

Conception de systèmes d'assistance au conducteur : comment prendre en compte le caractère complexe, dynamique et situé de la conduite automobile ? Cognition située et conception de systèmes d'assistance au conducteur

Thérèse Villame

RENAULT

Direction des Avant-Projets, de la Recherche et des Prestations

Département Ergonomie et Interactions Homme-Machine

TECHNOCENTRE (TCR AVA 1 20) - 1, avenue du Golf - 78 288 GUYANCOURT Cedex

therese.villame@renault.com

RÉSUMÉ

Avec l'émergence de systèmes d'assistance à la conduite, dont certains interviennent directement – bien que partiellement – dans l'activité du conducteur, l'interaction de ce dernier avec son véhicule et l'environnement se modifie. Pour concevoir des systèmes d'assistance optimisant réellement cette interaction et qui soient en adéquation avec les besoins des conducteurs, il est indispensable de développer des connaissances fines sur leur activité et sur la diversité des situations de conduite rencontrées. La façon d'aborder l'activité de conduite automobile dépend largement des hypothèses que l'on a sur la cognition humaine en général, notamment sur les relations entre perception, action et situation, dimensions fondamentales de cette activité dynamique, complexe et située. De ce point de vue, différents travaux récents dégagent un faisceau d'hypothèses qui apparaissent comme particulièrement pertinentes pour appréhender l'activité des conducteurs et rendre compte des phénomènes que nous avons l'occasion d'observer dans le cadre de nos propres études sur la conduite. L'objectif de ce texte est de discuter de l'intérêt de cette nouvelle approche de la cognition humaine, que l'on tend à désigner par le terme de « Cognition située », comme approche alternative à l'approche computationnelle et de montrer comment des évolutions conceptuelles et méthodologiques, peuvent conduire à des évolutions relatives à la conception et l'évaluation de système d'assistance à la conduite interactifs. Pour ce faire, nous présentons comment nous mettons concrètement en œuvre les hypothèses de la « Cognition située » dans le cadre de nos études sur la conduite automobile, en particulier celles menées dans le cadre d'un projet de conception d'un système aidant le conducteur à gérer sa vitesse et ses distances. Au fil de cette démarche illustrative, nous soulignons comment ces hypothèses guident nos études, tant en ce qui concerne la formulation des questions d'analyse et les choix qui en découlent pour la construction des situations d'étude, que la démarche méthodologique mise en œuvre pour le recueil et l'analyse de données sur l'activité de conduite.

MOTS-CLÉ

Conduite automobile, Systèmes d'assistance au conducteur, Régulateur de distance, Analyse de l'activité, Cognition située, Action située, Signification pour l'action, Données verbales.

ABSTRACT

Driving support systems design : how take into account complex, dynamic and situated features of the car driving ? Situated cognition and Driving support systems design

Driving support systems have emerged for some years, some of them acting instead of the driver – even partially. They contribute to change drivers' interactions with their vehicle and with the environment also. The design of driving support systems, in order to improve these interactions and fit the drivers' needs, requires an accurate knowledge about driving activity and about the diversity of driving situations also. Studying car driving activity is highly-dependent on the hypotheses we have on general human cognition, and especially on the relations between perception, action and situation, which are basic dimensions for this dynamic, complex and situated activity. From this point of view, a bundle of hypotheses comes into view from different recent studies, which seems especially relevant to study the car drivers' activity. These hypotheses enable us to have a better understanding of some specific phenomena we can notice when observing car driving. The aim of this paper is to discuss the interest of this new approach of the human cognition, named « Situated cognition », as an alternative to the computational approach. It is also to show how conceptual and methodological evolutions may lead to an evolution of the design and the assessment of interactive driving support systems. In this view, we present here how we concretely deal with the « Situated cognition » hypotheses to design our studies of driving activity, through some examples taken among those we have carried out specifically in relation with the development of a system devoted to assist the driver in regulating speeds and distances with vehicles in front of him/her. In this illustrative approach, we underline how « Situated cognition » framework guides the analytic questions of our studies and the choice of the subsequent study situations also, as well as the methodological framework for collecting and analysing the data on car driving activity.

KEYWORDS

Car driving, Driving support systems, Adaptive Cruise Control, Activity analysis, Ethnographic activity analysis, Situated Cognition, Situated action, Meaning for action, Verbal data report.

1.- Les questions d'ergonomie posées par la conception des systèmes d'assistance au conducteur

C'est dans les années 1980 que les travaux relatifs aux systèmes d'assistance à la conduite ont pris leur essor, notamment dans le cadre du programme européen PROMETHEUS, lancé en 1986, qui visait l'amélioration de la sécurité routière européenne. Pendant huit ans, ce programme a ainsi rassemblé des constructeurs automobiles, des équipementiers et des laboratoires de recherche autour du concept de « véhicule intelligent », composé de systèmes visant à assister le conducteur sur différentes dimensions de la conduite présentant un enjeu du point de vue de la sécurité, telles que la gestion des vitesses, des distances, de la trajectoire du véhicule, d'un itinéraire, d'une flotte de véhicules, de la communication entre véhicules et entre véhicules et infrastructure, etc.

Pour la plupart issus du programme PROMETHEUS, au moins dans leur concept, les systèmes avancés (ou dits « intelligents ») d'assistance au conducteur sont maintenant une réalité. Certains d'entre eux, tels que les systèmes de navigation qui aident le conducteur à planifier et suivre un itinéraire, sont présents sur le marché depuis maintenant quelques années. Plus récemment, des constructeurs proposent à leurs clients des régulateurs de vitesse à contrôle de distance pour les assister dans la gestion des marges de sécurité avec un véhicule les précédant.

Tous ces systèmes ne sont cependant pas de même nature, proposant des modes d'interaction variés avec les conducteurs et, par conséquent, posant à l'ergonomie des problématiques de conception différentes (sur ce point, voir aussi Villame et Theureau, 2001). Ainsi, les systèmes d'information sur le trafic, les systèmes d'alerte visant à prévenir le conducteur, par exemple d'une sortie de route, ou encore ceux, plus sophistiqués, le guidant pas à pas dans le suivi d'un trajet ou encore dans la réalisation d'une manœuvre donnée, ont avant tout une vocation informationnelle. Les questions qu'ils posent sont principalement relatives à la définition des informations à transmettre au conducteur et aux modalités à adopter pour présenter ces informations.

Il existe une autre catégorie de systèmes, dont la vocation est d'assister le conducteur sur une ou plusieurs dimensions particulières de la conduite en intervenant directement dans l'activité du conducteur ou en renforçant son action (voir aussi Malaterre, & Saad, 1986, pour une définition des aides à la conduite). Il s'agit essentiellement des systèmes d'assistance au contrôle longitudinal du véhicule (par exemple, régulation des vitesses, régulation des distances, gestion de l'approche d'un obstacle,...) et/ou au contrôle latéral du véhicule (par exemple, gestion du positionnement latéral du véhicule, assistance au dépassement, etc.). Ces systèmes, que l'on peut qualifier d'interactifs, induisent une modification parfois importante des interactions entre le conducteur, son véhicule et l'environnement. De ce fait, leur conception pose des questions radicalement différentes de celles posées par la conception des systèmes purement informationnels. Ces questions sont principalement relatives aux conditions d'acceptation d'un système nouveau par les conducteurs, aux modalités de répartition des fonctions entre le conducteur et un système d'assistance donné et notamment aux modalités de partage du contrôle de l'interaction et, bien sûr, relatives aux modalités d'intervention du système dans l'activité du conducteur pour qu'il s'y intègre au mieux, afin de constituer une aide réelle et non une contrainte, même occasionnelle.

Dans le cadre de ce texte, l'intérêt de différents travaux que l'on peut rassembler, au moins en partie, au sein d'une approche que l'on tend à désigner par le terme de « Cognition située », est discuté, notamment au regard de leur apport potentiel pour aborder les problématiques posées par la conception ergonomique de tels systèmes interactifs.

2.- Quelles hypothèses théoriques pour l'étude de l'activité cognitive de conduite automobile ?

Initialement, le développement de ces systèmes d'assistance au conducteur a surtout été orienté par les avancées technologiques, notamment celles de l'électronique embarquée et des technologies de détection de l'environnement. Ce n'est que progressivement que s'est imposée la question de l'adéquation des choix techniques effectués avec les besoins des conducteurs et la diversité des situations de conduite rencontrées par ces conducteurs. Or, la qualité de cette adéquation détermine l'acceptation du nouveau système par les conducteurs et la qualité de son intégration dans la conduite, ce qui est d'autant plus crucial en ce qui concerne les systèmes interactifs qui interviennent directement dans l'activité.

Pour aborder ces questions, il s'avère de plus en plus indispensable de développer des connaissances fines sur l'activité des conducteurs et la diversité des situations de conduite qu'ils sont amenés à rencontrer. Processus dynamique et complexe, mettant en jeu différentes modalités sensorielles, nécessitant des adaptations contextuelles permanentes (Neboit, 1974, 1982 ; Allen, & Stein, 1987), les conditions de connaissance des mécanismes sous-tendant la conduite automobile ne s'improvisent pas et sont complexes à mettre en oeuvre. De plus, on peut considérer qu'analyser une activité humaine comme la conduite automobile, comme évaluer un système d'assistance à cette activité, nécessite d'avoir une compréhension de l'activité cognitive humaine en général. Dans cette perspec-

tive, la façon d'aborder l'activité de conduite dépend alors fortement des hypothèses que l'on a sur la cognition humaine en général.

2.1.- La cognition humaine se réduit-elle à un processus de traitement de l'information ?

