sur la chaussée, l'indice de dangerosité est évalué à 7,2.

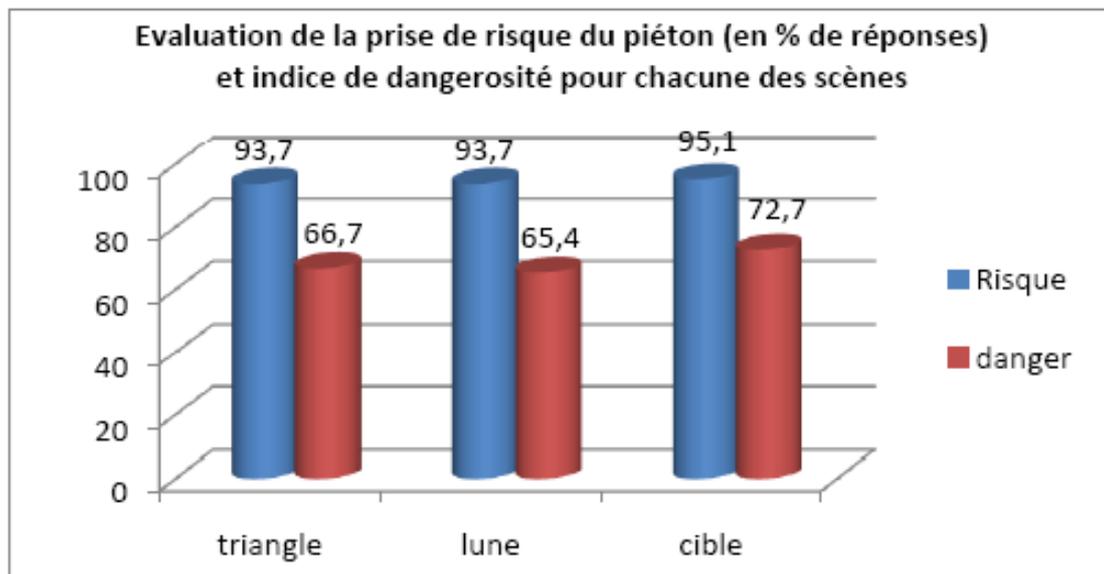


Figure 66 : Prise de risque et évaluation du danger pour les trois scènes

Ainsi, malgré ces évaluations en faveur d'une prise de risque du piéton dans des situations reconnues comme potentiellement dangereuses, plus de la moitié (Figure 63 et Figure 65), voire les deux tiers des sujets (Figure 64) disent adopter les mêmes comportements de temps en temps ou souvent.

Les camions en ville, un « mal nécessaire » ?

Comme l'on pouvait s'y attendre et ainsi que l'ont montré plusieurs sociologues (Cholez, 2001 ; Revah, 2001), les résultats de l'analyse des questionnaires d'évocations montrent que la représentation qu'ont les piétons des camions en ville est globalement négative, tant au niveau central que périphérique. Cette représentation semble reposer essentiellement sur des notions de nuisances environnementales telles que le bruit, la pollution, les problèmes de circulation, et il est étonnant de constater que, d'une part, le danger ne fait pas partie du noyau central de la représentation, mais uniquement des éléments périphériques les plus fréquents, et, d'autre part, que les notions d'accident ou de crainte ne font pas partie de la structure de la représentation. De plus, l'analyse de similitude met en évidence un lien étroit entre la notion de danger et celle de pollution, lien qui pourrait suggérer que la notion du danger lié aux camions en ville représenterait essentiellement un danger en termes d'environnement. Par ailleurs, le registre positif qui apparaît au niveau des éléments périphériques les plus fréquents de la représentation est celui de la notion de service avec l'évocation du terme « livraison ». Le nombre restreint de termes proposés par les sujets n'a pas permis de faire une analyse fine de cette représentation positive. Il a néanmoins été possible de mettre en évidence un noyau central axé sur l'utilité des camions faisant de la livraison, et quelques éléments périphériques fréquents associés sémantiquement aux deux termes composant le noyau.

Ainsi, même si la présence des camions en milieu urbain semble représenter une gêne environnementale aux yeux du public en général, et à ceux des piétons en particulier, leur utilité est néanmoins reconnue. En revanche, les poids lourds ne semblent pas être associés à la notion de risque d'accident de la circulation. Ceci pourrait se révéler problématique, notamment dans les situations d'interactions camions/piétons. En effet, ces derniers pourraient ne pas se rendre compte des difficultés que peuvent rencontrer les conducteurs de camions, pour la détection des usagers vulnérables notamment dans les manœuvres effectuées en milieu urbain (cas de la marche arrière), ou pour les freinages d'urgence (cas de la traversée inopinée d'un piéton hors passage protégé).

Danger et prise de risque : une question de représentations ?

L'analyse des résultats issus des questionnaires à partir de situations routières dynamiques montre que les représentations qu'ont les sujets du danger et de la prise de risque des acteurs est largement dépendante du contexte de la situation. Ainsi, en ce qui concerne les interactions camions/piétons en milieu urbain, les dimensions principales qui entrent en jeu dans la représentation du danger d'une situation semblent être en grande partie liées à l'infrastructure dans laquelle elle se déroule.

D'une part, la transgression des règles du code de la route liée à l'infrastructure et, notamment, les traversées hors passage pour piétons qui sont la cause de la majorité des accidents concernant les piétons en ville, est reconnue comme constituant un réel danger, et à l'origine d'une prise de risque par l'usager. Ces résultats vont dans le sens d'auteurs tels que Thiffault (2005) ou Shtarkshal (1988) selon lesquels la compréhension du danger et la conscience du risque inhérent à une situation sont des facteurs déterminants dans la modification du comportement et dans l'évaluation de la prise de risque.

D'autre part et très logiquement, le secteur piétonnier représente un environnement protégé pour les piétons qui s'y considèrent comme prioritaires à tous moments et semblent n'avoir pas conscience de l'existence d'un risque potentiel. Cependant, bien qu'en principe réservés aux piétons et par extension aux usagers vulnérables (hors motocyclistes), à certains moments, ces secteurs doivent être partagés avec les camions qui effectuent des livraisons. Ainsi, la sécurité des usagers vulnérables en secteur piétonnier repose

uniquement sur le comportement des conducteurs qui devront redoubler d'attention vis-à-vis des usagers circulant autour de leur véhicule.

Enfin, le fait que plus de la moitié des sujets expriment adopter un comportement potentiellement risqué dans certaines situations, bien qu'ils aient une représentation correcte du danger et de la prise de risque, montre que l'adoption d'un comportement à risque ne dépend pas uniquement des représentations sociales et cognitives qu'a le piéton d'une situation. Il est ainsi légitime de supposer que l'individu ajustera son comportement selon un rapport risque préférentiel/risque perçu en s'appuyant aussi sur des variables psychologiques individuelles liées au contexte telles que la notion d'intention, de but ou de satisfaction (Martin, 2005) et d'estime de soi (Wilde, 1988).

Discussion

Cette action de recherche effectuée dans le cadre du projet VIVRE2 (ANR/PREDIT et LUTB 2015) avait pour objectif l'étude des représentations des usagers vulnérables face au danger et à la prise de risque dans les situations d'interaction usagers vulnérables/camions en milieu urbain. La méthode utilisée est composée d'un questionnaire d'évocations pour l'étude de la structure de la représentation qu'ont les usagers vulnérables des camions en ville, associée à un questionnaire à partir de séquences vidéo permettant la présentation de situations dynamiques contextualisées. Compte tenu de la complexité du fonctionnement humain et du statut de « multi usager » que présentaient la grande majorité des individus de nos échantillons, il n'a pas été possible de traiter les données par typologie d'utilisateur. Nous avons donc orienté notre étude en partant de l'hypothèse que tout usager vulnérable est, a minima, un piéton. Ainsi, les séquences vidéo qui ont servi de support au questionnaire « contextualisé » reposent en grande partie sur des situations mettant en scène des piétons, et les résultats mettent essentiellement en évidence les représentations qu'ont les piétons des camions en milieu urbain :

- les usagers vulnérables ont une représentation globalement négative des camions en ville, bien qu'axée essentiellement sur des notions de nuisance environnementales et non de danger en termes de sécurité routière,
- les comportements en termes de prise de risque ne reposent pas uniquement sur les représentations cognitives et sociales des individus, mais dépendent aussi très largement du contexte de la situation.

De plus, l'importante variabilité interindividuelle observée, montre la complexité que représente l'étude des interactions entre les différents usagers de la route en milieu urbain. Cette complexité s'exprime sur plusieurs niveaux : non seulement au niveau de l'environnement routier, dynamique par nature, mais aussi et surtout au niveau des comportements humains qui sont orientés par de multiples variables internes et/ou externes à l'individu.

En conclusion, la connaissance et la compréhension des comportements à risque des piétons dans leurs interactions avec des camions en milieu urbain se révèle une tâche complexe qui nécessite bien plus qu'une étude exploratoire. Néanmoins, les résultats obtenus nous ont permis de proposer des actions pour améliorer la sécurité des interactions piétons/camions en milieu urbain. Ces actions s'orientent selon deux grands axes :

1. Bien que les usagers vulnérables identifient les situations objectivement dangereuses, ils reconnaissent adopter des comportements contraires à leur sécurité. De plus, la représentation qu'ils ont des camions en ville, même si elle

est négative, n'est pas orientée sur le danger en termes de sécurité routière : selon les usagers vulnérables, le camion ne représente pas un risque prédominant d'accidents corporels. Ces constats nous incitent à préconiser des actions en faveur de l'adaptation du piéton à son environnement, notamment dans leurs interactions avec les camions en milieu urbain. Cette adaptation nécessite des interventions en termes de formations ou d'informations en direction des usagers vulnérables. Outre les formations initiales faites en milieu scolaire, l'une des solutions pourrait être la diffusion médiatique de campagnes de sensibilisation au danger que constitue l'adoption de comportements à risque tels que ceux présentés dans l'expérimentation. Ces campagnes pourraient notamment insister sur les difficultés que peuvent rencontrer les conducteurs de camions pour la détection des usagers autour du véhicule, ou encore sur le fait que les camions n'ont pas les capacités de freinage des voitures, d'où un risque plus important de traverser inopinément devant eux.

2. . Certains secteurs urbains, notamment les secteurs piétonniers, représentent des lieux privilégiés pour les usagers vulnérables. Or, bien qu'en principe réservés aux piétons et par extension aux usagers vulnérables (hors motocyclistes), à certains moments, ces secteurs doivent être partagés avec les camions qui effectuent des livraisons. Ainsi, si dans ces secteurs l'usager vulnérable se considère comme prioritaire et protégé, il aura tendance à considérer que ce sont les conducteurs de camion qui doivent faire attention. Ceux-ci devront donc redoubler d'attention vis-à-vis des usagers vulnérables et le développement de systèmes d'assistance pour la détection des usagers autour du véhicule lors de manœuvres basse vitesse se révèle d'un intérêt indéniable.

X. La place de la conduite dans l'activité de distribution

Plusieurs types de véhicules industriels circulent plus ou moins régulièrement en ville, de la benne à ordures ménagères au camion toupie en passant par les camions de déménagement ou les citernes. Cependant, la majorité d'entre eux sont des camions effectuant une activité de distribution, c'est à dire de livraison de produits variés ou de messagerie. Ces véhicules sont généralement des porteurs d'un PTAC (poids total en charge) compris entre 3,5 tonnes et 18 tonnes, dont l'encombrement permet de circuler plus facilement en milieu urbain ([Image 35](#)).



Image 35 : Exemples de camions de distribution circulant en centre ville (Lyon)

Tous ces camions n'ont en général pas d'assistances particulières pour faciliter les manœuvres en ville. Pour la détection des usagers vulnérables, ils n'ont à leur disposition que les rétroviseurs latéraux (deux par côté) et n'ont pas de système de vision arrière et nombre d'entre eux n'ont pas encore d'antévisseur (rétroviseur avant). Le déchargement du véhicule s'effectue par le hayon arrière et selon le type de véhicule et de chargement, par une porte latérale. Ils sont équipés d'un signal sonore qui retentit quand la marche arrière est engagée pour signaler la manœuvre en cours aux autres usagers.

Les conducteurs de ces véhicules sont des professionnels qui possèdent un permis de conduire spécifique (de catégories C et EC).

Dans ce chapitre, nous présentons la spécificité de l'activité des conducteurs de camion effectuant des livraisons en milieu urbain ou chauffeurs-livreurs. Après un bref rappel sur l'activité de conduite proprement dite, nous exposons une synthèse des résultats des analyses d'activité effectuées auprès de tels chauffeurs livreurs à l'occasion de leurs tournées de distribution sur le centre ville de Lyon.

La conduite d'un V.I. en milieu urbain

L'activité du conducteur routier est soumise à des règles tant explicites (réglementation routière, code du travail, etc.) qu'implicites, auxquelles s'ajoutent de fortes contraintes spatio-temporelles propres à l'activité spécifique de la distribution. En effet, la dimension temporelle occupant une place importante dans la tâche de conduite, les conducteurs mettent en place des stratégies opératoires dont le but est de répondre à l'objectif principal de leur activité : le respect des délais de livraison.

De ce fait, l'activité de conduite d'un VI se révèle complexe, bien que reposant sur un certain nombre d'habiletés cognitives dont le niveau d'automatisation dépend en grande partie de l'expertise du conducteur (Perruchet, 1988). Comme pour la conduite automobile, les tâches qui composent cette activité nécessitent des ressources attentionnelles disponibles. A cela, il convient d'ajouter les tâches additionnelles propres à l'activité de livraison du conducteur routier, et, notamment la consultation des adresses des clients, la recherche d'itinéraires et la vérification des bordereaux de livraison. Enfin, selon le fonctionnement de l'entreprise, les conducteurs sont susceptibles d'utiliser leur téléphone portable en réception ou en appel pour des besoins professionnels. Ces activités additionnelles devraient idéalement être effectuées en dehors de la conduite du véhicule, cependant, dans les faits, les conducteurs effectuent souvent ces tâches en conduisant.

L'activité de conduite en milieu urbain est, en outre, compliquée, tant par le comportement parfois inconscient des autres usagers de la route (piétons qui traversent n'importe comment devant le camion en mouvement, cyclistes et cyclomotoristes qui se faufilent le long du véhicule...), que par des difficultés perceptives comme l'existence de zones non visibles autour du camion qui rendent difficile une exploration visuelle de l'environnement proche. Ces difficultés peuvent engendrer un traitement de l'information parcellaire et morcelé qui peut, insuffisant dans certains cas.

Les nombreuses dimensions de l'activité du conducteur donnent lieu à la multiplication de systèmes embarqués ou d'assistances spécifiques, tant dédiés à la conduite du camion (aides aux manœuvres, assistances à la conduite rationnelle, etc.), qu'à l'activité spécifique du conducteur (outils de gestion de flotte, gestion d'itinéraires, etc.). De plus, l'essor rapide des nouvelles technologies fait apparaître de nouveaux problèmes, notamment d'ordres psychologique et cognitif, qu'il convient de considérer dès la conception.

Paradoxalement, l'ajout de systèmes qualifiés « d'assistance » dans les véhicules augmente souvent la charge de travail des conducteurs et la multiplication des retours informatifs peut avoir un impact négatif sur l'attention et par conséquent sur la sécurité.

L'activité de travail du conducteur dans le secteur de la distribution urbaine

Les conducteurs sont des « professionnels de la route », gestionnaires de contraintes multiples d'ordre réglementaires, organisationnelles et temporelles (Germain, 1988).

Les observations et analyses d'activité avaient pour objectifs d'une part, la connaissance de l'activité de chauffeurs-livreurs en milieu urbain, et, d'autre part, les représentations qu'ont ces conducteurs des usagers vulnérables. Une connaissance précise de l'activité de ces chauffeurs-livreurs devait nous permettre de spécifier les caractéristiques du système d'assistance en termes de stratégies (passives, informatives et/ou actives) et de modes de restitution (Interfaces Homme-Machine) ainsi que les différentes situations à risque nécessitant une assistance potentielle.

Les analyses d'activité ont été effectuées dans le cadre de livraisons effectuées par des chauffeurs-livreurs de l'entreprise POMONA¹¹³ d'une part, et, d'autre part, dans le cadre de livraison effectuées par des conducteurs de DHL (Feyzin, 69) avec le véhicule de démonstration du projet FIDEUS (Freight Innovative Delivery of goods in European Urban Spaces).

Au total quinze analyses de dix heures chacune ont été effectuées. Ces analyses ont été complétées par des entretiens individuels avec les conducteurs pour préciser les représentations qu'ils avaient des usagers vulnérables en milieu urbain et pour définir leurs besoins et attentes en termes d'assistance à la conduite.

Les activités, manœuvres et comportements des conducteurs ont été relevés par l'expérimentateur à l'aide d'une grille d'observation papier/crayon ([Annexe 15](#)). Les observations de l'environnement ont été effectuées à l'aide de l'application ActoPalm (présentée p. 177, dans le cadre du projet CEA). Nous avons complété nos observations par des photos prises « sur le vif ».

En première intention, nous souhaitons effectuer des évaluations de la charge de travail engendrée par l'activité de conduite de ces chauffeurs-livreurs. Toutefois, les observations

¹¹³ POMONA – Passion Froid, 29 avenue Urbain Le Verrier, 69800 Saint Priest

relevées lors de la première tournée que nous avons suivie, nous ont dissuadée d'utiliser cette méthode :

- En raison du nombre important d'arrêts pour livraison (une vingtaine en moyenne), une utilisation cohérente du test aurait nécessité une passation après chaque période de conduite. Nous aurions, de ce fait, interféré de façon trop importante dans l'activité du conducteur, ce qui n'était pas envisageable.
- La deuxième solution était de proposer le test en fin de tournée, soit lors du retour à l'entrepôt, soit après la dernière livraison. Cette solution ne nous a pas semblé pertinente dans la mesure où le conducteur risquait d'évaluer l'ensemble de la tournée, y compris les périodes de livraison « physique ». Nous risquions donc d'avoir une évaluation « déformée », ne correspondant pas à la charge de travail engendrée par la conduite seule.

Résultats des analyses

S'il est vrai qu'une grande partie du temps de travail des conducteurs est consacrée à la conduite du véhicule dans le secteur du Transport Routier de Marchandises (TRM) longue distance (national et international), il n'en va pas de même pour l'activité des conducteurs dans le secteur de la distribution.

La journée des conducteurs de l'entreprise POMONA commence à 5 heures du matin. Après avoir récupéré la liste des clients qu'ils auront à livrer, ils vérifient le chargement du camion et font le point sur l'ordre selon lequel la tournée est organisée, en tenant compte des contraintes horaires imposées par les clients ou par les contraintes dont ils ont connaissance par leur expérience de la tournée. Une fois ces vérifications et préparations effectuées, ils peuvent alors démarrer.

Concrètement, l'activité des chauffeurs-livreurs que nous avons suivis comprend deux phases distinctes pour une tournée moyenne de 20 livraisons en une dizaine d'heures en centre ville de Lyon :

- (1) les phases de conduite qui représentent environ 31% du temps de travail et
- (2) les phases d'arrêt et de livraison qui représentent les 69% restants.

Les phases de conduite sont elles-mêmes réparties selon deux tronçons distincts :

- (1) les déplacements de l'entrepôt jusqu'au secteur de livraison et retour en zones périurbaines pour lesquels la vitesse moyenne relevée est de 60 km/h, et
- (2) les déplacements en zones urbaines de livraison pour lesquels la vitesse moyenne relevée est de 14 km/h. Ces derniers sont composés d'un grand nombre de manœuvres basse vitesse ([Tableau 26](#)).

Tableau 26 : Décomposition d'une tournée type de livraison de l'entreprise POMONA en secteur urbain (centre ville de Lyon)

Tournée type en centre ville de Lyon : 20 livraisons – durée totale = 10 heures		
Conduite : 31% temps d'activité 68 km parcourus	Déplacement de l'entrepôt au secteur de livraison et retour	Trajets Périurbains 38 km parcourus Vitesse moyenne = 60 km/h
	Déplacement intra-zone de livraisons	Trajets Urbains 30 km parcourus Vitesse moyenne = 14 km/h
		7 à 10 marches-arrière
		2 à 6 demi-tours
		13 stationnements non autorisés dont 9 en double file
	2 stationnements en secteur piétonnier	
Arrêt Livraisons :	69% temps d'activité	

Selon leurs dires, les conducteurs sont soumis à un stress important du fait de la pression temporelle importante inhérente aux impératifs de livraison, mais aussi en raison des risques constants d'accident avec des usagers vulnérables, risques liés à la conduite en milieu urbain. Comme l'a décrit Cholez (2001), les conducteurs ont tendance à associer le centre ville à un lieu de travail pour eux et un lieu de loisir, de promenade, pour l'ensemble des autres usagers qui « *traversent n'importe comment et font n'importe quoi sans avoir conscience qu'un camion ça ne manœuvre pas comme une voiture* ». Ceux qui font d'autres tournées que celles du centre ville considèrent celle-ci comme la plus stressante, en raison de l'omniprésence massive de non professionnels de la conduite.

Tous les conducteurs rencontrés nous ont déclaré ne compter que sur eux-mêmes pour assurer la sécurité des usagers vulnérables en ville, partant du principe que les usagers ne prêtent aucune attention aux véhicules quels qu'ils soient. Les situations qu'ils jugent les plus délicates sont :

- La situation de marche arrière : ils pensent que la majorité des autres usagers ne comprennent pas le sens du signal sonore de recul ou n'y prêtent pas attention. De fait, nous avons pu observer que nombre de piétons passent ou même s'arrêtent derrière le véhicule sans prendre garde à la manœuvre en cours.
- La traversée inopinée de piétons : hors passage pour piétons, sur passage pour piéton lorsque le feu est vert pour les véhicules, ou surgissant entre deux voitures.
- La situation de tourne à droite : soit avec un deux roues motorisé ou non (cycliste ou cyclomotoriste) remontant le long du camion à droite dans l'angle mort, soit avec les piétons qui descendent sur le passage pour piétons en attendant de traverser sans tenir compte de l'empatement du véhicule.

En ce qui concerne les problèmes de la multi-activité au volant, nous avons identifié trois actions qui reviennent régulièrement au cours de la journée :

- la *recherche d'itinéraires* souvent sans l'aide d'un système de navigation : quand ils sont utilisés, les systèmes de navigation appartiennent au conducteur. Aucun des véhicules sur lesquels nous avons effectué les analyses d'activité n'est équipé de ce type de système.
- L'*utilisation du téléphone portable* : les conducteurs utilisent le téléphone cellulaire pour demander à un collègue un renseignement sur un client ou un lieu de livraison ou pour aider un collègue de la même façon. Les conducteurs les plus anciens aident souvent les plus jeunes ou les intérimaires qui n'ont pas l'habitude d'une tournée.
- La *consultation des bordereaux de livraison*.

Ces actions peuvent être effectuées pendant un arrêt pour livraison, pendant un arrêt à un feu tricolore ou pendant la conduite.

Enfin, les verbalisations spontanées recueillies au cours des analyses ont mis en évidence un réel besoin en termes d'*assistance à la vision arrière du véhicule*.

Une grande majorité des conducteurs nous a suggéré spontanément l'installation d'une caméra sur l'arrière du camion « *comme ça existe déjà sur les bennes à ordures ménagères* » avec un retour sur écran dans la cabine. La plupart d'entre eux pensent que l'écran doit être installé sur la planche de bord à gauche dans le champ de vision du rétroviseur.

La position centrale est rejetée avec pour argument le fait que le conducteur de camion ne regarde jamais au centre de la planche de bord quand il effectue une manœuvre de marche arrière. Globalement ils ne sont pas opposés à l'installation de systèmes d'assistance à la détection et à la prévention des accidents avec les usagers vulnérables mais ils insistent sur la nécessité d'avoir un système fiable qui ne « *bipe pas à tout bout de champ* ».

Discussion

La conduite du véhicule, même si elle reste centrale quant aux objectifs premiers du transport de marchandises – transporter la marchandise d'un point à un autre – n'est qu'une des multiples composantes du métier de conducteur/chauffeur-livreur. Celui-ci doit, non seulement être un conducteur expérimenté, c'est-à-dire piloter le véhicule dont il a la responsabilité dans les meilleures conditions de sécurité dans le respect des règles de circulation, mais il doit aussi effectuer la livraison, en parfait état, et dans les délais fixés, des marchandises qui lui sont confiées. Il doit donc assurer le déchargement du véhicule et le transport de la marchandise jusqu'à la porte du client. De plus, selon le mode de fonctionnement de son entreprise, il peut être responsable du chargement de son véhicule et de l'organisation de sa tournée. Toutes ces tâches font de l'activité de chauffeur-livreur une activité composite, qui engage sa responsabilité, non seulement envers le système routier, mais aussi envers son entreprise et envers le client. Les conducteurs sont donc soumis à une charge de travail, tant physique que cognitive, importante et à un niveau de stress élevé, qui peuvent avoir un jour, des répercussions négatives tant sur un plan individuel en termes d'attention, de comportements de conduite, de santé, que sur un plan collectif en terme d'impact sur la sécurité routière.

Les conducteurs ne paraissent pas opposés à l'utilisation de systèmes d'aide à la conduite, particulièrement si ces systèmes sont fiables et capables de faciliter les manœuvres en milieu urbain. Ils seraient particulièrement intéressés par un système de vision arrière par caméra avec retour sur écran en cabine. Dans la mesure où leur activité comporte souvent la recherche d'itinéraires, la plupart d'entre eux estiment que l'installation d'un système de navigation couplé à la vision arrière permettrait d'utiliser le même écran pour les deux systèmes et de limiter l'utilisation du téléphone cellulaire pendant la conduite.

Compte tenu de ces observations, nous pensons qu'un système d'assistance destiné à la détection et à la prévention des accidents avec les usagers vulnérables ne peut qu'améliorer les conditions de travail des conducteurs de véhicules industriels en ville. Nous espérons que l'utilisation de ce type de système, outre le bénéfice apporté en termes de sécurité routière, diminuera de manière significative le stress provoqué par la conduite en environnement urbain et, de ce fait, la charge de travail du conducteur.

XI. Le système VIVRE2 : de la conception à l'évaluation

Ce chapitre présente la démarche de recherche adoptée dans le cadre de la conception et de l'évaluation du système VIVRE2. Les études ont été effectuées en collaboration avec les autres partenaires du projet, notamment Renault Trucks et l'INRETS, et ont été réparties en trois phases de recherche :

1. Définition des classes de situation et élaboration des scénarii de simulation
2. Définition des assistances et spécifications des modes de restitution
3. Evaluation sur simulateur

Définition des situations critiques et des scénarii de simulation

Trois tâches composent cette action de recherche.

La première, effectuée en collaboration étroite avec l'équipe du simulateur de Renault Trucks, a consisté en la définition et l'enrichissement d'un circuit urbain (CityNG) qui a été implémenté sur le simulateur dynamique de conduite SCOOP2.

La deuxième tâche a consisté d'une part en la définition des situations critiques et, d'autre part, en l'élaboration et la rédaction des scénarii supports à implémenter sur le simulateur pour la campagne d'évaluation du système. Les classes de situation à intégrer dans les scénarii, préalablement identifiées dans le cadre des analyses d'activité des conducteurs de distribution, ont été sélectionnées et spécifiées en collaboration avec les équipes de recherche du LESCOT (INRETS)¹¹⁴ et de Renault Trucks.

Enfin, dans la troisième tâche, les scénarii définis ont été mis en scène après élaboration de trois protocoles de simulation.

City NG, le circuit urbain pour le simulateur

Outre les spécifications et compléments apportés au cahier des charges initial, nos travaux ont été orientés, d'une part sur les spécifications et le suivi des corrections et modifications des versions successives du circuit, et, d'autre part, sur « l'ameublement » du circuit en termes de véhicules à l'arrêt et de mobiles (piétons, cyclistes, deux roues motorisées, voitures, camions et bus). Le circuit « CityNG » définitif (et [Annexe 17](#)) a été précisément décrit sous forme d'images et de schémas présentés dans deux fichiers Power Point livrés à Renault Trucks, partenaire responsable de l'outil de simulation, et implémenté dans le simulateur pour la campagne de tests du système « VIVRE2 ».

Classes de situation et situations critiques

Le choix des classes de situation et des situations critiques mises en scène dans les scénarii a reposé sur plusieurs sources d'information. Nous nous sommes appuyée, d'une part, sur les observations et verbalisations des conducteurs recueillies au cours des analyses d'activité, et, d'autre part, sur les différents rapports d'accidentologie disponibles (CEESAR, base de données VOLVO 3P, rapports ONISR).

Sans se vouloir exhaustif, notre objectif était de tester les systèmes sur une grande partie des situations potentiellement accidentogènes impliquant des usagers vulnérables,

¹¹⁴ Hélène Tattegrain, Arnaud Bonnard, Marie-Pierre Bruyas

piétons et cyclistes, et des véhicules lourds de distribution en milieu urbain et à basse vitesse. Les situations retenues se voulaient représentatives, d'une part, des accidents statistiquement les plus fréquents, et, d'autre part, des situations auxquelles sont quotidiennement confrontés et que craignent particulièrement les conducteurs de camions. C'est le cas par exemple des situations de manœuvre en marche arrière (5% des accidents selon le CEESAR), pour lesquelles les conducteurs observés lors des analyses d'activité ont clairement exprimé le besoin d'avoir une assistance (vision et détection des usagers). Il en va de même pour les situations de traversée inopinée d'un piéton entre deux voitures en stationnement, fréquentes au cours d'une tournée de distribution. Enfin, la situation de tourne à droite avec un cycliste dans l'angle mort droit du camion nous a été particulièrement signalée par les services en charge de la politique de la sécurité routière pour la Ville de Paris, qui sont confrontés à une recrudescence de ce type d'accidents depuis la mise en service du Vélib.

En revanche, nous avons choisi de ne pas traiter la situation latérale gauche. En effet, les accidents relevés sur cette partie du véhicule concernent majoritairement les deux roues motorisés qui relèvent de problématiques différentes de celles des cyclistes et des piétons. De plus, pour des raisons pratiques de simulation, cette situation étant la plus difficile à régler et à gérer en termes d'interaction nous avons privilégié le côté présentant statistiquement le plus grand nombre d'accidents.

Finalement, trois classes de situation ont été retenues :

- les situations de marche arrière en mouvement et au démarrage,
- les situations de marche avant en mouvement et au démarrage
- la situation de tourne à droite après un démarrage au feu tricolore.

Dans ces trois classes de situation, cinq situations critiques (UC 1, 2, 3, 4 et 6) et une situation « sensible » (UC5) ont été spécifiées et mises en scène dans les scénarii, certaines en secteur piétonnier et d'autres en secteur ouvert à la circulation ([Tableau 27](#)).

