

Conception ergonomique pour des environnements multi-instrumentés :Le cas des postes de conduite automobile

Jean-François Forzy

▶ **To cite this version:**

Jean-François Forzy. Conception ergonomique pour des environnements multi-instrumentés :Le cas des postes de conduite automobile. Interface homme-machine [cs.HC]. Université Paris VIII Vincennes-Saint Denis, 2002. Français. NNT : . tel-00109043

HAL Id: tel-00109043
https://theses.hal.science/tel-00109043

Submitted on 23 Oct 2006

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THESE

Présentée à

L'UNIVERSITE PARIS VIII

Pour obtenir le titre de

Docteur en Psychologie Cognitive Ergonomique

soutenue publiquement par

Jean-François FORZY

le 23 septembre 2002

Titre :

CONCEPTION ERGONOMIQUE DES ENVIRONNEMENTS MULTI-INSTRUMENTES : LE CAS DES POSTES DE CONDUITE AUTOMOBILE

Sous la direction du professeur Pierre RABARDEL

Devant le jury composé de :

René AMALBERTI, professeur, IMASSA-CERMA
André CHAPON, directeur de Recherche, INRETS
François DANIELLOU, professeur, Université de Bordeaux II
Robert DUCHAMP, Directeur, Laboratoire Conception de Produits Nouveaux et Innovations ENSAM
Pierre RABARDEL, professeur, Université de Paris VIII

Remerciements

Je tiens à exprimer toute ma gratitude aux personnes qui ont été impliquées à titre divers dans cette thèse.

Je remercie très vivement Pierre Rabardel pour avoir accepté de diriger ce projet, pour son encadrement scientifique qui m'a énormément apporté et aussi pour son enthousiasme et ses encouragements tout au long de ces années.

Je tiens aussi à remercier MM. Amalberti, Chapon, Daniellou et Duchamp de me faire l'honneur d'accepter de participer au jury de cette thèse.

Merci à mes collègues de Renault, en particulier ceux du département d'Ergonomie de la Direction de la Recherche pour les nombreux échanges professionnels et amicaux que nous avons eu et qui ont contribué à enrichir ce travail.

Enfin, un remerciement particulier à Béatrice, mon épouse, pour la relecture critique de ce travail, la pertinence de ses remarques et suggestions, et plus généralement pour son soutien au quotidien.

à Geneviève et Claude

INTRODUCTION **5**

CHAPITRE I : EXPOSE DE LA PROBLEMATIQUE ET DU CADRE THEORIQUE **11**

1.1 EXPOSE DE LA PROBLEMATIQUE ET CHOIX DU CADRE THEORIQUE 11
1.2 QUELQUES ELEMENTS SUR L'APPROCHE INSTRUMENTALE 13
1.3 L'INSTRUMENT COMME ENTITE COMPOSEE D'UN ARTEFACT ASSOCIE A DES SCHEMES D'UTILISATION 14
1.4 RAPPEL SUR LA DUALITE SUJET/OBJET 18
1.5 LA MEDIATISATION DES RELATIONS DU SUJET A L'OBJET COMME MOYEN DE CARACTERISATION DES CLASSES DE SITUATIONS D'ACTIVITES INSTRUMENTEES 22
1.6 PRESENTATION D'UN MODELE INSTRUMENTAL COUPLANT LES PROCESSUS INTERNE (PSYCHOLOGIQUE) ET EXTERNE (COMPORTEMENTAL). 26

CHAPITRE II: LES CARACTERISTIQUES DE LA CONDUITE ET DU CONDUCTEUR DIMENSIONNANTES POUR LA CONCEPTION D'EQUIPEMENTS: REVUE DE QUESTIONS **33**

2.1 PREMIERE APPROCHE SUR LES GRANDES CARACTERISTIQUES DE LA CONDUITE 38
2.2 CONTRAINTES INDUITES PAR LA MULTIPLICITE DES TACHES 39
2.2 CONTRAINTES INDUITES PAR LES DIFFERENTS FENETRAGES TEMPORELS DE L'ACTIVITE DE CONDUITE 41
2.3 CONTRAINTES INDUITES PAR LA LIMITATION DES RESSOURCES EN ATTENTION VISUELLE 44
2.4 CONTRAINTES INDUITES PAR LA VARIETE DES TRAITEMENTS COGNITIFS 49
2.5 CONTRAINTES INDUITES PAR LA GESTION DU RISQUE 53
2.6 CONTRAINTES PROVENANT DU MANQUE DE STRUCTURATION ET DE LA DIVERSITE DES SITUATIONS RENCONTREES 57
2.7 CONTRAINTES PROVENANT DU CARACTERE "GRAND PUBLIC" DU PRODUIT 58

CHAPITRE III : ETUDE SUR LE COPILOTAGE HUMAIN **61**

3.1 PRESENTATION DE L'ETUDE 63
3.1.1 Présentation du protocole *63*
3.1.2 Choix du trajet *64*
3.1.3 Choix des sujets *64*
3.1.4 Matériel embarqué *64*
3.1.5 Retranscription *65*
3.2. RÉSULTATS 66
3.2.1 Méthode d'analyse du corpus *66*
3.2.2 Typologie des descriptions *66*
3.2.3 Répartition des types de description *68*
3.2.4 Bilan des résultats *70*
PREMIERES CONCLUSIONS DU CHAPITRE III 72

CHAPITRE IV : ETUDE COMPARATIVE ENTRE ARTEFACT COMPUTATIONNEL DE GUIDAGE ET CARTE PAPIER **75**

4.1 PRESENTATION DE L'ETUDE 76
4.1.1 Objectifs *76*
4.1.2 Population et support de test *77*
4.1.3 Hypothèses expérimentales *78*
4.1.4 Protocole d'expérimentation *78*
4.1.5 Matériel et expérimentateurs embarqués *81*
4.2 COMPARAISON DES RESULTATS CONCERNANT LES PERFORMANCES NAVIGATIONNELLES 81
4.2.1 Comparaison des itinéraires planifiés avec la carte papier et avec le système *82*
4.2.2 Comparaison des résultats concernant le suivi de l'itinéraire *83*
4.2.3 Récapitulatif des résultats sur les performances navigationnelles *84*
4.3 COMPARAISON DES RESULTATS CONCERNANT LA GESTION DE LA CONDUITE 85
4.4 ANALYSE A PARTIR DES ECHELLES D'OPINION 86
4.5 SYNTHESE DE LA COMPARAISON SYSTEME / CARTE PAPIER 86

4.6 ANALYSE SITE PAR SITE ET ANALYSE DES VERBALISATIONS 87
PREMIERES CONCLUSIONS DU CHAPITRE IV 89

CHAPITRE V : ETUDE SUR UNE EVOLUTION DE L'ARTEFACT COMPUTATIONNEL 91

5.1 PRESENTATION DE L'EXPERIMENTATION 91
5.1.1 Système testé 91
5.1.2 Impacts possibles du nouveau système 92
5.1.3 Protocole 93
5.1.4 Recueil des données 93
5.1.5 Dépouillement des données 95
5.2 RESULTATS 97
5.2.1 Comparaison des performances navigationnelles 97
5.2.2 Comparaison quant à la compréhension de la situation 98
5.2.3 Comparaison quant aux manœuvres 100
5.2.4 Comparaison des nombres de fixations oculaires portées sur l'afficheur 102
PREMIERES CONCLUSIONS DU CHAPITRE V 103

CHAPITRE VI : BILAN DES ETUDES SUR LES ARTEFACTS NAVIGATIONNELS. RE-INTERPRETATION DES RESULTATS DANS LE CADRE DE L'APPROCHE INSTRUMENTALE 106

6.1 INTERPRETATIONS A L'AIDE DU CADRE INSTRUMENTAL DE LA PROBLEMATIQUE DES AIDES AU GUIDAGE 109
6.2 DISCUSSION SUR LA NATURE DES SCHEMES D'UTILISATION ASSOCIES AUX ARTEFACTS DE GUIDAGE ETUDIES 113
6.4 BILAN SUR LA MISE EN PERPECTIVE DES TROIS ETUDES PAR L'APPROCHE INSTRUMENTALE 122

CHAPITRE VII : ELARGISSEMENT DE L'APPROCHE A L'ETUDE DE CAS VARIES DE CONCEPTION DES EQUIPEMENTS DU POSTE DE CONDUITE 128

7.1 POINT SUR LA METHODE DE RECUEIL DE DONNEES 129
7.2 ETUDES DE CAS 130

CHAPITRE VIII DISCUSSION SUR LES CAS DE CONCEPTION AUTOUR DES CONCEPTS DE CONCORDANCE VERSUS NON-CONCORDANCE DE L'ACTE INSTRUMENTAL 152

8.1 TABLEAU RECAPITULATIF DES ETUDES DE CAS AU TRAVERS DU MODELE INSTRUMENTAL 154
8.2 CONCORDANCE DES FACES, PSYCHOLOGIQUE ET COMPORTEMENTALE, DE L'ACTE INSTRUMENTAL COMME ELEMENT SOUS-JACENT A LA NOTION D'INTUITIVITE 158
8.2 NON-CONCORDANCE DES FACES, PSYCHOLOGIQUE ET COMPORTEMENTALE, DANS L'ACTE MONO-INSTRUMENTE 162
8.3 NON-CONCORDANCE DES FACES, PSYCHOLOGIQUE ET COMPORTEMENTALE, DANS L'ACTE MULTI-INSTRUMENTE 164