Depuis plusieurs décennies, la psychologie cognitive propose une approche de la cognition humaine centrée sur une conception du cerveau humain en tant que système de prise et de traitement de l'information symbolique (Fastenmeier, & Gstalter, 1991 ; Ranney, 1994), conception ayant émergé avec le modèle de Broadbent (1958). Dans cette optique, la perception humaine, le raisonnement et la prise de décision sont abordés comme une chaîne séquentielle d'opérations, de type : état du monde → perception (souvent réduite à la réception d'information) → représentation interne (ou image mentale) → calcul sur ces représentations (ou « computation », par analogie forte avec le fonctionnement d'un ordinateur) → décision (débouchant sur l'envoi d'une information ou d'un ordre) → exécution d'une action (aboutissant à une modification du monde). Les modélisations de la cognition développées selon cette approche en proposent généralement une architecture hiérarchique. Chaque niveau de cette architecture est supposé réaliser une étape plus ou moins complexe du processus de transformation des données, ce qui prend plus ou moins de temps selon le niveau considéré et nécessite plus ou moins d'attention et de contrôle. Chaque niveau met en œuvre des compétences et connaissances différentes, qui font elles-mêmes l'objet de modélisations hiérarchiques (Schank, & Abelson, 1977 ; Anderson, 1983 ; Rasmussen, 1983, 1987 ; Wickens, 1992). La plupart des modèles de la conduite automobile proposés dans la littérature sont développés dans le cadre de cette approche de la cognition humaine et sont le plus souvent des enrichissements ou des adaptations des modélisations qui en découlent (voir par exemple King, & Lunenfeld, 1971 ; Alexander, & Lunenfeld, 1975 ; Michon, 1985, Allen, & Stein, 1987 ; Specht, & Sperandio, 1995). Selon Ranney (1994), aucun des modèles disponibles ne permet de comprendre de manière satisfaisante comment se déroule effectivement l'activité de conduite automobile dans toute sa dynamique et sa complexité, ni n'explorent suffisamment le rôle des facteurs situationnels pourtant déterminants des contextes très variés dans lesquels elle a lieu.

Cette approche générale de la cognition est donc, on le voit, réduite essentiellement au raisonnement et à la prise de décision, qui consistent en des opérations logiques sur des représentations symboliques pré-existantes. Dans ce cadre, la cognition est clairement séparée de la perception et de l'action. La situation pour sa part, comme la perception elle-même, ne sont considérés qu'en tant que stimuli. Or, cette vision de la cognition humaine tend à être actuellement dépassée par les progrès scientifiques.

2.2.- Vers une nouvelle considération des relations entre perception, action et situation

Différents travaux récents proposent en effet une **nouvelle conception des relations entre action et perception**, où action et perception sont au contraire considérées comme indissociables, postulant même qu'il n'y a pas de perception sans action (voir notamment Varela, 1989 ; Theureau, 1992 ; Port, & Van Gelder, 1995 ; Berthoz, 1997). Selon cette approche, le cerveau n'est pas juste un transformateur passif d'informations sensorielles (les stimuli) en reconstructions *a posteriori* d'objets du monde, mais il construit le monde en couplant activement l'expérience perceptive avec une situation concrète. Ainsi, la recherche d'information ne commence pas seulement au moment de l'apparition d'un événement extérieur mais est « située ». Dans cette perspective, les notions de représentation symbolique ou d'image mentale tendent à être remplacées par celles de constitution active de l'expérience perceptive et de couplage avec une situation concrète. On postule en effet que la cognition n'est pas uniquement contenue dans des processus mentaux internes à l'acteur mais est considé-

rée comme instanciée dans l'action. Selon cette approche, la perception se construit dans l'action et en outre, action et perception ne sont jamais totalement isolées. Au contraire, elles font suite à des actions et des perceptions passées, comme elles s'opèrent en préparation d'actions et de perceptions futures. Perception et action sont ainsi en relation avec l'ensemble des phénomènes de la cognition : elles sont consécutives à des interprétations de sa situation de la part de l'acteur, des raisonnements et des prises de décision. Cela signifie non seulement que, comme l'ensemble de la cognition, le couplage perception-action est un processus actif, mais encore que ce processus fait partie intégrante de la cognition.

Parallèlement, dans différents domaines relatifs à l'étude de l'activité humaine, tels que les sciences cognitives, les neurosciences, la psychophysiologie, la psychologie, l'anthropologie cognitive, la robotique ou l'ergonomie elle-même, on voit se développer **une nouvelle prise en considération de l'action et de la situation** dans laquelle s'inscrit cette action, qui ouvre sur une nouvelle perspective d'étude de la cognition humaine. Cette approche, également alternative à la vision proposée par la psychologie cognitive, s'est principalement développée initialement à partir des travaux de Suchman (1987) sur le concept d'« Action située ». Cette approche ne considère plus l'action en tant que réaction à un stimulus, mais fait l'hypothèse d'une construction de l'action dans la situation, c'est-à-dire en relation directe avec l'engagement de l'individu avec le monde à un moment donné. Il est en effet postulé que pour qu'un événement soit pris en compte, il faut qu'il entre en résonance (ou au contraire en dissonance) avec des préoccupations de l'individu, avec son engagement dans la situation. Cette approche souligne ainsi une dimension majeure de toute activité, qui est son rapport au contexte, dans le sens où l'activité se construit le plus souvent au gré de circonstances particulières, essentielles au choix des actions à effectuer et à l'identification et la prise en considération des événements qui se déroulent (Suchman, 1987 ; Whiteside, & Wixon, 1987). Or, ces circonstances ne peuvent jamais être complètement anticipées et changent constamment. En outre, ces circonstances ne sont pas données d'emblée mais font l'objet d'une construction de la part de l'acteur, en particulier en fonction de ses objectifs à un moment donné : le monde perçu n'est pas indépendant de celui qui le perçoit et de la signification qu'il accorde à ce qui l'entoure. Autrement dit, chaque individu interagit seulement avec ce qui est signifiant pour lui dans l'environnement, à l'émergence duquel il a lui-même contribué, notamment à partir de ses propres interactions avec cet environnement à l'instant précédent, mais aussi à partir de sa personnalité, de sa compétence, ou encore de son état physiologique.

En écho à ces hypothèses, des travaux de Theureau (1992), notamment autour du concept complémentaire de « Signification pour l'action », cherchent à **rendre compte de la signification** qu'un individu (opérateur, utilisateur, conducteur...) accorde pour agir, aux événements qu'il rencontre et à la situation qui l'entoure. Comme le souligne également Grize (1992, 1995), la construction de cette signification n'est pas seulement guidée par un sens conventionnel, mais résulte de l'interprétation qu'en fait l'individu. Or, cette interprétation dépend de son projet, de l'action qu'il a entreprise, du contexte dans lequel prend place cette action, de ses connaissances et expériences passées. Elle est donc liée directement à l'individu, lui est propre et n'est pas observable. L'accent est à mettre d'emblée ici sur le fait que lui seul pourra nous permettre alors, directement ou indirectement, d'avoir accès à ses interprétations et de disposer ainsi d'éléments d'explication qui permettront de mieux comprendre l'activité humaine et ce qui, pour un individu donné, à un moment donné, dans des circonstances données, la motive. Or, on peut considérer, notamment sur la base de l'ensemble des hypothèses qui précèdent, que les actions et les perceptions sont en partie racontables et commentables par l'individu : elles sont en effet porteuses de sens pour lui et il est donc en mesure d'en faire un récit et d'en expliquer les raisons ou les implications pour son activité.

De cette nouvelle approche globale de la cognition humaine, désignée sous le terme de « Cognition située », découle on le voit un faisceau d'hypothèses concernant les phénomènes essentiels de l'action et de la cognition. Sur la base de notre expérience dans ce domaine, et comme nous l'avons

déjà avancé (Villame, & Theureau, 2001), ces hypothèses et en particulier la conceptualisation nouvelle qu'elles proposent des relations entre perception, action et situation, sont de notre point de vue, sur la base de notre expérience dans ce domaine, particulièrement pertinentes pour appréhender l'activité de conduite et rendre compte des phénomènes que nous avons l'occasion d'observer dans le cadre de nos propres études.

3.- Cognition située et étude de l'activité du conducteur pour la conception de systèmes d'assistance : l'évaluation d'un Régulateur de Distance

Dans la suite de ce texte, nous allons nous attacher à montrer comment les hypothèses de la « Cognition située » permettent d'opérer une réduction intéressante dans le système complexe formé par le conducteur et son environnement et comment elles guident ainsi de manière fructueuse nos études. Nous allons illustrer comment nous mettons concrètement en œuvre ces hypothèses dans les études que nous menons sur la conduite automobile, en particulier dans le cadre de projets de conception de systèmes interactifs d'assistance au conducteur, depuis la définition de ces études et leur réalisation concrète jusqu'à l'exploitation des résultats obtenus, en passant par la mise au point méthodologique du recueil de données sur l'activité. Nous chercherons, sur cette base, à mettre en évidence les intérêts et bénéfices que nous pensons tirer de ces hypothèses pour guider nos travaux, tout en en soulignant quelques limites.

Dans cette démarche illustrative, nous allons prendre comme fil conducteur le cas d'un système d'assistance précis sur lequel nous avons beaucoup travaillé et qui pose des questions intéressantes du point de vue des interactions homme-machine. Nous allons donc nous attarder auparavant sur la présentation de ce système appelé Régulateur de Vitesse à Contrôle de Distance (que nous appellerons plus simplement Régulateur de Distance dans la suite de ce texte).

Le Régulateur de Distance est un système dédié à un usage autoroutier. Le conducteur d'un véhicule équipé de ce régulateur a la possibilité de fixer une vitesse de consigne qui va être maintenue par le système. Le conducteur n'a alors plus besoin de maintenir son pied sur l'accélérateur. Un radar à l'avant du véhicule détecte un véhicule situé devant le conducteur sur la même voie et en calcule la vitesse et la distance. Si ce véhicule roule plus lentement que la vitesse de consigne fixée par le conducteur du véhicule équipé du radar, le système déclenche une décélération voire le freinage du véhicule. Si distance et vitesse relatives au véhicule précédent augmentent (c'est-à-dire s'il accélère, disparaît ou est doublé), le système déclenche une action d'accélération pour revenir au plus près de la vitesse de consigne

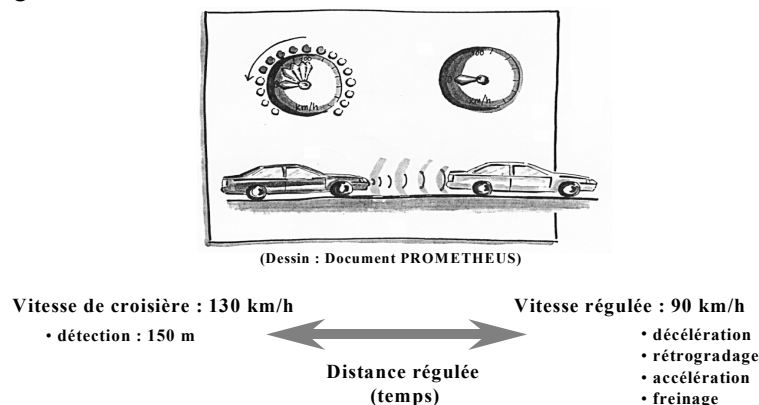


Figure 1.- Illustration du fonctionnement d'un système de régulation de la vitesse en fonction de la distance

Dans certains cas d'approche d'un véhicule plus lent où le système détecte que sa capacité de décélération et de freinage ne seront pas suffisantes pour gérer la situation en toute sécurité, il déclenche une alerte indiquant au conducteur de reprendre la main, soit en freinant lui-même, soit en déboîtant. Le conducteur peut ainsi reprendre la main à tout moment, en freinant ou accélérant, déconnecter le système quand il le souhaite ou suspendre momentanément son action. Quand le système est en fonctionnement, le conducteur n'a ainsi plus besoin d'utiliser les pédales et peut donc en retirer ses pieds, ce qui améliore son confort postural notamment pendant un long trajet. Si l'on reprend la catégorisation des systèmes d'assistance au conducteur proposée au début de ce texte, le régulateur de distance est un système de type « interactif », puisqu'il intervient directement dans l'activité du conducteur.