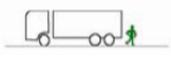
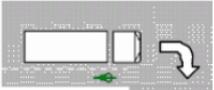
Classes de situation	Manœuvre camion	Usager Vulnérable	Infrastructure	Codage
MARCHE ARRIERE 	Démarrage 0-10 km/h	Piéton statique 0 km/h	Passage piéton feu tricolore Impasse	UC1
	Prise de stationnement en marche arrière 0-10 km/h	Piéton en mouvement 0-10 km/h	Quai de déchargement en centre ville	UC2
MARCHE AVANT 	Démarrage 0-10 km/h	Piéton statique 0 km/h	Secteur piétonnier	UC3
	Démarrage sortie stationnement double file 0-10 km/h	Piéton en mouvement 0-10 km/h	Voie ouverte à la circulation	UC4
MARCHE AVANT 	Dépassement d'un UVR sur la chaussée 20/40 km/h	Cycliste en mouvement 5-20 km/h	Secteur rectiligne	UC5
TOURNE A DROITE 	Tourne à droite au ralenti 0-20 km/h	Cycliste en mouvement 5-10 km/h	Croisement feu tricolore	UC6

Tableau 27 : Description et codage des classes de situations et des situations critiques mises en scène dans les scenarii de simulation

Les scenarii

Les situations critiques spécifiées ont été organisées et mises en scène dans les scenarii de simulation en respectant certaines exigences expérimentales (longueur du protocole, effet d'apprentissage, effet d'ordre...). Au nombre de trois, les scenarii ont été déclinés selon deux versions, une version longue et une version courte. La version longue, élaborée initialement n'a pas pu être utilisée pour les simulations en raison de la longueur des protocoles expérimentaux. Une version courte de ces scenarii a donc été conçue ensuite afin de réduire les temps de passation sur simulateur et par voie de conséquence la durée des séances d'expérimentation. Compte tenu de la taille et de la diversité des infrastructures du circuit CityNG, nous avons pu construire trois scenarii différents nous permettant ainsi de faire varier leur ordre de présentation en fonction des sujets et des protocoles expérimentaux¹¹⁵.

¹¹⁵ Les protocoles sont décrits dans la partie expérimentale

Chacun des scénarii est constitué d'un parcours défini sur CityNG au cours duquel le conducteur rencontre plusieurs classes de situation de conduite basse vitesse et/ou de manœuvre. Chaque classe de situation comprend une ou plusieurs des situations critiques auxquelles le conducteur a été confronté et qui ont permis d'évaluer l'ensemble des systèmes VIVRE2 d'un point de vue ergonomique.

Chaque scénario comporte cinq situations critiques (UC1 à UC4 et UC6) et deux ou trois situations sensibles (UC5) (Tableau 27). Afin de limiter les biais expérimentaux liés à l'anticipation cognitive des situations par les conducteurs, les manœuvres donnant lieu aux cinq situations critiques sont répliquées au moins une fois sans criticité. De plus, les situations critiques sont mises en scène à des endroits différents du circuit en fonction du scénario, pour les mêmes contraintes expérimentales (Annexe 18 à Annexe 23).

En revanche, certaines caractéristiques sont communes à tous les scénarii :

- Le camion interactif est un Midlum porteur de 7 mètres de long, simulé avec un poids total en charge de 12 Tonnes, d'une puissance de 385cv.
- Le point de départ de chaque scénario se situe à l'entrepôt de la zone 11. Le camion interactif y est garé sur une place (coté SUD de l'entrepôt) et l'arrière du camion se trouve contre une baie de chargement ouverte.
- L'ensemble des rues parcourues sont meublées de façon réaliste (voitures stationnées etc...), selon le plan « City NG meublé ».
- Le trafic sur l'ensemble du circuit est peu dense (piétons et véhicules).
- La circulation des véhicules et piétons autonomes est prévue pour ne pas interférer avec les situations critiques.
- Les lieux de livraison où se déroulent les situations sont repérés par une poubelle positionnée sur le trottoir. Celle-ci sert de repère pour le conducteur qui aura pour consigne de se garer à sa hauteur.
- Pour simuler une livraison, le conducteur coupe le contact du véhicule une fois sa manœuvre de stationnement effectuée. Un écran noir s'affiche alors sur tous les visuels ; cet écran noir disparaît lorsque le chauffeur remet le contact. Pendant la période où l'écran noir est affiché, les piétons et véhicules nécessaires au déroulement du script peuvent être placés de façon adéquate. Le camion interactif peut également être légèrement replacé à une position donnée (pour favoriser la mise en œuvre du script), mais la plateforme dynamique du simulateur n'est pas activée durant ce repositionnement (le conducteur ne doit pas s'apercevoir du déplacement).

Stratégies d'assistance et Interfaces Homme-Machine (IHM)

Cette action de recherche a été effectuée en collaboration avec les équipes du LESCOT et de Renault Trucks et s'appuie sur les résultats des analyses effectuées dans les précédentes actions de recherche du projet. Elle avait pour objectifs :

- de spécifier les caractéristiques physiques et fonctionnelles des Interfaces Homme-Machine permettant la transmission des informations et alarmes issues des différents systèmes de détection des usagers vulnérables,
- de déterminer les principes et stratégies de fonctionnement des systèmes et des alertes ainsi que leurs modes de restitution.

Les stratégies d'assistance

Les stratégies d'assistance du système VIVRE2 reposent sur deux types d'assistance :

1. Des systèmes « informatifs », basés sur la détection des usagers vulnérables, par différents systèmes de capteurs, en fonction des classes de situation précédemment décrites. Ces systèmes apportent une information au conducteur et sont complétés par des alarmes lumineuses et sonores en fonction de la criticité des situations. Deux niveaux de criticité ont été définis :

- Etat 1 – Une action du conducteur permet de prévoir qu'une manœuvre dangereuse est possible,
- Etat 2 – Une manœuvre dangereuse est initiée.

2. Des systèmes « actifs », basés sur les mêmes principes et outils de détection des usagers vulnérables. Ces systèmes au nombre de trois, limiteur de vitesse, freinage d'urgence et anti-démarrage, ont une action sur le comportement du véhicule en fonction de la criticité des situations et en l'absence de réaction appropriée du conducteur. Ils sont complétés par les systèmes informatifs. Deux niveaux d'actions ont été définis :

- Etat A – Situation critique, la trajectoire de l'usager vulnérable est en direction du camion et proche de ce dernier. Dans ce cas la manœuvre est limitée par le système.
- Etat B – Situation très critique, la trajectoire de l'usager vulnérable croise celle du camion. Dans ce cas, le système prend le contrôle du véhicule.

Limites de fonctionnement des systèmes

- Les systèmes informatifs ne fonctionnent qu'entre 0 et 60 km/h.
- Les systèmes actifs ne fonctionnent qu'entre 0 et 30 km/h
- L'anti-démarrage n'est pas un système empêchant la mise en marche du moteur, mais il empêche la mise en mouvement du véhicule avec le moteur en marche et une vitesse enclenchée.

L'Interface Homme-Machine

L'Interface Homme-Machine du système VIVRE2 est une interface multimodale qui comprend des composants visuels et des composants sonores. L'ensemble de ces composants est piloté par le système VIVRE2 et organisé en fonction des stratégies d'assistance déterminées. Compte tenu des spécificités de l'assistance attendue, c'est-à-dire la couverture de trois zones autour du véhicule (arrière, latérale droite et avant), l'IHM de VIVRE2 est en fait composée de trois IHM distinctes, complétées par une interface visuelle commune intégrée au tableau de bord.

Zone arrière du véhicule



Image 36 : Démarrage du camion en marche arrière avec piéton en mouvement

L'interface permettant d'apporter les informations de l'arrière du camion (Image 36) est composée de :

- Un écran de rétrovision qui affiche les images d'une caméra située sur le haut de caisse arrière quand la marche arrière est enclenchée : L'écran est positionné sur la planche de bord à gauche du tableau de bord. Cet écran sert aussi à l'affichage de la navigation quand la marche arrière n'est pas enclenchée (Image 37).



Image 37 : IHM Arrière, affichages visuels indiquant la présence s'un piéton

- La zone couverte par la caméra inclut le bas de caisse du véhicule (Figure 67 et Image 38), cette spécificité ayant été demandée par certains conducteurs lors des analyses d'activité.

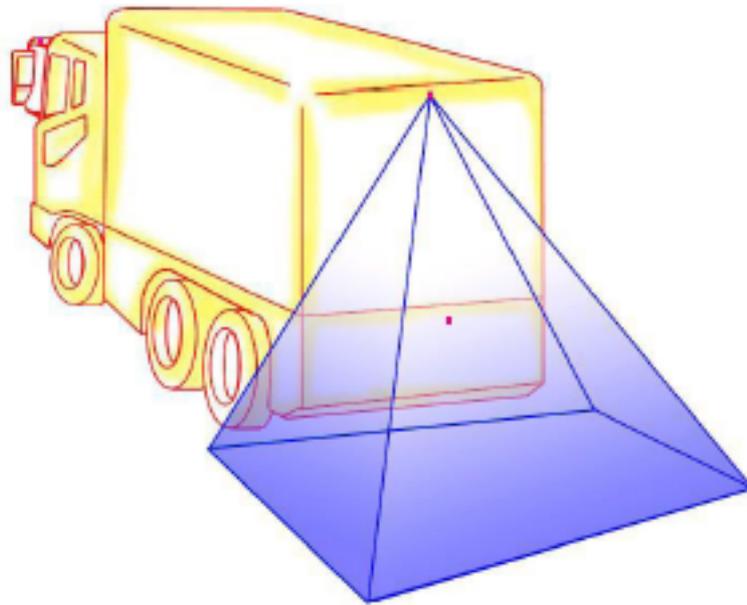


Figure 67 : Zone couverte par la caméra



Image 38 : Affichage de la vue arrière du camion sur l'écran du GPS

Une commande sur la planche de bord complète l'interface pour permettre au conducteur d'afficher la vue arrière quand la marche arrière n'est pas enclenchée. L'enclenchement d'un rapport en marche avant désactive l'affichage arrière (Image 39).



Image 39 : IHM Arrière, écran + diode + commande tableau de bord

- Une *diode lumineuse* au-dessus de l'écran s'allume quand un usager est détecté à l'arrière du camion en fonction des stratégies de fonctionnement déterminées.
- Une *alarme sonore* retentit quand un usager est détecté à l'arrière du camion en fonction des stratégies de fonctionnement déterminées.

Remarque

Les conducteurs professionnels du panel sont unanimes quant à l'intérêt d'avoir un système de vision arrière par retour vidéo. Elle a été réclamée ou citée par tous les conducteurs ayant fait l'objet des analyses d'activité. De plus, la plupart des conducteurs rencontrés ont estimé que la position sur le tableau de bord à gauche du volant était la mieux adaptée aux manœuvres en marche arrière.

Zone avant du véhicule



Image 40 et Image 41 : Situations réelles observées en secteur piétonnier

L'interface pour la zone avant « sous le nez du camion » est composée de (Image 42) :

- Un *antéviseur* : un miroir est installé sur le haut de la cabine et donne une vision indirecte de la zone située à l'avant du camion.
- Une *diode lumineuse* située sur la planche de bord contre le pare-brise et dirigée vers l'antéviseur (même principe de fonctionnement que pour l'arrière).
- Une *alarme sonore* (même principe de fonctionnement que pour l'arrière).



Image 42 : IHM Avant, affichages visuels indiquant la présence d'un piéton

Zone latérale droite (angle mort) du véhicule



Image 43 : Exemple de situation « sensible » de remontée d'un cycliste dans l'angle mort droit du véhicule

L'interface pour la zone latérale droite du camion est composée de (Image 44) :

- Un *écran* qui affiche les images d'une caméra située sur le haut à droite de la cabine et qui couvre toute la zone latérale du véhicule y compris l'angle mort. Cette caméra apporte une vue différente de celle des rétroviseurs latéraux et les complète. L'écran est positionné verticalement sur la planche de bord, à droite. L'affichage de l'angle mort est continu.
- Deux *diodes lumineuses* situées l'une au-dessus de l'écran et l'autre au-dessus du rétroviseur latéral droit (même principe de fonctionnement que pour l'arrière).
- Une *alarme sonore* (même principe de fonctionnement que pour l'arrière).



Image 44 : IHM latérale droite, retours visuels

Alarmes lumineuses directionnelles

Les diodes lumineuses sont des interfaces intuitives utilisées uniquement pour attirer l'attention et orienter le regard du conducteur dans une direction donnée. Le conducteur ne devrait pas chercher à comprendre la signification du signal, mais devrait regarder dans la direction de la lumière pour vérifier et confirmer la présence d'un obstacle au moyen des interfaces disponibles (écran de rétrovision, antévisseur, écran et rétroviseurs latéraux).

Interface visuelle commune

L'interface commune gère plusieurs pictogrammes d'information qui sont intégrés au cluster d'affichage du tableau de bord. Ils permettent de signaler la zone dans laquelle un usager est détecté, de préciser le mode d'assistance activé (anti démarrage, freinage d'urgence, limiteur) et d'indiquer quel système est en fonctionnement (actif/informatif). Ces affichages ne sont pas destinés à alerter le conducteur mais à lui apporter une explication si besoin quand un système se déclenche (Image 45 et).



Image 45 : Position des informations VIVRE2 sur le cluster d'affichage du véhicule



Image 46 : Aperçu des pictogrammes du système VIVRE2



En résumé, deux stratégies d'assistance ont été conçues :

- des retours informatifs composés de systèmes de vision directe et indirecte et d'alarmes lumineuses et sonores permettent d'alerter le conducteur d'un risque potentiel de renversement d'un usager vulnérable tout en lui laissant l'initiative de l'action.
- une assistance active, composée d'un système d'anti-démarrage, d'un système de freinage d'urgence et d'un limiteur de vitesse a été mise en place pour effectuer les actions correctives à la place du conducteur si nécessaire (prise en main du véhicule par le système). Le système d'assistance active est complété par les retours informatifs.

XII. Evaluation du système VIVRE2 sur simulateur dynamique de conduite

Ce dernier chapitre présente les travaux qui ont constitué la partie finale du projet VIVRE2 avec l'évaluation ergonomique sur simulateur de conduite des systèmes et stratégies d'assistance issus des différentes actions de recherche du projet.

Cette action a été réalisée en étroite collaboration, d'une part, avec l'équipe du simulateur de Renault Trucks ¹¹⁶ pour la partie simulation et, d'autre part, avec l'équipe du LESCOT de l'INRETS¹¹⁷, pour la partie intégration et mise au point des stratégies d'assistance sur le simulateur. Elle avait pour objectif l'évaluation, d'un point de vue ergonomique, du système « VIVRE2 » constitué d'un ensemble de systèmes d'assistance à la détection et à la prévention des accidents impliquant des camions et des usagers vulnérables (piétons et cyclistes) en milieu urbain. Les protocoles ont été élaborés avec pour objectif de tester la pertinence des principes et stratégies de fonctionnement des systèmes et des alertes ainsi que de leur mode de restitution (IHM et alarmes).

Outre l'évaluation des systèmes, l'une des finalités du projet était l'amélioration du réalisme du simulateur de conduite SCOOP2, l'enrichissement de la base de données de simulation, tant du point de vue du circuit que de celui des mobiles et le développement de fonctionnalités spécifiques en termes d'interactions entre le véhicule-cible et les usagers vulnérables. En effet, le projet VIVRE2 a nécessité la création d'une base de données urbaine très réaliste ainsi que l'adaptation de modules interactifs de simulation pour la programmation des déplacements des piétons, et pour la gestion des situations critiques.

Démarche expérimentale

Pour cette étude, le simulateur dynamique de conduite SCOOP (Partie 2, p. 134) était équipé d'une cabine de type « Renault Midlum », montée sur la plate-forme dynamique à 6 degrés de liberté.

¹¹⁶ Yann Crenne (ADENEO) et Philippe Crave

¹¹⁷ Arnaud Bonnard et Hélène Tattegrain-Veste



Plan d'expérimentation

Population

Quinze conducteurs masculins employés chez Renault Trucks ont constitué notre échantillon expérimental. Les quatre cinquième des sujets sont des techniciens d'essais confirmés, les trois autres travaillent pour le service qualité.

Étant donné le caractère innovant des systèmes étudiés, et pour des raisons de confidentialité il nous était difficile de travailler avec des conducteurs d'entreprises extérieures. De plus, afin de minimiser le temps de familiarisation sur le simulateur et les risques de cinétose (mal du simulateur), nous avons sollicité des sujets ayant de préférence une expérience de l'outil de simulation (et/ou n'étant pas sujet au mal des transports). Ces conditions, ajoutées au fait que le protocole expérimental était composé de quatre séances d'une durée d'une heure chacune et organisé sur quatre jours, expliquent la taille réduite de l'échantillon.

Précisons que cette démarche expérimentale a été mise en place à des fins purement exploratoires et non avec un objectif de validation statistique des systèmes.

Conditions expérimentales

La procédure expérimentale a été organisée autour de quatre séances par sujet, d'une durée d'environ une heure et réparties sur quatre jours. L'étalement des séances avait pour objectif de limiter les problèmes de cinétose ainsi que la fatigue et la lassitude liées à la conduite sur simulateur. Chaque conducteur a vu quatre conditions expérimentales différentes (une par jour) en respectant le même ordre de passation :

- Condition 1 : Protocole de familiarisation
- Condition 2 : Protocole Sans Système (protocole SS)
- Condition 3 : Protocole Systèmes Informatifs (protocole SI)
- Condition 4 : Protocole Systèmes Actifs (protocole SA)

L'ordre de présentation des protocoles a été défini pour permettre une évaluation différenciée des systèmes proposés. A chaque protocole correspondait un scénario de roulage.

Afin de diminuer les biais expérimentaux d'apprentissage, d'anticipation et d'ordre d'apparition des situations, nous avons fait varier la composition des circuits et la localisation des situations critiques sur le circuit ([Annexe 18](#) à [Annexe 23](#)). De plus, l'ordre de présentation des scénarii était différent en fonction des sujets et des protocoles. Enfin, à l'intérieur de chaque scénario, nous avons fait varier l'ordre d'apparition des situations à risque potentiel et des situations critiques.

Une situation critique est définie comme étant une situation nécessitant un retour d'information des systèmes (système informatif) associé à un ajustement de l'action de conduite de la part du conducteur et/ou du système (assistance active). Les situations à risque sont définies comme étant des situations accidentogènes dont l'évolution pourrait engendrer une situation critique : dans nos scénarii, ce sont des situations de manœuvre au cours desquelles il n'y a pas d'usager vulnérable dans le champ de manœuvre.

Chaque protocole est composé d'une partie roulage sur le simulateur et d'une partie évaluation avant et après le roulage.

Les scénarii de roulage

Pour chaque protocole, la partie roulage a constitué une mise en situation durant laquelle les sujets avaient un circuit spécifique à parcourir simulant une tournée de livraison en ville. Sur ce circuit, chaque sujet avait un certain nombre de manœuvres à effectuer pour prendre un stationnement. La direction à suivre était indiquée de manière visuelle grâce au système de navigation simulé via l'écran de rétro-vision et de manière auditive par l'expérimentateur en temps réel via le circuit audio du simulateur. Les endroits où stationner pour simuler une livraison étaient positionnés sur l'écran de navigation et indiqués par l'expérimentateur. De même, l'expérimentateur précisait au conducteur, en temps réel, le type de manœuvre à effectuer (stationnement double file, mise à quai en marche arrière...).

Six situations-tests¹¹⁸ (cinq situations critiques et une situation sensible) ont été définies et reproduites dans chaque scénario pour, d'une part, permettre aux sujets d'évaluer les systèmes dans différentes conditions, et, d'autre part, pour tester l'efficacité du système en comptant le nombre d'accidents « potentiellement » évités par les systèmes. Chaque situation critique était mise en scène une seule fois pour chaque scénario et la situation sensible (dépassement d'un cycliste sur secteur rectiligne) a été mise en scène deux ou trois fois selon les scénarii (cf. [Tableau 27](#), p. 283). Le protocole de familiarisation, élaboré afin de permettre aux sujets de s'habituer au simulateur, de s'entraîner sur les manœuvres à effectuer et de se familiariser avec les outils d'évaluation (échelles de Likert¹¹⁹ et questionnaire de charge de travail), ne comprenait aucune situation test et n'a pas été pris en compte dans le traitement des résultats.

¹¹⁸ Par situations-tests nous entendons l'ensemble des situations qui ont servi de support à l'évaluation des systèmes.

¹¹⁹ Une échelle de Likert se présente sous la forme d'une ligne continue de 10 cm de longueur, sans aucune graduation avec un descripteur à chaque extrémité. Les descripteurs sont des antonymes et les sujets doivent se positionner en faisant un trait au crayon sur la ligne à l'endroit qui leur paraît refléter le mieux ce qu'ils ressentent ou pensent. Par ex. pour la dimension nervosité, les descripteurs étaient « nerveux vs détendu ».

Outils d'évaluation

Pour chaque roulage, hormis la familiarisation, l'expérimentateur avait une grille d'observation à remplir pour relever le nombre d'usagers renversés, détectés, évités, ainsi que les occurrences de déclenchement des systèmes (Annexe 24). De plus, les sujets étaient filmés et enregistrés en continu durant toute la séance de roulage.

Plusieurs outils et méthodes ont été utilisés pour la partie évaluation de chaque protocole :

- Un questionnaire d'identification (protocole de familiarisation),
- Un questionnaire d'état général du sujet sous la forme d'échelles de Likert : présenté avant et après chaque séance de roulage, il permettait l'évaluation de dimensions individuelles comme la fatigue, la motivation, le malaise, le bien-être, la nervosité, l'enthousiasme,
- Un test d'évaluation de la charge de travail après chaque séance de roulage (version du NASA TLX de Hart et Staveland, 1988, traduite et modifiée par A. Maincent) : le NASA TLX est un test d'auto-évaluation quantitatif de la charge de travail ressentie par le conducteur pendant la période de roulage. Dans cette version, il tient compte de six dimensions¹²⁰ reconnues comme étant des facteurs pertinents pouvant provoquer une augmentation de la charge de travail pendant la conduite d'un véhicule (Pauzié, Pachiaudi, 1996 ; Maincent, 2001). Le test fournit un score global de charge de travail ainsi qu'une évaluation différenciée des différents facteurs de charge.
- Un questionnaire comprenant plusieurs échelles de Likert pour l'évaluation ergonomique des systèmes en termes de facilité d'utilisation, de compréhension, d'efficacité, d'acceptabilité, d'utilité... Ce questionnaire était présenté aux sujets après les roulages des protocoles 3 et 4 (Systèmes Informatifs et Systèmes Actifs).
- Un dernier questionnaire proposé à la fin de la dernière séance demandait aux sujets de choisir le système qu'ils mettraient sur le camion du futur.

Ces questionnaires étaient complétés par un entretien individuel effectué par une psychologue en fin d'expérimentation¹²¹. Cet entretien avait pour objectif d'évaluer l'expérience psychologique des sujets engendrée par les situations mises en scène dans les scénarii de roulage. Nous souhaitions notamment vérifier que les situations au cours desquelles les conducteurs avaient potentiellement renversé un usager vulnérable n'avaient pas provoqué de choc psychologique. Pour pallier ce risque, dès l'accueil des conducteurs nous avons vérifié qu'aucun d'entre eux n'avait eu d'accident avec un usager vulnérable. De plus, lorsque les sujets « renversaient » un usager, l'expérimentateur ne le leur indiquait pas.

Déroulement expérimental

Généralités

Chaque parcours débutait au même endroit du circuit, sur l'aire de livraison d'un entrepôt.

Au cours de chaque protocole, les conducteurs avaient un certain nombre de manœuvres à effectuer correspondant aux situations à risques précédemment identifiées. Les endroits où stationner pour simuler une livraison étaient positionnés sur l'écran de navigation et étaient aussi indiqués par l'expérimentateur via le circuit audio du simulateur. De même, l'expérimentateur précisait au conducteur, en temps réel, le type de manœuvre à effectuer. A chaque point de stationnement une poubelle, positionnée sur le trottoir ou

¹²¹ Sandra Gatt-Rivière

en bordure de route servait de repère pour le conducteur qui avait pour consigne de se garer à sa hauteur. Le nombre d'occurrences des manœuvres à effectuer était dépendant du scénario en cours ([Annexe 18](#) à [Annexe 23](#)).

Pour simuler une livraison (arrêt complet du véhicule et livraison de marchandises), le conducteur devait couper le contact une fois sa manœuvre de stationnement correctement effectuée. Un écran noir s'affichait alors sur tous les visuels et permettait de « couper » le conducteur du contexte et de simuler la livraison. Pendant la période où l'écran noir était affiché, les piétons et véhicules nécessaires au déroulement du script étaient positionnés de façon adéquate. L'expérimentateur indiquait ensuite au conducteur qu'il pouvait remettre le contact et redémarrer. L'écran noir disparaissait lorsque le conducteur relançait le moteur.

Dans les situations mettant en scène un usager vulnérable à l'arrêt devant ou derrière le camion, le conducteur devait klaxonner pour l'avertir et le faire partir¹²².

Protocole de familiarisation – 40 à 50 mn

Le protocole de familiarisation avait pour objectif de familiariser le conducteur avec le circuit, la conduite du simulateur et l'environnement simulé ([Annexe 17](#)). De plus, il nous permettait de tester la résistance des sujets au mal du simulateur. Sur ce parcours, le conducteur ne bénéficiait d'aucun des systèmes VIVRE2 hormis la navigation sur écran.

Le conducteur était filmé pendant toute la séance de roulage, mais non enregistré. Il pouvait communiquer avec l'expérimentateur via le circuit audio du simulateur.

Déroulement du protocole

- Accueil du conducteur et présentation de l'étude ([Annexe 25](#)),
- Questionnaire d'identification ([Annexe 26](#)),
- Questionnaire d'état général – début de séance,
- Installation dans le simulateur¹²³,
- Lecture des consignes par l'expérimentateur dans le simulateur ([Annexe 28](#)),
- Roulage,
- Questionnaire d'état général – fin de séance,
- Test de charge de travail ([Annexe 27](#)).

Protocole Sans Système – 40 à 45 mn

Pour ce parcours, le conducteur ne bénéficiait d'aucun des systèmes d'assistance hormis la navigation. Ce protocole permettait de comparer d'un point de vue ergonomique (charge de travail, charge mentale, performance de conduite...) les différentes situations, avec et sans système(s).

Déroulement du protocole

- Questionnaire d'état général – début de séance,
- Installation dans le simulateur,
- Lecture des consignes par l'expérimentateur dans le simulateur ([Annexe 29](#)),
- Roulage,
- Questionnaire d'état général – fin de séance,
- Test de charge de travail

¹²² Cette action nous permettait, d'une part de savoir si le conducteur avait détecté l'usager, et, d'autre part, représentait un indice informatique pour relancer le déroulement de la simulation de manière automatique.

Protocole Systèmes Informatifs – environ 60mn

Pour ce parcours, le conducteur disposait des informations et alarmes des Systèmes Informatifs en complément du système de navigation. Les Interfaces Homme-Machine et les stratégies d'assistance étaient présentées et expliquées au sujet dans le simulateur avant le roulage.

Déroulement du protocole

- Questionnaire d'état général – début de séance,
- Installation dans le simulateur,
- Présentation des IHM et des stratégies d'assistance par l'expérimentateur dans le simulateur ([Annexe 30](#) et [Annexe 31](#)),
- Lecture des consignes par l'expérimentateur dans le simulateur ([Annexe 32](#)),
- Roulage,
- Questionnaire d'état général – fin de séance,
- Test de charge de travail,
- Questionnaire d'évaluation des systèmes informatiques.

Protocole Systèmes Actifs – 60 à 90 mn

Pour ce parcours, l'ensemble des systèmes informatiques et actifs étaient activés en complément du système de navigation. Les Interfaces Homme-Machine et les stratégies d'assistance étaient présentées et expliquées avant le roulage. En début de roulage, une démonstration interactive du fonctionnement des systèmes actifs était proposée au conducteur.

Déroulement du protocole

- Questionnaire d'état général – début de séance,
- Installation dans le simulateur,
- Présentation des IHM et des stratégies d'assistance par l'expérimentateur dans le simulateur ([Annexe 33](#) et [Annexe 34](#)),
- Lecture des consignes par l'expérimentateur dans le simulateur ([Annexe 35](#)),
- Démonstration interactive du fonctionnement des systèmes actifs,
- Roulage,
- Questionnaire d'état général – fin de séance,
- Test de charge de travail,
- Questionnaire d'évaluation des systèmes actifs,
- Questionnaire de choix final,
- Bilan psychologique.

Résultats

Bilan psychologique

Ces entretiens avaient pour objectif d'évaluer l'expérience psychologique des sujets engendrée par les situations mises en scène dans les scénarii de roulage, notamment pour vérifier que les situations au cours desquelles les conducteurs avaient potentiellement renversé un usager vulnérable n'avaient pas provoqué de choc psychologique. Bien que

ces entretiens n'appellent pas, en soi, d'exposé des résultats, il est intéressant de faire un point sur le recueil des verbalisations des sujets.

En résumé, aucun des sujets n'a été choqué par le fait d'avoir heurté un ou des usagers vulnérables. Ceci est probablement dû au fait qu'aucun des conducteurs ne s'est rendu compte qu'il avait renversé un usager (du fait de la simulation, il n'y a pas de retour perceptible indiquant que le véhicule heurte ou franchit un usager). Cependant, quelques conducteurs ont remarqué qu'il y avait peut-être une possibilité qu'ils n'aient pas vu un usager lors de la séance sans système, notamment après avoir expérimenté la détection des usagers avec les systèmes. Cette remarque les a amenés à réfléchir sur la façon dont ils conduisent un camion en situation réelle en milieu urbain et à s'engager à être encore plus « attentifs » en conduisant.

Enfin, lors de cet entretien, la plupart des sujets ont spontanément souhaité compléter leurs évaluations du système. Ces verbalisations ont été retranscrites et ont permis d'enrichir, de manière qualitative, les résultats des évaluations. Elles sont donc intégrées dans les résultats et conclusions.

Auto-évaluation de la charge de travail

Compte tenu de l'impact que peut avoir un nouveau système d'assistance sur la charge de travail du conducteur, il est utile de connaître le ressenti de celui-ci sur les facteurs intervenant dans sa charge de travail (Maincent, 2004).

Le NASA TLX modifié nous a semblé le test le plus pertinent pour évaluer l'impact des différents composants (IHM et assistances actives) du système VIVRE2 sur la charge de travail de nos conducteurs.

Les résultats sont présentés sous une forme quantitative, les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel Statistica.9.0 de Stat Soft.

Le score global de charge

Les analyses statistiques n'ont pas montré de différences significatives au niveau du score global de charge de travail quel que soit le protocole de roulage (Figure 68).