CHAPITRE IX : DISCUSSION DE SYNTHESE SUR LA VALIDITE DE L'APPROCHE A LA CONCEPTION DE NOUVEAUX PRODUITS 168

9.1 VALIDITE ET CAPACITE DE GENERALISATION DU MODELE 168
9.2 APPROCHE PAR CRITERES DE CONCEPTION 173
9.2.1 Guidage de l'utilisateur 174
9.2.2 Opérationalisation des actions 177
9.2.3 Contrôle de la dynamique de la situation 179
9.2.4 Gestion des non concordances entre les deux faces du modèle 180
9.3 BILAN DE NOTRE POSITIONNEMENT AU REGARD DE QUELQUES GRANDES FAMILLES D'APPROCHE DE LA PROBLEMATIQUE DE CONCEPTION 182
9.3.1 Approche de la "composante humaine" (human factors) 182
9.3.2 Approche par critères d'évaluation (en ergonomie des logiciels) 184
9.3.3 Approche centrée sur le travail de conception en lui-même 185
9.3.4 Approche à partir d' études de cas de conception 187
9.3.5 Approche à partir d'une théorie sur l'activité 189

CONCLUSION / PERPECTIVES 192

BIBLIOGRAPHIE 198

ANNEXES 209

INTRODUCTION

L'essor, depuis une dizaine d'années, de l'électronique grand-public et des nouveaux moyens de communication, transforme radicalement bon nombre des artefacts que nous utilisons dans notre vie quotidienne. Ceci est particulièrement vrai pour les postes de conduite des véhicules automobiles qui s'enrichissent de façon très significative de nouveaux dispositifs toujours plus sophistiqués.

En prenant un point de vue positiviste évoqué par Scardigli (1993), on pourrait considérer que les nouvelles technologies constituent des vecteurs de réponses à des attentes toujours croissantes car portées par cet essor. Cependant la pratique montre que l'emploi de ces nouvelles technologies pose aux concepteurs de ces systèmes de nombreux problèmes relatifs à l'identification des besoins, aux moyens techniques disponibles pour un coût et une échéance donnée, et aux moyens à donner à l'utilisateur final pour tirer meilleur parti de ces nouvelles prestations.

Il est clair que ces questions sont de plus en plus complexes et que la qualité des solutions données à ces problèmes, au cours de la conception a, et aura, un impact direct sur l'utilité et l'utilisabilité du produit conçu.

Dans le champ qui nous intéresse, à savoir la conception des postes de conduite, le problème apparaît de manière cruciale pour deux raisons simples : il s'agit d'un contexte où l'utilisateur est à la fois sous forte contrainte temporelle puisqu'il doit en permanence contrôler et anticiper les évolutions de la scène de conduite, et dans une situation multitâches puisqu'en plus de la conduite, qui est en elle-même une activité variée, il peut avoir à agir sur d'autres artefacts disposés dans le poste de conduite (équipements de confort, d'agrément, de communication etc.).

De ce fait les qualités ou défauts de conception ont un impact très important car les capacités d'adaptation de l'utilisateur aux modalités d'utilisation de ces dispositifs sont, pour ces deux raisons, particulièrement limitées.

Les défauts de conception peuvent même avoir des conséquences graves touchant directement à la sécurité comme l'illustre le débat controversé sur la nécessité et le contenu d'une réglementation spécifique de l'usage du téléphone en voiture (Parkes 1993, Pachiaudi 2001).

A l'inverse notons qu'une intégration réussie de ces équipements aura un impact positif majeur en termes de sécurité et de confort.

Les différents acteurs économiques du domaine sont généralement conscients de ces problèmes. C'est le cas en particulier des pouvoirs publics qui subventionnent, de part le monde, de nombreuses études, en particulier de validation de ces dispositifs, et des constructeurs automobiles qui cherchent de plus en plus à intégrer l'ergonomie cognitive dans les processus de développement de ces systèmes, comme ils l'ont fait, en son temps, pour l'ergonomie posturale et anthropométrique.

Cette volonté affichée de mieux intégrer l'ergonomie cognitive dans la conception des nouveaux produits se matérialise d'après nous par trois grands types de demandes faites aux ergonomes :

- Spécifier vite, en limitant le nombre d'itérations:

Si la notion d'itération est identifiée comme nécessaire, la possibilité matérielle de développer des maquettes et de les tester de manière à affiner progressivement les spécifications sur plusieurs cycles itératifs reste assez problématique. Les outils de maquettage représentent en effet un investissement en temps et en coût important. Il est donc nécessaire de réaliser le juste nécessaire à ce niveau.

- Argumenter sur des bases objectives:

Bien qu'il y ait une réelle tendance actuelle à "recentrer" les débats de conception sur l'ergonomie, il est clair que la discipline reste relativement vulnérable par rapport à d'autres qui s'inscrivent dans des structures plus importantes, touchant à l'ingénierie traditionnelle, au design, au marketing... Comme pour toute discipline qui n'est pas dominante, la demande d'argumentation à son encontre est aussi plus forte.

- Proposer une "vision" des grandes orientations de conception souhaitables pour l'ergonome et être consistant dans cette vision.

Très naturellement la demande s'oriente de plus en plus vers la " prescription " plutôt que vers la " correction ". Cela aussi bien de manière détaillée dans la conception de chacun des organes à concevoir mais aussi à un niveau plus global pour aider à l'orientation des grands choix le plus en amont possible. Vision qui se heurte au paradoxe de base de l'ergonomie cognitive qui est de concevoir en fonction de données sur l'activité alors que celle-ci est en bonne partie inconnue au moment où est conçu l'artefact.

Car contrairement à l'ergonomie du « composant humain » qui s'appuie surtout sur des connaissances centrées sur le sujet (sa taille, son acuité visuelle etc.) , accompagnées de ce que de Montmollin (1995) appelle une liste des « exigences de la tâche », l'ergonomie « cognitive » est une ergonomie centrée sur l'activité, ce qui signifie que ce ne sont plus des fonctions isolées qui sont considérées, mais des comportements (au sens large : des gestes, des regards, des raisonnements …) tels qu'ils se présentent dans les situations étudiées (de Montmollin opus cité)

Pour prescrire, argumenter, orienter et sortir du paradoxe évoqué ci dessus, le seul véritable moyen dont disposent les ergonomes cogniticiens consiste donc à élaborer une projection de "l'activité future probable".

Daniellou (1988) résume comme suit les principales étapes dans le domaine de la conception pour les activités industrielles:

- Choisir des situations de références en particulier en termes de technologie utilisée et de population.

- Analyser des situations de référence : L'auteur souligne le nécessaire travail d'abstraction à réaliser par l'ergonome dans la mesure où la transposabilité des facteurs déterminants observés dans la " situation source " susceptibles de se retrouver dans la " situation cible " n'est pas directe.

- Prendre en compte l'analyse dans la conception: Cette analyse des situations de référence permet d'enrichir ou de corriger les hypothèses faites en début de projet sur le " travail humain ". Cela amène des contributions directes sur tous les domaines de la conception (organisation de l'espace, équipements matériels et immatériels, organisation du travail, formation).

De là nous pensons qu'il existe une alternative à la recherche de données sur les activités futures probables:

1) La première branche de l'alternative est choisie quand la problématique de conception est très spécifique à l'artefact à concevoir et qu'il n'existe peu ou pas de données sur des situations de références.

Il s'agit alors de monter des expérimentations/observations ad hoc en fonction de l'artefact à concevoir. Nous verrons un exemple de ce type de démarche dans la première partie de la thèse avec le cas de conception d'un système de navigation/guidage. Cette démarche s'est déroulée en trois étapes majeures d'expérimentations :

- Analyse d'une situation de référence constituée par la situation de guidage de conducteurs par des copilotes humains. Cette étape sert à identifier les stratégies des copilotes humains et à voir comment elles peuvent servir de source de références pour la spécification d'un copilotage par un système électronique (Chapitre trois).

- Après implémentation du système, test de celui ci en situation naturelle pour valider les choix opérés. Notons que la situation de référence a alors été celle de l'usage d'une carte papier pour estimer les apports effectifs du système (Chapitre quatre).

- Après une première commercialisation la question a alors été d'améliorer les stratégies de guidage dans la perpective d'une nouvelle version du système. La troisième expérimentation (chapitre cinq) a consisté à comparer, avec la version initiale, une amélioration du système auquel il était adjoint une information de guidage utilisant les panneaux directionnels de l'environnement (comparaison avec ou sans adjonction du guidage par panneaux).

L'ensemble de ces trois études, et les phases de spécifications qui en ont découlé, constituent une démarche relativement traditionnelle, nécessaire et efficace quand le système à concevoir est totalement nouveau et complexe.

2) Pour des problématiques de conception moins spécifiques et/ou moins nouvelles, la deuxième branche de l'alternative, que nous nous proposons d'explorer dans la deuxième partie de cette thèse, consiste à réutiliser des données préalablement analysées sur des situations d'utilisation de systèmes que l'on juge a posteriori représentatifs, au moins sur certains "traits dimensionnants", pour le système à concevoir.