4.- Cognition située, formulation des questions pour l'analyse ergonomique et construction des situations d'étude

4.1.- Des hypothèses théoriques adoptées sur la cognition humaine découlent les questions d'analyse

À l'image du contexte du développement du programme PROMETHEUS, la plupart des études relatives à l'évaluation de systèmes d'assistance au conducteur ont été initiées dans un premier temps à partir de préoccupations relatives à des questions de faisabilité technique. De fait, la prise en compte de préoccupations liées au conducteur a eu lieu dans un second temps. Cela s'est principalement traduit par des études comparatives visant à évaluer différentes versions de prototypes pour contribuer à la mise au point technique des systèmes, ou à hiérarchiser différentes modalités de présentation de l'information. Dans ce cadre, les études menées sont centrées sur les performances du système et surtout de certaines de ses fonctions-clé (par exemple, la fonction de détection d'un obstacle, la fonction d'alerte, la fonction de régulation de la distance, etc.). Même si l'on peut relever quelques travaux précurseurs en la matière [notamment ceux de Malaterre et Saad (1984, 1986) et Saad et Malaterre (1989)], ce n'est que plus récemment que l'on a commencé à s'intéresser à l'impact des systèmes sur la conduite (par exemple : projet DRIVE dans les années 1990 ; Parkes, & Franzen, 1993 ; Nilsson, 1995 ; Hoedemaeker, & Brookhuis, 1998) et aux modes de coopération à développer entre de tels systèmes et les conducteurs (voir par exemple les réflexions développées dans le cadre du Groupement de Recherche CNRS/INRETS « Coopération Homme-Machine pour l'assistance à la conduite automobile » (Meizel, & Saad, 1998 ; Tricot, Rajaonah, Pacaux, et al., 2003).

Ainsi, dans le cas du Régulateur de Vitesse à Contrôle de Distance développé par Renault, les premières études du Service Ergonomie ont été menées pour contribuer à améliorer la mise au point technique du système, en particulier ses capacités de détection et de temps de réaction à l'obstacle. Dans certaines de ces études, deux versions différentes du Régulateur de distance ont alors été testées, ces différences portant tantôt sur des fonctionnalités techniques très distinctes du système (notamment les fonctionnalités de freinage et de détection), tantôt sur des variations dans les lois de commande pilotant l'action du système sur le comportement dynamique du véhicule (lois de gestion de la décélération / accélération, notamment à l'approche d'un véhicule plus lent). L'objectif de ces études successives était en outre de recueillir sur ces aspects le jugement subjectif de conducteurs découvrant pour la première fois ce système.

La prise en compte des hypothèses de la « Cognition située » amène à adopter une approche différente du sujet, qui se manifeste en premier lieu par une autre formulation des questions à documenter à travers l'analyse à mener. Au-delà des seules questions de mise au point technique, elles

orientent d'emblée vers des problématiques relatives au couplage entre le conducteur, le système d'assistance et l'environnement, c'est-à-dire à l'interaction entre le système et le conducteur lors de son utilisation concrète dans différentes situations. Dans cette perspective, les hypothèses de la « Cognition située » soulignent la nécessité de disposer d'une connaissance fine des caractéristiques essentielles de l'activité de conduite appréhendée dans sa globalité. Pour être efficace et accepté, constituer une aide réelle et non une contrainte supplémentaire pour son utilisateur, comme c'est parfois le cas, il est en effet indispensable que le système développé respecte les caractéristiques déterminantes de l'activité dans laquelle il va s'intégrer.

Dans le cas du Régulateur de Vitesse à Contrôle de Distance développé par Renault, les hypothèses de la « Cognition située » nous ont ainsi amenés à ré-orienter l'étude d'ergonomie vers la caractérisation de l'influence de ce système sur la conduite, prise en considération dans ses différentes dimensions et non pas du point de vue de la seule dimension qui va être assistée (ex : la gestion des distances). En effet, suite aux premières évaluations décrites plus haut, il apparaissait qu'il fallait prendre plus précisément la mesure de l'assistance réellement apportée par le régulateur de distance. D'une part, il semblait que le régulateur pouvait potentiellement être une source d'une surveillance supplémentaire pour le conducteur, si le comportement du système s'avérait en décalage avec son propre diagnostic de la situation et avec ses attentes. D'autre part, il apparaissait que les conducteurs avaient du mal à avoir confiance envers ce dispositif nouveau et envers sa capacité à les aider dans leur activité. Cette question était d'autant plus cruciale qu'elle est assez déterminante de la façon dont les conducteurs peuvent s'approprier le système et par conséquent, de leur facilité à l'accepter. Enfin, il est inévitable qu'un tel système, qui intervient directement dans l'activité de conduite, modifie cette dernière.

C'est pourquoi une nouvelle campagne d'évaluation a été mise en place, structurée autour de la question de l'analyse de l'adéquation du comportement du système par rapport à la diversité des situations routières que peut rencontrer un conducteur, et des besoins de ce dernier dans ces situations. Cette campagne d'évaluation avait également pour objectif d'identifier les éventuelles modifications de la conduite induites par l'utilisation du système et surtout de rendre compte des conséquences de ces modifications pour le conducteur, en termes de facilitation ou, au contraire, de gêne.

4.2.- Des objectifs assignés à l'analyse, découlent les choix relatifs aux situations d'étude (soit le cadre opérationnel mis en place pour documenter les questions d'analyse)

Dans leur grande majorité, les études relatives à l'évaluation de systèmes d'assistance au conducteur sont menées sur pistes d'essais ou sur simulateurs de conduite (par exemple, pour ce qui concerne le régulateur de distance : Nilsson, 1995 ; Hoedemaeker, & Brookhuis, 1998 ; Tricot et al., 2003). Les études sur route ouverte restent encore très rares, même si elles tendent ces dernières années à se développer davantage (voir notamment Fancher, Ervin, Sayer, et al., 1998 ; Pio, & McDonald, 2003). La raison la plus souvent invoquée est qu'elles ne permettent pas les comparaisons, les situations rencontrées par un conducteur n'étant pas reproductibles pour un autre. De ce point de vue, les cadres expérimentaux contrôlés sont donc largement privilégiés, afin de s'assurer que tous les sujets participant à l'étude sont confrontés aux mêmes événements ou à la même tâche. Pour cela, on leur donne également des consignes spécifiques, comme par exemple : rouler à telle vitesse à un moment donné, effectuer un dépassement ou une manoeuvre à la demande de l'expérimentateur, réagir à un signal, réaliser une tâche précise comme rechercher ou sélectionner une station radio, etc.). Parfois, c'est l'expérimentateur qui pilote lui-même la survenue de tel ou tel événement (par exemple, l'envoi d'un message, le déclenchement d'une alerte, le ralentissement brusque d'un véhicule simulé devant le conducteur, le surgissement d'un obstacle, etc.).

Basées sur une approche expérimentale de ce type, les situations d'étude élaborées pour les premières études menées au sein de Renault sur l'ergonomie du régulateur de distance, ont ainsi été de deux types :

- d'une part des situations contrôlées : les essais étaient menés sur des pistes fermées, ce qui permettait de contrôler la vitesse du véhicule équipé du régulateur de distance (on donnait une vitesse de consigne précise au conducteur, qui l'indiquait au système), ainsi que celle du véhicule dont on se rapprochait (un véhicule « compère ») ; de cette manière, on contrôlait précisément le différentiel de vitesse entre les deux véhicules (de 10 à 50 km/h) et on faisait alors un certain nombre de relevés pour ces scénarios précis ;
- d'autre part des situations dites « naturelles » : ces essais étaient menés sur autoroute, sans et avec système ; à la demande de l'expérimentateur, le conducteur devait s'insérer derrière, s'approcher ou suivre un véhicule donné (toujours un véhicule « compère ») ; ces essais duraient en général 30 minutes par condition expérimentale (par exemple, 30 mn sans le système et 30 mn avec).

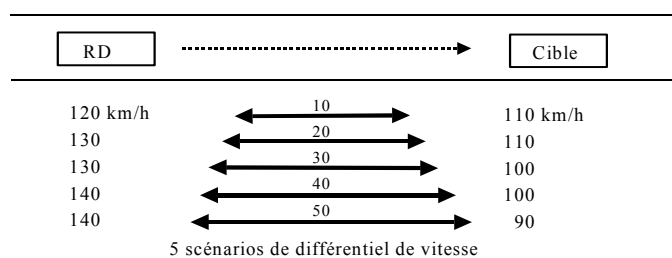


Figure 2.- Cadre expérimental des premières évaluations du régulateur de distance

Prenant en compte la construction de l'action dans la situation et considérant l'action et la perception comme indissociablement liées dans cette construction, une approche développée sur la base des hypothèses de la « Cognition située » met au premier plan l'étude des activités cognitives humaines en situation naturelle. Selon cette approche, il va ainsi être essentiel de se donner les moyens (tant techniques et organisationnels que méthodologiques) d'étudier l'activité de conduite automobile dans un cadre lui permettant de se dérouler le plus naturellement possible afin d'être en mesure d'en bien appréhender le caractère complexe, dynamique. Du point de vue de la conception, il s'agit aussi d'être en mesure de rendre compte de phénomènes réalistes, qui soient prédictifs des mêmes phénomènes lorsqu'ils ont lieu hors contexte d'étude.

C'est avec de tels objectifs qu'en 1994, nous avons mené une première étude d'envergure pour évaluer sur route ouverte le prototype avancé d'un régulateur de distance développé par Renault et mis en place pour cela une situation d'étude spécifique et innovante. Dans son principe, le régulateur a pour vocation principale d'assister les conducteurs lors de trajets relativement longs effectués sur le réseau autoroutier. En conséquence, il a été choisi de mener l'étude sur autoroute et d'y faire réaliser par un ensemble de conducteurs des trajets beaucoup plus longs que ceux réalisés dans le cadre des études précédentes, mais également plus réalistes au regard de l'utilisation future probable du régulateur. C'est avec la même préoccupation de rendre la situation d'utilisation du régulateur de distance la plus naturelle possible, qu'il a été considéré pour la première fois la nécessité de familiariser les conducteurs au régulateur de distance, également au travers d'essais sur route ouverte, en préalable aux essais d'évaluation proprement dits.