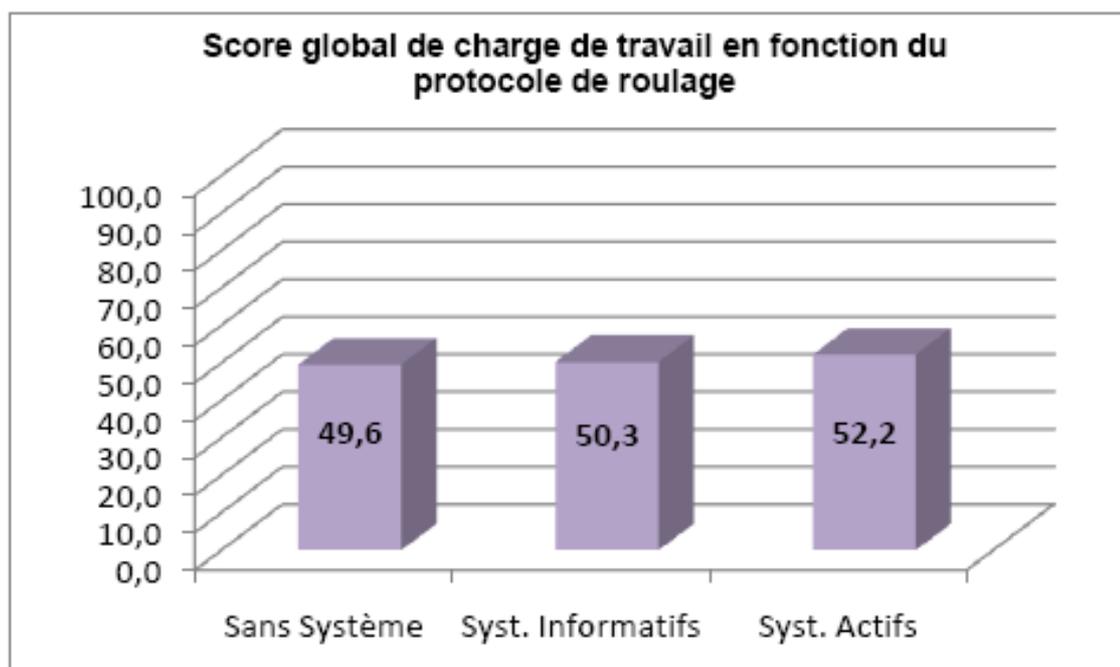


Figure 68 : Comparaison des scores globaux de charge de travail obtenus à l'aide du NASA TLX modifié, en fonction du protocole de roulage (n=15 conducteurs)

En revanche, comparé aux résultats obtenus dans l'étude précédente en situation réelle de conduite d'un camion lors d'une étude précédente (cf. page 209), le score global observé sur simulateur sans le système VIVRE2 est significativement plus élevé qu'en situation de conduite en milieu rural et périurbain ($F=2,28$; $p=0,056$) ainsi que sur autoroute ($F=3,31$; $p=0,005$)¹²⁴. Cette observation nous suggère plusieurs hypothèses :

- Du fait de la complexité de l'environnement, la conduite en milieu urbain pourrait engendrer une charge de travail plus élevée qu'en milieu rural ou sur autoroute.
- Du fait de la spécificité de la conduite sur simulateur et de la situation d'expérimentation, la charge de travail pourrait être plus élevée qu'en situation réelle, quel que soit l'environnement,
- La conjonction des deux facteurs, la situation d'expérimentation sur simulateur et la conduite en environnement urbain, pourrait provoquer cette différence observée au niveau du score global de charge de travail.

Les facteurs de la charge de travail

Bien que l'activité de conduite d'un véhicule soit largement automatisée, notons que les facteurs qui déterminent la charge de travail lors de la conduite d'un camion en milieu urbain et sur simulateur sont d'ordre visuel et mental (Figure 69). Il est donc important de vérifier que l'implémentation de nouveaux systèmes d'aide à la conduite ne provoque pas une augmentation inconsidérée de ces deux facteurs de charge.

¹²⁴ Test t pour des échantillons indépendants

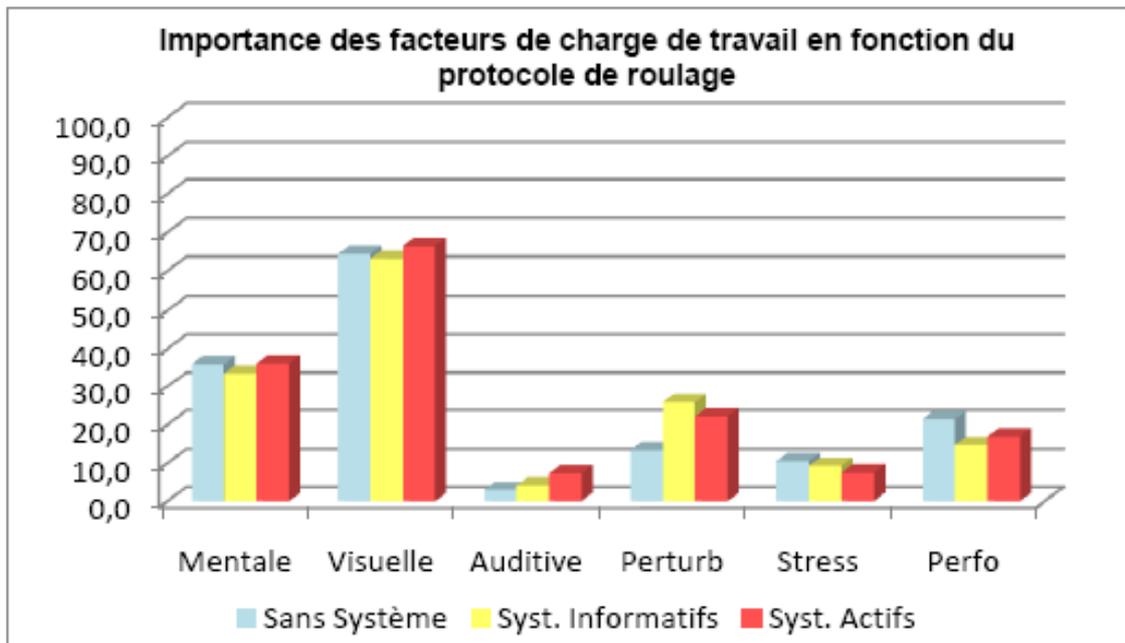


Figure 69 : Comparaison par facteurs de charge pour chaque protocole de roulage (n=15 conducteurs)

Les analyses statistiques des évaluations obtenues à l'aide du NASA TLX modifié pour chaque facteur de charge ont mis en évidence une différence significative sur une seule des six dimensions : *la perturbation engendrée par les systèmes embarqués pendant la conduite*. En effet les analyses montrent une augmentation significative de la perturbation pour les protocoles de roulage avec l'ensemble des systèmes, informatiques et actifs, par rapport au roulage sans système ($t=-2,46$; $p=0,028$)¹²⁵. En revanche, bien que statistiquement non significative, on peut observer une diminution du stress et une amélioration de la performance avec les systèmes informatiques seuls et avec tous les systèmes.

L'augmentation de la perturbation avec le système VIVRE2 pourrait se révéler problématique si elle s'accompagnait d'une augmentation du score global de charge de travail. Néanmoins, elle semble être compensée par des bénéfices pour le conducteur en termes de stress et de performance, et n'entraîne pas d'augmentation significative du score global de charge.

En conclusion, la charge de travail des conducteurs qui ont passé l'expérimentation sur le simulateur n'a pas été affectée de manière significative par le fonctionnement du système VIVRE2. Ces résultats sont néanmoins à prendre avec prudence, dans la mesure où les tests ont été passés sur simulateur de conduite et non en situation réelle. Nous recommandons de refaire ces mesures de charge de travail en situation réelle lors du développement du système VIVRE2 sur véhicule.

Evaluation ergonomique des systèmes

Les systèmes étaient évalués sur plusieurs critères ergonomiques à l'aide de questionnaires fermés, complétés par des échelles de Likert et proposés après les séances de roulage des protocoles 3, pour les systèmes informatiques, et 4, pour les systèmes actifs.

¹²⁵ Test t pour des échantillons appariés

Critères d'évaluation des systèmes

- Pertinence du déclenchement des alarmes et des systèmes actifs,
- Compréhension des messages visuels et sonores délivrés par les IHM et du principe de fonctionnement du système en mode informatif et en mode actif,
- Visibilité des IHM visuelles et position,
- Acceptation du système.

Ces quatre critères étaient évalués par les conducteurs à l'aide d'un questionnaire fermé et de questions indirectes

- *Efficacité* perçue du système testé du point de vue de la sécurité routière,
- *Facilitation vs Perturbation* de la conduite avec le système testé = bénéfice perçu pour la conduite vs perturbation engendrée
- *Utilité* du système testé,
- *Gêne* provoquée par le système testé pendant la conduite,
- *Agrément* lié à l'utilisation du système pour les manœuvres.

Ces cinq autres critères étaient évalués par les conducteurs à l'aide d'échelles de Likert.

L'efficacité objective des systèmes était mesurée en nombre d'accidents évités grâce au système : détection et/ou action relevées par l'expérimentateur pendant les roulages à l'aide des grilles d'observation.

Lecture des résultats

Etant donné la petite taille de l'échantillon et le type d'outils utilisés, nous avons choisi de traiter les données et de présenter les résultats de manière qualitative. Nous n'avons donc pas effectué d'analyse statistique sur les données.

Les résultats sont présentés sous forme de graphiques. Pour chaque variable évaluée, chaque point représente une réponse individuelle. Tous les points situés au-dessus de la ligne médiane (0) sont considérés comme des évaluations positives du système concerné. Plus la valeur est élevée et meilleure est l'évaluation.

Compréhension des messages et du principe de fonctionnement du système VIVRE2

La compréhension des messages et du principe de fonctionnement des systèmes a été évaluée à l'aide de différentes méthodes directes (échelle de Likert) et indirectes (observations et verbalisations).

Globalement, les principes de fonctionnement du système VIVRE2, systèmes informatifs et actifs confondus, ont été compris spontanément par tous les sujets.

Les pictogrammes d'information du cluster d'affichage n'ont pas posé de problème de compréhension quand ils ont été perçus par les conducteurs (Figure 70). Seuls 2 sujets n'ont pas vu les pictogrammes s'afficher pendant l'expérimentation (cotations à 0).

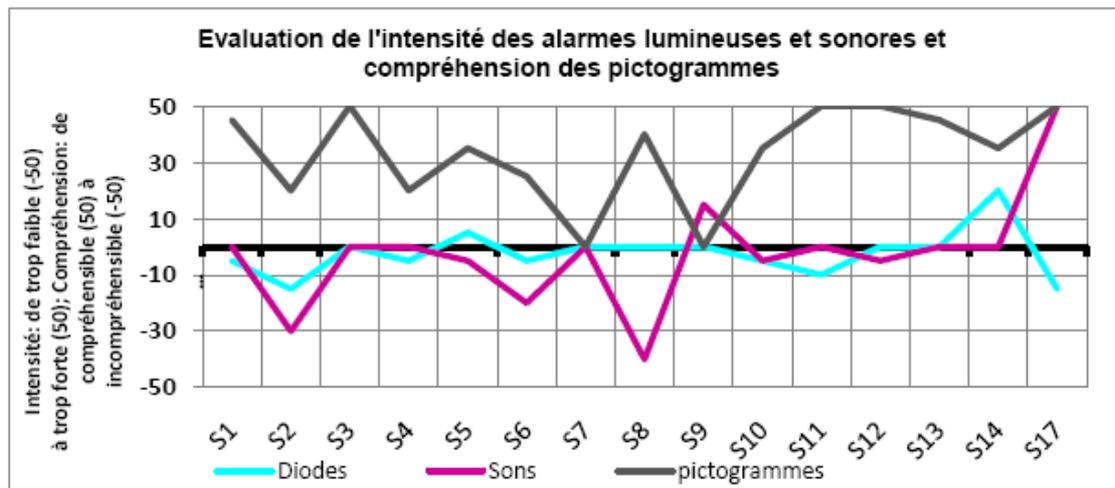


Figure 70 : Intensité des alarmes sonores et lumineuses et compréhension des pictogrammes sur le cluster d'affichage

L'intensité des signaux lumineux a été évaluée comme étant ni trop forte, ni trop faible, mais elle sera à tester et à régler en situation réelle en fonction de différentes ambiances lumineuses (jour/nuit, soleil/ombre...) lors du développement sur véhicule.

L'intensité des signaux sonores semble être un peu faible, à l'exception d'un sujet qui nous a exprimé un rejet global de toute source sonore y compris la navigation par guidage vocal. Comme pour les signaux lumineux, les signaux sonores seront aussi à régler plus finement lors du développement sur véhicule. De plus, le choix du type de signal sera à déterminer en fonction des autres alarmes sonores du véhicule (signal de recul, clignotants...), de façon à ne pas « noyer » le signal. Enfin, nous conseillons de laisser le choix au conducteur pour les signaux sonores (on/off).

Résultats de l'évaluation des systèmes informatiques en fonction de la zone de couverture

Les systèmes informatiques ont été évalués sur une échelle de Likert pour chaque critère ergonomique en fonction de la zone de détection (arrière, avant et latérale). Les critères ergonomiques évalués sont l'efficacité perçue en termes de sécurité, la facilitation vs la perturbation de la conduite par le déclenchement des systèmes, leur utilité et l'agrément d'utilisation pour les manœuvres.

Zone arrière du véhicule

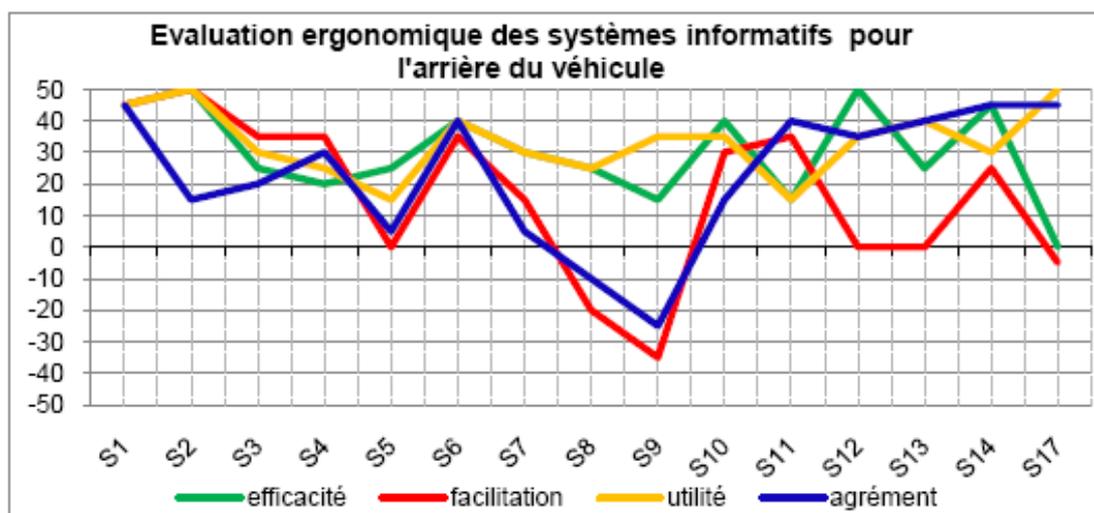


Figure 71 : Evaluation des systèmes informatiques selon quatre critères ergonomiques pour la zone arrière du véhicule

Zone avant du véhicule

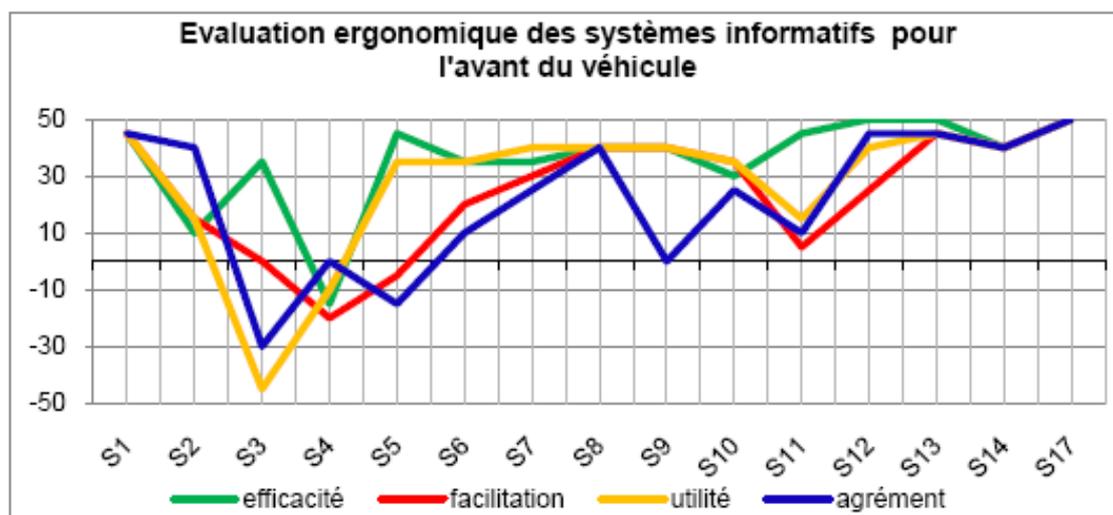


Figure 72 : Evaluation des systèmes informatiques selon quatre critères ergonomiques pour la zone avant du véhicule

Zone latérale droite (angle mort)

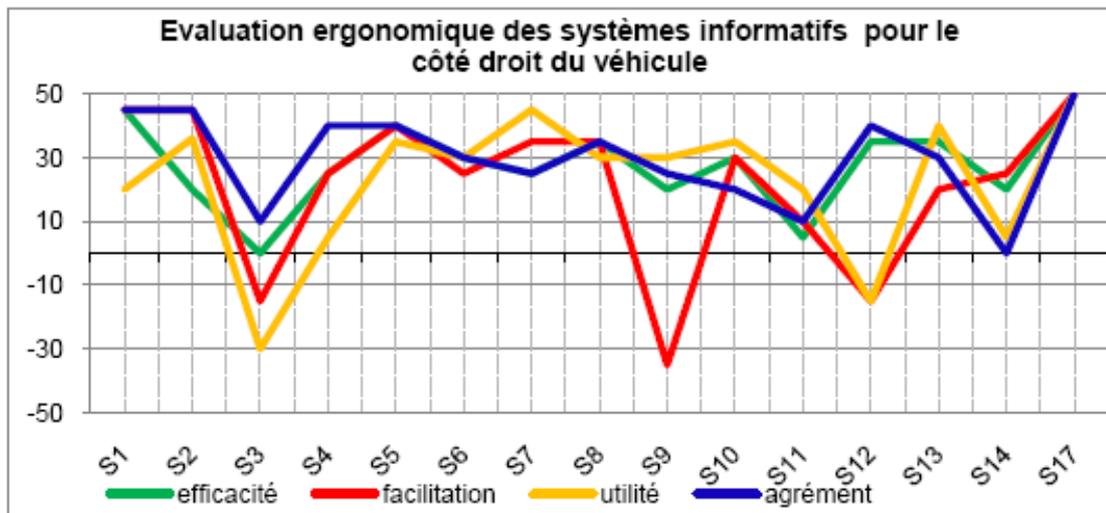


Figure 73 : Evaluation des systèmes informatiques selon quatre critères ergonomiques pour le côté droit (angle mort) du véhicule

Les résultats n'ont montré aucun rejet des systèmes informatiques quelle que soit la zone de couverture et pour l'ensemble des critères évalués. Ils ont été évalués de manière très positive par une grande majorité des sujets.

Les évaluations toutes IHM confondues ont été complétées par une évaluation sélective des alarmes lumineuses, sonores ainsi que des pictogrammes du cluster d'affichage selon trois critères, l'efficacité perçue, la facilitation de la conduite et l'utilité.

Alarmes lumineuses

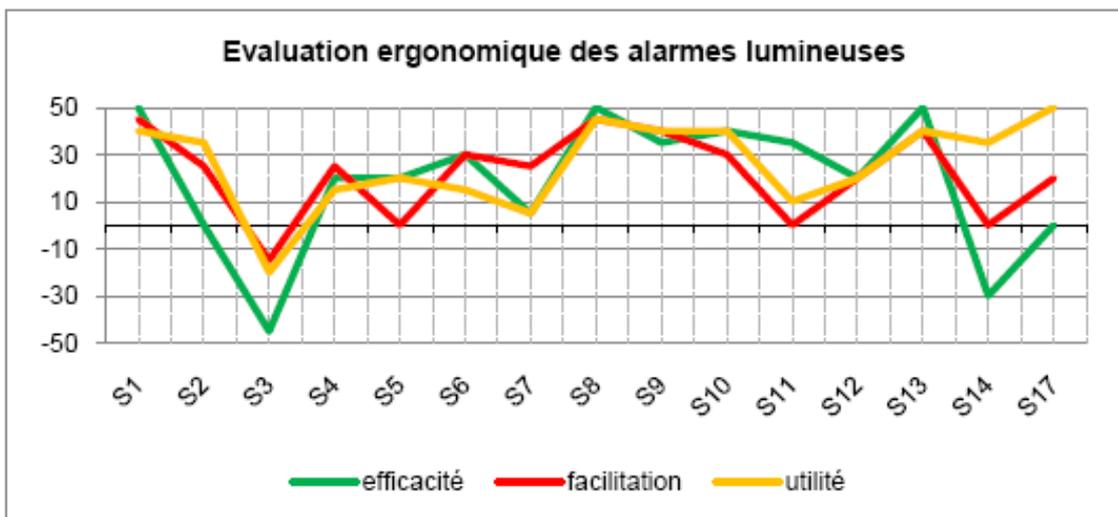


Figure 74 : Evaluation globale des alarmes lumineuses selon trois critères ergonomiques

Alarmes sonores

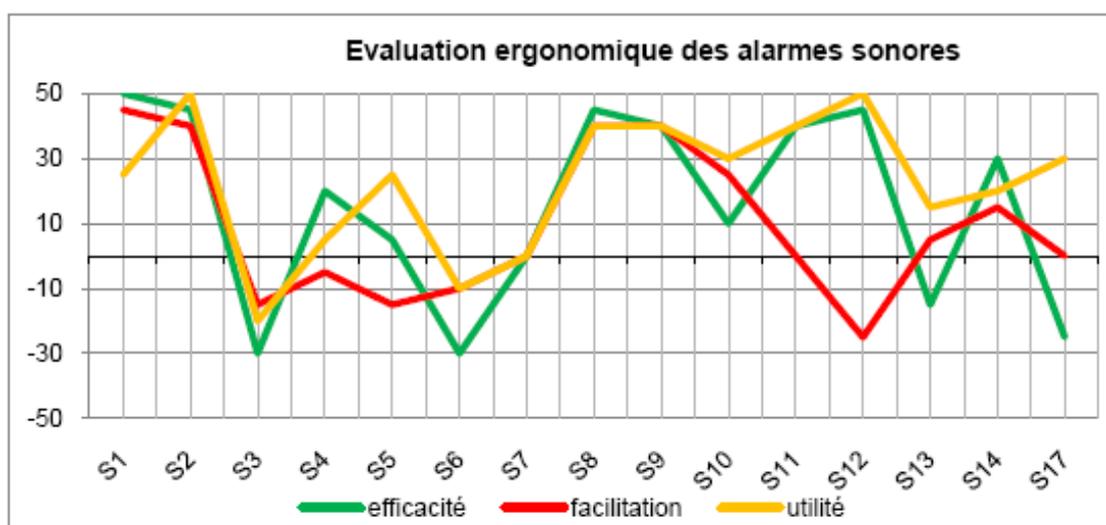


Figure 75 : Evaluation globale des alarmes sonores selon trois critères ergonomiques

L'utilité des alarmes lumineuses a été globalement reconnue par la presque totalité des sujets, de même que leur impact sur la facilitation de la conduite. En revanche, les avis semblent un peu plus partagés en ce qui concerne les alarmes sonores, notamment en termes d'efficacité perçue (évaluation négative ou neutre par 1/3 des sujets). De plus, les alarmes sonores semblent avoir un effet perturbateur pour 1/3 des sujets.

Pictogrammes du cluster d'affichage

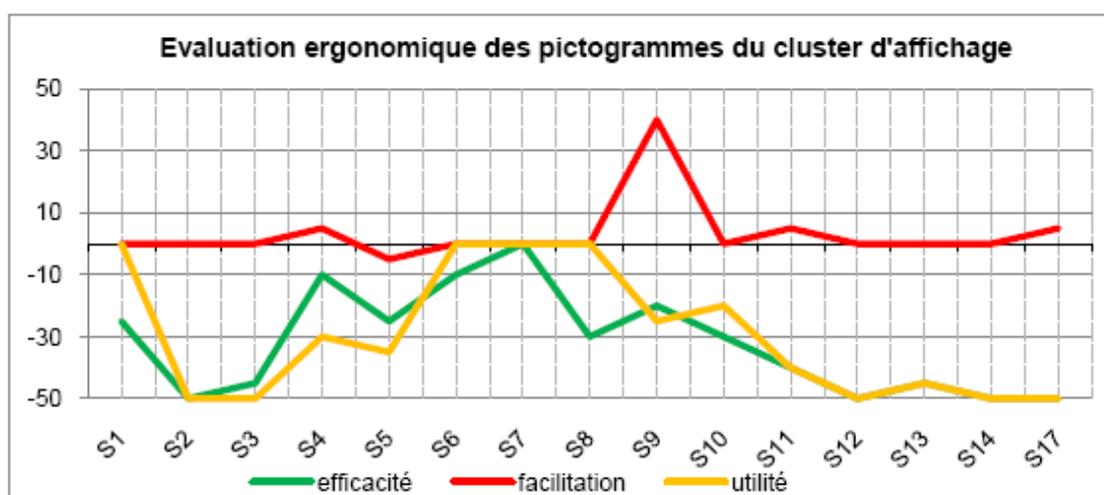


Figure 76 : Evaluation globale des pictogrammes du cluster d'affichage selon trois critères ergonomiques

Les pictogrammes correspondant au fonctionnement des systèmes informatiques sont jugés globalement inutiles et inefficaces pour la protection des usagers. Ces résultats ne sont pas surprenants dans la mesure où ils ont été conçus pour apporter une information complémentaire au conducteur en cas d'incompréhension et non pour l'alerter. En revanche, ils ne semblent pas perturber la conduite du conducteur : évaluation majoritairement neutre expliquée par le fait qu'ils n'ont pas été vus par la majorité des sujets. Ce dernier point nous semble positif dans la mesure où il reflète la compréhension par les sujets du fonctionnement

des systèmes : ils n'ont pas eu besoin de l'information complémentaire apportée par les pictogrammes.

Ces résultats sont complétés par l'évaluation des mêmes pictogrammes lors du fonctionnement des systèmes actifs.

Résultats de l'évaluation globale des systèmes actifs

L'évaluation des systèmes actifs a été faite de manière globale et non par zone de détection, dans la mesure où tous les systèmes n'ont pas systématiquement fonctionné pour chaque situation rencontrée (dépendant du comportement du conducteur), contrairement aux systèmes informatifs qui offrent un retour visuel systématique.

Anti-démarrage

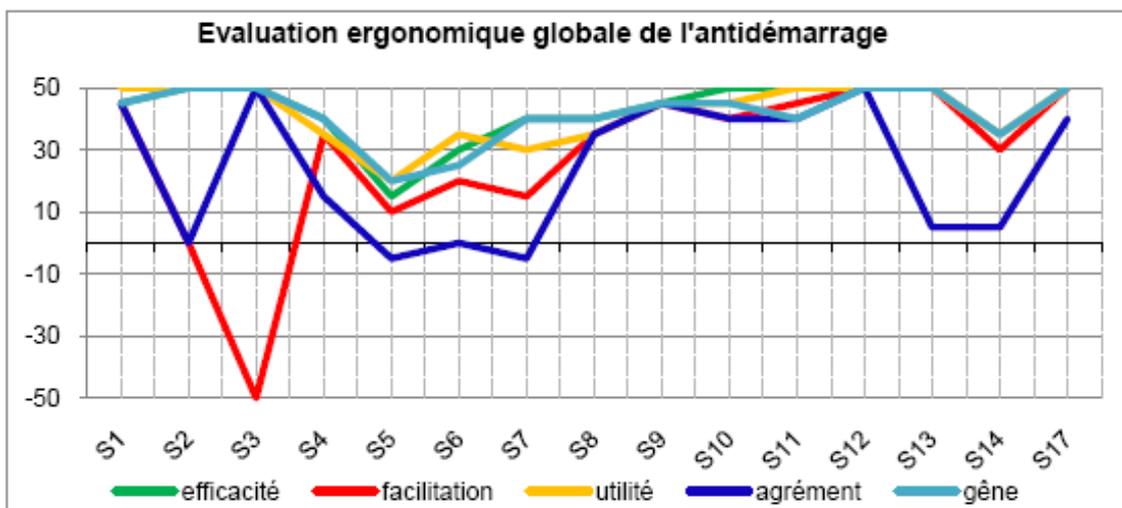


Figure 77 : Evaluation globale de l'anti-démarrage toutes zones confondues selon cinq critères ergonomiques

Freinage d'urgence

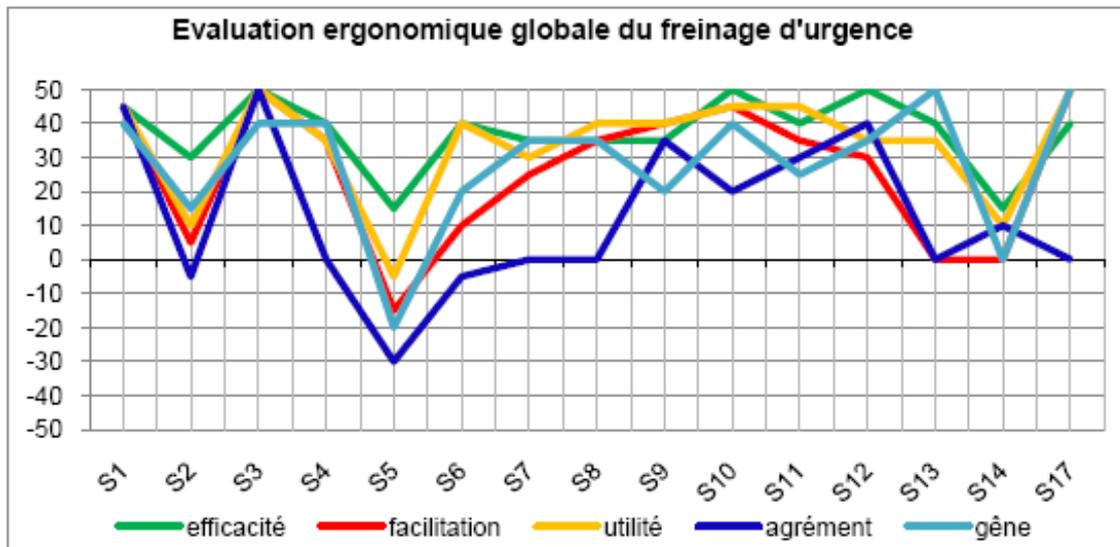


Figure 78 : Evaluation globale du freinage d'urgence toutes zones confondues selon cinq critères ergonomiques

Les systèmes d'anti-démarrage et de freinage d'urgence ont été globalement perçus de manière très positive, sur l'ensemble des critères ergonomiques.