Cela s'apparente à la démarche par " réutilisation " qui commence à être étudiée dans le domaine de la conception de logiciels (Visser 1999). Par contre une telle démarche existe peu à notre connaissance, au moins de manière formelle, dans le domaine de conception de produit. Cependant cette démarche

présenterait un certain nombre de difficultés qui concernent l'identification et la compréhension de ce qui peut être réutilisé.

Ainsi Visser souligne les limites d'une réutilisation sans compréhension réelle de ce qui a été codé. Par exemple un sous programme est réutilisé et introduit dans un nouveau programme pour sa capacité à réaliser une des fonctions à implémenter. C'est ensuite par « essais-erreurs » que l'intégration du sous-programme est réalisée avec les outils standards d'assistance (débogueur). Il n'y a alors plus de réelle maîtrise du code ce qui peut ultérieurement poser des problèmes[1].

Le problème de l'identification peut être encore plus complexe. Qu'est ce qui fait que l'on reconnaît qu'un principe de conception, observé par ailleurs, gagnerait a être appliqué sur un autre artefact qui peut apparaître au moins sur des traits de surfaces très différents? (Falzon & al 1989). En plus du problème évoqué plus haut de la compréhension des situations, se pose alors celui de la catégorisation.

Que ce soit le problème de la compréhension ou celui de la catégorisation, le seul moyen de les aborder en profondeur d'un point de vue ergonomique est d'avoir recours à une théorie explicative. Cela permettra en effet d'analyser (dans le sens de comprendre) les situations d'utilisation dont on pense que certaines caractéristiques vont être reproduites dans l'usage futur probable et doivent être prises en compte dans la conception du nouvel artefact. Précisons qu'il s'agit d'une théorie qui se veut opératoire de manière à ce que l'analyse qui en découle puisse directement orienter la conception.

C'est l'exposé de cette théorie que nous proposons au premier chapitre. Elle est basée sur l' approche instrumentale par une formalisation de la médiatisation du Sujet à l'Objet par l'Instrument. Nous y rappelons certains des concepts relatifs aux liens entre ces trois pôles développés par Rabardel (1995). Nous y proposons aussi une distinction originale entre ce que nous nous proposons d'appeler la face "comportementale" et la face "psychologique" du modèle. Cette conceptualisation est venue progressivement au cours de ce travail à partir notamment de l'analyse des études de cas présentée au chapitre sept.

Au chapitre deux nous proposons une revue de questions des éléments qui nous apparaissent essentiels dans l'activité de conduite. Nous avons aussi cherché dans ce chapitre à montrer comment ces éléments pouvaient être vus, à partir de notre modèle instrumental, comme des invariants de la situation de conduite qui vont ou devraient à leur tour dimensionner la conception des artefacts embarqués.

Les chapitres trois, quatre et cinq présentent des études empiriques qui illustrent la première branche de l'alternative, évoquée plus haut, pour approcher l'activité future probable. Le chapitre six reprend les principaux résultats de ces études qui sont alors re-analysés au travers de notre modèle instrumental dans la perspective de le valider. Le concept de multi-instrumentations y est précisé.

[1] L'auteur souligne aussi que, dans le domaine de la programmation, une réelle compréhension du code dans une perspective de réutilisation peut parfois être plus coûteux que la réécriture de celui-ci.

La deuxième branche de l'alternative à l'approche de l'activité future est illustrée au chapitre sept, où nous exposons des cas divers de conception tirés principalement d'entretiens auprès d'essayeurs. Ces cas sont à nouveau analysés au travers du cadre instrumental. Nous proposons au chapitre huit une analyse explicative de ce qui fait d'après nous la réussite ou l'échec de ces cas de conception. Cette analyse s'articule autour de l'existence ou non d'un écart entre les deux faces du modèle, c'est-à-dire entre ce qui est attendu par l'utilisateur, analysé au travers de la face psychologique du modèle, et ce qui est obtenu par lui au travers de l'action portée sur l'artefact, analysée au travers de la face comportementale.

Nous proposons au chapitre neuf une discussion sur la généralisation des résultats obtenus. Nous présentons une opérationalisation de la démarche en rattachant les enseignements de ces analyses à des critères de conception. Enfin la dernière section de ce chapitre cherche à positionner cette approche par rapport à d'autres pratiques de l'ergonomie.

Le but ultime de cette thèse est de disposer d'un cadre théorique opératoire pour analyser de manière commune des données sur l'activité provenant de sources très différentes :

- soit à partir d'études spécifiques comme cela a été le cas des expérimentations sur la problématique du guidage

- soit à partir d'analyses sur l'usage de systèmes existants.

Nous pensons alors que ces analyses au moyen de ce cadre théorique permettront d'identifier des invariants sur des bases scientifiques pour orienter significativement les choix de conception à venir.

Cela devrait permettre d'être plus efficace par rapport aux principales demandes faites à l'ergonome : spécifier plus vite, argumenter ses choix et proposer une vision cohérente des orientations de conceptions en s'appuyant sur une analyse des éléments les plus dimensionnants de l'activité dans l' environnement multi-instrumenté qu'est le poste de conduite.

CHAPITRE I : EXPOSE DE LA PROBLEMATIQUE ET DU CADRE THEORIQUE

1.1 Exposé de la problématique et choix du cadre théorique

Comme souligné dans l'introduction, notre problématique est centrée sur la conception d'artefacts pour l'environnement applicatif particulièrement exigeant et varié que constitue le poste de conduite automobile. Cet environnement est exigeant dans la mesure où l'usage de ces artefacts se fait la plupart du temps en situation de double tâche alors même que la tâche principale de conduite est en elle-même très sollicitatrice , notamment en terme d'attention (cf. chapitre 2). Il s'agit donc de concevoir pour induire un usage sécuritaire, des artefacts embarqués, en facilitant ou tout du moins sans dégrader l'activité principale de conduite. Par rapport à d'autres environnements à concevoir ceci constitue une contrainte particulièrement forte qui va complexifier notablement la conception des dits artefacts.

Cet environnement est aussi très varié puisqu'il est constitué d'une grande diversité d'artefacts dits de "confort", de "communication", "d'assistance à la conduite"... où la question se pose de savoir ce qui peut apparaître commun dans la conception réussie de ces équipements alors que beaucoup de caractéristiques, au moins de surface, les opposent.

Cette problématique de conception est, à plusieurs titres, d'importance. Notons en particulier:

- celle d'assurer une homogénéité et une cohérence entre les différentes composantes du poste de conduite alors que la complexité croissante de celui-ci incite à l'inverse à une "cellularisation" des questions. En effet les cas de conception devenant de plus en plus complexes à traiter (accroissement de la sophistication technique, recherche d'optimisation sur des combinaisons multiple de coûts, de qualité, de délais etc.) il est naturel qu'il y ait une tendance à décomposer les problèmes. Cela concerne aussi l'ergonomie où l'on peut être tenté de "spécialiser l'approche", en spécifiant par exemple l'IHM pour un organe particulier, sans que cette intervention s'inscrive effectivement dans une vision globale de la problématique.

- celle de sortir d'une approche ergonomique de type "artisanal" c'est-à-dire au "cas par cas" pour développer une méthodologie scientifique plus systématique, pour assurer plus d'efficacité et de qualité à l'intervention, par la réutilisation de connaissances généralisables à partir du cas spécifique étudié. Il s'agit donc bien d'une nouvelle approche où chaque cas de conception est aussi traité pour sa capacité à tirer des "invariants de conception" généralisables à une classe donnée. Cette approche

de la conception, s'étayant sur des connaissances généralisables, existe déjà sur la base des normes et critères métriques qui permettent assez aisément de spécifier par exemple des tailles de caractères, des emplacements d'afficheurs et de commandes (Forzy 1997), des choix de colorimétries etc.,

Par contre elle devient extrêmement problématique dès que les critères qui sous tendent ces choix de conception ne sont plus métriques. En effet, le plus souvent, ces critères ne sont pas identifiés, et quand ils le sont (Forzy 1998) leur caractère non-métrique justement les fait trop souvent apparaître aux yeux des ingénieurs comme une juxtaposition de règles de "bon sens".

Notre objectif dans ce travail est de leur donner un véritable statut scientifique au travers d'une approche de conception ergonomique, basée sur une modélisation de l'activité, même si on comprendra bien qu'il ne s'agira pas d'un modèle formel, mathématique, qui n'aurait pas de sens ici, mais plutôt d'un modèle interprétatif sur lequel nous pourrons nous étayer par exemple pour faire des hypothèses explicatives et permettre ainsi une certaine "prédiction du comportement humain" par rapport aux interfaces en cours de conception.

La raison d'être de ce modèle est aussi, malgré la diversité apparente des cas à traiter, de retrouver des "invariants de conception"[2], dont la prise en compte puisse permettre une cohérence de l'ensemble à concevoir et une optimisation du processus de prise en compte de l'ergonomie.

De cette problématique ainsi posée, nous dégageons donc la nécessité d'identifier un cadre commun d'analyse susceptible d'intégrer la diversité des cas de conception à traiter.

Notre choix s'est porté sur l'approche instrumentale qui est un paradigme très puissant en ce sens qu'il peut servir, comme nous le verrons, de cadre d'analyse pour toute situation d'usage d'un instrument.