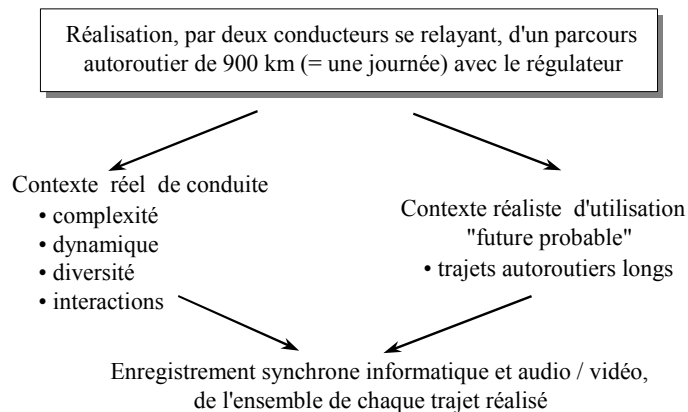


Figure 3.- Construction de la situation d'étude pour l'évaluation du régulateur de distance

Concrètement, cette étude ergonomique pour l'évaluation du régulateur de distance s'est ainsi composée de deux parties, ayant des objectifs différents mais complémentaires.

Un essai individuel de familiarisation au régulateur de distance, visant en premier lieu à apprendre aux conducteurs à mettre en oeuvre le système (commandes, retours d'informations,...), mais surtout à leur faire découvrir le concept même de régulation de la vitesse en fonction des distances entre véhicules (qui, rappelons-le, se traduit au niveau du comportement dynamique du véhicule – décélération / accélérations –, perceptibles par les conducteurs). Il était important que les conducteurs s'habituent à ce comportement et en appréhendent la diversité et qu'ils soient accompagnés dans cette découverte pour éviter qu'elle ne se fasse lors des essais proprement dits.

Un essai en binôme d'utilisation du régulateur sur un trajet de 900 km (450 km par personne représentant environ 4 heures de conduite, dont la moitié à l'aller, l'autre au retour, les conducteurs se relayant). Pour ce parcours, les conducteurs avaient pour seule consigne de conduire selon leur habitude, les principaux objectifs étant de prendre la mesure de l'appropriation du système par les conducteurs et d'identifier des évolutions de leur activité de conduite au cours de leur utilisation du régulateur de distance.

5.- Cognition située et principes méthodologiques pour le recueil et l'analyse de données sur l'activité

Du point de vue théorique adopté sur la nature de la cognition humaine, découlent également les conditions particulières à développer pour la connaissance de cette activité, c'est-à-dire la configuration de recueil de données et la démarche d'analyse appliquée à ces données.

5.1.- D'un recueil de données sur les performances dans la tâche...

Classiquement, les données recueillies dans le cadre d'études relatives aux systèmes d'assistance à la conduite sont essentiellement de deux ordres :

- d'une part des mesures de comportement (vitesse pratiquée, marge de sécurité adoptée vis-à-vis du véhicule suivi, détournements du regard de la route, etc.), des mesures de la performance du conducteur (temps de réaction, taux d'erreur dans les réponses données, déviations de trajectoire, erreurs de conduire, etc.) et enfin des relevés d'actions sur le système d'assistance (par exemple des actions d'activation / désactivation ou de réglage) ;
- d'autre part des données subjectives, recueillies pour l'essentiel à partir de questionnaires, centrés sur le recueil de jugements ou d'impressions relatives au système d'assistance et plus généralement visant à cerner des caractéristiques typiques des modes de conduite des conducteurs [notamment en termes de respect des règles de conduite (par exemple la vitesse généralement pratiquée et de marge de sécurité adoptée vis-à-vis d'un véhicule suivi), de style de conduite, de prise de risque ou encore d'attitude face au risque].

Dans le cadre des premières études menées sur le régulateur de distance au sein de Renault, la vitesse du véhicule équipé du régulateur était relevée, ainsi que les vitesses relatives, la distance au véhicule suivi (acquise par capteur), le temps de réaction du système avant l'action de décélération, l'amplitude de la décélération appliquée par le régulateur ou le conducteur, certaines actions du conducteur, en particulier le mouvement de son pied vers la pédale de frein et le retour du pied à sa position de repos.

Ces relevés ont principalement servi à comparer différentes versions du régulateur de distance (disposant notamment de lois de gestion de la décélération et de l'accélération différentes), ainsi qu'aux comparaisons entre le comportement du régulateur et celui du conducteur quand il ne dispose pas du système. Dans la même perspective, à l'issue de chaque essai, il était systématiquement demandé aux conducteurs de répondre à un questionnaire de jugement du régulateur de distance, les résultats obtenus étant comparés pour chaque condition expérimentale. Ce questionnaire, mis au point dans le cadre du programme européen PROMETHEUS, comportait plusieurs parties relatives :

1. au comportement habituel du conducteur vis-à-vis des distances de suivi (par exemple : « Êtes-vous attentif à la distance qui vous sépare du véhicule qui vous précède ? », « Quels facteurs prenez-vous en compte pour déterminer votre distance de suivi ? ») ;
2. aux impressions générales du conducteur vis-à-vis du système après son essai, en termes de confort, sécurité, gêne, utilité, avantages et inconvénients perçus, de confiance, anxiété, stress ressentis, mais également d'intention future d'utilisation ;
3. au comportement du système, du point de vue de la gestion de la régulation (gestion de la décélération, du freinage, de l'accélération), ou sur la distance de suivi proposée par le système ;
4. aux affichages et commandes du système.

Pour la plupart des questions posées, le conducteur devait positionner sa réponse sur une échelle allant de -3 à +3 en passant par 0, présentant les deux pôles opposés d'une dimension (par exemple : « Quand le système est activé, je suis : ANXIEUX versus À L'AISE » ; « La manière d'activer le système est : CONFUSE versus ÉVIDENTE »).

Les réponses à ce questionnaire permettent ensuite d'établir un profil moyen d'appréciation du régulateur sur les différentes dimensions explorées.

5.2.- ...à des données sur la dynamique de construction de l'activité

L'adoption des hypothèses de la « Cognition située » oriente vers d'autres conditions de recueil et d'analyse des données sur l'activité des conducteurs.

Ainsi, dans le cadre de l'évaluation du régulateur de distance que nous avons menée en situation réelle, la configuration de recueil de données mise en place avait pour objectif de disposer d'élé-

ments permettant, par leur analyse, de rendre compte des relations particulières entre action, perception et situation dans le déroulement de l'activité de conduite avec un régulateur de distance. Dans cette perspective, trois grands types de données ont ainsi été recueillis de façon synchrone au cours de la réalisation des trajets routiers avec le régulateur :

1. des données sur le comportement du conducteur (utilisation des pédales de frein et d'accélérateur, manoeuvres...);
2. des données numériques liées au véhicule et au système (vitesse, distance par rapport au véhicule devant, régulateur de distance actif ou en veille,...);
3. des données contextuelles (scènes routières avant et arrière, manoeuvres des autres usagers...).

En outre, il était de notre point de vue indispensable de recueillir des données sur la signification que chaque conducteur accorde à un événement donné dans une situation donnée, cette signification étant directement liée à son expérience personnelle, « ici et maintenant » aussi bien que passée. Or, le conducteur est seul capable de nous en faire part et de nous fournir les éléments qui, mis en rapport avec d'autres, vont nous permettre de comprendre comment s'est constituée cette signification « située » : ce qu'il a pris en compte dans la situation, comment cela a contribué à la construction d'une action ou d'une interprétation, comment il l'a relié à un élément de connaissance ou d'expérience... C'est pourquoi, à la suite de plusieurs auteurs (Pinsky, & Theureau, 1982 ; Whiteside, & Wixon, 1987 ; Bannon, 1991, Saad, 1996b), nous donnons systématiquement une place importante dans nos études au recueil de données verbales relatives au point de vue propre du conducteur sur la construction de son activité et sur les contraintes dont elle peut faire l'objet.

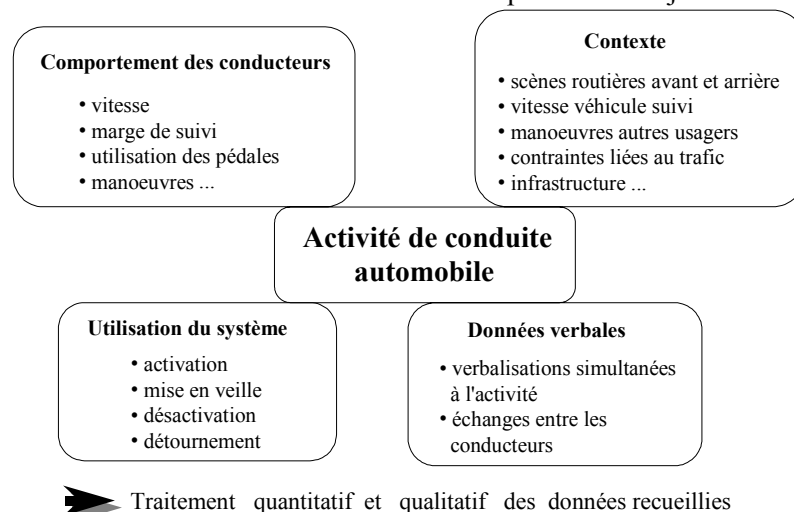


Figure 4.- Données recueillies sur l'activité de conduite avec le régulateur de distance

La signification pour l'action est ainsi appréhendée en demandant au conducteur d'explicitier son activité pendant la réalisation même de celle-ci, soit ici de façon simultanée à la réalisation du trajet effectué avec le régulateur de distance. Le recueil de données verbales pendant l'activité est effectué selon des principes méthodologiques précis décrits par ailleurs (voir par exemple Theureau, 1992 ; Theureau, & Jeffroy, 1994 ; Villame, 1994) et, tout particulièrement en ce qui concerne la conduite automobile, en veillant à ce que cet exercice demandé au conducteur reste compatible avec les règles de sécurité. Concrètement, par une consigne préalable, on demandait aux conducteurs d'indiquer tout haut, dans la mesure où parler leur était possible et aux moments où cela leur était possible, les réflexions qu'ils étaient amenés à se faire tout en conduisant, en rapport avec leurs actions, celles des autres usagers et les circonstances particulières de la situation routière (notamment : les éléments pris en compte et ce que le conducteur visait). Systématiquement dans nos essais, le tout

début du trajet est d'ailleurs consacré à l'apprentissage de cette démarche par le conducteur qui, une fois qu'il a bien saisi les raisons qui la motive, se l'approprie généralement très rapidement. L'ergonome intervenait en outre ponctuellement, pour solliciter des verbalisations complémentaires ou qui n'avaient pas eu lieu spontanément. Réalisées là aussi de façon à perturber le moins possible le conducteur, ces interventions étaient toujours liées au déroulement présent de l'activité, à quelque chose venant d'être mentionné par le conducteur ou à un événement particulier venant de se produire.