Les quelques évaluations négatives reflètent plus une susceptibilité individuelle et un rejet des systèmes actifs en général (exprimé lors des entretiens complémentaires) qu'un rejet du système VIVRE2. Elle sera retrouvée lors du choix final du système : un seul conducteur a rejeté la majorité des systèmes (alarmes lumineuses et sonores, freinage d'urgence et limiteur) en ne conservant que les retours visuels « passifs » sur écrans.

Limiteur

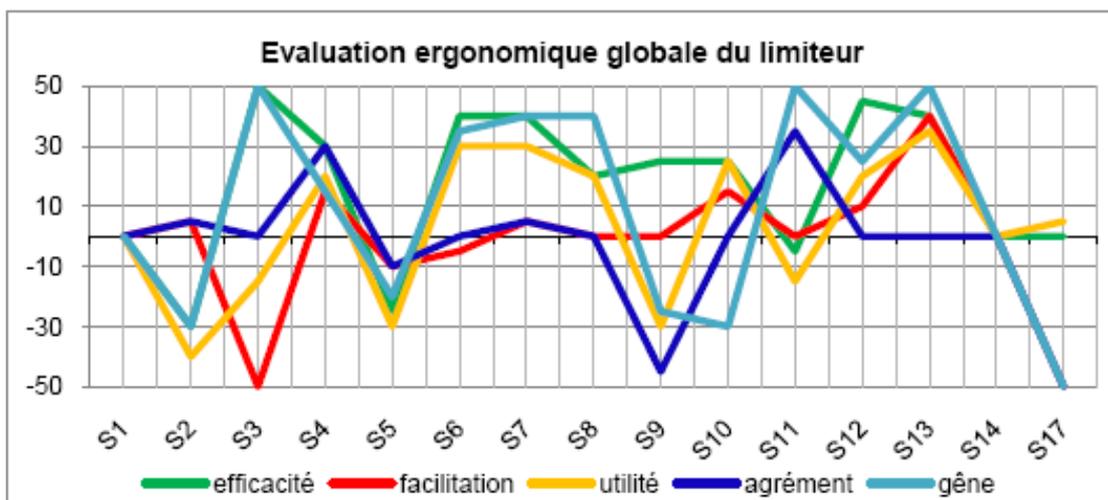


Figure 79 : Evaluation globale du limiteur toutes zones confondues selon cinq critères ergonomiques

L'évaluation du limiteur a été beaucoup plus partagée et chaotique, quel que soit le critère ergonomique considéré. Elle reflète sans doute le fait que plusieurs conducteurs

n'ont pas vu ou senti fonctionner le limiteur. De plus la majorité des conducteurs a exprimé le besoin de conserver une possibilité d'accélération en cas de situation d'urgence, ce que le limiteur, dans sa version actuelle, ne permet pas.

Ces observations ne signifient pas pour autant qu'il faille rejeter le principe du limiteur sous certaines conditions et situations.

Pictogrammes du cluster d'affichage

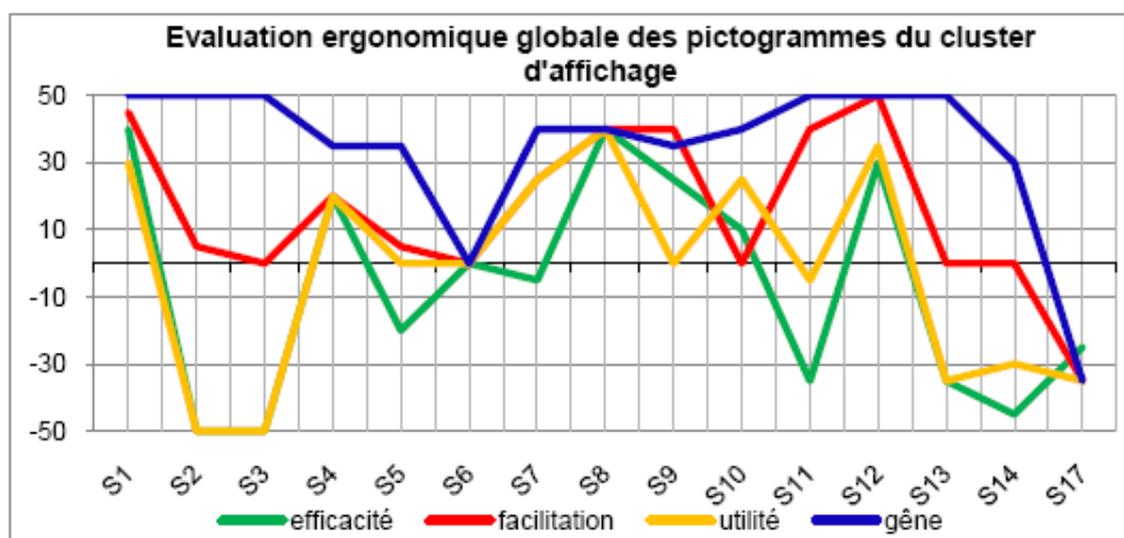


Figure 80 : Evaluation globale des pictogrammes du cluster d'affichage toutes zones confondues selon quatre critères ergonomiques

Contrairement à la première évaluation, les pictogrammes associés au fonctionnement de l'ensemble des systèmes informatifs et actifs ont été perçus de manière plus positive. Les deux critères sur lesquels les avis des conducteurs restent partagés sont leur efficacité pour la protection des usagers (inefficaces pour plus de la moitié des sujets) et leur utilité (inutiles pour plus d'un tiers des sujets).

En revanche, les verbalisations des sujets qui se sont servis des pictogrammes pour clarifier une situation qu'ils ne comprenaient pas, montrent une nécessité de retour informatif lors du déclenchement d'un système actif. Dans la mesure où les pictogrammes ne semblent pas gêner les conducteurs et semblent plutôt faciliter leur conduite, il nous paraît important de conserver cette information. En effet, même si elle n'est pas utilisée par tous et toujours, elle peut se révéler indispensable à un moment ou dans une situation donnée.

Efficacité objective (nombre d'accidents évités)

L'efficacité objective des systèmes a été évaluée grâce au comptage, d'une part, du nombre de renversements d'usagers vulnérables lors du protocole sans système et, d'autre part, du nombre d'accidents évités grâce aux systèmes informatifs et/ou actifs lors des deux protocoles avec systèmes (SI et SA).

Pour rappel, chaque conducteur rencontrait cinq situations critiques par protocole, soit un total de quinze situations à haut risque d'accident sur la totalité de l'expérimentation.

Les résultats observés révèlent l'efficacité potentielle d'un système tel que VIVRE2 :

Evaluation quantitative de l'efficacité du système VIVRE2					
	Sans Système	Systèmes Informatifs	Systèmes Actifs	TOTAL	Vies Sauvées
Évités grâce aux systèmes		19	26	41	89%
Renversés	39	7	0	46	

Tableau 28 : Synthèse de l'évaluation de l'efficacité objective du système VIVRE2

Lors du protocole sans système, l'ensemble des sujets a renversé un total de 39 usagers vulnérables (sur 75 situations critiques), toutes situations confondues. Tous les conducteurs ont renversé au moins un piéton dans la situation de marche arrière avec un piéton arrêté derrière le camion. La moitié des conducteurs a renversé entre 3 et 5 piétons ou cyclistes¹²⁶.

Lors des roulages avec le système, **41 accidents ont été évités** : **15** accidents grâce aux **systèmes informatifs** (sur 75 situations critiques rencontrées) et **26** grâce aux **systèmes actifs** (sur 75 situations critiques).

Lors des protocoles avec les systèmes en mode actif, aucun renversement n'a été déploré, en revanche, lors des protocoles en mode informatif, 5 usagers n'ont pas été détectés par les sujets et ont été renversés. Ces renversements ne sont pas dû à un dysfonctionnement du système, mais au fait que les conducteurs n'ont pas tenu compte des informations et alertes délivrées par les systèmes.

Ces analyses nous permettent d'affirmer que, lors de cette campagne d'expérimentation sur simulateur, **le système VIVRE2 a permis d'éviter 89% d'accidents avec des usagers vulnérables**.

Choix final

Le dernier questionnaire de fin d'expérimentation proposait aux conducteurs de faire le choix du système qu'ils conseilleraient d'installer sur les futurs camions circulant régulièrement en milieu urbain. Nous leur demandions dans un premier temps de choisir les systèmes informatifs et ensuite de compléter leur choix avec les systèmes actifs. Les conducteurs ont fait en quelque sorte « leur marché » parmi les technologies que nous leur avons fait tester et pouvaient éventuellement tout rejeter s'ils le souhaitaient. Ce dernier questionnaire était ouvert et complété par un entretien de débriefing effectué par une psychologue.

Les analyses des questionnaires et les verbalisations recueillies nous ont incitée à proposer aux sujets un choix final en fonction de la zone de couverture.

Systèmes informatifs

¹²⁶ En annexe, présentation détaillée des résultats

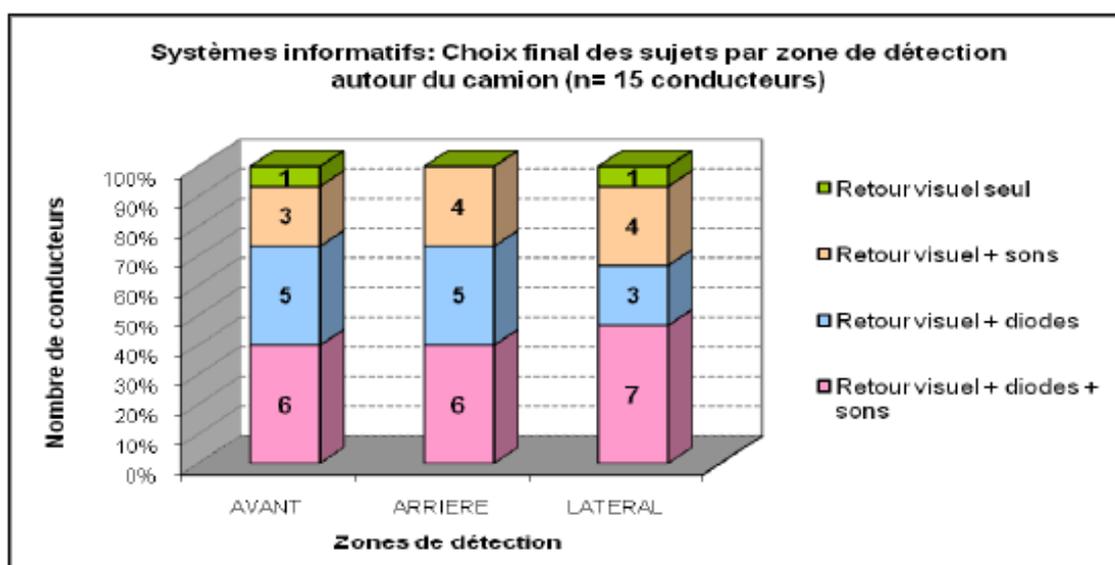


Figure 81 : Choix final des conducteurs en termes de systèmes informatiques en fonction de la zone de couverture du système

En résumé, tous les sujets ont choisi à minima le retour visuel sur écran pour les zones arrière et angle mort latéral droit et plus des deux tiers ont choisi le système informatique complet (retour visuel + alarmes lumineuses et sonores).

Les avis sont plus partagés pour l'antéviseur, certains conducteurs l'utilisent sans restriction, alors que d'autres estiment que la taille du camion testé permet de voir directement devant le capot.

Enfin, pour les sujets qui n'ont pas choisi le système complet, le choix des alarmes lumineuses et/ou sonores semble être fonction du canal préférentiel de traitement. Environ un tiers des sujets préfère les alarmes visuelles uniquement et un quart les alarmes sonores uniquement.

Seul un sujet a rejeté toutes les alarmes et conservé uniquement les retours visuels « passifs » sur écran.

Système complet VIVRE2

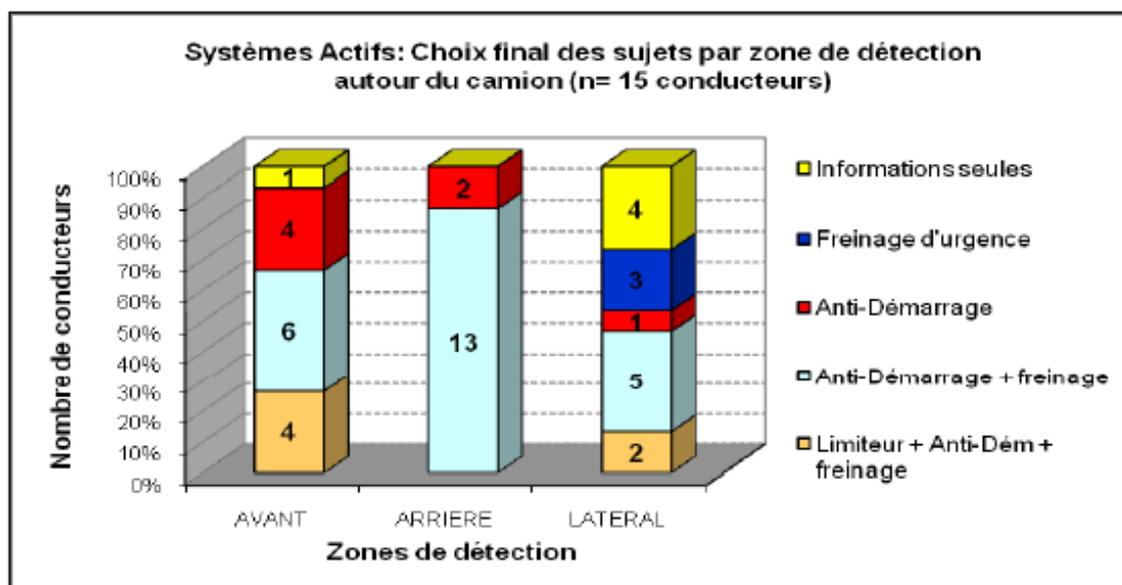


Figure 82 : Choix final des conducteurs en terme de système global d'assistance – actifs et/ou informatifs – en fonction de la zone de couverture du système

Les résultats sont plus partagés quant au choix du système VIVRE2 complet et « idéal ». Ces résultats reflètent une importante variabilité individuelle qui ne peut pas être lissée en raison de la petite taille de l'échantillon. Cette variabilité s'observe notamment en fonction de la zone de couverture considérée.

Globalement, un résultat significatif émerge pour la zone *arrière* du véhicule : 85% des sujets (13 sur 15) ont choisi l'anti-démarrage et le freinage d'urgence, le tout complété par les retours informatifs, les deux conducteurs restants ayant préféré l'anti-démarrage seul.

Pour la zone *avant*, trois quarts des sujets optent encore pour l'anti-démarrage associé au freinage d'urgence, le quart restant préférant l'anti-démarrage seul.

Pour l'*angle mort*, bien que l'anti-démarrage n'ait pas toute son utilité le camion étant en mouvement, la moitié des sujets a encore choisi l'anti-démarrage associé au freinage d'urgence. En revanche, un quart des sujets préfère avoir uniquement un retour informatif pour cette zone. Ces choix peuvent s'expliquer du fait que la situation de tourne à droite a été la plus complexe à gérer sur le simulateur, de ce fait, tous les sujets n'ont pas vu fonctionner les systèmes de façon totalement identique. Hormis les problèmes de simulation, les verbalisations recueillies montrent que ce type d'interaction est difficile à gérer et mériterait d'être étudiée de manière plus spécifique.

Le *rejet du limiteur* est significatif pour une grande majorité des sujets pour les zones arrière (100% de rejet) et latérale (90% de rejet). En ce qui concerne la zone avant, le limiteur a été choisi par seulement un quart des sujets.

Notons enfin que, quelle que soit la zone considérée, tous les sujets ont choisi de compléter les systèmes actifs avec les systèmes informatifs.

Discussion

Les résultats de l'évaluation ergonomique du système VIVRE2 sur simulateur se sont montrés très concluants sur toutes les dimensions retenues, tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif.

En ce qui concerne la charge de travail des conducteurs, la conduite avec le système VIVRE2 n'a pas engendré d'augmentation significative de cette charge. De plus, la conduite avec l'ensemble du système VIVRE2 (informatifs et actifs) a été évaluée comme engendrant moins de stress que la conduite sans système.

Les stratégies d'assistance et d'information du système VIVRE2 ont été parfaitement comprises par l'ensemble des sujets. De plus, les résultats de l'évaluation par critères ergonomiques de l'ensemble des systèmes nous permettent de conclure que le système VIVRE2 devrait être bien reçu et son fonctionnement accepté par les conducteurs de véhicules industriels.

Enfin, compte tenu des choix exprimés par les sujets, le système VIVRE2 devrait pouvoir être testé en situation réelle sur véhicule de démonstration, sans changements fondamentaux, tant au niveau des stratégies d'assistance qu'au niveau des Interfaces Homme-Machine. Quelques réserves restent néanmoins, notamment en ce qui concerne le limiteur, qui semble avoir été rejeté par la majorité des sujets et en ce qui concerne les stratégies d'assistance pour la zone latérale droite (angle mort) qui n'ont pas fait l'unanimité.

Un dernier point est à souligner en termes d'efficacité objective, sur l'ensemble des expérimentations sur le simulateur, le système VIVRE2 a permis d'éviter 89% des accidents avec des usagers vulnérables.

En conclusion, le système VIVRE2 tel qu'il a été conçu et testé dans le cadre de ce projet présente un intérêt certain pour la diminution des accidents entre usagers vulnérables et véhicules industriels en milieu urbain. Néanmoins le développement d'un tel système doit encore passer par plusieurs phases itératives d'évaluations fonctionnelle et ergonomique, notamment en situation réelle de conduite et d'activité.

Le projet VIVRE2, conclusion et devenir

Organisé autour d'une coopération sciences humaines et sciences de l'ingénieur, le projet VIVRE2 a abouti, après trois années de recherches, à la proposition de solutions matérielles, envisageables à court terme, qui permettent d'assister efficacement le conducteur de camion pour éviter les accidents avec des usagers vulnérables en ville lors de manœuvres et déplacements à basse vitesse.

D'un point de vue scientifique, nos travaux ont enrichi les connaissances :

- du point de vue des représentations sociales attachées aux camions circulant en ville,
- dans le domaine de la conscience du danger et de la prise de risque par les usagers vulnérables lors de leurs interactions avec des camions,
- dans le domaine de l'activité de travail des conducteurs de camion effectuant des livraisons quotidiennes en milieu urbain.

Les résultats ont mis en évidence la complexité des études portant sur la compréhension des comportements à risque des usagers vulnérables. Cette dimension spécifique du comportement humain mériterait plus qu'une étude exploratoire telle que celle du projet VIVRE2, et pourrait être prolongée et précisée dans le cadre d'un futur projet.

Les conclusions de l'étude liée à l'analyse des comportements, attitudes et représentations des usagers vulnérables ont abouti à la proposition d'actions informatives à destination de ces usagers. Nos recommandations allaient dans le sens d'une information sur les difficultés que peuvent rencontrer les conducteurs de camion pour détecter les usagers autour de leur véhicule.

Pour illustrer notre propos, il nous semble intéressant de présenter une initiative de la ville de Paris qui répond à ces recommandations. Les Vélib, mis à disposition en libre service dans Paris, comportent, depuis 2009, un autocollant sur le guidon pour informer les utilisateurs des zones de « non visibilité » des poids lourds (1) ainsi que du danger de dépasser un camion par la droite (2) (Image 47).

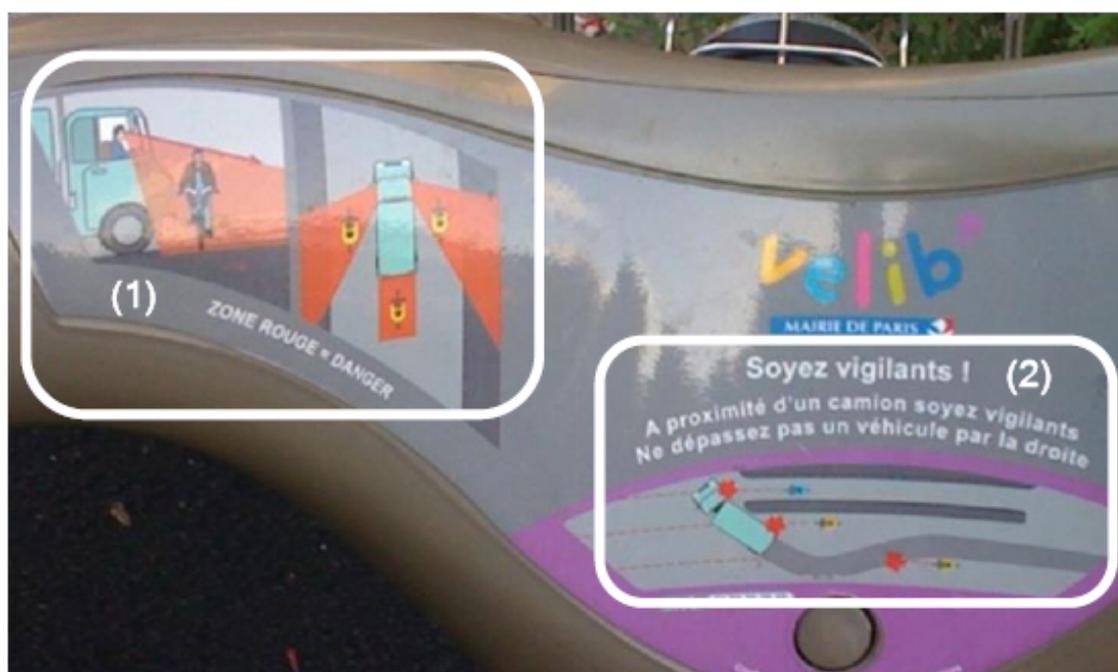


Image 47 : Autocollant figurant sur le guidon des Vélib de la ville de Paris

Cet affichage est complété par un dépliant disponible sur le site de Vélib « Deux roues, attention aux angles morts des camions »¹²⁷.

Les analyses de l'activité des chauffeurs livreurs ont montré que, si la conduite du véhicule reste centrale quant aux objectifs premiers du transport de marchandises – transporter la marchandise d'un point à un autre, elle n'est qu'une des multiples composantes de leur métier. De fait, les temps de conduite ne composent que 31% du temps consacré à la tournée quotidienne, les autres temps étant employés aux opérations de déchargement et/ou chargement, de livraison, voire d'organisation de la tournée et de recherche d'itinéraire. Ainsi, si l'activité de conduite d'un camion en environnement extra-urbain semble impliquer majoritairement les niveaux opérationnels et tactiques de notre modèle, la complexité de l'environnement urbain, mobilise les trois niveaux de traitement de l'information (opérationnel, tactique et stratégique).

D'un point de vue méthodologique, nos interventions ont permis la définition et l'enrichissement d'une base urbaine pour le simulateur de conduite ainsi que la mise au point d'interactions complexes entre les éléments mobiles du simulateur (piétons et cyclistes)

¹²⁷ http://velib.centraldoc.com/newsletter/18_toujours_plus_de_trucs_et_astuces_avec_i_velib

et le véhicule virtuel. Cette base de données a servi de support pour mettre en scène les situations critiques préalablement identifiées dans des scénarii de simulation.

Ces améliorations apportées au simulateur devraient faciliter les observations et expérimentations visant à approfondir les connaissances sur les comportements des conducteurs de camion en situation d'interaction « critique » avec d'autres usagers et ce, dans des conditions parfaites de sécurité. De même, elles permettront de tester et valider certaines solutions techniques dédiées à la sécurité grâce à la réplification de situations critiques impossibles à mettre en œuvre en situation réelle.

Enfin, les travaux ont abouti à la proposition d'un système d'assistance efficace, le système VIVRE2, conçu pour diminuer les accidents entre usagers vulnérables et véhicules industriels en milieu urbain qui s'appuie sur des stratégies dynamiques d'assistance en fonction des comportements du conducteur et de ceux des usagers vulnérables.

Deux types de composants structurent le système VIVRE2 :

- des retours informatifs composés de systèmes de vision directe et indirecte et d'alarmes lumineuses et sonores ont été conçus pour alerter le conducteur d'un risque potentiel tout en lui laissant l'initiative de l'action ;
- une assistance active, composée d'un système d'anti-démarrage, d'un système de freinage d'urgence et d'un limiteur de vitesse a été mise en place pour effectuer les actions correctrices à la place du conducteur si nécessaire (prise en main du véhicule par le système). Le système d'assistance active est complété par les retours informatifs.

Évalué en milieu virtuel par un panel de conducteurs de camion, le système VIVRE2 a montré son efficacité sur simulateur : 89% des accidents ont été évités sur l'ensemble des expérimentations. De plus, les résultats de l'évaluation ergonomique nous permettent de conclure que le système VIVRE2 devrait être bien accepté par les conducteurs de véhicules industriels et son fonctionnement ne devrait pas entraîner une surcharge visuelle ou cognitive.

En conclusion, le système VIVRE2 tel qu'il a été conçu et testé dans le cadre de ce projet présente un intérêt certain pour la diminution des accidents entre usagers vulnérables et véhicules industriels en milieu urbain. Néanmoins, son développement suppose de passer encore par plusieurs phases itératives d'évaluations fonctionnelles et ergonomiques, notamment en situations réelles de conduite et d'activité.

Conclusion générale

Qu'ils relèvent d'une activité professionnelle, comme la conduite d'un véhicule industriel ou d'une activité quotidienne, comme les déplacements piétonniers en milieu urbain, les comportements humains représentent un objet d'étude dont l'intérêt n'a d'égal que la complexité.

Les travaux présentés dans cette thèse ont été réalisés grâce au soutien financier du service Advanced Engineering de l'entreprise Renault Trucks, et à la subvention accordée par l'ANR pour la réalisation du projet VIVRE2 dans le cadre du PREDIT.

La problématique générale qui en constitue le fil conducteur, repose sur la prise en compte des comportements humains dans la démarche de recherche et de conception de systèmes d'assistance à la conduite de véhicules industriels.

Cette problématique est située dans le cadre de deux projets de recherche industrielle, l'un ayant un objectif en termes de productivité du véhicule, le projet « *Conduite Economique Assistée* » ; l'autre un objectif en termes de sécurité des usagers autour du véhicule, le projet « *Véhicules Industriels et Usagers Vulnérables de la Route* ». Ces deux dimensions majeures de l'activité de conduite d'un camion impliquent des enjeux technologiques, économiques, humains et sociétaux non négligeables.

La démarche choisie pour aborder la thématique de la conception de systèmes d'assistance à la conduite d'un véhicule industriel d'un point de vue anthropocentré, place nos travaux à la croisée de la psychologie cognitive expérimentale et de l'ergonomie. Au-delà de la problématique générale de la recherche, cette thèse illustre la complémentarité des Sciences Humaines et des Sciences de l'Ingénieur ; les ingénieurs conçoivent « à leur image », les psychologues sont formés pour écouter et expliquer, les ergonomes font le lien entre activité humaine et utilisation des systèmes.

L'activité de conception des ingénieurs s'appuie sur les spécifications du produit à concevoir ; celles-ci peuvent être techniques, commerciales ou autres par leur contenu ; prescrites ou préconisées, elles seront réparties en impératifs et en souhaits.

Ayant en vue le futur utilisateur, les Sciences Humaines sont amenées à enrichir les spécifications en fonction de celui-ci, modifiant en conséquence les notions de solution admissible et de solution optimale. Elles peuvent ainsi éviter d'éventuelles divergences entre les qualités techniques intrinsèques d'une part, modus operandi et qualité perçue, d'autre part.

Elles peuvent aussi donner une nouvelle définition, anthropocentrée, du principe de non-régression : l'introduction d'un dispositif d'assistance, si merveilleux soit-il, ne doit pas accroître la charge de travail de l'opérateur, ni détourner son attention de la tâche de conduite initiale — bref, ne doit pas faire payer ses vertus par un supplément de pénibilité.

Cependant, prendre en compte les comportements humains pour concevoir un système d'assistance à l'activité, suppose de connaître et comprendre, d'une part les contraintes du fonctionnement humain engagé dans une activité finalisée telle que la conduite d'un véhicule, mais aussi les contraintes inhérentes à l'activité elle-même ainsi qu'à l'environnement (au sens large du terme) dans lequel se situe cette activité.

Notre démarche de recherche a été guidée par la volonté de répondre aux questions pratiques posées par les ingénieurs ainsi que par la nécessité de comprendre et situer l'activité des conducteurs de Transports Routiers de Marchandises, tant d'un point de vue théorique que contextuel.

Les premiers travaux ont consisté à poser le cadre contextuel dans lequel se situe l'activité de conduite d'un véhicule industriel. Ils nous ont permis d'identifier les différents secteurs d'application du Transport Routier de Marchandises, de mettre en évidence la diversité de leurs activités ainsi que les contraintes socio-économiques auxquelles sont confrontés les entreprises de transports et leurs conducteurs. Nous avons pu préciser l'influence des comportements des conducteurs sur la consommation des véhicules et l'importance accordée au couple consommation / temps de parcours dans la gestion économique des entreprises de TRM.

- Ces observations ont été confirmées par les résultats obtenus dans la partie expérimentale consacrée à l'analyse comportementale des conducteurs en situation naturelle, sur véhicule instrumenté pour le projet CEA : nous avons mis en évidence l'existence d'une importante variabilité inter-individuelle, tant en termes de consommation, qu'en termes de vitesse. Nous avons, de plus, relevé une dissociation consommation / vitesse qui prouve qu'il est possible d'adopter une conduite rationnelle sans perte notable de temps.

Cette analyse contextuelle a été complétée par des observations informelles de l'activité de « grands routiers » (conducteurs effectuant des transports nationaux et internationaux) dans le cadre du projet CEA et par des analyses d'activité de « chauffeurs-livreurs » en milieu urbain dans le cadre du projet VIVRE2. Ces observations ont mis en évidence l'importante diversité des métiers du TRM.