La notion d'instrument pouvant d'ailleurs prendre un sens très large puisque celui ci peut aussi bien être matériel que mental. Rabardel (1995) en recense quatre types qui ne sont d'ailleurs pas exclusifs les uns des autres:

- Les instruments "matériels" qui permettent la transformation d'un objet matériel avec un outil à main.

- Les instruments "cognitifs" qui permettent la prise de décision cognitive.

- Les instruments "psychologiques" qui modifient la gestion de l'activité propre du sujet.

- Les instruments ″sémiotiques" qui rendent possible les interactions avec un objet sémiotique ou autrui.

Il est intéressant de noter que l'environnement que constitue le cockpit automobile est composé d'instruments de chacun de ces types. En particulier l'introduction massive de l'électronique amène une multiplication des instruments cognitifs (e.g. la cartographie électronique...), ou sémiotiques (e.g. commandes vocales, téléphonie mobile...), voir même psychologiques tels que définis

[2] Nous parlerons aussi de « fondamentaux de conception ». Il s'agit pour nous de critères de conception qui s'appuient sur une analyse des « invariants de l'activité » propre à une catégorie donnée d'instruments. Cette notion sera précisée et exemplifiée au début du deuxième chapitre.

précédemment (par exemple le projet européen CEMVOCAS se propose de développer un système capable d'adapter les interactions homme-machine en fonction des évolutions de l'activité de conduite et des ressources attentionnelles disponibles du conducteur (Tattegrain & al 1999).

Dans cette diversité notre travail consistera à appliquer et à spécifier une approche instrumentale pour le contexte large de ce que nous appellons les "artefacts embarqués" dans la perspective de retrouver des "fondamentaux" qui puissent cadrer la conception le plus en amont possible.

Soulignons à nouveau que l'enjeu est d'importance car dans un univers de conception dont nous avons rappelé que la complexité suit, notamment avec l'introduction des nouvelles technologies, une courbe à l'allure beaucoup plus exponentielle que linéaire, la recherche d'éléments stables pour la conception est un pari de premier ordre qui dépasse largement le strict point de vue ergonomique.

1.2 Quelques éléments sur l'approche instrumentale

Cette approche propose deux supports majeurs pour la recherche d'invariants dans l'étude des situations d'activités menées avec des instruments.

Le premier de ces supports s'appuie sur une conceptualisation de l'instrument en deux composantes associées : l'artefact et les schèmes d'utilisation qui lui sont appliqués.

Le deuxième concerne la médiatisation, au travers du dit instrument, des relations du sujet à l'environnement.

Ces deux supports constituent ″l'ossature″ de l'approche instrumentale. L'analyse des situations au moyen de cette approche amène plusieurs contributions majeures à l'ergonomie:

- Il y a d'une part l'identification de la genèse instrumentale c'est-à-dire des évolutions des constructions représentatives que l'utilisateur se fait de l'instrument, en particulier dans sa dimension opératoire, comme moyen pour un objet d'action donné. Même si il s'agit d'une idée ancienne que de mettre l'accent sur les phénomènes d'apprentissage et en particulier d'apprentissage par l'action, dans le cas de l'approche instrumentale cela va plus loin en centrant l'analyse sur la médiatisation du rapport du sujet à l'environnement par l'instrument.

Ainsi les phénomènes d'appropriation progressive de l'artefact par l'utilisateur peuvent être décrits de manière très précise comme celui des ″catachrèses″ qui sont, par extension de l'acception linguistique du mot, l'utilisation d'un outil à la place d'un autre, ou pour un usage pour lequel il n'a

pas été conçu. C'est par exemple le cas du "bricoleur″ qui ne disposant pas de marteau approprié utilise la clef qu'il a sa disposition (Faverge 1970).

Au delà du caractère didactique de l'exemple donné ci dessus se pose la véritable question de l'analyse de ces phénomènes pour la conception. Pour Rabardel l'observation des catachrèses est un indice fort de l'existence du fait que les utilisateurs contribuent à la conception des usages des artefacts. A partir de là plusieurs auteurs se proposent d'étudier les genèses instrumentales pour en tirer parti dans la conception : par exemple dans le domaine des outils CAO (Béguin 1997) ou celui des artefacts de conduite (Galignier 1997).

Dans notre travail nous verrons, avec l'étude d'un système de guidage (cf. chapitre IV), un exemple où cette question apparaîtra de manière importante, cependant cette approche centrée sur l'étude des processus de la genèse instrumentale ne sera pas l'élément majeur de notre travail.

- Il y a ensuite l'analyse des situations où l'instrument est déjà constitué. Dans notre perpective, qui est de retrouver des invariants de conception, c'est plus sur la base de l'étude de ces situations que nous nous étayerons (cf. chapitre VII & VIII).

Non pas que nous considérions que l'analyse de l'apprentissage et de l'appropriation de l'instrument par le sujet soit secondaire pour la conception. Ce n'est certes pas le cas. Mais nous pensons que pour notre contexte d'étude, qui est celui de produits "grand-public", la recherche d'invariants apparaît plus pertinente sur la base de situations plus stabilisées à l'issue de la phase d'apprentissage où cette dernière doit nécessairement être beaucoup plus réduite que dans le cas d'un produit à fonction professionnelle.

Enfin rappelons que les schèmes, en tant qu'actions pré-organisées répondant à des invariants de la situation, ne constituent pas les seules constructions mentales du sujet vis à vis de l'artefact. Il y a aussi d'autres formes de représentations comme celles relatives au fonctionnement intrinsèque de l'artefact (Richard 1983). Mais à nouveau, l'étude de ces autres formes de représentations ne prendra pas ici un caractère central.

1.3 L'instrument comme entité composée d'un artefact associé à des schèmes d'utilisation

Par artefact nous entendons avec Rabardel (1995) une "chose susceptible d'un usage, élaborée pour s'inscrire dans des activités finalisées″.

Cette définition souligne le caractère déterminé de l'artefact qui dépasse la simple notion de "chose ayant subi une transformation d'origine humaine" pour mettre l'accent sur les intentions de cette transformation comme moyen pour un objet d'action donné.

L'artefact, comme élément conçu et utilisé par l'homme, a une caractéristique tout à fait remarquable sur laquelle Rabardel, à la suite de Léontiev et Vygotsky, insiste tout particulièrement : "L'instrument n'est pas seulement un objet de forme particulière, aux propriétés physiques déterminées, il est surtout un objet social, avec des modalités d'emploi élaborées au cours du travail collectif. Il est porteur des opérations de travail qui sont comme cristallisées en lui".

Cependant aussi attirante que peut être cette théorie, Rabardel souligne qu'elle a été relativement peu étayée d'études empiriques. L'approche instrumentale se propose précisément de dépasser la perspective théorique pour l'ancrer dans une démarche plus empirique d'une part et en tirer des enseignements utiles à la conception d'autre part.

Par ailleurs il s'est développé en Europe tout le champ d'études de la psychologie génétique autour de la théorie piagétienne s'appuyant sur la notion de schèmes qui constituent "les moyens (internes) du sujet pour assimiler les situations et les objets auxquels il est confronté" (Piaget 1975).

Par contre la notion d'instrument y est peu développée alors que l'accent est plutôt mis sur la genèse des acquis cognitifs. L'instrument n'y apparaît guère utilisé que de manière "ad hoc" comme moyen expérimental de mise en évidence de cette évolution (par exemple des récipients de différentes formes sont utilisés pour mettre en évidence l'acquisition de la notion de conservation des volumes chez l'enfant).

Sans vouloir rentrer plus en profondeur dans cette discussion théorique qui a été développée par Rabardel (opus cité) et qui dépasse le cadre de cette recherche, soulignons néanmoins que ce que nous entendrons par approche instrumentale s'appuie sur un rapprochement de ces deux thèses avec d'une part la triade Sujet Objet Instrument et d'autre part la séparation du pôle instrument en deux composantes : une constituée de l'artefact habituellement "matériel" dite "face visible" (e.g. sa forme, sa couleur, etc.) et une autre plus abstraite dite "face cachée" qui est constituée des opérations potentiellement projetables sur l'artefact sous la forme de schèmes d'utilisation (cf. fig 1).

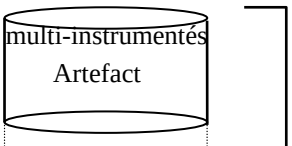


Fig 1 : Les composantes de l'instrument

Car en effet pour Rabardel l'Artefact n'est pas en lui-même une entité achevée. Il ne devient Instrument qu'à partir des schèmes d'utilisation qui lui sont projetés par un utilisateur d'une culture et pour une finalité donnée.

Notons que ces schèmes d'utilisation reprennent les deux propriétés essentielles des schèmes que sont :

- L'assimilation de l'environnement extérieur que Piaget (1975) définit comme *l'incorporation d'un élément extérieur (objet, événement etc.) en un schème sensori-moteur ou conceptuel du sujet*. En d'autres termes, pour reprendre notre propre terminologie, c'est une action cognitive qui consiste pour l'utilisateur à projeter des schèmes d'utilisation sur l'artefact pour un Objet d'action donné. Par exemple dans la perspective de préparer la terre pour planter, le jardinier projette sur l'outil le schème de "bêcher" (consistant à appuyer sur la tranche supérieure de l'instrument avec le pied).