Au final, la configuration de recueil de données mise en place donnait lieu à un enregistrement vidéo et audio de la globalité du trajet effectué par chaque conducteur, synchronisé à un fichier informatique des données relatives au véhicule et au régulateur de distance recueillies par un ordinateur embarqué de façon à conserver la globalité et la dynamique de l'activité de conduite. L'enregistrement vidéo était réalisé en quadra-vision (fusion des images recueillies par 4 mini-caméras en une seule sortie-image divisée en 4), certaines données étant par ailleurs incrustées en temps réel sur l'enregistrement vidéo, ainsi que cela est illustré ci-dessous.



Figure 5.- Enregistrement vidéo en quadra-vision, associé à une acquisition informatique de données numériques

5.3.- Une méthodologie d'analyse combinant approche qualitative et approche quantitative

La démarche d'analyse que nous avons déployée sur les données issues de ces essais d'évaluation du régulateur de distance en situation réelle s'est basée sur l'exploitation de données quantitatives articulées à des données qualitatives. Les principaux objectifs de cette étude étaient de rendre compte de l'influence du régulateur de distance sur l'activité de conduite et de la façon dont les conducteurs s'appropriaient, ou non, le système au fur et à mesure du trajet. Dans cette perspective, l'analyse a été focalisée sur trois « situations-typiques » survenant au cours de la conduite, dont les modalités de réalisation ont été examinées au regard du déroulement progressif du trajet. Ces situations typiques étaient : le dépassement d'un véhicule, l'utilisation de la pédale de frein et l'utilisation de la pédale d'accélérateur. Le choix de centrer l'analyse sur ces situations-là n'était pas pré-établi, mais a au contraire été défini progressivement, au fur et à mesure des étapes du dépouillement des enregis-

tremements vidéo de nos essais. Ce choix a notamment été guidé par la signification que semblaient attribuer les conducteurs à ces trois situations. En effet, tous les ont évoquées lors des essais comme des éléments de leur conduite subissant de leur point de vue une influence de l'utilisation du régulateur de distance au fur et à mesure du trajet.

Pour l'ensemble de chaque trajet enregistré, toutes les situations « dépassement », « utilisation-frein » et « utilisation-accélérateur » y survenant ont été systématiquement relevées et décrites par un certain nombre de variables. Là encore, ces variables descriptives et leurs modalités n'étaient pas définies au préalable, mais ont été identifiées progressivement. Elles ont par ailleurs été construites en intégrant le point de vue des conducteurs sur la construction de leur activité. Par exemple, une situation « utilisation-frein » est finalement décrite par : le moment où elle survient au cours du trajet, la distance à laquelle se trouve le véhicule derrière lequel le conducteur a freiné, la vitesse respective des deux véhicules, l'élément particulier de la situation ayant déclenché l'appui sur le frein, ce que visait le conducteur en appuyant sur le frein, etc. Une situation « utilisation-accélérateur » est finalement décrite par : le moment où elle survient au cours du trajet, le différentiel de vitesse entre le moment où le conducteur appuie sur l'accélérateur et celui où il le relâche, l'élément particulier de la situation ayant déclenché l'appui sur l'accélérateur, ce que visait le conducteur en appuyant sur l'accélérateur, etc. Dans les deux cas, l'élément ayant déclenché l'appui, tantôt sur le frein, tantôt sur l'accélérateur, ainsi que ce que visait ce faisant le conducteur, étaient exclusivement identifiés à partir de ce que ce dernier en disait en situation. Par exemple, dans le cas d'un appui sur le frein, le conducteur peut dire : « il a mordu sur ma file, j'ai cru qu'il allait s'insérer, j'ai préféré lui laisser la place » (élément déclencheur : crainte d'une insertion ; visée : permettre la manoeuvre d'un autre usager). Par exemple, dans le cas d'un appui sur l'accélérateur, le conducteur peut dire : « y a quelqu'un qui arrive à fond derrière moi là, et comme je mets un peu du temps à dépasser, je vais le gêner. Je préfère reprendre la main là, et accélérer moi-même pour me dépêcher de dégager la voie » (élément déclencheur : prise en compte de la présence d'un autre usager ; visée : dégager la voie). Ces descriptions comportaient de ce fait en elles-mêmes des éléments explicatifs, puisqu'elles rendaient compte de la signification attribuée par les conducteurs à ces situations, à ce qui les caractérisaient à un moment donné, ainsi qu'aux conditions de leur survenance.

Nous détaillons ces quelques exemples (voir aussi Villame, 1996) pour souligner ici que, tel que nous le considérons, le point de vue exprimé par le conducteur sur son activité pendant la réalisation de cette dernière va au-delà d'une simple opinion de sa part sur la situation rencontrée et/ou le système évalué. Cette démarche participe de la mise en œuvre d'un principe d'analyse basé sur le « primat de l'intrinsèque » tel que développé par Theureau (1992), à travers lequel il s'agit bien d'obtenir des données d'explicitation sur l'activité et la construction du sens pour le déroulement de cette activité. A ce titre, comme cela est illustré ci-dessus, les données verbales recueillies contribuent, comme nos autres données, à la construction de nos unités de description et d'analyse de l'activité du conducteur.

6.- Cognition située, enrichissement des connaissances sur la conduite automobile et apports à la conception

6.1.- De la nécessité d'aller au-delà d'une description élémentaire insuffisamment explicative des phénomènes observés

Les premières études menées chez Renault sur l'ergonomie du régulateur de distance et présentées plus haut ont donné lieu à un certain nombre de résultats. Ces résultats étaient principalement exprimés en termes descriptifs quantitatifs, issus de calculs réalisés à partir des différents relevés effectués lors des essais.

Ces résultats ont par exemple montré une différence entre la distance de suivi d'un véhicule proposée par le système et celle que les conducteurs adoptent en conduite libre sans le système. Cette distance, exprimée par un temps qui met en rapport la distance entre les deux véhicules (acquise par capteur) et la vitesse du véhicule équipé, est plus grande quand elle est déterminée par le système. Toutefois, le jugement subjectif recueilli par questionnaire indiquait que les conducteurs considéraient cette distance de suivi proposée par le système trop longue.

En ce qui concerne l'adéquation des lois de commande implémentées dans le système pour réguler la distance à l'approche d'un véhicule plus lent, il a pu être mis en évidence que pour des différentiels de vitesse faibles entre le véhicule du conducteur et le véhicule suivi (inférieurs ou égaux à 10 km/h), le régulateur de distance réagissait plus tôt que le conducteur (à une distance plus longue) mais en appliquant une décélération plus faible. A l'inverse, dans tous les autres cas (différentiel supérieur à 10km/h), le système réagissait au même moment que le conducteur voire plus tard, en appliquant par contre une décélération plus forte. Cette constatation a par ailleurs été complétée par un examen des mouvements du pied du conducteur vers la pédale de frein, ce qui a permis d'appréhender indirectement la confiance que les conducteurs avaient envers le régulateur de distance (sachant que l'essai durait environ 30 mn et que, rappelons-le, les conducteurs découvraient totalement le régulateur de distance auquel ils n'avaient pas été familiarisés). Ainsi, plus le différentiel de vitesse entre les deux véhicules était important, plus les conducteurs déplaçaient leur pied vers le frein pour être prêt à freiner et plus il a été relevé de cas de désactivation du système (quand on appuie sur la pédale de frein, le système est en effet automatiquement désactivé). Dans certains cas également, on pouvait constater que les conducteurs reprenaient la main même si le régulateur avait réagi et géré la situation, trouvant qu'il ne freinait pas assez.

Ces premières évaluations du régulateur de distance ont ainsi permis de mettre en évidence un décalage entre le moment où le système agit, c'est-à-dire commence à décélérer pour maintenir une distance de sécurité avec un véhicule plus lent dont on se rapproche, et le moment où le conducteur aurait pour sa part réagi. Ceci semblait notamment dû à une détection tardive du véhicule plus lent de la part du régulateur (tandis que le conducteur lui, identifie déjà qu'il s'en rapproche), ce qui a pu être amélioré et ajusté dès les prototypes suivants. Ces résultats ont également pointé le besoin des conducteurs d'être plus explicitement assurés de la détection d'un véhicule devant eux par le régulateur, signifiant que ce dernier se prépare à agir. Enfin, ces résultats ont également permis d'identifier qu'il pouvait être intéressant de proposer différentes distances de suivi parmi lesquelles chaque conducteur pourrait faire son choix tant pour le suivi stabilisé d'un véhicule que pour l'approche d'un véhicule plus lent.

Cependant, ces résultats présentaient également un certain nombre de limites, exprimées d'ailleurs dans les rapports d'évaluation. En particulier, il était reconnu qu'il était difficile de dégager des conclusions et surtout des orientations pour la conception à partir des résultats obtenus. Cela était principalement dû au fait que les résultats obtenus apportaient des descriptions restant partielles, peu mises en rapport avec des situations précises et surtout ne fournissant que peu d'explications des phénomènes observés. Ceci était d'autant plus pénalisant qu'il y avait des décalages entre les résultats descriptifs obtenus et les données subjectives recueillies par questionnaire, sans qu'on sache bien pour quelles raisons. Par exemple, des différences de réaction des conducteurs ont été relevées entre différents scénarios de différentiels de vitesse, mais on ne savait pas préciser si ces différences étaient dues à la vitesse du véhicule équipé (qui variait d'un scénario à l'autre) ou à celle du véhicule dont ils s'approchaient (qui variait également). Des résultats différents ont également été obtenus pour les deux lois de gestion de la dynamique du véhicule évaluées, mais là aussi, peu d'éléments avaient été recueillis permettant d'expliquer pourquoi il y avait une différence et de comprendre comment les conducteurs avaient intégré l'une et l'autre de ces lois. Il en était de même en ce qui concernait les raisons profondes qui motivaient les causes des mouvements du pied des conducteurs vers le frein : était-ce lié à la découverte du régulateur, au caractère inhabituel d'une conduite sans

utiliser les pédales, à la situation expérimentale elle-même où l'on demandait finalement au conducteur de s'obliger à s'approcher d'un véhicule qu'il identifiait clairement comme plus lent que lui et qu'il aurait déjà dépassé en situation réelle, ou bien à un manque de confiance réel envers les capacités du système ? Sans autre élément d'explication que les variations de la vitesse du véhicule équipé et des vitesses relatives (soient les variables que l'on contrôlait) examinées quelques secondes avant le mouvement du pied, il était difficile de les interpréter et de donner des orientations aux concepteurs susceptibles d'améliorer cette situation. C'est pourquoi l'équipe de conception elle-même était en attente d'analyses détaillées de situations d'utilisation variées et réelles, ce que ces premières évaluations, telles qu'elles ont été menées, ne permettaient pas de fournir.