- Nous avons notamment relevé les différences fondamentales entre le métier de « grand routier » et celui de « chauffeur-livreur ». Elles s'expriment au niveau de l'environnement dans lequel se situe l'activité de conduite, au niveau du type de véhicule support de l'activité, ainsi qu'au niveau des tâches qui la composent.
- Ainsi, le « grand routier » conduit généralement un tracteur de « gamme haute », attelé d'une remorque dont le PTAC fait rarement moins de 38t, dans un environnement routier ou autoroutier. L'activité de conduite occupe la plus grande partie de son temps de travail et son véhicule devient un lieu de vie lors de ses étapes. Il exerce son activité seul et a peu de contacts avec les autres conducteurs de l'entreprise de même qu'avec les exploitants. Ses contacts avec les clients sont peu nombreux et il est rarement chargé du chargement et du déchargement de sa cargaison. Les conducteurs « grands routiers » expriment ressentir un certain stress dans le cadre de leur activité professionnelle, mais celui-ci n'est pas relatif à la conduite. Il s'exprime en termes de sûreté et serait directement en lien avec les risques d'agression et de vol de la cargaison et/ou de la remorque sur les divers parkings routiers.
- Quant au « chauffeur-livreur », il exerce son activité au volant d'un porteur qui fait rarement plus de 12t de PTAC, dans un environnement majoritairement urbain qu'il partage avec un grand nombre d'usagers vulnérables. L'activité de conduite n'occupe en moyenne que 30% de son temps de travail, les autres temps étant consacrés à des tâches de manutention et de livraison. Il a de nombreux contacts avec ses collègues, l'entraide est de mise dans ce métier, et il n'est pas rare de voir un conducteur aider, par téléphone interposé, l'un de ses collègues pour trouver

une adresse, un client. Ses contacts avec les clients sont nombreux et parfois conflictuels, il livre souvent plus d'une vingtaine de clients par jour. La pression temporelle est l'une des contraintes majeures de ce type d'activité. Les chauffeurs-livreurs décrivent leur activité comme génératrice d'un stress important. Ce stress semble directement lié à la conduite en milieu urbain et dépend notamment des comportements « dangereux » des usagers vulnérables, piétons et cyclistes autour du véhicule. Les conducteurs s'estiment responsables, en tous lieux, de la sécurité des usagers vulnérables.

Ainsi, la diversité des métiers du TRM oblige, avant toute intervention ergonomique liée à la conception d'un système d'aide à la conduite, de préciser le type de véhicule pour lequel le système sera conçu, l'environnement dans lequel il sera utilisé ainsi que l'activité même dans laquelle se situera la conduite.



Après avoir étudié le contexte dans lequel s'effectue le pilotage d'un véhicule lourd, nous avons orienté nos recherches vers un modèle de l'activité humaine qui nous permette d'identifier les différentes composantes du fonctionnement humain et leur organisation en vue d'une activité finalisée. Cette recherche a fait émerger trois modèles génériques (Richard, 1998 ; Martin, 2005 ; et Rasmussen, 1983) à partir desquels nous avons développé notre cadre théorique. La complémentarité de ces modèles nous a permis de mettre en lien, dans une perspective dynamique et appliquée à l'activité de conduite d'un véhicule, les dimensions cognitives principalement impliquées dans les processus du traitement de l'information qui aboutissent à la prise de décision et à la production d'une action.

Pour le conducteur, l'action de conduire se traduit par une longue suite de choix et de décisions plus ou moins conscients. L'environnement dans lequel il se déplace et le véhicule qu'il pilote lui transmettent une quantité importante d'informations qu'il reçoit par l'intermédiaire de ses organes sensoriels. Il doit sélectionner celles qui lui sont immédiatement utiles pour l'action engagée, les interpréter et agir en conséquence sur les commandes du véhicule. L'activité de conduite d'un véhicule est donc composée d'un ensemble de tâches sensori-motrices et cognitives dont l'exécution peut être automatisée ou sous contrôle attentionnel. L'exécution de ces tâches engendre, chez le conducteur, un certain niveau de charge de travail dépendant du niveau d'automatisation des tâches.

Prise d'information, interprétation et action sont les trois étapes clés de l'action de conduite d'un véhicule et s'exercent selon une boucle répétitive. Au cœur de cette boucle se situe le système mnésique qui peut être considéré comme un organisateur central de l'activité. Ses divers composants permettent de médiatiser, de guider, d'orienter, d'initier les processus. Ainsi, la représentation fonctionnelle contenue en mémoire opérationnelle orientera la prise d'information en fonction de la situation en cours ; les représentations et connaissances déclaratives stockées en mémoire à long terme médiatiseront la prise d'information et en guideront l'interprétation ; les connaissances procédurales organisées sous forme de schémas d'action seront activées, par, et pour l'action, et permettront une mise en œuvre efficace et rapide des habiletés cognitives acquises par l'apprentissage et la pratique (l'expertise).

En complétant cette approche cognitive de l'activité humaine par deux modèles adaptés à la spécificité de la conduite d'un véhicule (Michon, 1985 ; et Labiale, 1983), nous avons proposé un modèle de l'activité humaine finalisée qui organise et situe ces dimensions

cognitives dans une perspective applicative et méthodologique. Ce modèle voit l'émergence d'une dimension ergonomique fondamentale dans l'activité finalisée : la charge de travail comme conséquence de l'activité sur l'individu. Il est décliné en deux versions :

- Une première version du modèle situe le déroulement de l'activité humaine, de la prise d'information à la finalisation de l'action, sans lui attacher de spécificité. Il est adaptable à diverses activités finalisées. Dans la quatrième partie de cette thèse, nous l'avons adapté à l'activité de déplacement des piétons en milieu urbain.
- La deuxième version, identique sur le fond, est adaptée à l'activité de conduite d'un camion. Elle précise les dimensions spécifiques de cette activité et propose des approches méthodologiques adaptées à l'étude de chacune des dimensions. Ce modèle nous a servi de support théorique et méthodologique pour l'étude comportementale de l'activité de conduite d'un camion en environnement naturel dans la troisième partie de ce travail.



Analyser l'activité des conducteurs pour apporter un éclairage cognitif et comportemental à la démarche de conception d'un système d'assistance à la conduite d'un véhicule suppose de connaître les spécificités de ces systèmes et les dimensions humaines impliquées dans leur utilisation. La littérature abondante dans le domaine des interactions homme-machine et des systèmes d'assistance à la conduite de véhicules automobiles nous a permis de préciser, d'un point de vue anthropocentré, les problèmes liés aux stratégies d'assistance, notamment en ce qui concerne la présentation des interfaces. En effet, quel que soit le mode de fonctionnement du système, la gestion des interactions entre l'homme et la machine, suppose la diffusion de l'information et nécessite une interface technique par laquelle le conducteur est à même de réaliser son activité. Cependant, l'homme dispose de peu de canaux sensoriels permettant de recevoir et d'interpréter les informations et consignes diffusées par les systèmes d'assistance. C'est pourquoi la grande majorité des interfaces homme-machine installées dans le poste de conduite utilise des modalités visuelles pour délivrer informations et consignes. Cette surabondance de signaux visuels, de plus en plus souvent complétés par des signaux auditifs, risque de provoquer, chez le conducteur, une surcharge cognitive incompatible avec les exigences de sécurité attachées à la conduite d'un véhicule automobile et a fortiori d'un poids lourd. Il devient donc urgent d'utiliser des modalités différentes pour délivrer l'information aux conducteurs.

En collaboration avec les ingénieurs, nous nous sommes appuyée sur ces constats pour proposer une IHM innovante, basée sur un retour d'effort dans la pédale d'accélération, pour le projet CEA. Néanmoins, l'étude expérimentale, appliquée sur simulateur dynamique de conduite pour valider son intérêt, a montré que les informations et consignes données par la pédale nécessitaient d'être « justifiées » par des retours visuels. Ainsi, même si cette pédale à rétroaction haptique a été jugée efficace et intéressante comme interface homme-machine, il semble que les conducteurs ne soient pas encore prêts à accorder une confiance « aveugle » à ce type de système.

Forts de cette expérience et bien que conscients de ne pas appliquer les principes énoncés précédemment, les stratégies d'assistance et les interfaces proposées pour le système VIVRE2 s'appuient sur des modalités visuelles et auditives. Toutefois, l'évaluation ergonomique de ces systèmes sur simulateur dynamique de conduite n'a pas montré d'augmentation de la charge de travail, ni de sa composante mentale lors de leur utilisation.



La connaissance des dimensions contextuelles et théoriques de l'activité de conduite d'un véhicule industriel nous a permis d'établir le cadre nécessaire à l'application de notre démarche empirique. De plus, la finalité de chacun des systèmes proposés a différencié, d'emblée, le domaine d'activité, le type de véhicule à équiper et l'environnement même, pour lesquels l'assistance devait être conçue. Ainsi, pour le projet CEA, le développement d'un système d'assistance à la conduite rationnelle prenait sens pour réduire la consommation des véhicules effectuant des trajets moyennes et longues distances hors milieu urbain ; alors que la problématique de la protection des usagers vulnérables du projet VIVRE2 concernait essentiellement les véhicules utilisés pour effectuer des livraisons en milieu urbain.

Toutefois, bien que les contextes d'application de chacun des deux systèmes projetés soient différents, les travaux ont revêtu le même caractère exploratoire, et la démarche de recherche a procédé de la même logique de réalisation pour chacun des projets :

- Une première étape, composée d'enquêtes auprès des usagers et des conducteurs, d'observations et d'analyses de l'activité en situations naturelles, a permis de dégager les modèles et cas d'application des stratégies d'assistance,
- Une étape intermédiaire, exécutée en collaboration étroite avec les ingénieurs, a abouti à la définition des stratégies d'assistance et à la spécification des IHM,
- Une troisième étape empirique, effectuée sur le simulateur dynamique de Renault Trucks, a permis de tester d'un point de vue ergonomique les stratégies d'assistance et les IHM des systèmes proposés.

Chaque étape a permis de dégager des connaissances générales et spécifiques, tant sur un plan scientifique, que méthodologique ou appliqué.

D'un point de vue psychologique et social, nos travaux se sont intéressés aux comportements de deux catégories d'usagers de la route : les conducteurs de poids lourd et les usagers vulnérables, piétons et cyclistes.

Les actions de recherche effectuées dans le cadre général du TRM, nous ont permis d'explorer deux secteurs d'activité des conducteurs routiers, le « transport routier longues distances » et la « distribution » en milieu urbain. Nous avons identifié les contraintes de l'activité de conduite relative à chaque secteur et essayé d'en comprendre les caractéristiques. Du fait de l'objectif pratique associé à chaque secteur, la démarche expérimentale et les outils d'observation diffèrent quelque peu :

- Pour le projet CEA, l'étude comportementale des conducteurs en situation naturelle a nécessité la mise en place d'un dispositif expérimental « contrôlé » avec l'utilisation d'un véhicule instrumenté, la définition de deux parcours expérimentaux spécifiques et un échantillon de trente trois conducteurs professionnels. Les données recueillies sont issues d'enregistrements directs sur le calculateur du véhicule, d'observations relevées sur les grilles d'observation, des questionnaires et tests proposés aux conducteurs et de leurs verbalisations.
- Pour le projet VIVRE2, les analyses d'activité ont été effectuées en suivant la tournée quotidienne d'une quinzaine de chauffeurs-livreurs, à bord de leur véhicule habituel. Les données recueillies sont issues des verbalisations des conducteurs, des grilles d'observation de l'environnement et des comportements observables des conducteurs.

Les actions de recherche effectuées auprès de plus de 400 usagers vulnérables en milieu urbain dans le cadre du projet VIVRE2 nous ont permis d'identifier :

- la teneur des représentations qu'ont les usagers vulnérables à propos des camions, négatives, certes, mais axées essentiellement sur des notions de nuisances environnementales et non de danger en termes de sécurité routière ;
- l'évaluation du danger que représente la présence de camions en fonction des infrastructures urbaines (secteurs piétonniers vs secteurs ouverts à la circulation) ;
- l'adoption habituelle, par les piétons, de comportements à risque face aux camions.

D'un point de vue ergonomique et cognitif, hormis les analyses destinées à l'évaluation des systèmes, les résultats portent essentiellement sur l'étude comportementale effectuée sur véhicule instrumenté dans le cadre du projet CEA.

- Les évaluations effectuées en situation naturelle de conduite nous ont permis de constater que le niveau de la charge de travail, bien que relativement faible comparé à d'autres activités de pilotage (pilotage d'un avion, contrôle aérien...), varie en fonction de la complexité de l'environnement routier. Ainsi, conduire un camion sur un parcours complexe, plus exigeant en termes de ressources attentionnelles et cognitives, provoque une charge de travail plus élevée que sur un parcours autoroutier.
- De plus, le *NASA TLX modifié* a mis en évidence l'importance et le rôle de la charge mentale dans l'activité de conduite d'un camion.

Il semble donc que la charge de travail soit effectivement dépendante de la quantité de ressources attentionnelles mobilisées par l'activité et du niveau d'automatisation des tâches qui la composent.

Compte tenu de ces résultats, il était légitime de supposer que la conduite rationnelle reposait sur des composantes automatisées, acquises par l'apprentissage et l'expérience, et s'appuyant sur des invariants comportementaux identifiables et exploitables par un système d'assistance.

- Il semble que, sur un parcours complexe, une consommation élevée, s'accompagne d'une augmentation du *nombre d'appuis sur les freins* et du *temps passé hors zone verte*¹²⁸.
- Toutefois, sur le parcours plus simple aucune corrélation n'a été observée entre la consommation et les indicateurs identifiés.
- En revanche, *l'utilisation de la zone verte*, du *régulateur de vitesse*, et de la *boîte de vitesse* (nombre de changements de rapports) semblent constants dans les comportements de conduite, quel que soit le parcours abordé (les autres indicateurs étudiés étaient l'utilisation des freins et des ralentisseurs).

La conduite hors zone verte et l'utilisation de la boîte de vitesse relèvent probablement des composantes automatisées de la conduite d'un véhicule : le conducteur n'a plus recours à une démarche « consciente » pour mettre en œuvre ces automatismes. Ces observations nous semblent intéressantes, non seulement dans le cadre de la conception d'un système d'assistance à la conduite, mais aussi dans le cadre des actions de formation et d'apprentissage. Ce sont, en effet, les composantes les plus automatisées de l'activité qui présenteront le plus de résistance à l'interférence et au changement. Ce sont peut-être aussi celles sur lesquelles un système d'assistance doit essayer d'agir. En ce qui concerne nos travaux, l'Eco-Driving System est prévu pour fonctionner avec une boîte de vitesse

automatique, ce qui règle le problème de la conduite hors zone verte et de l'utilisation de la boîte de vitesse. De plus, il nous semble que les conducteurs qui utilisent régulièrement le régulateur de vitesse accepteront plus facilement l'intervention d'un nouveau système d'assistance à la conduite.

Compte tenu de la faiblesse des premiers résultats, nous avons effectué une analyse qualitative des données qui nous a permis d'identifier et de caractériser trois styles de conduite : « efficace », « moyennement efficace » et « inefficace » en termes de conduite rationnelle. Ils s'expriment essentiellement par l'anticipation des événements (ralentissements ou arrêts prévisibles, ruptures de profil), l'utilisation de l'énergie cinétique du véhicule, l'utilisation correcte du régime moteur et la vitesse de franchissement des différents types d'infrastructure, notamment les ronds-points et les virages.

Enfin, nous avons tenté d'expliquer, en termes cognitifs (connaissances, formation, style cognitif) et ergonomiques (charge de travail), la variabilité inter-individuelle observée dans les comportements de conduite.

- Les tests et analyses appliqués n'ont montré aucun résultat significatif. Il semble que le style de conduite d'un conducteur de camion, en termes de conduite rationnelle, repose essentiellement sur des automatismes acquis, peu sensibles à l'interférence et ne générant que pas, ou peu de charge mentale.
- De plus, dans la mesure où les analyses n'ont pas mis en évidence de liens entre la formation à la conduite rationnelle et les comportements de conduite, nous pensons que ces automatismes dépendent, presque exclusivement, de l'apprentissage initial ainsi que des expériences rencontrées par les conducteurs au cours de leur activité de conduite (bien qu'ils puissent être temporairement modifiés par une formation récente).

Toutefois, ces résultats sont à considérer avec prudence. En effet, la taille de l'échantillon, sa composition et l'orientation même de l'étude, n'ont pas permis l'application d'un plan d'expérience pertinent pour une réelle étude différentielle.

En revanche, les analyses des représentations qu'ont les conducteurs de la conduite rationnelle, ont été globalement positives.

- L'information qui nous semble la plus importante est celle qui a trait au plaisir de conduire. En effet, puisque les conducteurs estiment que la conduite « économique » ne supprime pas le plaisir de conduire, on peut supposer qu'ils suivront les conseils donnés par un système d'assistance leur permettant de consommer moins de carburant, sans perdre de temps.

D'un point de vue méthodologique, les travaux ont généré la réalisation de plusieurs outils :

- Une application informatique a été développée pour traiter et présenter, de façon conviviale (accessible à la compréhension d'une psychologue non informaticienne !), les données enregistrées sur le calculateur du véhicule et/ou du simulateur de conduite dans le cadre du projet CEA.
- Nous avons adapté et validé deux versions du NASA TLX, l'une destinée à l'évaluation de la charge de travail des conducteurs routiers professionnels en *situation naturelle* sans tenir compte des systèmes embarqués (projet CEA), et l'autre destinée à l'évaluation de la charge de travail engendrée par l'utilisation de systèmes d'assistance, en *situation simulée* (projet VIVRE2).

- Enfin, dans le cadre du projet VIVRE2, nous avons contribué à la création et à l'enrichissement d'un circuit urbain pour le simulateur de conduite de Renault Trucks. Pour compléter le circuit, nous avons écrit plusieurs scénarii originaux comprenant des interactions complexes entre les mobiles et le véhicule virtuel.

D'un point de vue appliqué, les évaluations, globalement positives, des différents systèmes sur simulateur de conduite nous ont permis d'émettre des conclusions et des recommandations quant aux différents systèmes et interfaces proposés.

L'Eco-Driving System

Rappelons que l'interface proposée dans le cadre du projet CEA est composée d'une pédale d'accélération à retour d'effort, couplée à des retours visuels.

L'installation sur les véhicules industriels d'un système d'assistance qui puisse gérer efficacement la consommation de carburant et ce, quel que soit le conducteur, semble être une solution incontournable pour l'avenir en accord avec les principes du développement durable.

- Pour être efficace, un système d'assistance à la conduite rationnelle doit être en relation avec un système de localisation par satellite et s'appuyer sur les données d'une cartographie précise (pourcentage des pentes, angles des virages...) adaptée à la circulation des poids lourds. Cette cartographie, associée à une information sur les événements routiers aléatoires (bouchons, accidents, intempéries...), pourrait aider efficacement les conducteurs ayant un comportement habituel moyennement ou très consommateur, en anticipant les événements et l'infrastructure routière nécessitant un arrêt complet (péages, stops...) ou un ralentissement important (ronds-points, virages).
- Pour être accepté et utilisé correctement par les conducteurs, le système développé devra bénéficier d'une interface homme-machine cohérente, ne mobilisant pas ou peu les ressources attentionnelles du conducteur. Les consignes devront être simples et intuitives, en évitant les traitements cognitifs complexes au profit de traitements perceptifs simples. Les concepteurs doivent conserver à l'esprit qu'une assistance à la conduite rationnelle doit rester secondaire par rapport aux objectifs de sécurité attachés à la conduite de tout véhicule et a fortiori aux véhicules les plus lourds.

Ainsi, une utilisation judicieuse d'un système d'assistance à la conduite, complété par une interface « sensitive » telle qu'une pédale d'accélération à retour d'effort, pourrait permettre, non seulement de réduire la consommation de carburant, mais aussi d'avoir un impact positif en termes de sécurité par l'anticipation de situations potentiellement dangereuses ou délicates. Plutôt que développer différents systèmes d'assistance indépendants les uns des autres, il semble plus rationnel, quand c'est possible, de conjuguer différentes fonctions dans un seul support. On pourrait imaginer, par exemple, coupler un système d'assistance à la conduite rationnelle avec un système de prédiction du renversement...

Enfin, cette action de développement ne doit pas ignorer le bénéfice des formations à la conduite rationnelle. Même si celles-ci semblent avoir des effets limités dans le temps, il n'en reste pas moins qu'elles permettent aux conducteurs de diminuer sensiblement leur consommation quand ils font l'effort d'en appliquer les principes. De plus, ceux-ci

en reconnaissent l'intérêt, et ne semblent pas considérer la conduite économique comme une contrainte diminuant le plaisir de conduire. Il est donc légitime de supposer qu'un système qui conseillerait efficacement les conducteurs pourrait être considéré comme un bon complément relayant la formation, voire comme un support pour une formation continue.

Le système VIVRE2

Le système VIVRE2, conçu pour diminuer les accidents entre usagers vulnérables et véhicules industriels, s'appuie sur des stratégies dynamiques d'assistance en fonction des comportements du conducteur et de ceux des usagers vulnérables. Tel qu'il a été testé sur simulateur de conduite, il repose sur deux principes :

- une assistance « informative », composée de systèmes de vision directe et indirecte et d'alarmes lumineuses et sonores, a été conçue pour alerter le conducteur d'un risque potentiel tout en lui laissant l'initiative de l'action ;
- une assistance « active », composée d'un système d'anti-démarrage, d'un système de freinage d'urgence et d'un limiteur de vitesse, a été mise en place pour effectuer les actions correctrices à la place du conducteur si nécessaire (prise en main du véhicule par le système). Le système d'assistance active est complété par les retours informatifs.

L'installation d'un tel système sur les véhicules industriels circulant en milieu urbain présente un intérêt indéniable pour la diminution des accidents entre usagers vulnérables et véhicules industriels en milieu urbain.

Évalué en milieu virtuel par un panel de conducteurs de camion, le système VIVRE2 a montré son efficacité : 89% des accidents ont été évités sur l'ensemble des expérimentations. Les résultats de l'évaluation ergonomique nous permettent de conclure que le système VIVRE2 devrait être bien accepté par les conducteurs de véhicules industriels et son fonctionnement ne devrait pas entraîner de surcharge visuelle ou cognitive. De plus, les conducteurs ne paraissent pas opposés à l'utilisation de systèmes d'aide à la conduite, particulièrement si ces systèmes sont fiables et capables de faciliter les manœuvres en milieu urbain.

Enfin, l'utilisation de ce type de système, outre le bénéfice apporté en termes de sécurité routière, devrait diminuer de manière significative le stress provoqué par la conduite en environnement urbain et, de ce fait, la charge de travail du conducteur. Ainsi, le système VIVRE2 ne peut qu'améliorer les conditions de travail des chauffeurs-livreurs en ville.



En conclusion, la nature exploratoire des travaux présentés dans cette thèse et le cadre contraint de leur réalisation peut expliquer la faiblesse de certains résultats, notamment dans le cadre du projet CEA. En effet, la taille réduite (du point de vue de la psychologie différentielle) de l'échantillon ayant participé à la démarche expérimentale en milieu naturel, ne nous a pas permis d'appliquer les analyses qui auraient pu faire ressortir l'implication de facteurs différentiels dans les comportements des conducteurs.

Soulignons cependant, qu'étant donné le contexte et la population professionnelle à laquelle nous nous adressons, nous pouvons considérer comme une chance d'avoir disposé d'un échantillon aussi conséquent. Mobiliser un nombre supérieur et suffisant de conducteurs pour effectuer une recherche pertinente en termes de psychologie différentielle, aurait relevé du challenge, non seulement du fait des coûts, mais aussi du fait de la durée du protocole expérimental et du volume des données à traiter. Rappelons que les trente trois observations ont été étalées sur plus d'une année en raison, d'une part, des exigences des protocoles expérimentaux qui nécessitaient le contrôle a minima de quelques variables environnementales (conditions de trafic, de météo...), et, d'autre part, des contraintes liées aux entreprises qui nous déléguaient les conducteurs.

Par ailleurs, toujours dans le projet CEA, on peut regretter de n'avoir pu tester l'interface « pédale à retour d'effort » dans une application à la conduite rationnelle. Les résultats de l'évaluation auraient peut-être été différents si l'interface n'avait pas été utilisée dans un but sécuritaire. Quoi qu'il en soit, si le constructeur décide de développer ce type d'interface, sa validation définitive nécessitera une nouvelle mise au point sur simulateur pour l'adapter à la problématique de la conduite rationnelle et une évaluation ergonomique complémentaire, sur véhicule, en situation naturelle, avec des conducteurs routiers professionnels.

Quant au projet VIVRE2, il aboutit à l'étude d'un projet binational (France/Canada) : PROACT'UV – Protection Active des Usagers Vulnérables. L'idée sous-tendant ce projet est qu'à partir des systèmes de détection et d'information au conducteur développés dans VIVRE2, il est possible de proposer une stratégie d'assistance non seulement au conducteur du camion, mais aussi à destination des conducteurs des autres véhicules qui circulent à proximité, ainsi qu'à destination des usagers vulnérables (si l'on peut amener de l'information au conducteur, on peut en amener aux autres usagers de la route). Cet avant-projet est soutenu par le pôle de compétitivité LUTB2015 pour la France et le créneau d'excellence québécois ACCORD (transports) pour le Canada. Dans sa dimension nationale, le projet PROACTUV prévoit de développer et tester le système VIVRE2 à la fois sur un camion de démonstration et sur un autobus urbain avec les mêmes objectifs et finalités que pour le projet international.

Enfin, si l'Homme moderne s'appuie de plus en plus sur les technologies, la conception de systèmes techniques n'a sens que par l'existence de l'Homme. La position de l'Homme doit donc rester centrale dans la préoccupation des concepteurs.

Bibliographie et références

Ouvrages, revues, rapports, thèses

- Abric, J.C. (1976). Jeux, conflits et représentations sociales. *Thèse de Doctorat d'Etat de l'Université d'Aix en Provence*.
- Abric, J.C. (1987). *Coopération, compétition et représentations sociales*. Cousset : Delval.
- Abric, J.C. (1994). *Pratiques sociales et représentations*, Paris : PUF.
- Amalberti, R., (1996). *La conduite des systèmes à risques*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Atkinson, R.C. et Shiffrin, R.M. (1968). Human memory : a proposed system and its control processes, in K.W. Spence et J.T. Spence (eds), *The psychology of learning and motivation*, vol.2, New York, Academic Press, pp. 89-195.
- Auboyer, A. (2005). *Simulation dynamique de la conduite d'un véhicule industriel : de la fidélité physique à la fidélité psychologique*. Rapport méthodologique pour le Master Recherche « Psychologie cognitive et modélisation des comportements », Université Lyon2.
- Averty, P. (1998). Les effets de la charge de trafic sur le niveau d'activation psychophysologique du contrôleur aérien. *Thèse de Doctorat en Psychologie Cognitive*, Université Lumière Lyon 2.
- Baddeley, A.D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Science*, 4, 417-423
- Baddeley, A.D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G.H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, vol. 8, New York, Academic Press, pp. 47—89.
- Bainbridge, L. (1980). Le contrôleur de processus, *Bulletin de Psychologie Française*. 34 (17), pp 813-832.
- Béchet, S., Combe-Pangaud, C., 2002. La conduite d'un véhicule industriel : Représentations et facteurs conatifs du conducteur. *Rapport de recherche*, Projet Conduite Economique Assistée, n° 1326, Renault Trucks, St Priest.
- Bellet, T-X. (1998). Modélisation et simulation cognitive de l'opérateur humain : une application à la conduite automobile. *Thèse de doctorat en psychologie cognitive (ergonomie cognitive)*, Université Paris V.
- Bensaïd, B. (2003). Transports routiers : des carburants traditionnels aux solutions de rupture technologique. *Les Annales des Mines : Réalités Industrielles*, nov. 2003.
- Bentley, R., Hughes, J.A., Randall, D., Rodden, T., Sawyer, P., Shapiro, D., Somerville, I. (1992). Ethnographically-informed systems design for air traffic control. In: *Proceedings of the CSCW '92*, ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work.

- Bergeron, J., Laviolette, E., Perraton, F., Joly, P. (1999). Application of driving simulation techniques for the dissuasion of alcohol-impaired driving, (pp.115-124) In Brookhuis, De Waard, & Weikert (Eds), *Simulators and Traffic Psychology*. The Netherlands : HFES.
- Bernadet, M., 1996. Distribution des marchandises en zone urbaine : Le rapport du Conseil National des Transports. *Transports Urbains*, n° 91.
- Bisseret, A. (1970). Mémoire opérationnelle et structure de travail, *Bulletin de psychologie*, XXIV, 280-294.
- Bossin, P. (2002). Les aspects économiques de la conduite d'un véhicule industriel. *Rapport final, projet Renault Trucks 1326*, St Priest.
- Brénac, T., Nachtergaële, C., Reigner, H. (2003). Scénarios types d'accidents impliquant des piétons et éléments pour leur prévention. Rapport d'étude INRETS n° 256. Les collections de l'INRETS, Arcueil.
- Cadet, B. (2005). Traitements cognitifs de la complexité dans les jugements probabilistes multi-indices. In B. Cadet(Ed.), *La complexité : ses formes, ses traitements, ses effets*". Cahiers de la MRSH, n° spécial 04-2005, pp. 19-28. Caen, MRSH.
- Camus, J-F. (1988). La distinction entre les processus contrôlés et les processus automatiques chez Schneider et Shiffrin, in P. Perruchet (ed.), *Les automatismes cognitifs*, Bruxelles, Mardaga.
- Camus, J-F. (1996). *La psychologie cognitive de l'attention*, Paris, Armand Colin/Masson.
- Carroll, J., Rudolph, J., Hatakenaka, S., Weiderhold, T., Boldrini, M. (2001). Learning in the context of incident investigation: team diagnoses and organizational decisions at four nuclear power plants. In: Salas, E., Klein, G. (Eds.), *Linking Expertise and Naturalistic Decision Making*. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ, pp. 349–366.
- Chapon, A., Gabaude, C., Fort, A. (2006). Défauts d'attention et conduite automobile : Etat de l'art et nouvelles orientations pour la recherche dans les transports. Synthèse INRETS n°52.
- Charron, C. (2005). Relations entre les enjeux et les comportements de traversée d'une chaussée. Etudes exploratoires chez l'enfant de 6 à 12 ans. *Développement social et sécurité routière, psychologie du développement social et psychologie sociale du développement, au service de la compréhension de l'éducation routière*, rapport final INRETS SU03000297.
- Cholez, C. (2001). *Une culture de la mobilité, trajectoires et rôles professionnels des chauffeurs-livreurs de messagerie et fret-express*. Thèse de doctorat de sociologie, Université de Tours, Tours.
- Collet C., Averty P., Dittmar A. (2009). Autonomic nervous system and subjective ratings of workload in air-traffic control. *Applied Ergonomics*, 40, 23-32.
- Collet C., Delhomme G., Dittmar A., Petit C., Priez A., Tarriere C., Vernet-Maury E. (1994). Les réponses neurovégétatives de conducteurs automobile lors d'une tentative d'évitement de choc à vitesse élevée. *Science et Motricité*, 24, 20-29.