- Et l'accommodation, deuxième étape du processus, qui provient de la nécessité où se trouve l'assimilation, à partir d'un échec d'assimilation, de tenir compte des particularités propres aux éléments à assimiler. Il s'agit autrement dit de l'action cognitive qui consiste à adapter le schème social d'utilisation aux caractéristiques propres de la situation (par exemple, si il y a des racines qui empêchent l'instrument de s'enfoncer facilement, cela pourra nécessiter de la part du jardinier une prise en main différente de l'outil). De ce fait, l'accommodation conduit à un développement instrumental de l'artefact.

Enfin notons dès à présent une distinction importante parmi les schèmes sociaux d'utilisation, proposée par Rabardel (1995) et que nous reprendrons dans ce travail:

- ceux qui s'appliquent à l'instrument de manière relativement indépendante d'un objet d'action donné (par exemple le schème de tourner une commande) et qui en ce sens *caractérisent la relation S-I de la triade. Ces schèmes sont appelés "schèmes d'usage"* ou encore de *deuxième niveau*.

Ces schèmes d'usage en se couplant à des artefacts basiques s'apparentent parfois à la notion de stéréotype (par exemple l'augmentation d'une valeur quelconque au moyen d'une commande rotative se fait habituellement dans le sens des aiguilles d'une montre.

- et ceux qui s'appliquent à l'objet de l'action au travers de l'instrument (tourner une commande pour augmenter la température ambiante) dits aussi de *premier niveau* auxquels nous ferons référence tout au long de ce travail par *"schèmes d'activité instrumentée"*.

Nous verrons en effet au travers de plusieurs cas que cette différenciation peut être utile pour comprendre certaines difficultés d'utilisation observées. En effet pour une même action instrumentée des difficultés peuvent provenir de l'évocation de l'une ou l'autre de ces deux catégories de schèmes. Nous verrons au chapitre VIII comment des enseignements pratiques peuvent ainsi être tirés de cette distinction. Précisons que nous utiliserons la terminologie de *schèmes d'utilisation* pour parler indifféremment de *schèmes d'usage* et *d'activité instrumentée*.

Pour finir introduisons une dernière distinction proposée par Rabardel (1995), relative aux notions *d'instrumentation* et *d'instrumentalisation,* que nous reprendrons dans ce travail:

- *les processus d'instrumentalisation sont dirigés vers l'artefact: sélection, regroupement, production et institution de fonctions, détournements, attribution de propriétés, transformation de l'artefact, de sa structure, de son fonctionnement , etc. jusqu'à la production intégrale de l'artefact par le sujet;* L'établi d'un ouvrier retoucheur décrit par Linhart (1978) en fournit un excellent exemple "son établi est un engin indéfinissable, fait de morceaux de ferraille et de tiges, de supports hétéroclites, d'étaux improvisés pour caler les pièces, avec des trous partout [ ] quand on le regarde travailler pendant un temps assez long , on s'aperçoit que toutes les apparentes imperfections de l'établi ont leur utilité: par cette fente, il peut glisser un instrument [ ], par ce trou il passera la tige d'une soudure difficile, par cet espace vide [ ] il pourra faire un complément de martelage sans avoir à retourner la portière déjà calée..." Cet établi, transformé, modifié par l'ouvrier lui-même fait à l'issue d'un processus d'intrumentalisation "corps avec lui". La force opérationnelle de ce processus apparaissant indiscutablement et dans sa totalité le jour du remplacement de l'établi .

- *Les processus d'instrumentation sont relatifs au sujet: à l'émergence et à l'évolution des schèmes d'utilisation et d'action instrumentée: leur constitution , leur évolution par accommodation, coordination, et assimilation réciproque, l'assimilation d'artefacts nouveaux à des schèmes déjà constitués, etc.*

C'est surtout de ce deuxième processus dont il sera question dans ce travail. En effet en partant de la théorie qui consiste à dire que l'action médiatisée sur l'environnement se fait par application de schèmes sur l'Artefact (schèmes d'usage) ou sur l'Objet avec médiatisation par l'Artefact (schèmes d'action instrumentée), la question de l'identification de ces schèmes devient alors un élément majeur pour la conception.

1.4 Rappel sur la dualité Sujet/Objet

Après avoir précisé ce que nous entendions par la notion d'instrument et au préalable à la définition des situations d'action instrumentée, il nous parait nécessaire de définir ce que nous entendrons par les notions de Sujet et d'Objet.

En effet, en plus du sens commun, ces notions sont largement utilisées dans des champs variés (philosophie, psychologie, psychanalyse, anthropologie ...) ce qui amène aussi à une variété d'interprétation de la notion au sein parfois d'une même discipline. Pour la clarté de notre recherche il est donc indispensable d'en préciser des définitions stables tout au long de ce travail.

Bref rappel sur l' approche philosophique des notions de Sujet et d'Objet :

Au sens classique le sujet désigne ce qui est dessous , soumis à une autorité, une charge , une obligation. Au sens moderne il s'agit de l'existant conscient de soi, qui pense mais en même temps se pense pensant, comme dans la formule cartésienne "je pense donc je suis" (cf. encyclopédie universalis).

De la première notion d'être passif s'est dégagé dans la philosophie moderne occidentale une notion de sujet comme être actif et causatif. Notion par ailleurs largement véhiculée par le langage comme dans l'exemple suivant emprunté à Pradine (1948) *"Nul ne saurait dire ce qu'est la foudre : on dit pourtant que la foudre est tombée sur le clocher du village"* c'est ce que cet auteur nomme *la ″substantification des prédicats"* qui est selon lui, l'*″opération linguistique fondamentale"* et qui pose le caractère essentiellement actif du sujet.

Il s'établit alors une identification de deux idées, celle d'existence et celle de subjectivité, idées pourtant reconnues comme paradoxales par les philosophes. Ricoeur (1969) parle ainsi *d'identification entre les notions de subjectum comme fondement et de subjectum comme je* . Plus généralement cela renvoie à la problématique de la dualité humaine de Kant entre *l'être "sensoriel"* appartenant à la nature et *l'être "raisonnable", "libre"*.

Sans aller plus loin dans ce débat, nous verrons qu'en tant que concepteurs d'artefacts, qui ont ici pour vocation d'être utilisés comme ce qu'Amalberti (1996) appellerait des "systèmes à risque" , la question de la nature du Sujet n'est pas sans incidence.

En effet les questions de la subjectivité dans l'estimation du risque, des niveaux de conscience des situations rencontrées, de la clarté des objectifs poursuivis etc., sont autant de thèmes majeurs pour la conception. Thèmes sur lesquels nous tenterons, par l'approche instrumentale, de donner quelques éléments de réponse.

A l'instar des deux acceptions du mot ″Sujet″, l'encyclopédie universalis en distingue trois pour le mot ″Objet″:

- Je pense quelque chose, quelle que soit la pensée considérée, l'Objet est le perçu d'une perception, le voulu d'un vouloir etc.

- L'Objet désigne non tout corrélât, mais seulement celui qui est doté d'une validité de connaissance (cercle, carré, le monde des esprits, par exemples, ne sont pas des objets parce qu'ils non pas une essence déterminable).

- L'Objet peut enfin désigner les choses en elles-mêmes "hors de notre entendement".

La première acception du terme réfère plus directement à la dualité Sujet-Objet telle que nous l'entendrons, où dans le domaine de l'action finalisée qui nous intéresse ici, la notion d'Objet se réfère aux Objectifs, Motivations ou Buts qui amènent le sujet à l'action *(le voulu d'un vouloir).*

Selon les auteurs de l'encyclopédie universalis ce rapport du Sujet à l'Objet ne renfermerait rien d'autre dans la philosophie kantienne que *l'application par le Sujet de schèmes purs d'une expérience possible à l'Objet.*

C'est d'ailleurs ce qui la distingue de la notion de chose auquel se réfère la troisième acceptation du mot. Comme nous l'avons vu, dans l'approche instrumentale, cette "application de schème" est de plus médiatisée.

Pour Theureau (1996) l'Objet se définit comme une partie du champ de possibles dans lequel l'acteur est engagé, sur laquelle il est focalisé. En effet pour cet auteur l'ensemble du cours d'action passé ouvre, à tout moment, pour l'acteur un ensemble de possibles susceptibles de se réaliser. D'un point vue un peu plus métaphorique il parle aussi de l'Objet comme d'une *"histoire dont l'acteur serait le héros"*.

Il considère ainsi l'Objet comme un des éléments du signe triadique, introduit par le philosophe logicien anglo-saxon C.S. Peirce, composé outre d'un Objet, d'un Représentamen et d'un Interprétant, où le Représentamen constitue dans la situation *"ce qui fait signe à l'acteur"* et l'Interprétant comme *"l'élément de généralité qui permet de mettre en relation le Représentamen à l'Objet"*.

Il s'agit donc d'une théorie *sémiologique* alors que la théorie de l'activité dont les principes s'appuient sur les pôles Sujet-Artefact-Objet et qui sera introduit au paragraphe suivant est une théorie *psychologique*.