6.2.- Le pari gagné de privilégier la diversité naturelle plutôt que la situation contrôlée reproductible

Les essais menés par la suite ont donc privilégié l'étude de l'utilisation du régulateur de distance en situations naturelles, principalement au cours de trajets longs sur autoroute, représentatifs de la situation future probable d'utilisation du système. La configuration de recueil et d'analyse de données mise en place, a permis de mettre en évidence des situations où l'utilisation du système était particulièrement utile ou, au contraire, inopportunément contraignante.

Les descriptions fines obtenues pour les trois situations-typiques sur lesquelles était focalisée l'analyse, ont en effet été systématiquement exploitées, ce qui a permis d'identifier et de préciser les déterminants et relations entre déterminants de l'activité dans ces situations-typiques. C'est ce qui a permis d'affiner et de nuancer notre description de l'activité de conduite avec le régulateur de distance, en rendant compte plus précisément des circonstances particulières de la survenance des situations-typiques identifiées et de la diversité de ces circonstances (voir plus bas l'exemple décrit pour les situations de dépassement). Ainsi, la nature de l'influence du régulateur de distance a pu être appréhendée finement, ainsi que les raisons de cette influence et ses conséquences sur l'activité des conducteurs [voir Filippi, Haradji, & Villame (1995) et Villame (1996), pour des résultats plus complets].

Une étude complémentaire, menée avec l'INRETS selon la même approche méthodologique, a été réalisée peu après. Cette deuxième étude visait à étudier, pour un panel de conducteurs donné, leur conduite naturelle sur autoroute [pour laquelle nous disposions déjà de certaines données, voir Saad, & Schnetzler (1994) et Saad (1996a)] et de la comparer à leur conduite avec le régulateur de distance. Ce faisant, notre objectif était d'une part de valider les résultats précédemment obtenus, d'autre part de mieux appréhender les effets du régulateur de distance sur la conduite en les mettant en rapport avec une base de référence. Les résultats obtenus nous ont en outre permis de nuancer nos constatations relatives à des adaptations comportementales induites par le régulateur, selon le « style de conduite » initial des conducteurs. Le « style de conduite » était ici opérationnalisé par différentes variables recueillies au cours des essais, rendant compte notamment de la mobilité du conducteur sur les différentes voies de circulation à sa disposition. Ces résultats ont également mis en évidence le rôle « homogénéisateur » du régulateur de distance sur les « styles de conduite », les différences interindividuelles observées entre les conducteurs lors du trajet en conduite usuelle tendant à s'estomper quand ils utilisent le régulateur (voir Saad, & Villame, 1996, 1997, 1999 pour d'autres résultats détaillés).

6.3.- De l'intérêt du primat de l'intrinsèque pour l'analyse de la dynamique de construction de l'activité

Pour concevoir des systèmes d'assistance efficaces et pertinents, nous défendons, nous l'avons souligné plus haut, la nécessité d'une forte adéquation des caractéristiques du système développé (ses modes de fonctionnement en particulier) avec les caractéristiques de l'activité globale dans laquelle

il est destiné à s'intégrer. Cela passe selon nous par la prise en compte du point de vue du conducteur sur l'organisation intrinsèque de son activité, appréhendé par les données verbales recueillies pendant la conduite.

Pour illustrer l'intérêt pour la conception de cet aspect précis de notre démarche, examinons plus particulièrement l'évolution, au fur et à mesure du trajet, de la distance adoptée par les conducteurs avant un dépassement, telle qu'elle a pu être mise en évidence par nos essais d'évaluation du régulateur de distance en situation réelle de conduite

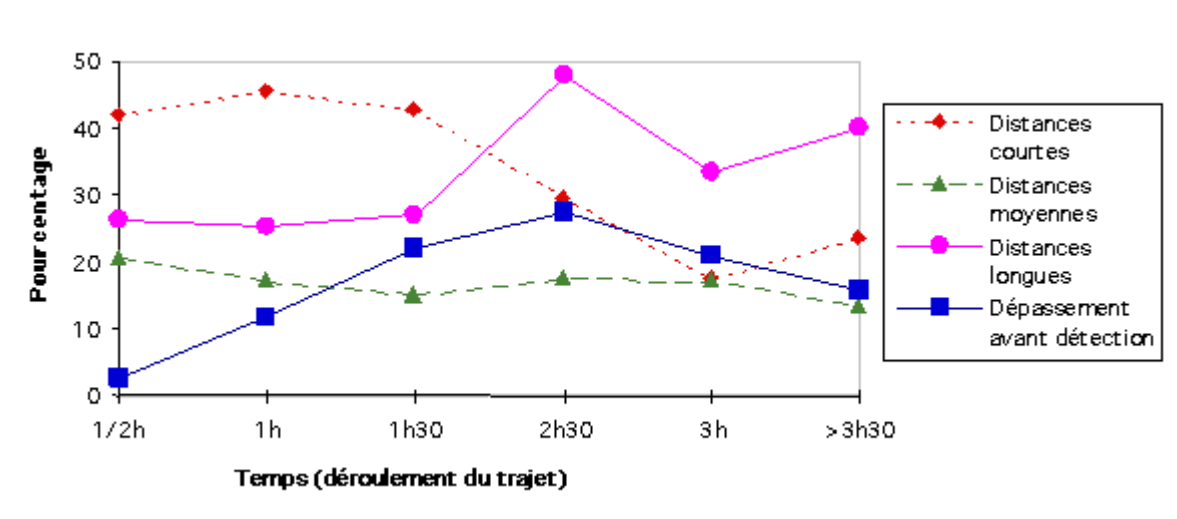


Figure 6.- Evolution, au fur et à mesure du trajet avec le régulateur de distance, de la distance adoptée lors d'une manœuvre de dépassement

Le graphique ci-dessus montre qu'au début du trajet, les conducteurs adoptent des distances courtes voire moyennes ou longues vis-à-vis du véhicule qu'ils s'appêtent à dépasser. Ces distances correspondent globalement aux distances qu'ils ont l'habitude d'adopter lors d'un déboîtement (on peut d'ailleurs noter la diversité des distances adoptées). Au fur et à mesure du trajet, on voit que les conducteurs augmentent progressivement cette distance : la classe des distances courtes diminuent, celle des distances moyennes augmente en contrepartie. On voit qu'au cours de la première moitié du trajet, la classe des dépassements réalisés avant que le régulateur de distance ne détecte le véhicule dont le conducteur s'approche augmente nettement. En s'intéressant à ce que les conducteurs expriment à ce sujet pendant l'essai, il a été mis en évidence que par ce comportement, les conducteurs visent clairement à... échapper à l'action de décélération du système à l'approche d'un véhicule plus lent, ce qui a lieu dès qu'il le détecte. Or, dans une perspective de dépassement, une décélération est extrêmement gênante, ce que les conducteurs ont exprimé sans ambiguïté. Cela est gênant vis-à-vis de ce que les conducteurs cherchent à faire « ici et maintenant » : déboîter pour dépasser un véhicule plus lent, situation où l'on a plutôt besoin de conserver une accélération suffisante pour réaliser sa manœuvre le plus rapidement possible. Mais ce comportement du système gêne aussi les conducteurs de manière plus globale, car ils expliquent tous qu'ils cherchent à conserver une vitesse de croisière la plus régulière possible et à éviter tout à coup (des oscillations trop marquées de décélération/accélération). En regardant la suite de ce graphique, on s'aperçoit toutefois que cette évolution de la distance de dépassement est loin d'être linéaire dans le temps, et qu'au contraire, dans la seconde moitié du trajet, elle se réduit, sans pour autant revenir au même « niveau » qu'au tout début du trajet. En s'en tenant à cette seule observation comportementale, la tentation est grande d'en déduire une intégration réussie du régulateur dans l'activité de conduite. Or, les verbalisations

recueillies au cours des trajets ont au contraire révélé que pour les conducteurs, il s'agit seulement de l'établissement d'un compromis, qui ne les satisfaisait pas. En effet, augmenter la distance à laquelle se fait le dépassement, aboutit à se déplacer sur la file de gauche de façon très anticipée et à l'occuper parfois de façon prolongée. Il en résulte des situations difficiles voire conflictuelles pour les conducteurs (ce qu'ils ont exprimé nettement lors des essais), vis-à-vis d'usagers plus rapides arrivant derrière eux qu'alors ils gênent.

Cet exemple souligne à quel point la prise en compte des verbalisations est essentielle pour interpréter les résultats d'une analyse quantitative du point de vue des conducteurs engagés dans l'utilisation du régulateur de distance. Le système évalué lors des essais présentés ici induisait en effet certaines modifications de comportement ou de stratégies de conduite. En soi, ces modifications pouvaient être considérées comme allant dans le sens d'une plus grande sécurité (ici, augmentation des distances inter-véhiculaires), mais elles se sont révélées contraignantes pour les conducteurs, dans certaines circonstances. Du point de vue de la conception, cela a concrètement débouché sur la décision de gérer de façon particulière les situations de dépassement et d'identifier dans quel sens moduler les lois de comportement du régulateur pour ces situations spécifiques. Le régulateur de distance développé par Renault est maintenant sur le marché : à ce jour, il est le seul disposant de cette particularité, appréciée des clients.

6.4.- Rendre compte de la dynamique de l'activité : un essai de constitution de chroniques d'activité

Enfin, pour illustrer un dernier point de l'apport d'une approche guidée par les hypothèses de la « Cognition située », nous allons présenter un extrait d'un travail différent et encore exploratoire d'élaboration de chroniques d'activité. Ces chroniques sont constituées sur la base de plusieurs indicateurs rendant compte de l'activité de conduite en situation. Nous allons nous attarder plus particulièrement sur celui de ces indicateurs qui cherche de manière originale à rendre compte de la gestion, par le conducteur, de sa disponibilité à réaliser des actions sur ses équipements de bord tout en conduisant (dans notre exemple, le réglage de la radio).