- Collet C., Petit C., Priez A., Brigout C., Dittmar, A. (2003). Effects of a precision docking system on mental load in bus drivers during tight manoeuvre. *Human Factors*, 45, 539-548.
- Collet C., Petit C., Priez A., Dittmar A. (2005). Stroop color-word test, arousal, electrodermal activity and performance in a critical driving situation. *Biological Psychology*, 69, 193-203.
- Combe-Pangaud, C. (2002). Représentations des acteurs du transport routier de marchandises sur la conduite d'un véhicule industriel. *Rapport de recherche*, Projet Conduite Economique Assistée, n° 1326, Renault Trucks, St Priest.
- Connelly, S., Lindsay, P., Neal, A., Humphreys, M. (2001). A formal model of cognitive processes for an air traffic control task. *Technical Report 01-31*, Software Verification Research Center, The University of Queensland.
- Cvetkovich, G., & Earle, T. (1988). Decision making and risk taking of young drivers : Conceptual distinctions and issues. *Alcohol, Drugs & Driving*, 4, 9-19.
- Damasio, A. R. (1995). *L'erreur de Descartes*. Paris : Odile Jacob.
- De Gaudemaris, R., Frimat, P., Chamoux, A. (1998). *Mesure de la pression artérielle et de la fréquence cardiaque en activité professionnelle*. Cachan : Éditions Médicales Internationales.
- De Montmollin, M. (1995). *Vocabulaire de l'ergonomie*. Toulouse : Editions Octarès.
- De Rosnay, J. (1975). *Le microscope, vers une vision globale*. Paris : Editions du Seuil.
- Delignières, D. (1993). Risque préférentiel, risque perçu et prise de risque, In J.P. Famose (Ed.), *Cognition et performance*. Paris: INSEP, pp 79-102.
- Doll, T.J., Folds, T.J., Leiker, L. (1984). *Auditory information systems in military aircrafts: current configurations versus the state of the art*. Books Air Force Base, TX: USAF School of Aerospace Medicine.
- Farbos, B., Cabon, P., Bourgeois, S., & David, H. (1998). Performance and psychophysiological measures of fatigue in air traffic controllers. *Measuring behavior 98, 2nd International Conference on Methods and Techniques in Behavioral Research*, Groningen, The Netherlands.
- Fastreza, P. et Haué, J.B. (2008). Designing and evaluating driver support systems with the user in mind. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66, 125–131.
- Flament, C. (2003). Structure et dynamique des relations sociales. In D. Jodelet (Dir), *Les représentations sociales*. Paris : PUF (7^{ème} édition).
- Floru, R., Cnockaert, J.C. (1991). *Introduction à la psychophysiologie du travail*. Nancy : Presses Universitaires de Nancy.
- Fornengo, S. (2004). Rapport intermédiaire d'avancement. Convention ADEME n° 03 66 027 ; *Projet « Conduite Économique Assistée »*.
- Fornengo, S., Rochas, C., Maincent, A. (2004). Cahier des charges du Driver Behaviour Analysis, *Projet Conduite Economique Assistée, n° 1326*, Renault Trucks, St Priest.
- Galinier, V. (1992). Ergonomie et automatisation dans les véhicules lourds, *Mémoire du DEA d'ergonomie du CNAM*.

- Gawron, V. (2000). *Human Performance Measures Handbook*. Mahwah : Lawrence Erlbaum Associates.
- George, C. (1988). Interactions entre les connaissances déclaratives et procédurales, in P. Perruchet (Ed.), *Les automatismes cognitifs*, Liège, Mardaga.
- Germain, C. (1988). Le conducteur routier, gestionnaire de contraintes. *Thèse de doctorat en ergonomie*, CNAM, Paris.
- Germain, C., Alauzet, A., Blanchet, V. (1990). *Conduire un camion avec ou sans tableau de bord*, Rapport INRETS.
- Germain, C., Duraz, M., Blanchet, V. (1994). *Un simulateur de tableau de bord de poids lourds. Conception et expérimentation*, Rapport INRETS n°184.
- Granié, M.A. (2004). L'éducation routière chez l'enfant : évaluation d'actions éducatives, Apports de la recherche en psychologie du développement à la compréhension de l'enfant en sécurité routière. Rapport INRETS n°254.
- Guillevic, C., 1991. *Psychologie du travail*. Paris : Éditions Nathan Université.
- Haehnsen, E. (1996). Le Volant est-il bien nécessaire ? *La Recherche*, 285, 90-92.
- Harbluk, J.L. & Lalande, S. (2005). Performing email tasks while driving: the impact of speech-based tasks on visual detection. *Driving Assessment 2005*, Rockport, Maine.
- Harbluk, J.L., Noy, Y.I., Trbovich, P.L., Eizenman, M. (2007). An on-road assessment of cognitive distraction: Impacts on drivers' visual behavior and braking performance. *Accident Analysis and Prevention*, 39, 372–379.
- Hart, S.G. & Staveland, L.E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): results of empirical and theoretical research. In P. Hancock and N. Meshlcati (eds), *Advances in psychology: human mental workload*. (North Holland: Elsevier Science), 139–183.
- Hartemann, F. (1993). *Conduite automobile : analyse de la tâche, spécification des aides*. Rapport interne de la société Triel, N°FH/FH/9301 IND.
- Hasher, L. and Zacks, R.T. (1979). Automatic and effortful processes in memory, *Journal of Experimental Psychology: General*, 108, 356-388.
- Heath, C. & Hindmarsh, J. (2000). Configuring action in objects: from mutual space to media space. *Mind, Culture, and Activity*, 7 (1&2), 81–104.
- Hillmeyer, F. (2004). Extrait du rapport pour la mission parlementaire « Transport Routier de Marchandises ».
- Hirst, S. & Graham, R. (1997). The format and presentation of collision warnings. In Y.I. Noy (Ed.), *Ergonomics and safety of intelligent driver interfaces* (pp. 203–219). New Jersey: LEA.
- Hoc, J.M. (1982). Représentation des données et structure de contrôle d'un processus de traitement, *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 2, 389-420.
- Hoc, J-M. (1996). *Supervision et contrôle de processus, la cognition en situation dynamique*. Collection Sciences, Technologies et Connaissances, Presses Universitaires de Grenoble.
- Horace (65-8 avant JC). « *Epîtres I* »

- Houdé, O., Kayser, D., Koenig, O., Proust, J., & Rastier, F. (1998). Vocabulaire de sciences cognitives. Paris: PUF.
- Inhelder, B., Ackerman-Valladao, E., Blanchet, A., Karmin-Loff-Smith, A., Kilcher-Hagedorn, H., Montangero, J. et Robert, M. (1976). Des structures cognitive aux procédures de découverte, *Archives de Psychologie*, 44, 57-72.
- Irwin, C., & Millstein, S. (1992). Risk-taking behaviours and biopsychological development during adolescence. In Susman, Elizabeth J. (Ed); Feagans, Lynne V. (Ed); et al., *Emotion, cognition, health, and development in children and adolescents* (pp. 75-102), VI, 183p.
- Jancovici, J-M., Grandjean, A. (2006). Le plein s'il vous plait !, la solution au problème de l'énergie. Paris : éditions du Seuil.
- Jodelet D. (1989). *Les représentations sociales*, Paris : PUF.
- Jolival, B. (1995). *La simulation et ses techniques*, Paris : Presses Universitaires de France, coll. Que sais-je ?
- Jonah, B. (1986). Accident risk and risk-taking behaviour among young drivers. *Accident, Analysis and Prevention*, 18, 255-271.
- Journé, B. (1999). Les organisations complexes à risques : gérer la sûreté par les ressources. *Thèse de doctorat de l'école polytechnique, domaine des sciences de l'homme et de la société*. Paris, École Polytechnique.
- Kamp, J.F. (1998). Interaction homme-machine à bord des véhicules automobiles : étude des modalités et des dispositifs d'interaction. *Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications*, Paris.
- Labiale, G. (1983). Effets des types de conduite sur la consommation de carburant in *Les Cahiers Scientifiques de la revue Transports*, n°7, 1^{er} semestre 1983, p. 21-32.
- Labiale, G. (1997). Cognitive ergonomics and intelligent systems in the automobile. In Y.I. Noy (Ed.), *Ergonomics and safety of intelligent driver interfaces* (pp. 169–184). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Lee, J.D. & See, K.A. (2004). Trust in automation: designing for appropriate reliance. *Human Factors*, 46 (1), 50–80.
- Lee, J.D., Caven, B., Haake, S., Brown, T.L. (2001). Speech-based interaction with in-vehicle computers: the effect of speech-based e-mail on drivers' attention to the Roadway. *Human Factors*, 43, 631–640.
- Leight, B. (1999). Peril, chance, adventure: Concept of risk, alcohol use and risky behaviour in young adults. *Addiction*, 94, 371-383.
- Leplat, J. (1980). *La psychologie ergonomique*, Paris : Presses Universitaires de France, coll. Que sais-je ?
- Leplat, J. (1985). Les représentations fonctionnelles dans le travail. *Psychologie Française*. 30, 3-4, pp 269-275.
- Leplat, J. (1988). Les habiletés cognitives dans le travail. In P. Perruchet (Ed.), *Les automatismes cognitifs* (pp. 139-172). Liège : Mardaga.
- Leplat, J. (1992). *L'analyse du travail en psychologie ergonomique*, tome 1. Toulouse : Octarès.

- Leplat, J. (1997). *Regards sur l'activité en situation de travail*, Paris : PUF.
- Logan, G.D., (1985). Skill and automaticity : relations, implications, and future directions, *Canadian Journal of Psychology*, 39, 367-386.
- Logan, G.D. (1988a). Automaticity, resources and memory, *Human Factors*, 30, 583-598.
- Logan, G.D. (1988b). Toward an instance theory of automatization, *Psychological Review*, 95, 492-527.
- MacNeil, S. (1994). Investigation of the NASA TLX's ability to differentiate experimental task loadings in a dynamic urban driving environment. *Honours Essay*.
- Maincent, A., (2001). *Le NASA TLX*, traduit en français et adapté pour le Laboratoire d'Etudes et d'Analyses de la Cognition et des Modèles, Lyon.
- Maincent, A., (2008). Rapport d'activité du stage de recherche effectué au laboratoire de simulation de conduite de l'Université de Montréal sous la direction de J. Bergeron, financé par la région Rhône Alpes.
- Maincent, A., Brun, L., Martin, R. (2008). Pedestrians' representations about risky behaviours in urban areas, *Proceedings of International Conference on Traffic and Transport Psychology*, Washington, septembre 2008: Elsevier.
- Maincent, A., Brun, L., Martin, R. (2008). Représentations et conscience du risque chez le piéton confronté aux camions en ville : Esquisse d'une méthodologie. *Le piéton et son environnement : Quelles interactions ?, quelles adaptations ?* Actes du colloque international PFI-COPIE, Actes INRETS n°115.
- Maincent, A., Martin, R. (2004). Truck driver behaviour and rational driving assistance, *Proceedings of International Conference on Traffic and Transport Psychology*, Nottingham, septembre 2004: Elsevier.
- Maincent, A., Martin, R. (2008). *Définition des assistances et spécification des modes de restitution*. Rapport d'étude de l'AR05 du LEACM, projet VIVRE2, ANR05-PDIT002-04.
- Maincent, A., Martin, R., Van Box Som, D. (2005). Évaluation de la charge de travail d'opérateurs d'un système complexe à risques". In B. Cadet(Ed.) : *La complexité : ses formes, ses traitements, ses effets*". Cahiers de la MRSH, n° spécial 04-2005 : pp. 345-365. Caen, MRSH.
- Malaterre, G., Saad, F. (1984). Contribution à l'analyse du contrôle de la vitesse par le conducteur : évaluation de deux limiteurs. *Cahier d'études de l'ONSER*, n° 62.
- Marchand, F.X. (2007). *Contribution à la modélisation de la dynamique de construction d'une identité professionnelle : étude longitudinale de la représentation du métier militaire de sous-officiers et engagés volontaires dans l'armée de terre*. Thèse de doctorat de Psychologie mention Dimensions Cognitives et Modélisations, Université Lumière Lyon II.
- Martin, R. (1975). *Contribution à l'étude du concept de "motivation"*, Thèse de doctorat d'État ès Lettres et Sciences Humaines, Université Lyon II.
- Martin, R. (1985). Représentations et professions. In C. Belisle et Schiele, *Les savoirs dans les pratiques quotidiennes : recherche sur les représentations*, Paris : Editions CNRS, pp. 160-194.

- Martin, R. (2005). La pensée humaine et sa modélisation : un modèle structuro-fonctionnel ou une entreprise complexe. In B. Cadet(Ed.), *La complexité : ses formes, ses traitements, ses effets*". Cahiers de la MRSH, n° spécial 04-2005, pp. 19-28. Caen, MRSH.
- McEvoy, S.P., Stevenson, M.R., McCartt, A.T., Woodward, M., Haworth, C., Palamara, P., Cercarelli, R. (2005). Role of mobile phones in motor vehicles crashes resulting in hospital attendance: a case-crossover study. *British Medical Journal*, doi:10.1136/bmj.38537.397512.55.
- Michon, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models. What do we know, what should we do? In L. Evans & R. Schwing (Eds.), *Human behavior and traffic safety* (pp. 485-521). New York : Plenum Press.
- Moscovici, S. (1961). *La psychanalyse, son image, son public*. Paris : PUF (2^{ème} édition 1976).
- Muir, B.M. & Moray, N. (1996). Trust in automation, Part II: Experimental studies of trust and human intervention in a process control simulation, *Ergonomics*, 39 (3), 429–460.
- Muir, B.M. (1994). Trust in automation, Part I: theoretical issues in the study of trust and human intervention in automated systems, *Ergonomics*, 37 (11), 1905–1922.
- Nathan, F. (2001). Système communicant à commande vocale : évaluation et aide à la conception. Communication lors de la journée spécialisée de l'INRETS : *Ergonomie des systèmes communicants dans le véhicule : usage et sécurité*. Lyon-Bron.
- Navarro, J. (2008). *Coopération homme-machine en conduite automobile assistée : contrôle cognitif et contrôle de la trajectoire*. Thèse de doctorat en psychologie cognitive, Université de Nantes.
- Nilsson, L. (1993). Simulator studies and driver behavior. In A.M. Parkes & S. Franzen (Eds.), *Driving Futures Vehicles*, (pp. 401-407), London: Taylor & Francis.
- Norman, D.A. (1981). Categorization of action slips. *Psychological Review*, 88, 1-15.
- Norman, D.A. (2004). *Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things*. Basic Books, New York.
- Ochanine, D. (1978). Le rôle des images opératives dans la régulation des activités de travail, *Psychologie et Education*, 2, 63-72.
- Ochanine, D., Quaas, W. et Zaltman, A. (1972). Déformation fonctionnelle des charges opératives, *Questions de Psychologie*, n°3.
- Page, J.M. (2004). *Description et évaluation techniques du limiteur de vitesse intelligent Limit Advisor M2002 testé à Gant en 2002 et 2003 (ISA-GENT)*. Rapport final, Institut Belge pour la Sécurité Routière, Bruxelles.
- Pailhous, J. (1987). « Modulations cognitives des activités sensorimotrices », in *les Apprentissages : perspectives actuelles* ; Colloque de la société française de psychologie, Paris VIII.
- Pauzié, A., Pachiaudi, G. (1996). Subjective evaluation of the mental workload in the driving context. *International Conference on Traffic and Transport Psychology*. Valence : Espagne.

- Perruchet, P. (1988a). *Les automatismes cognitifs*. Liège : Mardaga.
- Perruchet, P. (1988b). Une évaluation critique du concept d'automatisme, in P. Perruchet (Ed.), *Les automatismes cognitifs*, Liège, Mardaga.
- Piaget, J. (1973). *La prise de conscience*, Paris, Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. (1974). *Réussir et comprendre*, Paris, Presses Universitaires de France.
- Piaget, J. (1975), 1ère édition 1936, *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé, Collection Actualités pédagogiques et psychologiques, 372 pages.
- Pianelli, C., Saad, F. (2006). *Acceptabilité du limiteur s'adaptant à la vitesse autorisée*, Colloque de restitution du projet LAVIA, Versailles, 6 novembre 2006.
- Pinchon, P. (2003). Editorial. Revue de l'Institut Français du Pétrole, vol. 58, n° 01, 3-4.
- Pleczon, P., Chalard, S., de Saint Blanchard, M. (1994). *Interface homme-machine multimodale pour un copilote intelligent d'aide à la conduite*. 4eme colloque Ergo'IA, pp. 108–118, Biarritz.
- Pomian, J-L., Pradère, T., Gaillard, I., 1997. Ingénierie et ergonomie, éléments d'ergonomie à l'usage des projets industriels, Toulouse : Cépaduès-Éditions.
- Posner, M.I. et Snyder, C.R.R. (1975). « Attention and cognitive control », in R. Solso (ed.), *Information processing and cognition: The Loyola Symposium*, (pp. 55-85), Hillsdale, New Jersey, Erlbaum.
- Potter, S.S., Bressler, J.R. (1989). *Subjective Workload Assessment Technique (SWAT): A user's guide*. Wright-Patterson Air Force Base, OH : Armstrong Aerospace Medical Research Laboratory.
- Priez A., Petit C., Brigout C., Collet C., Vernet-Maury E., Dittmar A. (1998). Electrodermal response specificity to driver's reaction while in a critical situation. *International Journal of Psychophysiology*, 30, 269.
- Rabardel, P. (1995). *Les hommes et les technologies, approche cognitive des instruments contemporains*, Paris, Armand Colin.
- Rajaonah B., Anceaux F., Vienne F. (2006). Study of driver trust during cooperation with Adaptive Cruise Control. *Le Travail Humain*, 69, pp. 99-127.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules and knowledge: Signals, signs and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics (SMC # 13)*, 257#266.
- Rasmussen, J. (1986). *Information processing and human machine interaction*. Amsterdam, Elsevier.
- Reason, J. (1994). *L'erreur humaine*, Paris, PUF.
- Reid, G.B., Eggemeier, F.T., & Nygren, T.E. (1982). An individual differences approach to SWAT scale development. *Proceedings of the Human Factors Society 26th Annual Meeting*, Santa Monica, CA : Human Factors Society, 639-642.
- Renault R&D (1997). *Rapport d'Activité 1996*, Département Electronique, Groupe IHM et Communications, Renault Direction de la Recherche.

- Reuchlin, M. (1977). *Psychologie*, Paris, PUF.
- Revah, J-F. (2001). *Demain, les routiers*. Fédération Nationale des Transports Routiers, Paris.
- Revesz, G. (1950). *Psychology and Art of the Blind*, London, Longmans Green.
- Richard, J.F. (1995). Les structures sémantiques, in Ghiglione R ;, Richard, J.-F. (eds.), *Cours de psychologie 5*, Paris, Dunod.
- Richard, J.F. (1998). *Les activités mentales, comprendre, raisonner, trouver des solutions*. Paris, Armand Colin, 2^{ème} édition.
- Richer, I., Bergeron, J. (2008). Relations entre l'usage de cannabis et la conduite automobile dangereuse, *Drogues, Santé et Société*, 6(2) : 117-151.
- Roth, E. (1997). Analysis of decision making in nuclear power plant emergencies: investigation of aided decision making. In Zsombok, C., Klein, G. (Eds.), *Decision Making*. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ, pp. 175–182.
- Ruault, J-R., (2006). Esquisse de processus visant à améliorer la capacité d'adaptation des systèmes à leur environnement. *ERGO IA*, Biarritz, 253-260.
- Rumelhart, D.E. (1978). Schemata : The building blocks of cognition, Theoretical issues in reading comprehension, R. Spiro, B. Bruce, W. Brewer (Eds.), Hillsdale, New Jersey, Erlbaum Associates.
- Saad, F. (2006). *Acceptabilité du limiteur s'adaptant à la vitesse autorisée*, Colloque de restitution du projet LAVIA, Versailles, 6 novembre 2006.
- Sarter, N.B. & Woods, D.D. (1991). Situation Awareness: a critical but ill defined phenomenon, *International Journal of Aviation Psychology*, 1, 45-57.
- Sarter, N.B. & Woods, D.D. (1994). Pilot interaction with cockpit automation II: an experimental study of pilot's model and awareness of the flight management system. *International Journal of Aviation Psychology*, 4, 1–28.
- Schneider, W. (1985). Toward a model of attention and the development of automatic processing, in M. Posner (ed.), *Attention and Performance*, vol. XI, Hillsdale, New Jersey, Lawrence Erlbaum.
- Schneider, W., Dumais, S.T., et Shiffrin, R.M. (1984). Automatic and controlled processing and attention, In R. Parasuram, R. Davis & J. Beatty (eds.), *Varieties of Attention*, New York, Academic Press.
- Schneider, W., Fisk, A.D. (1984). Automatic category search and its transfert, *Journal of Experimental Psychology: Learning, memory and cognition*, 10, 1-29.
- Sébillotte, S. (1988). Hierarchical Planning as Method for Task Analysis: the Example of Office Task Analysis, *Behaviour and Information Technology*, 7, 3, 275-293.
- Sébillotte, S. (1993). Schémas d'action acquis par l'expérience dans les représentations mentales des opérateurs : leurs utilisations et la construction de nouveaux schémas, in A. Weill-Fassina, P. Rabardel, et M. Dubois (eds.), *Représentations pour l'action*, Toulouse, Octarès.
- Sheaff, J. (2004). Telephone interview by Rosenkrans, Wayne. Alexandria, Virginia, US. Jan. 30, 2004. *Flight Safety Foundation*, Alexandria, Virginia, U.S.

- Sheridan, T. B., Stassen, H. (1979). *Toward the definition and measurement of the mental workload of transport pilots*. Final report DOT-OS-70055, Cambridge, MA : MIT.
- Shiffrin, R.M. (1988). Attention. In R.L. Atkinson, R.J. Merrenstein, G. Lindsey, et R.D. Luce (eds.), *Stevens' Handbook of Experimental Psychology of Experimental Psychology*, second edition (vo. II): *Learning and cognition*, New York, Wiley and Sons, 739-811.
- Shiffrin, R.M. et Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending, and a general theory, *Psychological Review*, 84, 127-190.
- Shtarkshall, R. (1987). An examination of the concept "risk taking" and its application to the contraceptive behaviour of youth. *International Journal of Adolescent Medicine & Health*, 3, 121-134.
- Sperandio, J.C. (1980). *La psychologie en ergonomie*. Paris : Presses Universitaires de France.
- Sperandio, J.C. (1988). *L'ergonomie du travail mental*, Paris: Masson (2^{ème} édition).
- Sperandio, J.C. (1995). Ergonomie Cognitive. *Psychologie Française*, 40 (1).
- Stanton, N. (Ed.) (1996). *Human Factors in Nuclear Safety*, London: Taylor & Francis.
- Stich, P. (2004). Copilote à bord ! *Transport & Technologies*, 46, 80-81.
- Strayer, D.L. & Drews, F.A. (2004). Profiles in driver distraction: effects of cell phone conversations on younger and older drivers, *Human Factors*, 46, 640-649.
- Strayer, D.L. & Johnston, W.A. (2001). Driven to distraction: dual-task studies of simulated driving and conversing on a cellular telephone. *Psychol. Sci.*, 12, 462-466.
- Strayer, D.L., Drews, F.A., Crouch, D.J. (2006). A comparison of the cell phone driver and the drunk driver. *Human Factors*, 48, 381-391.
- Theureau J. (2002) La notion de charge mentale est-elle soluble dans l'analyse du travail, la conception ergonomique et la recherche neuro-physiologique ?, in M. Jourdan & J. Theureau (coords), *La charge de travail, concept flou et vrai problème*, Octares, Toulouse, 41-69.
- Thiffault, P. (2005) Déterminants de la prise de risque, In F. Bellavance, O. Bellavigna-Ladoux, C. Dassa, M. Gou, C. Laberge-Nadeau, S. Messier & P. Thiffault, *Les nouveaux conducteurs : Profil, prise de risque, évaluation des compétences et tests*, rapport final, Laboratoire sur la sécurité des transports, Montréal.
- Thiffault, P., Bergeron, J. (2003). Monotony of road environment and driver fatigue: a simulator study, *Accident, Analysis and Prevention*, 35(3): 381-391.
- Thuen, F., Klepp, K., & Wold, B. (1992). Risk-seeking and safety-seeking behaviours: A study of health-related behaviours among Norwegian school children. *Health Education Research*, 7, 269-276.
- Tom, A., Auberlet, J-M., Brémond, R. (2009). *Approche psychologique de la traversée de piétons aux carrefours*, Adapter le piéton à son environnement, Colloque PFI COPIE, Lyon.

- Turner, C., McClure, R., & Pirozzo, S. (2004). Injury and risk-taking behaviour – a systematic review. *Accident, Analysis and Prevention*, 36, 93-101.
- Van Elslande, P., (2000). L'erreur humaine dans les scénarios d'accident : cause ou conséquence ? *Recherche, Transports, Sécurité, spécial Psychologie de la Conduite*, Tome 1, n° 66, Elsevier.
- Varhelyi, A., Hjälm Dahl, M., Hyden, C., Risser, R. et Draskoczy, M. (2002). *The effects of large-scale use of active accelerator pedal in urban areas*. Department of Technology and Society, Lund University, Sweden. 15th ICTCT workshop, speed related research and analysis.
- Vergès, P. (1992). L'évocation de l'argent : une méthode pour la définition du noyau central d'une représentation, *Bulletin de Psychologie*, n°405, tome XLV, pp. 203-209.
- Vigouroux, N. (1997). *Les interfaces multimodales*. Eléments de cours, Ecole Interaction Homme-Machine du GDR-PRC CHM, Marseille-Luminy.
- Weill-Fassina, A., Rabardel, P., Dubois, D. (1993). Représentations pour l'action, Collection Travail, Toulouse : Octarès.
- Welford, A.T. (1977). La charge mentale de travail comme fonction des exigences, de la capacité, de la stratégie et de l'habileté. In J. Leplat (1992) *L'analyse du travail en psychologie ergonomique*, Toulouse : Octares, 121-145.
- Wickens, C.D. (1984). Processing resources in attention. In R. Parasuraman & R. D. Davies (eds), *Varieties of attention*, pp. 63–102, Academic Press.
- Wiener, E.L. (1988). Cockpit automation. In: Wiener, E., Nagel, D. (Eds.), *Human Factors in Automation*. Academic Press, San Diego, CA, pp. 433–461.
- Wierwille, W.W. & Tijerina, L. (1998). Modeling the relationship between driver in-vehicle visual demands and accident occurrence. In: Gale, A.G., et al. (Eds.), *Modeling the relationship between driver in-vehicle visual demands and accident occurrence*. *Vision and Vehicles VI*. Elsevier, Amsterdam, pp. 233–243.
- Wilde G.J. S. (1988). Evidence refuting the theory of risk homeostasis, *Ergonomics*, vol 27, n°3, pp 297-304.
- Winograd, T. (1975). Frame representation and the declaration-procedural controversy, in D.G. Bobrow et A. Collins (Eds.), *Representation and understanding*, New York, Academic Press.
- Yates, J.F., & Stone, E.R. (1992). The risk construct. In J.F. Yates (Ed), *Risk-taking behaviour*, (pp. 1-25). New York: Wiley.

Références et sites Internet

- Accélérateur Sensitif A.C.S., Alain Landerretche, <http://www.acs.free.fr/>
 Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie, www.ademe.fr
 Agence Nationale de la Recherche, www.agence-nationale-recherche.fr

Centre Européen d'Etudes de Sécurité et d'Analyse des Risques, www.ceesar.fr
Ecole Nationale des Travaux Publics d'Etat, www.entpe.fr
EVOC2003 & SIM2003, verges@mms.univ-aix.fr
INGELUX, www.ingelux.com
Institut National de REcherche sur les Transports et leur Sécurité, www.inrets.fr
ITSA (2005). <http://www.itsa.org/ITSNEWS.NSF/key/C46A?OpenDocument>
Laboratoire des Sciences de l'Habitat, www.entpe.fr
Laboratoire Ergonomie et Sciences Cognitives pour les Transports, www.inrets.fr
LAVIA, <http://heberge.lcpc.fr/lavia/FR/colloque.htm>
Le cerveau à tous les niveaux : <http://lecerveau.mcgill.ca>
LG Alert System: <http://www.stabilitydynamics.com/>
Lyon Urban Truck and Bus 2015, www.lutb.fr
NENPIOH System: www.udtrucks.com/ENV/2006/2006.pdf
NHTSA (2006). The impact of driver inattention on near-crash/crash risk. <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/departments/nrd-13/810594/images/810594.pdf>
PR Newswire (2005). <http://www.prnewswire.com/cgi-bin/stories.pl?ACCT=109&STORY=/www/story/04-13-2005/0003389174&EDATE>
Programme national de REcherche et D'Innovation dans les Transports terrestres, www.predit.prd.fr
Simulateur INRETS : <http://www.inrets.fr/ur/msis/simus/sim2.htm> |
Simulateur LAMIH CNRS: http://www.univ-valenciennes.fr/simulateur_sherpa/Site/simulateur.html
Simulateur Université de l'Iowa : <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/departments/nrd-12/NationalAdvancedDriverSimulator.html>
Sundeen, M. (2005). *Cell Phones and Highway Safety*, State Legislature Update. <http://www.ncsl.org/programs/transportation/cellphoneupdate05.htm>
Vélib, Paris : http://velib.centraldoc.com/newsletter/18_toujours_plus_de_trucs_et_astuces_avec_i_velib
VIVRE2 - Vidéo: <http://25images.ish-lyon.cnrs.fr/Portails/VIVRE2/>

Normes et recommandations

ICE (1993). ICE Ergonomics. *The design of in-vehicle information systems*. Code of Practice and Design Guidelines, Draft Document, U.K. Department of Transport.
ISO 15006 (2004) : Véhicules routiers - aspects ergonomiques des systèmes de commande et d'information du transport - spécifications et modes opératoires de conformité concernant la présentation des informations auditives à bord du véhicule.

- ISO 15008 (2009). Véhicules routiers -- Aspects ergonomiques des systèmes d'information et de commande du transport -- Spécifications et méthodes d'essai pour la présentation visuelle à bord du véhicule.
- ISO 2575 (2004). Véhicules routiers – symboles pour les commandes, indicateurs et témoins.
- ISO 4040 (2001). Véhicules routiers – emplacement des commandes manuelles, des indicateurs et des témoins.
- ISO 9241-110 (2006). Ergonomie de l'interaction Homme-Système – Partie 110 : Principes de dialogues.
- ISO/TS16951 (2004). Véhicules routiers - Aspects ergonomiques des systèmes de commande et d'information du transport – Modes opératoires pour la détermination de la priorité des messages embarqués présentés aux conducteurs.
- Recommandation 2007/78/CE (2007). Recommandation de la Commission du 22 décembre 2006 sur les systèmes efficaces d'information et de communication embarqués dans les véhicules et garantissant une sécurité optimale : mise à jour de la déclaration de principes européenne concernant l'interface homme/machine. *Journal officiel de l'Union européenne*, L32, 6.2.2007, p.200–241.