Par contre la notion d'Objet, bien que dans le signe triadique n'apparaisse pas directement la dialectique Sujet-Objet, présente une dimension commune car il apparaît d'après nous dans l'un et l'autre cas comme "ce qui amène le Sujet [l'Acteur] à l'action".

Ainsi Theureau parle aussi de l'Objet du signe comme une totalité hiérarchisée de faits possibles pour l'acteur, bornée par un horizon spatial et temporel (Theureau & al 1994).

A l'inverse d'autres concepts de l'une ou l'autre de ces théories sont traités différemment comme celui de médiatisation par l'instrument (à la base de la théorie de l'activité) ou celui de représentamen (propre au signe triadique).

Cette notion de signe pourrait être reprise néanmoins dans l'approche instrumentale où nous la définirions comme un élément de l'artefact qui aurait la potentialité d'évoquer un schème d'usage chez le Sujet (d'une culture donnée et pour un Objectif donné) ou un élément de l'espace de travail qui aurait cette même potentialité d'évocation mais d'un schème d'action instrumenté cette fois. Par exemple, pour les schèmes d'usage, une sérigraphie ou un onglet placé sur une commande, sont autant de *signes* incitant à manipuler une commande (en tirant, tournant, poussant …) alors que l'apparition de la pluie sur le pare-brise est un *signe* provenant de l'*espace de déplacement* pour le *schème d'action instrumentée* de mise en route des essuie-glaces.

Au total c'est donc bien la première acceptation du mot Objet qui nous intéresse ici. Avec cependant une précision fondamentale amenée à la fois par la théorie de l'activité et par l'approche instrumentale: l'application de schèmes à l'Objet est, dans notre perpective, médiatisée par l'Instrument qui constitue le moyen à mettre en œuvre pour un Objet d'action donné.

Cette médiatisation introduit alors la distinction entre deux types de schèmes (de *premier* et de *deuxième niveau* ou d'*usage* et d'*action*) que nous avons déjà évoqué.

Enfin la notion d'Objet comme élément qui conduit le Sujet à l'action (au sens large), peut s'apparenter à celle de la psychanalyse où *" l'Objet de la pulsion est ce en quoi ou par quoi la pulsion peut atteindre son but (...) il est l'élément le plus variable dans la pulsion, il n'est pas lié à elle originairement, mais il ne vient s'y ordonner qu'en fonction de son aptitude à permettre la satisfaction"* (ref. Encyclopédie Universalis). Cette mise en parallèle pose la question du niveau de conscience du Sujet par rapport à l'Objet qui oriente son action.

En effet en dehors de la psychologie cognitive ou l'Objet de l'action est:

- soit conscient, comme dans le cas de la résolution de problème (Richard 1998), l'Objet est alors directement verbalisable.

- soit non conscient mais implicite car ayant fait l'objet d'une automatisation au cours de l'apprentissage, la verbalisation de l'Objet nécessitant alors des techniques particulières d'explicitation (Vermerch 1994),

il y a aussi la psychologie clinique qui pose:

- la problématique des Objets inconscients qui sont alors de l'ordre du désir où l'action porte sur une substitution d'un besoin originel de nature refoulée.

Même si nous ne développerons pas ce dernier aspect, soulignons que par rapport à notre champ d'étude, l'automobile, cette problématique n'est pas neutre. En effet en dehors des aspects fonctionnels où il s'agit de répondre à un besoin explicite ou à une attente implicite (cas des Objets conscients et non-conscients), il y a aussi bien sûr la dimension d'une conception comme réponse à un désir (Objet inconscient).

C'est par exemple ce qui explique des comportements d'achat qui sortent largement du «rationnel » purement fonctionnel. Eric Albert (2002), par exemple, suggère d'expliquer le choix d'un véhicule 4*4 pour rouler dans Paris comme un désir de protection renforcée de la «sphère privée» (le véhicule). En effet, avec le contexte automobile, cette sphère privée est directement placée dans un environnement public (la rue et ses autres occupants) qui peut être perçu comme particulièrement menaçant et agressif.

Il y a aussi dans cette problématique des Objets inconscients, les jugements de valeurs attribués à certains comportements, entre ce qui est beau ou laid, bien ou mal, distingué ou vulgaire. Rouler dans ce même véhicule 4*4 pourra ainsi apparaître comme un « signe de distinction », par exemple pour « un nouveau riche », et « totalement vulgaire » pour un « aristocrate » (Caubin 2002).

Enfin soulignons ici que quelques éléments d'analyse transactionnelle sont nouvellement appliqués à l'automobile pour expliquer et orienter certains choix de conception relatifs à la nature des liens relationnels du conducteur avec son véhicule. Par exemple cette approche se propose d'expliquer la non acceptation de certains messages en synthèse vocale du type «votre ceinture n'est pas attachée» comme créatrice d'une relation de type enfant/parent autoritaire mal perçue par l'usager par rapport à la présence d'un simple message visuel moins intrusif, induisant un niveau de type « d'adulte à adulte » qui serait le type relationnel attendu d'un constructeur automobile envers son client.

1.5 La médiatisation des relations du sujet à l'objet comme moyen de caractérisation des classes de situations d'activités instrumentées

Après la notion d'instrument, la médiatisation des relations du Sujet à l'Objet est le deuxième élément fondamental de l'approche instrumentale.

Ces dernières années la plupart des auteurs en ergonomie cognitive en appellent à une refonte de la discipline devant rompre en particulier avec une «vision mécaniste Input/ Output» des relations de l'utilisateur à l'artefact. Ce courant de pensée s'accorde à reprocher à cette vision mécaniste un manque majeur de spécification du contexte de l'utilisation pour obtenir une conception adaptée.

Nous verrons en effet tout au long de ce travail des exemples de conception qui ont nécessité, ou auraient dû nécessiter, une analyse suffisamment approfondie du contexte.

Cela rejoint d'assez près les préoccupations de la "cognition située", où par exemple Suchman (1987) a particulièrement mis en évidence le caractère opportuniste de l'activité par rapport à un autre point de vue où l'activité serait essentiellement orientée par un modèle de planification préalable.

Reste la problématique majeure de ce que l'on appelle le contexte (de quoi est il fait?) et surtout de comment le prendre en compte pour la conception (point sur lequel d'ailleurs un ouvrage comme celui de Suchman renseigne en définitive assez peu).

Pour la théorie de l'activité (Nardi 1996), le contexte se constitue au travers de la mise en acte (enactment) d'une activité impliquant un (plusieurs) sujet(s) et un (plusieurs) artefact(s) pour un (des) objet(s) d'action(s) spécifique(s). Contrairement à l'approche de Suchman (opus cité) dans laquelle buts et plans sont essentiellement pris comme des reconstructions rétrospectives, dans la théorie de l'activité selon Nardi l'Objet de l'action constitue le point de départ de l'analyse et aussi son unité d'étude.

Si nous considérons comme nous venons de le faire que l'utilisateur fait lui aussi partie du contexte, il est alors nécessaire d'après nous, si l'on cherche à avoir un descriptif un tant soit peu "fin" de la situation, de voir dans ce contexte un aspect externe à l'utilisateur et un autre interne. En effet un Sujet n'est pas substituable à un autre, il "transporte" avec lui son histoire, ses objectifs propres, ses représentations du monde. Cela va bien entendu impacter l'évolution de la situation. L'interprétation fine de la situation ne peut donc faire l'économie de cette question. Ces processus internes font parties intégrantes du contexte cognitif de la situation. C'est en particulier ce qu'ont montré Cahour & Karsenty (1996) dans l'étude des interactions homme-homme.

Se pose alors toute une discussion sur les liens entre ces processus interne et externe :

Un auteur comme Zinchenko traite ces liens dans une perspective phylogénétique, en proposant une spirale d'évolution constituée par une dynamique successive d'extériorisations versus intériorisations des expériences avec l'environnement (cf. fig. 2).

Ces échanges projectifs et introjectifs sont médiatisés par des outils conceptuels de niveaux de plus en plus élevés que sont les "*signes*", les "*mots*", les "*symboles*", les "*mythes*".

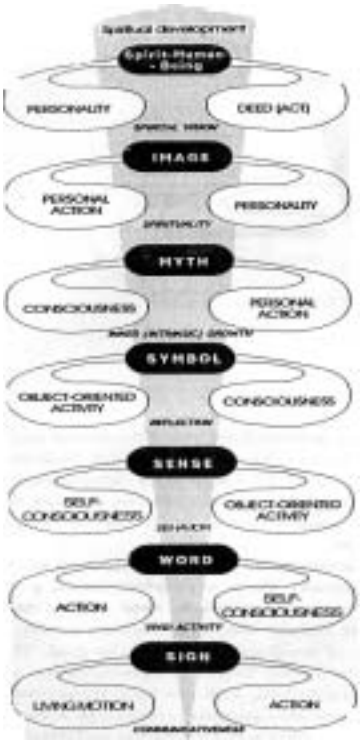


Fig 2: Les aspects "ontologique" et "phénoménologique" du développement selon Zinchenko (1996)

Même si cela s'applique à des degrés d'abstraction différents, cela apparaît, dans son principe, reprendre des concepts de la théorie piagétienne où, comme le cite Berthoz (1997) *"l'intelligence chez l'enfant est caractérisée par une intériorisation des actions effectives en actions simplement représentées et en opérations (ces dernières étant caractérisées par leur caractère réversible)"* et où cette intelligence pratique se met progressivement en place, par étapes successives, d'intériorisation de plus en plus complexes par rapport à l'action.