Classiquement, la criticité des situations est appréhendée par un indicateur appelé Temps Inter-Véhiculaire¹ (TIV). Au cours d'une étude interne visant non pas à évaluer un système d'assistance à la conduite mais à comparer l'activité de conduite en situation réelle et celle sur simulateur statique de conduite, nous avons été amenés à développer un indicateur complémentaire. Croisant à la fois le TIV avec le différentiel de vitesse entre le véhicule du conducteur et le véhicule le précédant (qui indique si le conducteur se rapproche du véhicule devant lui ou si au contraire celui-ci s'éloigne), ce nouvel indicateur permet de rendre compte plus précisément du niveau de stabilité du flux de circulation (d'où son appellation : SFDC, pour Stabilité du Flux Devant le Conducteur). En analysant les résultats obtenus à partir de l'indicateur SFDC à la lumière des données verbales recueillies pendant la conduite, il devient alors possible de comprendre précisément ce qui caractérise une situation difficile pour le conducteur et ce qui, au contraire, constitue pour lui une situation où il peut, tout en conduisant, manipuler par exemple sa radio. On met alors en évidence que les critères de choix utilisés par le conducteur pour réaliser des actions secondaires tout en conduisant sont bien sûr liés à la distance qui le sépare du véhicule situé devant lui, mais aussi à la stabilité de la situation et surtout à sa probabilité de devenir, ou non, instable. Cet indicateur, croisé avec d'autres, permet d'élaborer des chroniques d'activités certes complexes, comme la réalité l'est elle-même, mais très riches en informations rendant compte de ce que le conducteur doit gérer et des éléments qu'il prend en compte pour ses différentes décisions, comme l'illustre la figure ci-dessous.

1. Distance entre les deux véhicules rapportée à la vitesse du véhicule expérimental. Cet indicateur est exprimé en secondes.

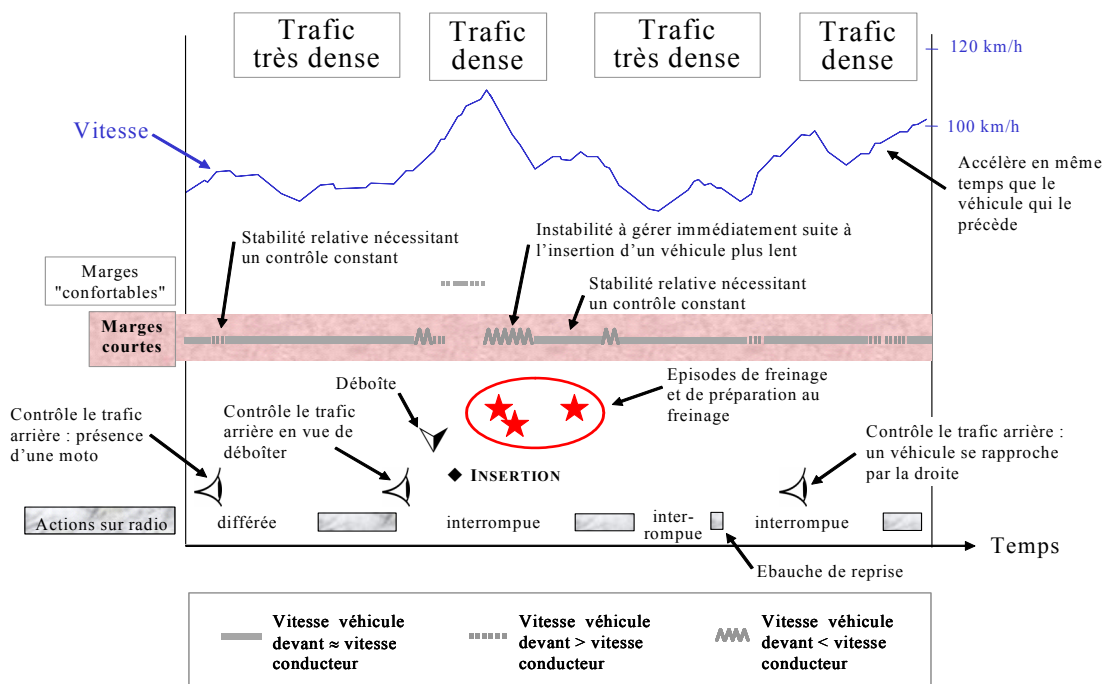


Figure 7.- Exemple de chronique de gestion de l'instabilité du flux

Dans l'exemple illustré ci-dessus, le conducteur vient d'entrer sur l'autoroute, il est sur la file de droite, le trafic est très dense. L'indicateur SFDC indique une stabilité relative du flux de circulation, malgré des temps inter-véhiculaires très courts, ce qui implique pour le conducteur de rester vigilant, notamment pour garder ses distances vis-à-vis du véhicule situé devant lui. Il explique d'ailleurs que dans l'immédiat, alors qu'il aimerait déboîter car il se rapproche d'un véhicule plus lent, il préfère différer sa manœuvre car il s'aperçoit de la présence d'une moto derrière lui en regardant dans son rétroviseur, élément qu'il considère comme source potentielle d'instabilité de la situation. Pour la même raison, il préfère différer également l'action qu'il souhaitait entreprendre pour changer de station radio. La moto ne semblant finalement vouloir ni accélérer ni le dépasser, le conducteur considère alors la situation suffisamment stable pour entreprendre d'agir sur la radio, tout en maintenant son attention à ce qu'il se passe devant lui. Se rapprochant toutefois de plus en plus du véhicule plus lent devant lui, le conducteur interrompt son action sur la radio pour déboîter. Il se retrouve alors dans une situation plus stable : les temps inter-véhiculaires sont plus confortables, sa surveillance de la situation peut être plus lâche. Il ne peut toutefois pas reprendre immédiatement son action sur la radio, le véhicule qu'il s'apprêtait à dépasser déboîtant à son tour devant lui. Il s'ensuit alors une période de forte instabilité de la situation, face à laquelle le conducteur doit se tenir prêt à agir car il s'approche assez vite du véhicule venant de s'insérer sur sa voie et qui roule moins vite que lui. Cela se traduit par une séquence où le conducteur se tient prêt à freiner (indicateur issu du dépouillement de la vidéo : le conducteur a déplacé son pied droit de l'accélérateur vers la pédale de frein, au-dessus de laquelle il maintient sur pied) et va jusqu'à freiner effectivement pour réduire sa vitesse. Cela a visiblement suffi de son point de vue à rétablir une situation stable, puisqu'il reprend son action sur la radio : la distance de suivi au véhicule le précédant est courte, mais le conducteur a maintenant stabilisé sa vitesse à la même vitesse que le véhicule qu'il suit. Il s'interrompt à nouveau en apercevant un véhicule se rapprochant derrière lui, sur la file de droite. Craignant que ce véhicule ne le double (par la droite) et donc s'insère devant lui, il préfère attendre de voir comment ce véhicule va se comporter pour s'adapter, restant très vigilant. Il voit ensuite que

le véhicule reste à l'arrière et qu'il n'a plus à le « craindre ». Par ailleurs, le véhicule qui le précède accélère. Le conducteur en fait alors autant, dans une moindre mesure. Il juge la situation obtenue suffisamment stable pour reprendre son action sur la radio, tout en surveillant toujours sa distance vis-à-vis du véhicule qu'il suit.

Cet exemple est volontairement détaillé car il montre bien la fragilité des équilibres constamment élaborés par les conducteurs. Il met en évidence à quel point la situation peut être modifiée en un instant et qu'un nouvel équilibre doit être instantanément reconstruit.

Du point de vue de la construction des critères pouvant rendre compte de cette dimension fondamentale de la conduite, on peut souligner l'intérêt de ce critère de « Stabilité du Flux Devant le Conducteur ». En particulier, il permet de rendre compte, plus qu'on ne peut le faire avec le seul critère TIV, du coût cognitif associé à certaines situations pour le conducteur. En pointant les « chutes de stabilité » du flux de circulation, il permet également d'identifier rapidement, dans un ensemble de données sur la conduite, les situations de rupture ou de transition, qui sont souvent celles face auxquelles les conducteurs éprouvent le plus de difficultés. Il devrait enfin pouvoir nous aider à mieux rendre compte du rôle de l'anticipation dans la conduite automobile et de ses modalités de mise en œuvre selon les conducteurs et dans différentes situations routières. En effet, comme nous l'avons vu dans l'exemple décrit ci-dessus, cet indicateur se réfère non seulement à ce qu'il se passe effectivement mais surtout aux transformations potentielles de la situation, qui se construisent notamment à partir de l'expérience « ici et maintenant » des conducteurs et de ce à quoi ils donnent un sens. Par exemple, un véhicule rattrapant un camion est considéré comme élément pouvant potentiellement modifier la situation dans la mesure où il va sans doute déboîter, y compris en s'insérant brusquement devant le conducteur si les marges de manoeuvres sont très contraintes par le trafic.

Cet indicateur nécessite toutefois d'être consolidé et enrichi, notamment par la prise en compte des véhicules présents sur les voies adjacentes à celle occupée par le conducteur et qui contribuent à réduire ses marges de manoeuvre et à l'instabilité générale du flux de circulation. Il pourrait également être associé avec profit à une caractérisation précise de la catégorie du véhicule considéré par le conducteur (en distinguant notamment véhicule léger, camion et moto, qui n'ont pas la même signification pour le conducteur dans la construction de son action et de ses décisions). Un tel travail de mise au point et de combinaison d'indicateurs est actuellement en cours au sein d'une étude menée dans le cadre d'une thèse en ergonomie, visant à analyser la diversité des interactions entre les conducteurs et leur environnement, dont les autres usagers font bien sûr partie, pour la conception de systèmes d'assistance adaptatifs.

7.- Conclusion

Postulant des relations spécifiques entre action, perception et situation, fortement en jeu dans l'activité de conduite automobile, les hypothèses de la « Cognition située » représentent pour nous un cadre théorique particulièrement intéressant pour rendre compte de la dynamique et de la complexité de cette activité. L'objectif de ce texte était d'illustrer le plus concrètement possible comment, dans cette perspective, nous mettons en œuvre ces hypothèses, à partir d'exemples issus d'études menées dans le cadre de la conception et de l'évaluation de systèmes d'assistance au conducteur. Nous avons souligné comment l'adoption de ces hypothèses détermine en premier lieu la formulation des questions à documenter par l'analyse et donc la construction des situations d'étude à mettre en place pour ce faire, en rapport étroit avec des objectifs de conception. Nous avons cherché à montrer comment ces hypothèses orientent également vers des conditions spécifiques de recueil des données sur l'activité, en mettant notamment en avant les situations privilégiant le déroulement naturel de l'activité.