Annexes

Annexe 1 : Caractéristiques des principaux types de routes interurbaines en France (d'après la SETRA, 1994)¹²⁹

Types de routes	R Routes	R- Artères interurbaines	T Routes express	L Autoroutes
Nombre de chaussées	1 chaussée (à 2 ou 3 voies)	2 chaussées	1 chaussée (à 2 ou 3 voies)	2 chaussées
Carrefours	plans ordinaires, ou giratoires	giratoires ou plans sans traversée du T.P.C	dénivelés	dénivelés
Accès	selon les cas, sans accès ou accès possibles	si accès, pas de traversée du TPC	sans accès riverains	sans accès riverains
Limitation de vitesse hors agglomération	90 km/h	110 ou 90 km/h	90 km/h	130 ou 110 km/h
Traversée d'agglomération	oui, éventuellement	oui, éventuellement	non	non
Catégories possibles	R60 ou R80	R60 ou R80	T80 ou T100	L100 ou L120
Domaine d'emploi	liaison à courte ou moyenne distance	liaison à courte ou moyenne distance	liaison à moyenne ou grande distance	liaison à moyenne ou grande distance
Trafic à terme	Trafic moyen (1 chaussée)	Fort trafic (2 chaussées)	Trafic moyen	Fort trafic
Type de sécurité	Voies principales en milieu rural	Voies principales en milieu rural	Voies isolées de leur environnement	Voies isolées de leur environnement

On distingue en France trois types de routes principales interurbaines :

- Les routes de **type L**, dites de **grande liaison** sont les autoroutes,
- Les routes de **type T**, dites de **transit**, pour lesquelles la fonction d'écoulement du trafic de transit à moyenne ou grande distance est privilégiée, sont les "routes express à une chaussée",
- Les routes de **type R**, dites **multifonctionnelles**, constituent l'essentiel des réseaux des voies principales de rase campagne.

¹²⁹

SETRA (1994). "Aménagement des Routes Principales", *Recommandations pour la conception et la géométrie de la*

route. http://fr.wikipedia.org/wiki/Typologie_des_routes_pour_leur_conception_en_France

A chacun de ces types de voies, on associera une vitesse dite de référence. Ainsi une route de catégorie R80 sera une route multifonction avec comme vitesse de référence 80 km/h. La vitesse de référence dépend du profil de la route en termes de dénivelé et peut être adaptée en fonction d'impératifs de sécurité, elle est associée à une notion de confort de conduite.

Les routes de montagne, où le relief est particulièrement tourmenté sont hors catégories. Les caractéristiques résultent d'un compromis entre les objectifs attendus et les contraintes de relief.

Annexe 2 : L'effet Stroop

L'effet Stroop se rapporte à la difficulté, pour un individu, de nommer la couleur d'un mot imprimé alors que ce mot désigne une couleur différente (par exemple pour le mot suivant « **BLEU** », la couleur à nommer est « rouge ». Il est mesuré grâce à la différence entre les performances observées dans cette situation conflictuelle et les performances observées quand le stimulus est une simple surface colorée (on demande au sujet de nommer la couleur de la surface présentée) durant un temps donné (90 secondes). En situation d'interférence (entre le mot et la couleur), le temps de dénomination augmente. Les résultats obtenus dans des situations analogues laissent penser que l'automatisme mis en jeu par la lecture du mot se déclenche de manière non intentionnelle et interfère avec l'objectif de dénomination de la couleur. Selon Posner et Snyder (1975a), l'interférence signe le caractère autonome du traitement de la composante du stimulus qui devrait être ignorée du sujet. D'autres études suggèrent que l'interférence est le résultat direct du développement d'un automatisme. Enfin, toujours selon Posner et Snyder (op. cité), seule une réponse verbale ou motrice déclenchée par un processus automatique peut être génératrice d'interférence. Perruchet (1988b), quant à lui, ne se limite pas à cette hypothèse mais suggère une autre solution pour expliquer l'apparition d'une interférence. Selon lui, il y aurait interférence, dès que l'automatisme engagé ne serait plus compatible avec la tâche en cours, dès que la tâche a d'autres exigences ou d'autres finalités que celle de l'activité habituelle. Cette interférence ne dépendrait donc pas de l'automatisme lui-même, mais de la situation qui sollicite cet automatisme. D'un point de vue méthodologique, cet effet Stroop a donné lieu à la conception d'un test qui évalue la résistance de l'individu à l'interférence : le test de Stroop. Les effets d'interférence sont expliqués par le fait que le processus automatique, une fois déclenché, soit volontairement, soit parce que les conditions l'imposent, se déroule indépendamment de tout contrôle volontaire du sujet et sans pouvoir être bloqué.

Annexe 3 : Le NASA TLX adapté à la conduite d'un camion en environnement naturel

Définitions des facteurs de la charge de travail engendrée par la conduite d'un camion		
Facteurs	Evaluation	Descriptions
Charge Mentale	De Faible à Élevée	Importance de l'attention et du travail mental que vous avez dû fournir pour la conduite du véhicule sur ce parcours (faire attention, regarder, écouter, prévoir, etc.)
Charge Physique	De Faible à Élevée	Importance de l'effort physique que vous avez dû fournir pour la conduite du véhicule sur ce parcours (pour manœuvrer, manipuler les commandes, appuyer sur les pédales, etc.)
Pression Temporelle	<i>De Faible à Élevée</i>	Dans quelle mesure avez-vous eu l'impression d'être pressé par le temps (impératifs de livraison, d'horaires, etc.) ?
Effort/Fatigue	<i>De Faible à Élevé</i>	Avez-vous dû faire beaucoup d'efforts (physiques et attentionnels) pour conduire sur ce parcours et vous sentez-vous fatigué ?
Stress	<i>De Faible à Élevé</i>	Vous êtes-vous senti stressé ou avez-vous eu peur dans certaines conditions sur ce parcours (irritation, sentiment d'insécurité, insatisfaction) ?
Performance	<i>De Bonne à Mauvaise</i>	Est-ce que vous êtes content de votre façon de conduire sur ce parcours (sécurité, rapidité, économie, etc.) ?

Annexe 4 : Description des parcours expérimentaux – Circuit Isère

Description des subdivisions du parcours expérimental A		Distance (en km)
Parcours A	De la sortie Renault Trucks St Priest-Direction Commerciale au Péage d'entrée de Voiron	91,5
Parcours A1	De la sortie Renault Trucks St Priest-Direction Commerciale au Péage de sortie de La Tour du Pin	50,4
Parcours A1.1.1	De la sortie Renault Trucks St Priest-Direction Commerciale au Péage d'entrée de L'Isle d'Abeau	26,1
Parcours A1.1	De la sortie Renault Trucks St Priest-Direction Commerciale au Péage de la sortie 6 (A43)	21,7
Parcours A1.2	Du Péage de la sortie 6 (A43) au Péage d'entrée 7 de L'Isle d'Abeau: parcours des "4 ronds-Points"	6,8
Parcours A2	Du Péage de sortie de La Tour du Pin au Péage d'entrée de Voiron	41,1
Parcours A2.1	Du Péage de sortie de La Tour du Pin à la sortie de "Les Abrets"	17,7
Parcours A2.2	De la sortie de "Les Abrets" au Péage d'entrée de Voiron	23,4

Description des sub-divisions du parcours expérimental B		Distance (en km)
Parcours B	Du Péage d'entrée de Voiron à l'entrée de Renault Trucks St Priest-Direction Commerciale	78,2
Parcours B1	Du Péage de Voiron à la sortie 4 "Université Lyon2"	74,2
Parcours B1.1	Du Péage de Voiron à l'échangeur A48/A43	35,9
Parcours B2	De l'échangeur A48/A43 à l'entrée de Renault Trucks St Priest-Direction Commerciale	42,3
Parcours B2.1	De l'échangeur A48/A43 à la sortie 4 "Université Lyon2"	38,4
Parcours B2.2	De la sortie 4 "Université Lyon2" à l'entrée de Renault Trucks St Priest-Direction Commerciale	3,9

Annexe 5 : Cahier des charges du Driver Behaviour Analysis (DBA)

Le Driver Behaviour Analysis

Extrait du rapport de stage rédigé par Clément ROCHAS (juillet 2002) IUP – ISEA – Université Lumière / Lyon2

Cahier des charges pour l'analyse des données issues du canalyser

Générer des courbes

L'utilité première de l'application est la visualisation graphique des données synchronisées, les données qui doivent être visualisables sont, pour un point donné :

- La vitesse instantanée
- Le régime moteur
- La consommation instantanée
- La température extérieure

Ces quatre informations doivent être représentées de deux façons : en fonction du temps et en fonction de la distance parcourue par le camion.

Affichage des données instantanées

Une fois qu'un graphique est chargé, on doit, pour chacun des points, visualiser sur l'écran :

- Le temps écoulé à partir de la mise en route de l'application
- La distance parcourue
- La vitesse instantanée
- Le régime moteur
- La consommation instantanée
- Le rapport de boîte engagé
- La position du frein à pied
- Position du ralentisseur
- Position cartographie moteur mode ECO
- Position cartographie moteur mode PERFO
- Position de l'embrayage (oui/non)

Édition d'un rapport statistique de parcours

L'application doit permettre l'édition d'un rapport imprimable comportant les rubriques suivantes :

Vitesse et consommation :

Temps moteur tournant (min ou sec)

Temps de roulage (min ou sec)

% Temps de roulage / Temps moteur tournant

Distance de roulage (km)

Vitesse

Maxi (km/h)

Moyenne (km/h)

Consommation

Totale (L)

Moyenne (L/100)

Utilisation moteur :

Nombre total de débrayages

Distance totale parcourue en débrayant (km)

% de la distance parcourue

Durée totale de débrayage (min ou sec)

% du temps de roulage

Durée moyenne d'un débrayage (sec)

Durée totale en cartographie eco (min)

Distance totale en cartographie eco (km)

Durée totale en cartographie perfo (min)

Distance totale en cartographie perfo (km)

Anticipation :

Distance parcourue en freinant (km)

% de la distance parcourue

Nombre total de freinages

Durée totale en freinage (min ou sec)

% du temps de roulage

Distance parcourue en utilisant le ralentisseur (km)

% de la distance parcourue

Durée totale d'utilisation du ralentisseur (min ou sec)

% du temps de roulage

Ce rapport, fait sous Excel, doit pouvoir, une fois qu'il est généré, être modifié par l'utilisateur.

Histogrammes d'informations sur le parcours

DBA doit permettre l'édition d'histogrammes prédéfinis.

- Distance par plage vitesse

Abscisse : plages de vitesse en km.h^{-1}

0 – 15 ; 15 – 30 ; 30 – 50 ; 50 – 70 ; 70 – 80 ; 80 – 90 ; 90 - 110

Ordonnée : distance parcourue en km

- Durée par plage de régime moteur

Abscisse : nombre de tours moteur en tr.min^{-1}

600 – 800 ; 800 – 1000 ; 1000 – 1500 ; 1500 – 1800 ; 1800 – 2100 ; 2100 - 2500

Ordonnée : temps en secondes ou en minutes

- Consommation par plage de régime moteur

Abscisse : nombre de tours moteur en tr.min^{-1}

600 - 800 ; 800 - 1000 ; 1000 – 1500 ; 1500 – 1800 ; 1800 – 2100 ; 2100 - 2500

Ordonnée : consommation en Litres

- Profil des occurrences de freinages par plage de vitesse

Abscisse : plages de vitesse en km.h^{-1}

0 – 15 ; 15 – 30 ; 30 – 50 ; 50 – 70 ; 70 – 80 ; 80 – 90 ; 90 - 110

Ordonnée : nombre de freinages

- Temps d'utilisation du ralentisseur par plage de vitesse

Abscisse : plages de vitesse en km.h^{-1}

0 – 15 ; 15 – 30 ; 30 – 50 ; 50 – 70 ; 70 – 80 ; 80 – 90 ; 90 - 110

Ordonnée : temps d'utilisation du ralentisseur (en secondes ou minutes)

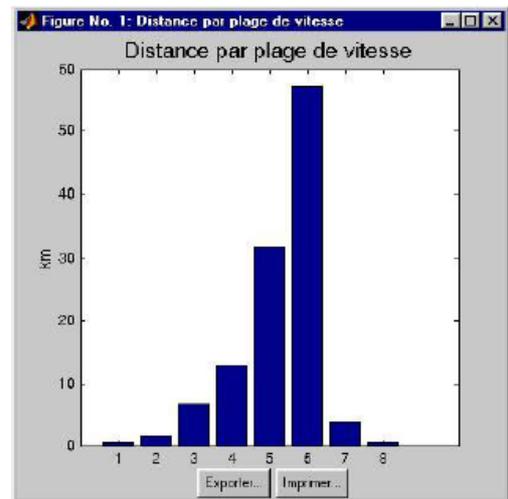
- Nombre d'utilisation du Cruise Control par plage de vitesse

- Profil des intensités de freinages

Abscisse : décélération en m/s^2

Ordonnée : distance en km

- Utilisation du ralentisseur par position
- Profil d'utilisation de la boîte de vitesse
- Durée d'utilisation du mode perfo par plage de régime
- Durée d'utilisation du mode éco par plage de régime



Il doit être possible d'exporter le graphique sous forme de fichier image ou de l'imprimer directement.

Édition de statistiques sur des intervalles sélectionnés

Le rapport statistique et les histogrammes doivent pouvoir être édités pour chaque intervalle sélectionné.

Excès de vitesse sur une période.

Le menu Statistiques > Excès de vitesse permettra de calculer, dans un intervalle (en kilomètre) donné, la période passée au-delà de la limitation de vitesse.



Annexe 6 : Extrait de la grille d'observation pour le parcours A

km	Agglo / Repères	Voies	Ins.	Obs	Top	Sign	Lim	Feux	R-P	Vir	Pente
65,31	Fitilieu	N75				50	50				
		N75									
66,56	Les Abrets	N75									
		N75									
67,46	X N6 (Voiron)	N75							X		
67,50		N75							Y		
67,79		N75									montée
68,00		N75									montée
68,15		N75							X		
68,19	Les Abrets	N75							Y		
68,27	Charancieu	N75									
68,95		N75									montée
68,97	Charancieu	N75									
		N75				90	80				
69,14		N75				vir					
69,34		N75								X	
69,48		N75								Y	
70,25		N75									montée
70,27	La Batie-Divisin	N75				50	50				
70,40		N75									mont +++
		N75									
71,36	La Batie Divisin	N75				50					montée
		N75				90	80				
72,16		N75									descente
72,89		N75									descente
73,09	Montferrat	N75				45	45				
73,72		N75									mont +++
73,80		N75						X			
74,31	Montferrat	N75				45					
		N75				90	80				
76,42		N75									montée
76,43	col du Banchet 695m	N75									descente
76,48		N75				7%					

Annexe 7 : Extrait de la grille d'observation pour le parcours B

km	Agglo / Repères	Voies	Ins.	Obs	Top	Sign	Lim	Feux	R-P	Vir	Pente
		A43									
73,44	Bretelle	A43									
73,66	Sortie 4 Univ lyon2	A43	X			90	80				
73,77		A43				70	70				
73,84		A43				vir	50				
73,88		A43								X	
73,99		A43								Y	
74,00		A43			B2	50					
	Bron	D112	X			prior					
		D112									
74,47	à droite Darty	D41	X			prior					
		D41									
74,66	Cimetière	D41						X			
		D41									
74,86	à gauche	D102						X	X		
74,89		D102						X			
74,96		D102							Y		
		D102									
75,22	Univ Lyon2	D102						X			
75,29		D102						X			
		D102									
75,43		D102						X			
		D102									
75,87	Bron	D102									
75,89		D102				90	80	X			
		D102									
76,83	à gauche	D518				70	70	X			
		D518									
77,45	X Henri Germain	D518						X			
		D518									
77,92		D518						X			
77,97	Entrée RVI	D518									
	Stationnement										
	Remarques										
169,79	1 agglomération	TOTAL						10	1	1	

Annexe 8 : Formulaire d'accueil

Bonjour,

314

L'entreprise Renault Trucks, en partenariat avec un laboratoire de l'Université Lyon2 (le LEACM) et avec le cabinet Auxirbat, a démarré une étude ergonomique sur le métier de conducteur routier, et plus particulièrement sur la partie "conduite du véhicule". Cette étude a pour objectif une meilleure connaissance du chauffeur et de ses comportements au volant afin d'en tenir compte dès la conception des véhicules. Deux entreprises de transport et 32 conducteurs vont participer à cette étude.

Suite à un accord avec votre entreprise, vous aurez à conduire un Premium 420 dci avec un attelage (38T), sur un parcours qui vous sera présenté avant le départ. Vous aurez aussi à répondre à quelques questionnaires qui nous permettront de mieux connaître la personnalité et les habitudes de conduite des chauffeurs-routiers.

Toutes vos réponses resteront **totalemtent confidentielles** et vos résultats seront traités statistiquement. Il est donc important que vos **réponses** soient **les plus sincères** possibles. A la fin de cette journée, le chercheur sera à votre disposition pour répondre à vos questions éventuelles.

Avant de commencer, nous vous remercions de remplir ce questionnaire pour nous aider à mieux vous connaître :

Date de naissance		
Année d'obtention du permis PL		
Marque(s) et type(s) de camion que vous conduisez habituellement		
Nombre total d'années d'expérience du métier de chauffeur routier		
Nombre d'années d'expérience de la conduite d'un tracteur + remorque		
Conduisez-vous un camion attitré ?	<ul style="list-style-type: none"> - Toujours <input type="checkbox"/> - Jamais <input type="checkbox"/> - De temps en temps <input type="checkbox"/> 	
Quels trajets faites-vous habituellement ? <i>(plusieurs réponses possibles)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - International <input type="checkbox"/> - National <input type="checkbox"/> - Régional <input type="checkbox"/> - Local <input type="checkbox"/> - Relais <input type="checkbox"/> 	
Sur quels types de routes conduisez-vous habituellement ? <i>(plusieurs réponses possibles)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Agglomérations <input type="checkbox"/> - Routes nationales <input type="checkbox"/> - Périphériques <input type="checkbox"/> - Autoroutes <input type="checkbox"/> 	

Date :

Parcours n° :

Annexe 9 : Questionnaires post-expérimentaux

Dans les cases ci-dessous, vous allez retrouver les facteurs de charge que vous venez d'évaluer, présentés deux par deux. Dans chaque case, choisissez entre les 2 facteurs celui qui vous a semblé le plus important pendant la conduite du camion, sur le trajet que nous venons d'effectuer :

Entourez le facteur que vous aurez sélectionné

Choisissez l'un des deux facteurs, même si vous avez l'impression que les 2 facteurs d'une même carte ont été, soit d'importance identique, soit sans aucune importance pendant le trajet.

CHARGE MENTALE ou CHARGE PHYSIQUE	PRESSIION TEMPORELLE ou PERFORMANCE	STRESS ou CHARGE PHYSIQUE
PERFORMANCE ou CHARGE PHYSIQUE	CHARGE MENTALE ou PRESSIION TEMPORELLE	EFFORT/FATIGUE ou PERFORMANCE
PERFORMANCE ou STRESS	EFFORT/FATIGUE ou CHARGE MENTALE	EFFORT/FATIGUE ou STRESS
STRESS ou PRESSIION TEMPORELLE	CHARGE PHYSIQUE ou PRESSIION TEMPORELLE	PERFORMANCE ou CHARGE MENTALE
CHARGE PHYSIQUE ou EFFORT/FATIGUE	STRESS ou CHARGE MENTALE	PRESSIION TEMPORELLE ou EFFORT/FATIGUE

Annexe 12 : Exemple de fiche-réponse pour le questionnaire accompagnant le DVD « Etude sur les déplacements en ville »

Fiche-réponse (Recto - partie 1) - Scène triangle : Un piéton traverse en marchant devant un camion hors passage protégé.


Globalement, que pensez-vous de cette scène ?

Évaluez son caractère dangereux en cochant une case de 0 « situation pas du tout dangereuse » à 10 « situation très dangereuse »

Pas du tout dangereuse 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Très dangereuse

Selon vous, où se passe cette scène ?

Dans une rue piétonne

ou

Dans une rue ouverte à la circulation des véhicules

Avec une seule voie

Avec 2 ou plusieurs voies

Vous arrive-t-il de voir ce type de situation ?

Jamais

Rarement

De temps en temps

Souvent

Tous les jours

Vous arrive-t-il de traverser de la même façon ?

Jamais

Rarement

De temps en temps

Souvent

Toujours

Fiche-réponse (Verso - partie 2) - Scène triangle : Un piéton traverse en marchant devant un camion hors passage protégé.

Que pensez-vous de chaque proposition ?

RÉPONDEZ SEULEMENT POUR LES SITUATIONS QUE VOUS AVEZ VUES Je pense que :	Prend (prennent) des risques pour lui-même (eux-mêmes)			A (ont) un comportement dangereux envers le ou les piéton(s)			A (ont) un comportement dangereux envers le ou les cycliste(s) ou motard(s)		
	Plutôt oui	Plutôt non	Je ne sais pas	Plutôt oui	Plutôt non	Je ne sais pas	Plutôt oui	Plutôt non	Je ne sais pas
Le piéton qui traverse sur un passage protégé devant un camion	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>						
Le piéton qui traverse hors passage protégé devant un camion	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>						
Le camion qui circule au milieu de la chaussée				<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
Vos remarques éventuelles :									

Quels sont les éléments que vous avez vus ?

J'ai vu :	Oui	Non	Je ne sais pas
Des travaux sur 1 trottoir	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
1 feu tricolore	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Une circulation dense	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Que pensez-vous de la vitesse du camion dans cette scène ?

Très lente 1 2 3 4 5 Très rapide

Annexe 13 : Consignes figurant sur la page de garde du questionnaire accompagnant le DVD « Etude sur les déplacements en ville »

ÉTUDE SUR LES DÉPLACEMENTS EN VILLE

Pour répondre, vous avez besoin de :

- ✓ 45 minutes au calme sans interruption
- ✓ Un lecteur DVD (TV ou PC)
- ✓ Un stylo + ce document + le DVD

Pour commencer :

- ✓ Remplissez la fiche d'identification au dos de cette feuille
- ✓ Lisez attentivement les consignes page suivante
- ✓ puis Insérez le DVD
- ✓ et Suivez les instructions

Tournez SVP

Annexe 14 : Consignes pour remplir le questionnaire accompagnant le DVD « Etude sur les déplacements en ville »

Consignes

✓ Vous allez voir plusieurs scènes très courtes de quelques secondes seulement
soyez attentif : cela va vite.

✓ Regardez chaque scène une seule fois.

Il est possible que vous n'ayez pas vu toutes les situations que nous vous proposons dans les fiches-réponse.
Dans ce cas, ne vous inquiétez pas et répondez uniquement pour les situations que vous avez vues.

✓ Après chaque scène :
Remplissez le recto et le verso
de la fiche-réponse correspondante.

✓ Vérifiez à chaque fois que le symbole situé en rouge en haut de la fiche est le même que celui que vous voyez sur votre écran

Insérez le DVD dans votre lecteur et bonne séance...

Annexe 15 : Extrait de la grille d'observation utilisée pour les analyses d'activités du projet VIVRE2

Entreprise :	Date :	Véhicule :	
Nbre clients prévus :	Lieu :	Pds chargement :	
Km départ entreprise :		Km arrivée quartier livraison :	
Conduite : Warnings <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non Frein de parc <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non		Total conduite : Circulation P out PP: P in PP+feu R: Météo : Piétons : Vélos : 2 roues motor :	
Arrêt n° Adresse livraison : Type de client : Remarques	Client n° Stationnement <input type="checkbox"/> piétonnier <input type="checkbox"/> autorisé non autorisé <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> rés liv rés taxi <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trott G trott D <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2FG <input type="checkbox"/> 2FD <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> milieu rue voie bus <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> autres : Nbe voies :	Manoeuvres <input type="checkbox"/> demi-tour <input type="checkbox"/> marche arrière <input type="checkbox"/> autre Déchargement <input type="checkbox"/> arrière <input type="checkbox"/> hayon <input type="checkbox"/> palette <input type="checkbox"/> rolls <input type="checkbox"/> diable <input type="checkbox"/> main <input type="checkbox"/> côté <input type="checkbox"/> voie de circulation	
Conduite : Warnings <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non Frein de parc <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non		Total conduite : Circulation P out PP: P in PP+feu R: Météo : Piétons : Vélos : 2 roues motor :	
Arrêt n° Adresse livraison : Type de client : Remarques	Client n° Stationnement <input type="checkbox"/> piétonnier <input type="checkbox"/> autorisé non autorisé <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> rés liv rés taxi <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> trott G trott D <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2FG <input type="checkbox"/> 2FD <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> milieu rue voie bus <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> autres : Nbe voies :	Manoeuvres <input type="checkbox"/> demi-tour <input type="checkbox"/> marche arrière <input type="checkbox"/> autre Déchargement <input type="checkbox"/> arrière <input type="checkbox"/> hayon <input type="checkbox"/> palette <input type="checkbox"/> rolls <input type="checkbox"/> diable <input type="checkbox"/> main <input type="checkbox"/> côté <input type="checkbox"/> voie de circulation	

Annexe 16 : Images représentatives du circuit City NG vide



Annexe 17 : Représentation schématique du circuit de familiarisation sur City NG



Annexe 18 : Tableau récapitulatif des situations du scenario A

Classe de situation	Manœuvre camion interactif	UVR	Infrastructure	Localisation city NG	Use Cases
MARCHE ARRIERE n°1	Arrêt / Démarrage 0-10 km/h	0 - Non critique	Impasse	Impasse 1 Zone 11	Arrêt
MARCHE AVANT n°2	Roulage vitesse moyenne 25-50 km/h	Cycliste en mouvement 5-20 km/h	Secteur rectiligne	Section rectiligne zone 14 - Sens Nord/Sud	UC7
MARCHE AVANT n°3	Démarrage sortie stationnement double file 0-10 km/h	0 - Non critique	Voie ouverte à la circulation	Zone 13 Sens Ouest/Est	Arrêt
MARCHE AVANT n°4	Roulage vitesse moyenne 25-50 km/h	Cycliste en mouvement 5-20 km/h	Secteur rectiligne	Section rectiligne Zone 5/4 Sens Ouest/Est	UC7
TOURNE A DROITE n°5	Tourne à droite au ralenti sur démarrage feu 0-15 km/h	Cycliste en mouvement 5-20 km/h	Croisement	Feu tricolore Zone 4 - Sens O/E Sortie Agglomération	UC6
MARCHE ARRIERE + MARCHE AVANT n°6	Prise de stationnement en marche arrière Démarrage Marche AVT lente	0 - Non critique	Quai	Quai 1 Zone 8 Sens Sud/Nord	Arrêt
MARCHE ARRIERE n°7	Prise de stationnement en marche arrière - 0-10 km/h	Piéton en mouvement 0-5 km/h	Quai	Quai 2 Zone 8 - sens Sud/Nord	UC2
MARCHE ARRIERE + MARCHE AVANT n°8	Prise de stationnement en marche arrière Arrêt/Démarrage - 0 - 10 km/h	Piéton statique 0 km/h	Zone piétonne	ZP1 Quartier Sud/Ouest	UC3
MARCHE AVANT n°9	Démarrage sortie stationnement double file - 0-10 km/h	Piéton en mouvement 0-5 km/h	Voie ouverte à la circulation	Zone 12 Sens SN	UC4
MARCHE ARRIERE n°10	Arrêt / Démarrage 0-10 km/h	Piéton statique 0 km/h	Passage piéton Feu tricolore	Feu tricolore sur boucle 1 Zone 22 - Sens O/E	UC1
MARCHE AVANT n°11	Roulage vitesse moyenne 25-50 km/h	Cycliste en mouvement 5-20 km/h	Secteur rectiligne	Section rectiligne sur boucle 1 Zone 22 - Sens S/N	UC7

Annexe 19 : Représentation schématique du scénario A sur City NG



Annexe 20 : Tableau récapitulatif des situations du scénario B

Classe de situation	Manœuvre camion interactif	UVR	Infrastructure	Localisation city NG	Use Cases
MARCHE ARRIERE + MARCHE AVANT n°1	Prise de stationnement en marche arrière Arrêt / Démarrage - 0-10 km/h	0 - Non critique	Impasse	Impasse 1 Zone 11	Arrêt 
MARCHE AVANT n°2	Roulage vitesse moyenne 25-50 km/h	Cycliste en mouvement 5-25 km/h	Secteur rectiligne	Section rectiligne zone 10 - Sens Nord/Sud	UC7 
MARCHE AVANT n°3	Arrêt / Démarrage 0-10 km/h	Piéton statique 0 km/h	Zone piétonne	ZP3 - zone 22 Sens Sud/Nord	UC3 
MARCHE ARRIERE n°4	Arrêt / Démarrage 0-10 km/h	0 - Non critique	Passage piéton Feu tricolore	Feu tricolore sur boucle1 Zone 22 - Sens Ouest/Est	Arrêt 
MARCHE AVANT n°5	Roulage vitesse moyenne 25-50 km/h	Piéton en mouvement 0-5 km/h	Secteur rectiligne	Section rectiligne - Boucle 1 Zone 22 - Sens N/S	UC7 
MARCHE ARRIERE n°6	Prise de stationnement en marche arrière, 0-10 km/h	Piéton en mouvement 0-5 km/h	Quai	Quai 3 Zone 22 - sens Sud/Nord	UC2 
MARCHE AVANT n°7	Roulage vitesse moyenne 25-50 km/h	Cycliste en mouvement 5-25 km/h	Secteur rectiligne	Section rectiligne Zone 23 - Sens Nord/Sud	UC7 
MARCHE AVANT n°8	Démarrage sortie stationnement double file - 0-10 km/h	0 - Non critique	Voie ouverte à la circulation	Zone 20 Sens Nord/Sud	Arrêt 
TOURNE A DROITE n°9	Tourne à droite au ralenti sur démarrage feu - 0-15 km/h	Cycliste en mouvement 5-25 km/h	Croisement	Feu tricolore sur boucle Zone 22 - Sens Ouest/Est	UC6 
MARCHE ARRIERE + MARCHE AVANT n°10	Prise de stationnement en marche arrière	0 - Non critique	Zone piétonne	ZP2 Quartier Sud/Ouest	Arrêt 
MARCHE ARRIERE n°11	Arrêt / Démarrage 0-10 km/h	Cycliste + piéton statiques 0 km/h	Impasse	Imp2 - zone 12	UC1 
MARCHE AVANT n°12	Démarrage sortie stationnement double file - 0-10 km/h	Piéton en mouvement 0-5 km/h	Voie ouverte à la circulation	Zone 3 Sens Sud/Nord	UC4 