Berthoz y décèle un rapprochement possible avec certains travaux récents de neuro-biolologie qui montrent le lien entre perception et action et plus particulièrement entre mouvement imaginé et mouvement exécuté.

Cela amène cet auteur à souligner le caractère propre du cerveau qui fonctionnerait comme un "*simulateur"* de l'action (cf. fig 3).

Cela est aussi de notre point de vue parfaitement en conformité avec la distinction artefact/instrument décrite dans la figure 1.

"Pendant une action, le cerveau mettrait	

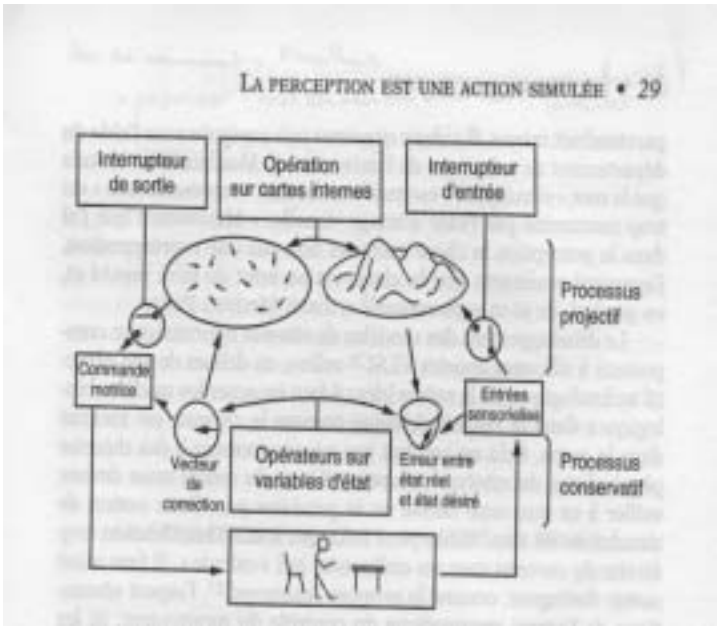
en œuvre deux modes parallèles. C'est le cas du champion de ski qui descend la piste. Il déroule mentalement, et de façon prédictive, la course en même temps qu'il descend et vérifie de façon intermittente l'état des capteurs sensoriels critiques pour le mouvement en cours. Le cerveau perdrait trop de temps à contrôler en permanence tous les capteurs. Deux modes de contrôle du mouvement, fonctionnant en parallèle, permettent cette prédiction et cette sélection sensorielle. Le premier qui est le plus ancien, est conservatif. Il tend à maintenir certaines variables dans les limites définies par les intentions de l'action...dans ce mode le cerveau fonctionne comme un contrôleur. Le second est le plus récent dans l'évolution, il est de type projectif. Il utilise des cartes internes sur lesquelles il peut simuler le mouvement sans l'exécuter"	

Fig 3 : Le double mode de fonctionnement du cerveau d'après Berthoz 1997

En effet comme l'affirme Berthoz *"percevoir un objet*[3] *c'est imaginer les actions qu'impliquent son usage"* en d'autres termes pour adopter la terminologie que nous proposons pour l'approche instrumentale, lui *projeter des schèmes d'utilisation.*

On peut alors reprendre cette citation de Berthoz par "concevoir un artefact c'est imaginer les actions qu'impliqueront son usage".

Bien que la conception ne se ramène pas à cette seule dimension, elle est fondamentale puisqu'elle touche la finalité même de la conception.

C'est aussi bien sûr la dimension qui intéresse le plus directement la problématique ergonomique. Nous verrons au chapitre VII plusieurs exemples d'écart très marqué entre la représentation du concepteur sur l'usage futur de ce qu'il était en train de concevoir et la représentation qu'en a eu l'utilisateur en situation.

De leur coté Rabardel & Vérillon (1985) suggèrent d'utiliser le modèle SAI pour caractériser ce qu'ils appellent les classes de Situations d'Activités Instrumentées. Ce modèle s'appuie sur les trois pôles : Sujet-Instrument-Objet et suggère l'analyse des liens entre ces pôles (cf. fig 4) pour considérer *l'ensemble des interactions en jeu dont le sujet doit tenir compte dans son activité finalisée.*

[3] Attention, le mot objet est à prendre ici en tant qu'Artefact !

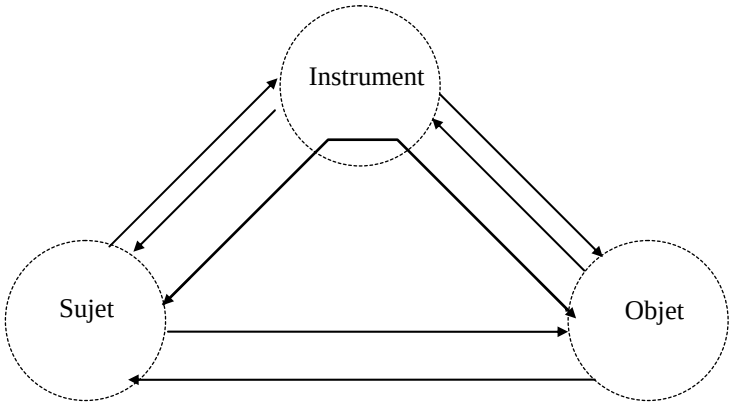


Figure 4 : Modèle SAI : la triade caractéristique des Situations d'Activités Instrumentées (d'après Rabardel et Vérillon, 1985)

Un exemple simple d'analyse de l'activité à partir du modèle est donné par Rabardel à partir d'une étude d'Aucherie et Sacotte (1994) sur l'activité de préparation des murs et plafond au moyen d'une décolleuse à papier peint: Spatule, Décolleuse et ce qui est plus étonnant Vapeur ont un statut d'Instrument alors qu'Enduit, Papier peint, et Plafond ont le statut d'Objet.

Notons que selon l'activité considérée un même élément, par exemple l'Enduit, peut passer d'un statut d'Objet à un statut d'Instrument. Notons aussi que n'apparaît pas dans ce descriptif les Objectifs de l'utilisateur qui sous tendent pourtant l'activité. Le pôle Objet est pris ici dans le sens plus restrictif *d'éléments sur lesquels porte l'action.* Certes c'est un élément fondamental mais il n'est pas suffisant pour obtenir une description explicite de l'activité dans la mesure ou les *Intentions du Sujet* n'y sont pas exprimées.

Cela va nous amener à proposer, dans la modélisation des situations d'action instrumentée, une distinction importante sur le pôle Objet entre l'Objet de l'action et l'Espace de travail sur lequel porte l'action. Ce point sera exposé dans la dernière partie de ce chapitre.

Avant cela, introduisons le concept de schéma qui est aussi très largement utilisé en ergonomie cognitive et en particulier dans certains modèles du conducteur comme par exemple dans le modèle Cosmodrive (Bellet 1998). C'est en effet un concept, proche de celui de schème, sur lequel nous allons nous étayer.

Les schémas (HOC 1987) sont des structures de connaissances qui permettent de traiter rapidement (de manière quasi-automatique) les situations stéréotypées de la vie quotidienne. Ces structures sont stockées en mémoire à long terme et s'élaborent au fur et à mesure de l'apprentissage. Elles ont trois caractéristiques essentielles:

- Elles possèdent un ordre et une logique interne

- Chaque schéma pointe sur une multitude d'autres selon les capacités associatives de la mémoire humaine

- Elles ont un pouvoir de déduction des propriétés d'un schéma sur les autres (par exemple le schéma correspondant à l'acte de payer pour l'acquisition d'un produit ou d'une prestation va se retrouver dans tout un ensemble de schémas plus spécialisés impliquant une transaction: faire ses courses au super marché, déjeuner au restaurant, faire entretenir sa voiture...).

Ces structures en mémoire permettraient au conducteur de traiter les situations de conduite rencontrées par instanciation de schémas et d'exécuter les actions qui y sont associées. Certains auteurs parlent alors de schémas d'action (Richard 1986 , Sébillotte 1988).

Certains accidents/incidents peuvent alors s'interpréter comme une instanciation d'un schéma mal adapté à la situation. Van Eslande (1992) décrit notamment une étude d'accident au travers de ce paradigme explicatif : Il s'agit d'un conducteur (véhicule "A") qui suit un trajet rural connu de lui. Cependant il n'a jamais remarqué qu'une petite route à gauche figure sur une certaine portion du trajet. A l'arrivée sur cette portion le véhicule précédant (véhicule "B") met sa flèche sur la gauche. Cela a été interprété par notre conducteur comme une intention de dépasser. Il déclenche alors un schéma similaire de conduite (dépassement d'un véhicule "C"). Or le véhicule "B" se met à freiner (schéma du "tourner à G"). Le conducteur du véhicule "A" qui avait à l'inverse anticipé une accélération (schéma du dépassement) est surpris et ne peut éviter la collision.

La théorie des schémas peut aussi s'appliquer à d'autres artefacts embarqués dans le véhicule y compris ceux dont l'usage n'est pas spécifiquement lié avec la conduite (par exemple l'usage d'un autoradio ou d'une commande de climatisation/chauffage).