Du point de vue du recueil et de l'analyse des données, nous avons tout particulièrement défendu l'intérêt de prendre en compte le point de vue propre des conducteurs sur leur activité pendant sa réalisation. Tout en étant conscient des biais engendrés par ce choix (voir Villame, 1996, pour une discussion sur ce point), cela permet un gain considérable dans la compréhension de la construction dynamique de cette activité. Or, notre expérience dans le domaine de la conception de divers systèmes techniques nous montre qu'au-delà de la seule description des phénomènes observés, une compréhension fine des mécanismes qui leur sont sous-jacents est très fructueuse en termes d'apport à la conception. En particulier, c'est bien souvent ce qui permet d'être en mesure de définir des orientations précises de conception ou encore d'identifier et justifier sur quelle(s) caractéristique(s) d'un système évalué il faudrait agir pour améliorer l'interaction conducteur-système.

Enfin, de l'adoption des hypothèses de la « Cognition située » découlent également une approche alternative du rôle et de la conception des dispositifs techniques dans l'activité humaine, ainsi que des relations de ces dispositifs avec les individus (pour plus de détails sur ce point, voir aussi Villame et Theureau, 2001). Dans l'approche classique de l'activité humaine, le développement de systèmes d'aide passe souvent par une modélisation préalable de l'activité, comprise comme un ensemble d'opérations de traitement de l'information. On développe alors des systèmes d'aide qui réalisent artificiellement certaines de ces opérations, et qui sont alors destinés à se substituer à l'opérateur humain. Dans une approche basée sur les hypothèses de la « Cognition située », l'on s'attachera à donner la première place à l'action de l'individu et à son engagement dans la situation pour optimiser la qualité de ses échanges avec son environnement. Selon une telle approche, les dispositifs techniques sont d'abord conçus pour permettre des modifications des possibilités perceptives et opératoires de l'acteur.

BIBLIOGRAPHIE

- Alexander, G. J., & Lunenfeld, H. (1975). *Positive guidance in traffic control*. Washington D.C.: Federal Highway Administration.
- Allen, R. W., & Stein, A. C. (1987). The driving task, driver performance models and measurements. *Second International Symposium on Medicinal Drugs and driving performance*. June 29 – July 3, Maastricht, The Netherlands, Paper n°410.
- Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, M. A.: Harvard University Press.
- Bannon, L. (1991). From human factors to human actors : the role of psychology and human-computer interaction studies in system design. In J. Greenbaum, & M. Kyng (Eds). *Design at work : cooperative design of computer systems*. Erlbaum, 25-44.
- Berthoz, a. (1997). *Le sens du mouvement*, Paris: Odile Jacob.
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. New York: Pergamon press.
- Fancher, P., Ervin, R., Sayer, J. et al. (1998). *Intelligent Cruise Control Field operational Test*. Final report of the NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration).
- Fastenmeier, W., & Gstalter, H. (1991). *Review on studies and research work about driving task analysis*. Report for the Commission of the European Communities, DG XIII/F-5, DRIVE Central Office (coordinator : D. Gerhardt).
- Filippi, G., Haradji, Y., & Villame, T. (1995). Analyse de l'activité et coopération des acteurs de la conception. *Relations Industrielles*. Vol.50, n°4, Québec, Canada, numéro thématique sur l'Ergonomie, 789-810.
- Grize, J.-B. (1992). *Un signe parmi d'autres*. Hauterive, Suisse: Editions Gilles Attinger.
- Grize, J.-B. (1995). Signification. In M. de Montmollin (Ed.), *Vocabulaire de l'ergonomie*. Toulouse: Octarès Editions, 225.
- Hoedemaeker, M., & Brookhuis, K.A. (1998). Behavioural adaptation to driving with an adaptive Cruise Control (ACC). *Transportation research. Part F1*, 95-106.

- King, G. F., & Lunenfeld, H. (1971). *Development of information requirements and transmission techniques for highway users*. National Cooperative Highway Research Program, Report 123.
- Malaterre, G., & Saad, F. (1984). Contribution à l'analyse du contrôle de la vitesse par le conducteur : évaluation de deux limiteurs. @, n°62.
- Malaterre, G., & Saad, F. (1986). Les aides à la conduite; définitions et évaluation. Exemple du radar anti-collision. *Le Travail Humain*. 49(4), 333-346.
- Meizel, D., & Saad, F. (1998). *Coopération Homme-Machine pour l'assistance à la conduite automobile*. Document de référence du Groupement de Recherche 1865, CNRS/INRETS.
- Michon, J. A. (1985). A critical view of driver behavior models : what do we know, what should we do ? In L. Evans, & R. C. Schwing (Eds). *Human behavior and traffic safety*. New York: Plenum Press, 485-520.
- Neboit, M. (1974). Perception, anticipation et conduite automobile. *Le Travail Humain*. 37(1), 53-72.
- Neboit, M. (1982). *L'exploration visuelle du conducteur : rôle de l'apprentissage et de l'expérience de la conduite*. Cahier d'Études ONSER, N°56.
- Nilsson, L. (1995). Safety effects of adaptive cruise controls in critical traffic situations. *Proceedings of the Second Annual World Congress on Intelligent Transport Systems*, Tokyo: Vertis, 1254-1259.
- Parkes, A.M., & Franzen, S.F. (1993). *Driving future vehicles*. London: Taylor & Francis.
- Pinsky, L., & Theureau, J. (1982). *Activité cognitive et action dans le travail - Tome 1 : Les mots, l'ordinateur, l'opératrice ; Tome 2 : Eléments et événements du travail infirmier*. Collection de Physiologie du Travail et d'Ergonomie du CNAM, n°73, Paris.
- Pio, J., & McDonald, M. (2003). Stop-and-Go driving behaviour : initial findings from floating vehicle trials. *10th world congress on Intelligent Transport Systems and Services – ITS*, Madrid, Spain.
- Port R.F., & Van Gelder T. (1995). *Mind as motion*. Cambridge: MIT Press.
- Ranney, T. A. (1994). Models of driving behavior: a review of their evolution. *Accid. Anal. And Prev.*, 26 (6), 733-750.
- 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-1, 257-267.
- Rasmussen, J. (1987). The definition of human error and a taxonomy for technical system design. In J. Rasmussen, K. Duncan, & J. Leplat (Eds). *New technology and human error*. Chichester, UK: Willey.
- Saad, F. (1996a). Driver strategies in car-following situations. In A.G. Gale (Ed.). *Vision In Vehicles*. Amsterdam: Elsevier Science, 61-70.
- Saad, F. (1996b). Contribution des techniques d'observation et de verbalisation à l'analyse psychologique de l'activité : étude de cas dans le domaine de la conduite automobile. *Performances Humaines & Techniques*. Hors Série, mai, 16-23.
- Saad, F., & Malaterre, G. (1989). Evaluation et conception d'aides à la conduite automobile : aspects théoriques et méthodologiques. *XXVème Congrès de la SELF*, Lyon, 405-411.
- Saad, F., & Schnetzler, B. (1994). *Un modèle conceptuel du comportement des conducteurs en conduite en file sur autoroute*. Rapport de convention INRETS/DRAST, octobre, INRETS.
- Saad, F., & Villame, T. (1996). Assessing new driving support systems : contribution of an analysis of drivers' activity in real situations. *Third annual world congress on Intelligent Transport Systems*, Orlando, USA.
- Saad, F., & Villame, T. (1997). Behavioural adaptations to a new driving support system. *Proceedings of the 13th triennial Congress of the International Ergonomics Association*, Tampere, Finland.
- Saad, F., & Villame, T. (1999). Intégration d'un nouveau système d'assistance dans l'activité des conducteurs d'automobile. In J-G. Ganascia (Ed). *Sécurité et cognition*. Editions Hermes. Ch. 6.
- Schank, R. C., & Abelson, R. P. (1977). *Scripts, plans, goals and understanding – An inquiry into human knowledge structures*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Specht, M., & Sperandio, J.-C. (1995). Analyse de la conduite automobile pour la conception des systèmes d'aide : une application au système AICC. *Psychologie Française*, n°40-1, 73-83.

- Suchman, L. A. (1987). *Plans and situated actions - The problem of human-machine communication*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Theureau, J. (1992). *Le Cours d'Action : analyse sémio-logique. Essai d'une anthropologie cognitive située*. Berne: Peter Lang. Collection Sciences pour la communication.
- Theureau, J., & Jeffroy, F. (1994). *Ergonomie des situations informatisées*. Toulouse: Octarès Editions.
- Tricot, N., Rajaonah, B., Pacaux, M.-P. et al. (2003). Design and evaluation of advanced cooperative systems : an auto-adaptive cruise control. *10th world congress on Intelligent Transport Systems and Services – ITS*, Madrid, Spain.
- Varela, F. (1989). *Connaître : Les Sciences cognitives*. Paris: Seuil.
- Villame, T. (1994). *Modélisation des activités de recherche d'information dans les bases de données et conception d'une aide informatique*. Thèse de Doctorat d'Ingénierie Ergonomie, Université Paris XIII.
- Villame, T. (1996). Analyse d'une activité complexe et dynamique pour l'évaluation d'un système technique : la question des choix méthodologiques de recueil et d'analyse des données. *XXXIème congrès de la SELF*, Bruxelles.
- Villame, T., & Theureau, J. (2001). Contribution of a 'comprehensive analysis' of human cognitive activity to the Advanced Driving Assistance devices design, *CSAPC'01*, 23-26 Septembre, Munich, Germany.
- Wickens, C. D. (1992). *Engineering psychology and human performance (2nd ed.)*. New York: Harper Collins.
- Whiteside, J., & Wixon, D. (1987). Improving human-computer interaction - a quest for cognitive science. In J. M. Carroll (Ed). *Interfacing thought - Cognitive aspects of human-computer interaction*. Cambridge: MIT Press, 353-365.

RÉFÉRENCIEMENT

- Villame, Th. (2004). Conception de systèmes d'assistance au conducteur : comment prendre en compte le caractère complexe, dynamique et situé de la conduite automobile ? Cognition située et conception de systèmes d'assistance au conducteur , *@ctivités*, 1 (2), 146-169. <http://www.activites.org/v1n2/villame.pdf>