Annexe 21 : Représentation schématique du scénario B sur City NG

Classe de situation	Manceuvre camion interactif	UVR	Infrastructure	Localisation city NG	Use Cases
MARCHE AVANT n°1	Roulage vitesse moyenne 25-50 km/h	Cycliste en mouvement 5-25 km/h	Secteur rectiligne	Section rectiligne zone 16 Sens Est/Ouest	UC7 
MARCHE AVANT n°2	Démarrage ^{sortie} stationnement double file 0-10 km/h	Piéton en mouvement 0-5 km/h	Voie ouverte à la circulation	Zone 23 Sens Nord/Sud Après Passage Piétons	UC4 
MARCHE ARRIERE n°3	Arrêt / Démarrage 0-10 km/h	0 - Non critique	Passage piéton	Zone 20 après PP avant virage Sens Nord/Sud	Arrêt 
MARCHE ARRIERE + MARCHE AVANT n°4	Prise de stationnement en marche arrière Arrêt / Démarrage 0-10 km/h	Piéton statique 0 km/h	Zone piétonne	ZP2 Quartier Sud/Ouest	UC3  
TOURNE A DROITE n°5	Tourne à droite au ralenti sur démarrage feu 0-15 km/h	Cycliste en mouvement 5-25 km/h	Croisement	Feu tricolore sur boucle Zone 22 direction SO/NE Après quai 3	UC6 
MARCHE ARRIERE n°6	Arrêt / Démarrage 0-10 km/h	Piéton statique 0 km/h	Passage piéton Feu tricolore	Feu tricolore Zone 22 Sens Est/Ouest	UC1 
MARCHE AVANT n°7	Prise de stationnement en marche avant Arrêt/Démarrage Marche Avant-	0 - Non critique	Zone piétonne	ZP3 - zone 22 Sens Sud/Nord	Arrêt 
MARCHE ARRIERE n°8	Prise de stationnement en marche arrière 0-10 km/h	Piéton en mouvement 0-5 km/h	Quai	Quai 4 Zone 24 sens Nord/Sud	UC2 
MARCHE AVANT n°9	Roulage vitesse moyenne 25-50 km/h	Cycliste en mouvement 5-25 km/h	Secteur rectiligne	Section rectiligne Zone 10 - Sens S/N	UC7 

Annexe 23 : Représentation schématique du scénario C sur City NG



Annexe 24 : Grilles d'observation utilisées pour le protocole A

Grille d'observation – Protocole As – Sans système

			Déecté	Evité	Observations
2		Dépassement Cycliste	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
4		Dépassement Cycliste	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
5		Tourne à droite / Cycliste	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
7		Marche Arrière sur quai Piéton	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
8		Démarrage Marche Avant Piéton	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
9		Double File / Piéton	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
10		Démarrage Marche Arrière Piéton	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
11		Dépassement Cycliste	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	

Grille d'observation – Protocole Ai – Systèmes Informatifs

N°	Code	Situation	Déteçté	Alarmes		Evité	Observations	Autres déteçtions
				Diodes	sonores			
2		Dépassement Cycliste	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non			
4		Dépassement Cycliste	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non			
5		Tourne à droite / Cycliste	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non					
7		Marche Arrière sur quai Piéton	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non					
8		Démarrage Marche Avant Piéton	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non					
9		Double File / Piéton	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non					
10		Démarrage Marche Arrière Piéton	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non					
11		Dépassement Cycliste	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non			

Grille d'observation – Protocole Aa – Systèmes Actifs

N°	Code	Situation	Détecté	Alarmes		Systèmes actifs	Évité	Observations
				Diodes	sonores			
2		Dépassement Cycliste	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Limiteur <input type="checkbox"/> Freinage d'urgence		
4		Dépassement Cycliste	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Limiteur <input type="checkbox"/> Freinage d'urgence		
5		Tourne à droite / Cycliste	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Limiteur <input type="checkbox"/> Freinage d'urgence <input type="checkbox"/> Anti-démarrage	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
7		Marche Arrière sur quai Piéton	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Freinage d'urgence <input type="checkbox"/> Anti-démarrage	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
8		Démarrage Marche Avant Piéton	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Anti-démarrage	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
9		Double File / Piéton	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Limiteur <input type="checkbox"/> Freinage d'urgence	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
10		Démarrage Marche Arrière Piéton	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Anti-démarrage	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	
11		Dépassement Cycliste	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Limiteur <input type="checkbox"/> Freinage d'urgence		

Annexe 25 : Document de présentation de l'étude

Présentation Générale Bonjour, Les tests auxquels vous allez participer vont servir à l'**évaluation de systèmes d'assistance à la détection des piétons et des cyclistes** lors des **manœuvres à basse vitesse en ville** (marches arrière, démarrage au feu tricolore, prises de stationnement, mises à quai, etc.) pour le **projet VIVRE2** (Véhicules industriels et usagers vulnérables de la route). Nous sommes des **ergonomes** de l'Université Lyon2 et nous travaillons en partenariat avec Renault Trucks sur ce projet. Le véhicule simulé est un **Midlum** avec une motorisation de 385 CV, de type **porteur de 7m** de long qui fait un poids total de **12 Tonnes**. Vous aurez **quatre parcours différents** à effectuer (1 par jour) : Le **premier parcours** va vous permettre de vous **familiariser** avec l'environnement urbain du simulateur et la conduite du véhicule. Vous aurez quelques manœuvres à effectuer pour vous habituer aux réactions du véhicule sans aucun système

a tester. Les **trois autres parcours** seront les parcours de **test**. Le véhicule simulé sera toujours le même, mais il n'aura pas toujours les mêmes systèmes d'assistance. Nous vous les présenterons en détail au début de chaque séance. Pour chaque parcours vous aurez un certain nombre de **manœuvres à effectuer** à divers endroits du parcours. Vous rencontrerez d'autres usagers sur le parcours (véhicules divers, cyclistes, piétons), vous devrez donc **adapter votre conduite en fonction de l'environnement routier**. A la fin de chaque parcours vous aurez un questionnaire d'évaluation de la charge de travail et un questionnaire spécifique au parcours. **Il n'y a pas de bonnes ou de mauvaises réponses**, ce qui nous importe, c'est votre **évaluation personnelle des situations**. Toutes vos réponses seront **anonymes** et les résultats obtenus seront traités statistiquement. Si vous avez un problème de compréhension n'hésitez pas à nous demander des éclaircissements. A la fin de la séance nous serons à votre disposition pour répondre à vos questions. **Si, à n'importe quel moment du parcours vous vous sentez malade, n'hésitez pas à nous prévenir et à vous arrêter**. Nous vous remercions par avance pour votre collaboration.
Annick Maincent et Sandra Gatt – LEACM – Université Lyon2

Annexe 26 : Questionnaire d'identification

Connaissez-vous ces systèmes ?				
<input type="radio"/> caméra de recul	<input type="radio"/> rétroviseur avant	<input type="radio"/> capteurs d'obstacles	<input type="radio"/> GPS	
Les utilisez-vous ou les avez-vous déjà utilisés ?				
	Camion	Voiture	Simulateur	Car
GPS : système de navigation	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Antéviseur	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Caméra de recul	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Capteurs d'obstacles	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Connaissez-vous le camion FIDEUS ?				
<input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non				
L'avez-vous déjà conduit ?				
<input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non				
Combien de fois ?				
Avez-vous le mal des transports ?				
<input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non				
Si oui,				
<input type="radio"/> souvent <input type="radio"/> occasionnellement <input type="radio"/> jamais				
Avez-vous déjà conduit sur le simulateur de conduite ?				
<input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non				
Si oui, combien de fois ?				
<input type="radio"/> 1 fois <input type="radio"/> moins de 5 fois <input type="radio"/> entre 5 et 10 fois <input type="radio"/> plus de 10 fois				
Avez-vous été malade sur le simulateur ?				
<input type="radio"/> Non				
<input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> à chaque fois <input type="radio"/> parfois				
Avez-vous déjà eu un accident avec un piéton ou un cycliste ?				
<input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non				
Si oui, avec quel type de véhicule ?				
<input type="radio"/> voiture <input type="radio"/> poids lourds <input type="radio"/> moto				
Dans quel environnement ?				
<input type="radio"/> urbain <input type="radio"/> extra-urbain				

Annexe 27 : Le NASA TLX modifié : description des facteurs et formulaires

Le NASA TLX Modifié

Indice de Charge de Travail adapté à la conduite en environnement routier pour l'évaluation de systèmes embarqués

Traduit et adapté à partir du NASA TLX et du D.A.L.I. par A. Maincent (2009)

Le test que vous allez faire est un test d'auto évaluation de la charge de travail. Il est basé sur votre évaluation personnelle à partir de votre ressenti pendant la séance de simulation. Les facteurs de la charge de travail que vous devez évaluer sont : **l'exigence mentale**, **l'exigence visuelle** et **l'exigence auditive** imposées par la situation ainsi que la

perturbation (gêne) provoquée par les divers systèmes testés , le **niveau de stress** que vous avez éprouvé pendant le trajet et votre **performance** de conduite en terme de sécurité et d'efficacité tout en respectant les limitations de vitesse. Vous trouverez ci-dessous la définition précise de chaque facteur.

Vous devrez ensuite remplir les deux formulaires qui suivent en respectant les instructions. Vous pouvez conserver les définitions sous les yeux pour vous aider.

DEFINITIONS DES FACTEURS DE CHARGE DE TRAVAIL		
Facteurs	Evaluation	Descriptions
EXIGENCE MENTALE	De Faible à Élevée	Importance de l'attention et du travail mental imposés par les situations de conduite et par les informations venant du véhicule (afficheur, systèmes divers...)
EXIGENCE VISUELLE	De Faible à Élevée	Importance de la charge visuelle imposée par l'ensemble des informations visuelles à prendre en compte pour la conduite (environnement routier, indicateurs et alarmes du véhicule, systèmes divers...)
EXIGENCE AUDITIVE	De Faible à Élevée	Importance de la charge auditive imposée par l'ensemble des informations auditives à prendre en compte pour la conduite (environnement routier, indicateurs et alarmes du véhicule, systèmes divers...)
PERTURBATION	De Faible à Élevée	Niveau de gêne provoqué par les divers systèmes embarqués pendant la conduite (radio, indicateurs et alarmes du véhicule, systèmes divers...)
STRESS	De Faible à Élevé	Niveau de stress ressenti pendant la conduite (irritation, fatigue, nervosité...)
PERFORMANCE	De Bonne à Mauvaise	Performance de sécurité et d'efficacité tout en respectant les limitations de vitesse.

Instructions

Nous attendons de vous une **évaluation personnelle** des 6 facteurs de la charge de travail ressentie **pendant la séance de simulation**.

Pour chacun des facteurs, **faites une croix** sur la ligne entre les deux extrêmes, **selon ce que vous avez ressenti** pendant le test.

Attention pour le facteur **performance**, (« bonne » à gauche et « mauvaise » à droite)

Exigence mentale : Quelle a été l'importance de l'attention que vous avez dû fournir pour conduire et manœuvrer sur ce parcours ?

Faible |-----| Elevée

Exigence visuelle : Quelle quantité d'informations visuelles avez-vous dû prendre en compte pour la conduite et les manœuvres (environnement routier, indicateurs et, systèmes divers...)?

Faible |-----| Elevée

Exigence auditive : Quelle quantité de signaux sonores avez-vous dû prendre en compte pour la conduite (environnement, indicateurs du véhicule, alarmes...)?

Faible |-----| Élevé

Perturbation : Dans quelle mesure vous êtes-vous senti perturbé dans la conduite par les systèmes embarqués (radio, indicateurs et alarmes, systèmes divers...)?

Faible |-----| Elevée

Niveau de Stress : Dans quelle mesure vous êtes-vous senti stressé, irrité ?

Faible |-----| Elevé

Performance : Comment évaluez-vous votre façon de conduire sur ce parcours (sécurité, efficacité, respect du code de la route et de la signalisation) ?

Bonne |-----| Mauvaise

Dans les cases ci-dessous, vous allez retrouver les facteurs de charge que vous venez d'évaluer, présentés deux par deux.

Dans chaque case, choisissez entre les 2 facteurs : celui auquel vous avez accordé le plus d'importance pour l'ensemble du parcours que vous venez d'effectuer :

Dans chaque case, entourez le facteur que vous aurez choisi

Choisissez l'un des deux facteurs, même si vous avez l'impression que les 2 facteurs d'une même case ont été, soit d'importance identique, soit sans aucune importance. Répondez le plus spontanément possible.

<p>EXIGENCE MENTALE</p> <p>#</p> <p>EXIGENCE VISUELLE</p>	<p>EXIGENCE AUDITIVE</p> <p>#</p> <p>PERFORMANCE</p>	<p>STRESS</p> <p>#</p> <p>EXIGENCE VISUELLE</p>
<p>PERFORMANCE</p> <p>#</p> <p>EXIGENCE VISUELLE</p>	<p>EXIGENCE MENTALE</p> <p>#</p> <p>EXIGENCE AUDITIVE</p>	<p>PERTURBATION</p> <p>#</p> <p>PERFORMANCE</p>
<p>PERFORMANCE</p> <p>#</p> <p>STRESS</p>	<p>PERTURBATION</p> <p>#</p> <p>EXIGENCE MENTALE</p>	<p>PERTURBATION</p> <p>#</p> <p>STRESS</p>
<p>STRESS</p> <p>#</p> <p>EXIGENCE AUDITIVE</p>	<p>EXIGENCE VISUELLE</p> <p>#</p> <p>EXIGENCE AUDITIVE</p>	<p>PERFORMANCE</p> <p>#</p> <p>EXIGENCE MENTALE</p>
<p>EXIGENCE VISUELLE</p> <p>#</p> <p>PERTURBATION</p>	<p>STRESS</p> <p>#</p> <p>EXIGENCE MENTALE</p>	<p>EXIGENCE AUDITIVE</p> <p>#</p> <p>PERTURBATION</p>

Annexe 28: Consignes avant roulage « Familiarisation »

Consignes Familiarisation

Avant tout, pensez à attacher votre ceinture de sécurité et à éteindre votre téléphone portable.

Cette première séance va vous servir à prendre **connaissance du circuit** et à vous **habituer au simulateur**. Vous n'avez aucun système à tester, mais vous aurez un certain nombre de **manœuvres à effectuer** pour stationner. Vous disposez des **commandes et avertisseurs habituels** sur un véhicule : clignotant, warning, signal de recul, frein de parc. Le passage des rapports (12 vitesses) se fait au volant, sans débrayer. Le simulateur est équipé d'un rétroviseur

latéral à gauche et à droite ainsi que d'un antévisseur. Vous disposez d'un **écran de navigation** situé à gauche sur la planche de bord. Pendant le roulage, vous suivrez les indications sur cet écran pour vous diriger. Nous vous indiquerons **par radio** les endroits où vous devrez vous arrêter et le type de manœuvre à effectuer. Pour la plupart des manœuvres, vous devrez vous arrêter **au niveau d'une poubelle**. Essayer de vous arrêter de manière à ce que la poubelle se situe **dans l'encadrement de votre fenêtre droite**. Lors de chaque arrêt après une prise de stationnement, nous vous demanderons d'éteindre le moteur. Le simulateur sera plongé dans le noir et nous vous indiquerons à quel moment vous pourrez relancer le moteur. En cas de besoin, vous pourrez communiquer avec nous par l'intermédiaire de la radio et vous serez filmé pendant toute la séance. Essayez de **conduire comme vous le faites habituellement**, en respectant la signalisation routière, les priorités, les limitations de vitesse. Il peut y avoir d'autres usagers sur le parcours, vous devrez donc adapter votre conduite en fonction de l'environnement. Quand vous devrez vous **arrêter à un feu rouge**, positionnez-vous le plus à gauche possible de la voie sur laquelle vous serez et quand vous le pourrez, arrêtez-vous bien au niveau du feu. Pour **tourner à droite** aux feux tricolores, merci de prendre votre virage bien large. Si un piéton ou un cycliste vous gêne pour effectuer une manœuvre (marche arrière, démarrage, etc.), vous devrez **klaxonner** pour le faire partir (impératif de la simulation). Votre performance en fin de parcours sera évaluée en termes de **sécurité**, de **respect des limitations de vitesse** et d'**efficacité**. A la fin de ce parcours vous aurez un questionnaire à remplir pour évaluer votre charge de travail pendant la séance. **Si, à n'importe quel moment du parcours vous vous sentez malade, n'hésitez pas à nous prévenir et à vous arrêter. En cas d'urgence, appuyez sur le bouton rouge pour arrêter la simulation**

Annexe 29 : Consignes avant roulage « sans système »

CONSIGNES SANS SYSTEME

Avant tout, pensez à attacher votre ceinture de sécurité et à éteindre votre téléphone portable.

Cette fois, la séance sera filmée et enregistrée.

Pendant cette deuxième séance, vous n'avez **aucun système à tester**, mais vous aurez un certain nombre de **manœuvres à effectuer**.

Comme lors de la première séance, vous suivrez les **indications sur l'écran de navigation** pour vous diriger et nous vous indiquerons **par radio** les endroits où vous devrez vous arrêter et le type de manœuvre à effectuer.

Pour la plupart des manœuvres, vous devrez vous arrêter **au niveau d'une poubelle**. Essayer de vous arrêter de manière à ce que la poubelle se situe **dans l'encadrement de votre fenêtre droite**.

Lors de chaque arrêt après une prise de stationnement, nous vous demanderons d'éteindre le moteur. Le simulateur sera plongé dans le noir et nous vous indiquerons à quel moment vous pourrez relancer le moteur.

Essayez de **conduire comme vous le faites habituellement**, en respectant la signalisation routière, les priorités, les limitations de vitesse.

Quand vous devrez vous **arrêter à un feu rouge**, positionnez-vous le plus à gauche possible de la voie sur laquelle vous serez et quand vous le pourrez, arrêtez-vous bien au niveau du feu.

N'oubliez pas de prendre vos **virages à droite** bien **large** aux feux tricolores.

Si un piéton ou un cycliste vous gêne pour effectuer une manœuvre (marche arrière, démarrage, etc.), vous devrez **klaxonner** pour le faire partir.

A la fin de ce parcours vous aurez le questionnaire à remplir pour évaluer votre charge de travail pendant la séance.

Si, à n'importe quel moment du parcours vous vous sentez malade, n'hésitez pas à nous prévenir et à vous arrêter. En cas d'urgence, appuyez sur le bouton rouge pour arrêter la simulation

Annexe 30 : Présentation des IHM et des stratégies d'assistance en mode informatif

PRESENTATION SYSTEMES INFORMATIFS

Pour ce parcours, vous aurez à votre disposition un ensemble de systèmes d'information et d'alerte pour détecter les piétons ou les cyclistes avec lesquels vous risquez d'avoir un accident à basse vitesse (en dessous de 30 km/heure) :

Vous avez un **système de vision et de détection arrière** qui est constitué d'un **écran** (écran qui sert aussi à la navigation) situé sur la planche de bord à votre gauche, d'un **bouton de commande** situé à droite sur la planche de bord, d'une **diode lumineuse** au-dessus de l'écran et d'une **alarme sonore**.

Pour avoir la **vue arrière** vous devez **enclencher la marche arrière** ou appuyer sur le **bouton de commande** si vous êtes au point mort. Le bouton est inactif si vous êtes en marche avant.

Dès que vous enclenchez un rapport en marche avant, l'écran passe en affichage navigation.

La **diode lumineuse** s'allume dès qu'un **usager est détecté** par le système (capteurs et caméra).

L'**alarme sonore** retentit dès qu'il y a un **risque de collision imminente** quand un rapport est enclenché (marche avant ou marche arrière). L'alarme sonore ne fonctionne pas quand le véhicule est au point mort.

Le deuxième système est un **système de vision et de détection latérale** de l'angle mort côté droit. Il est constitué d'un **écran** situé à l'extrême droite de la planche de bord, d'une **diode lumineuse** située au-dessus de l'écran et d'une **alarme sonore**.

La **vision latérale** est affichée en continu.

La **diode lumineuse** s'allume dès qu'un **usager est détecté** par le système (capteurs et caméra).

L'**alarme sonore** retentit dès qu'il y a un **risque de collision imminente** quand un rapport est enclenché (marche avant ou marche arrière). L'alarme sonore ne fonctionne pas quand le véhicule est au point mort.

Le troisième est un **système de vision et de détection avant** contre le capot. Il est constitué d'un **antéviseur**, d'une **diode lumineuse** située au milieu de la planche de bord, contre le pare-brise et d'une **alarme sonore**.

La **diode lumineuse** s'allume dès qu'un **usager est détecté** par le système (capteurs).

L'**alarme sonore** retentit dès qu'il y a un **risque de collision imminente** quand la marche avant est enclenchée. L'alarme sonore ne fonctionne pas quand le véhicule est au point mort.

Les alarmes lumineuses et sonores pour l'avant et le côté ne fonctionnent pas quand vous êtes en marche arrière.

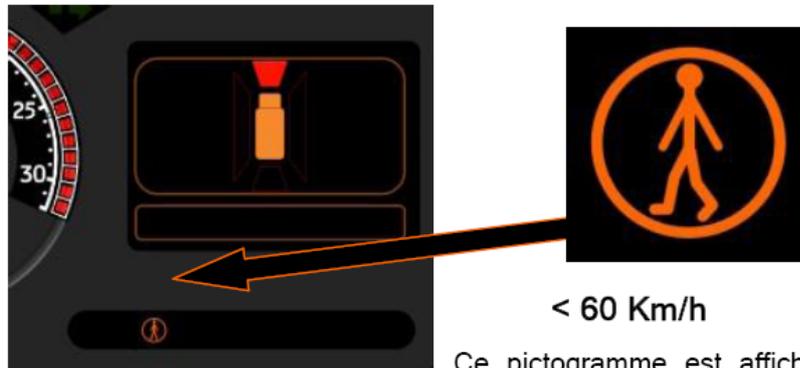
Les alarmes lumineuses et sonores pour l'arrière ne fonctionnent pas quand vous êtes en marche avant.



Annexe 31 : Planche de présentation des pictogrammes en mode informatif

Présentation des Pictogrammes

Dans la partie droite de l'afficheur vous avez des pictogrammes qui complètent les alarmes et qui vous indiquent l'état du système.



Ce pictogramme est affiché en continu quand le système est en marche et fonctionne en mode informatif.

Les pictogrammes disparaissent dès que vous roulez à plus de 60km/h.

Cela signifie que le système de détection et d'alerte est inactif.



Ces pictogrammes s'affichent dès qu'un usager est détecté par le système et indiquent la zone dans laquelle se situe l'usager.

Annexe 32 : Consignes avant roulage « Systèmes Informatifs »

CONSIGNES SYSTEMES INFORMATIFS

Avant tout, pensez à attacher votre ceinture de sécurité et à éteindre votre téléphone portable.

Comme lors des précédentes séances, vous allez avoir un parcours à effectuer et un certain nombre de manœuvres à accomplir. Vous suivrez les **indications sur l'écran de navigation** pour vous diriger et nous vous indiquerons **par radio** les endroits où vous devrez vous arrêter et le type de manœuvre à effectuer.

Essayez de **conduire comme vous le faites habituellement**, en respectant la signalisation routière, les priorités, les limitations de vitesse.

Quand vous devrez vous **arrêter à un feu rouge**, positionnez-vous le plus à gauche possible de la voie sur laquelle vous serez et quand vous le pourrez, arrêtez-vous bien au niveau du feu.

N'oubliez pas de prendre vos **virages à droite bien large** aux feux tricolores.

Si un piéton ou un cycliste vous gêne pour effectuer une manœuvre (marche arrière, démarrage, etc.), vous devrez **klaxonner** pour le faire partir.

A la fin de ce parcours vous aurez le questionnaire à remplir pour évaluer votre charge de travail pendant la séance ainsi qu'un questionnaire spécifique pour ce parcours.

Si, à n'importe quel moment du parcours vous vous sentez malade, n'hésitez pas à nous prévenir et à vous arrêter. En cas d'urgence, appuyez sur le bouton rouge pour arrêter la simulation

Annexe 33 : Présentation des IHM et des stratégies d'assistance en mode actif

Présentation des Systèmes Actifs

Pour ce dernier parcours, vous aurez à votre disposition, l'ensemble des **systèmes d'information** et d'alerte (détection avant, arrière et latérale des usagers vulnérables) que vous avez essayés la dernière fois, complétés par trois systèmes **d'assistance active** :

Un **limiteur de vitesse**, un système de **freinage d'urgence** et un système **d'antidémarrage**.

Le **limiteur** se déclenche à l'approche de piéton(s) ou de cycliste(s), lorsque le système détecte un risque de **collision potentiel** si vous n'avez pas suffisamment anticipé la situation. Il peut être suivi d'un freinage d'urgence.

Le **freinage d'urgence** se déclenche dès qu'il y a un risque de **collision imminente** avec un usager, piéton ou cycliste. **Il ne fonctionne en aucun cas** avec les véhicules ou objets (poubelles, etc.).

Le limiteur et le freinage d'urgence sont actifs uniquement **en dessous de 30km/h** et s'accompagnent de **l'alarme sonore** pour vous avertir du danger et d'une **diode lumineuse** pour vous préciser la zone à risque (avant, arrière ou latérale). Le **pictogramme** correspondant à la fonction et à la zone de détection s'affiche pendant 4 secondes.



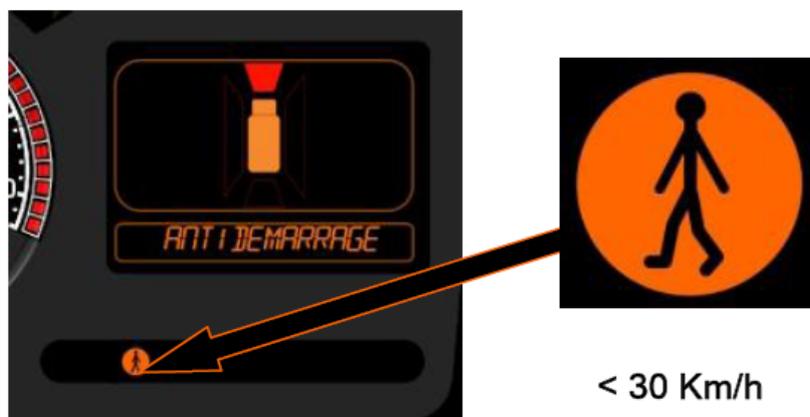
L'**antidémarrage** se déclenche lorsqu'un usager est détecté par le système et que vous **enclenchez une vitesse** (marche avant ou marche arrière) en cas de **collision certaine**.

Le **pictogramme** « antidémarrage » indiquant la zone de détection s'affiche tant que l'**usager** est dans la zone à risque ou tant que la **vitesse** est enclenchée.

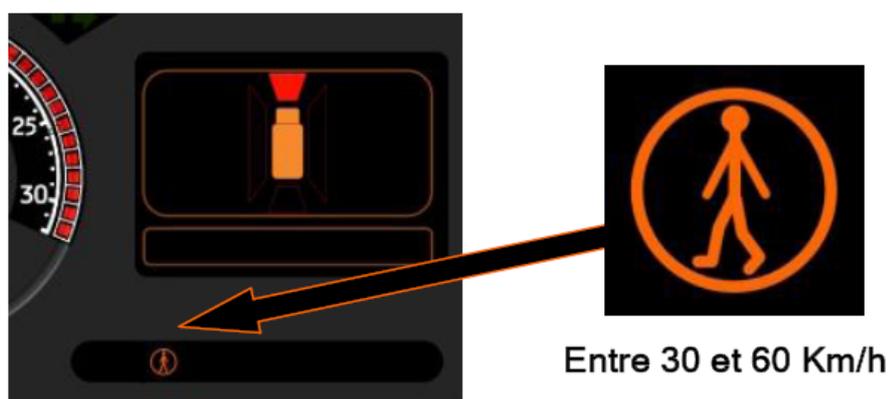


Annexe 34 : Planche de présentation des pictogrammes en mode actif

PICTOGRAMMES SYSTEMES ACTIFS



Ce pictogramme est affiché en continu quand le véhicule roule en dessous de 30km/h, pour indiquer que les systèmes actifs sont opérationnels.



Ce pictogramme est affiché quand le véhicule roule entre 30 et 60 km/h. Il vous indique que le système est en mode informatif uniquement.

Les deux pictogrammes disparaissent dès que vous roulez à plus de 60km/h.

Cela signifie que tous les systèmes de détection et d'alerte sont inactifs.

Annexe 35 : Consignes avant roulage « systèmes actifs »

CONSIGNES SYSTEMES ACTIFS

Avant tout, pensez à attacher votre ceinture de sécurité et à éteindre votre téléphone portable.

Comme lors des précédentes séances, vous allez avoir un parcours à effectuer et un certain nombre de manœuvres à accomplir.

Essayez de **conduire comme vous le faites habituellement**, en respectant la signalisation routière, les priorités, les limitations de vitesse.

Il peut y avoir d'autres usagers sur le parcours, vous devrez donc adapter votre conduite en fonction de l'environnement.

Quand vous devrez vous **arrêter à un feu rouge**, positionnez-vous le plus à gauche possible de la voie sur laquelle vous serez et quand vous le pourrez, arrêtez-vous bien au niveau du feu.

N'oubliez pas de prendre vos **virages à droite** bien **large** aux feux tricolores.

Si un piéton ou un cycliste vous gêne pour effectuer une manœuvre (marche arrière, démarrage, etc.), vous devrez **klaxonner** pour le faire partir.

Votre performance en fin de parcours sera évaluée en termes de **sécurité**, de **respect des limitations de vitesse** et d'**efficacité**.

A la fin de ce parcours vous aurez le questionnaire à remplir pour évaluer votre charge de travail pendant la séance ainsi qu'un questionnaire spécifique pour ce parcours.

Si, à n'importe quel moment du parcours vous vous sentez malade, n'hésitez pas à nous prévenir et à vous arrêter.

Annexe 36 : Tableau détaillé des accidents évités ou non lors des différents protocoles

Code	NON EVITE	S.				n° Sit.	EN VIE SYST.	Prot.	S. Inform.	S. Actif	n° Sit.
		Prot.	S. Syst	Inform.	S. Actif						
S1	1	A	X			8	4	B	X		3
								C		X	4+5+8
S2	1	A	X			8	4	B		X	3+9
								C	X		4+6
S3	1	B	X			9	1	A		X	8
S4	5	A		X		8+10	5	A	X		7
		B	X			6+9+11		C		X	2+4+5+6
S5	5	A		X		9					
		B			X	12					
		C	X			4+5+6					
S6	3	A			X	7					
		C	X			6+8					
S7	2	A	X			8+10	2	B	X		9
								C		X	6
S8	3	A	X			7+8+10	4	B		X	3+6
								C	X		4+6
S9	2	B	X			3+11	4	A		X	8+9+10
								C	X		6
S10	3	A		X		9		A	X		8
		B	X			6+11	2	C		X	8
S11	3	C	X			4+6+8	4	A	X		5+8
								B		X	3+11
S12	2	C	X			4+6	4	A		X	5+8+10
S13	5	A	X			5+7+8+9+10	4	B	X		3+6
								C		X	4+6
S14	1	A	X			10	1	B		X	11
S17	2	A	X				2	A	X		8
		C	X			4+6		B		X	11
TOTAL		39				41		TOTAL 80			