Cette notion est intéressante pour la conception parce qu'elle pose la question de la préexistence ou non d'un schéma d'action connu par l'utilisateur pour agir sur le dispositif en cours de définition. En ce sens elle rejoint la notion de schèmes.

1.6 Présentation d'un modèle instrumental couplant les processus interne (psychologique) et externe (comportemental).

Pour clore ce chapitre théorique nous proposons un récapitulatif des concepts que nous allons utiliser tout au long de ce travail. En effet comme nous venons de le voir, l'approche instrumentale est un cadre théorique très puissant, c'est-à-dire qu'il couvre un champ d'application très large, par contre il a aussi le défaut de cette qualité en ce sens où les concepts qu'il manipule sont peu spécifiques. Il convient donc de les reposer pour notre cadre d'étude.

Précisons d'ores et déjà qu'il s'agit de développer pour nous un cadre théorique opératoire, qui s'appuie certes sur l'approche instrumentale, mais qui inclut aussi des concepts originaux sur la multi-instrinstrumentation et sur l'existence de deux faces au modèle : Une dite « psychologique » et une autre dite « comportementale ». L'analyse des liens entre les pôles et les faces du modèle devant permettre de catégoriser les aspects les plus significatifs de la conception.

Pôle sujet: Entité qui perçoit et agit (au sens de la perception-action Berthoz 1997). Notons qu'ici le Sujet est pris dans un sens assez restrictif par rapport à toute la dimension psychologique de la dualité Sujet-Objet que nous avons abordé dans les paragraphes précédents au travers des motivations, attentes, buts, désirs etc.

Cela provient du fait que nous nous proposons de placer tous ces éléments dans le pôle Objet dans la mesure où ce sont eux qui, associés à l'environnement (que l'on appellera ici "Espace de Travail"), constitue l'entité qui *amène le sujet à l'action.*

Pôle Instrument: Médiateur entre les pôles Sujet et Objet (ce pôle s'entend comme les moyens mis en œuvre). Il est constitué de l'artefact qui devient Instrument quand on considère les schèmes d'utilisation qui lui sont associés au cours de la genèse instrumentale.

Précisons que ce pôle Instrument peut être une partie du corps propre du sujet comme peuvent l'être par exemple les jambes dans l'apprentissage de la marche, ou qu'à l'inverse, un élément externe peut être assimilé au corps propre au fur et à mesure de l'apprentissage. Zinchenko (1996) en fournit un excellent exemple avec le Stradivarius de Rostropovitch.

Dans l'exemple plus proche de l'automobile, la perception des défections de la route peuvent être directement ressenties par le conducteur au travers de la chaîne que constitue les roues, les suspensions, la caisse, le siège ou la colonne de direction, la main etc.

Certains auteurs parlent alors d'augmentation des perceptions, où l'artefact (ici le véhicule) est associé au corps propre du conducteur (Theureau & al 2000).

Pôle Objet: C'est d'un côté les objectifs de l'action, sous forme en particulier de buts, de leur déclinaison en sous buts et prérequis (par exemple s'arrêter à une station service pour vérifier le gonflage des pneus) et de leurs motivations (ne pas prendre de risque d'éclatement du pneu à grande vitesse sur l'autoroute).

De l'autre côté ce pôle est constitué de l'entité sur laquelle s'applique l'action (comme les murs et plafonds dans l'exemple du peintre ou la route qui défile dans le cas de la conduite).

Cela renvoie alors à la notion d'Espace de travail telle que par exemple Rabardel l'a utilisée pour analyser l'évolution des représentations dans l'acquisition d'un savoir associé à la télémanipulation d'un robot (Rabardel 1993). Dans le cadre de l'automobile nous parlerons d' *Espace de déplacement*.

Selon la nature du pôle Objet il y aurait donc deux sous processus liés Sujet-Instrument-Objet à considérer:

Un premier dit "psychologique" où le pôle Objet est constitué des objectifs, buts, motivations, etc. de la personne en situation. Le pôle Sujet est alors constitué du Sujet psychologique en ce sens où pour un Objectif donné il projette des schèmes d'action sur un Instrument qui a lui la caractéristique de pouvoir évoquer ces schèmes comme moyen d'atteinte de l'Objectif. Cela peut alors créer une attente.

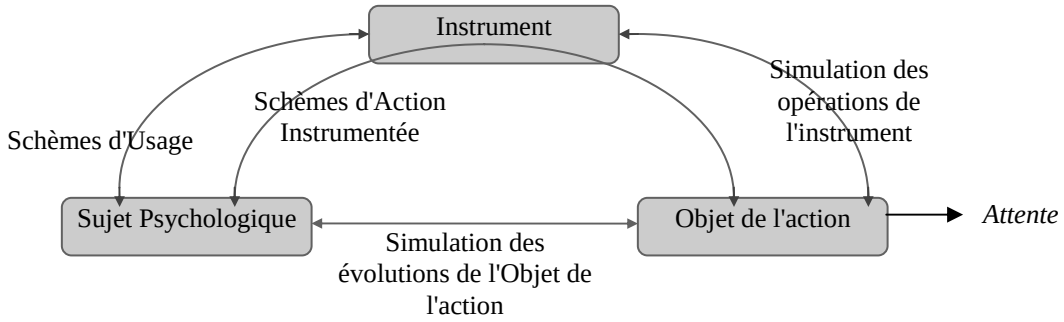


Fig 5: Sous processus psychologique (explicitable)

Un deuxième dit "externe" où le pôle Objet est constitué de ce sur quoi porte l'action. Pour cela le Sujet que, par opposition au sujet psychologique, nous nommons Sujet "incarné" ou "embodied", va agir par des opérations sur l'artefact (par exemple des opérations de manipulations de commandes comme tourner, appuyer, etc.) ce qui va avoir un certain effet sur l'espace de travail.

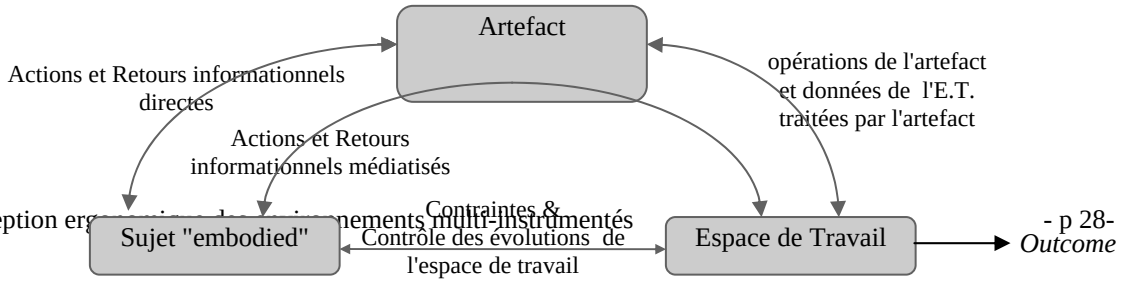


Fig 6 : Sous Processus comportemental (observable)

Une partie de notre thèse (cf. chapitre VIII) consistera à interpréter l'aspect intuitif ou contre intuitif d'une commande comme un écart ou non entre ce qui est attendu par l'utilisateur (interprétable à partir du sous processus psychologique) et ce qu'il obtient par action sur l'artefact (observable à partir du sous processus comportemental.

Par exemple si le pare-brise de la voiture est sale un Objectif vraisemblable du Sujet psychologique serait de le nettoyer.

Il va pour cela projeter sur l'artefact que constitue la commande d'essuie-vitre un schème d'usage (de type "tourner une bague" ou "tirer à soi une commande") et un autre d'action médiatisée (commander l'essuyage pour laver le pare-brise).

Cela concerne le *sous processus psychologique*, souvent implicite, mais *explicitable*. Il y a bien à ce niveau un *Objectif* (par exemple: bien voir à travers le pare-brise) et une *Attente* par rapport au fonctionnement du dispositif de lavage/essuyage.

L'instanciation de l'instrument, c'est-à-dire la mise en œuvre du (des)schème(s), va se matérialiser par une action observable sur l'artefact (par exemple la manipulation physique de la commande), qui à son tour va engendrer un effet sur l'Espace de travail (ici le déclenchement d'un jet de lave-glace et de quelques aller-retours des balais d'essuie-glace).

L'effet produit peut alors correspondre ou non à l'attente (e.g. le conducteur peut s'attendre au déclenchement d'un seul va et vient d'essuie-glace alors que par exemple trois ont été programmés à la conception).

De même, cet effet peut ou non satisfaire l'objectif (e.g. si des traces d'humidité subsistent cela peut par exemple amener le conducteur à réactualiser son objectif en procédant à l'essuyage plutôt qu'à l'essuyage-lavage du pare-brise...).

Cette partie de mise en œuvre constitue le *sous processus comportemental*.

Ces deux sous processus sont à mettre en parallèle. En effet, il s'agit de deux descriptions complémentaires mettant en relation les trois pôles Sujet, Objet, Instrument qui prendraient des statuts différents selon le point de vue considéré.

Ces deux sous processus sont donc pour nous les deux faces d'un même processus :

Une partie de ce processus est observable et constitue la face comportementale. L'autre ne l'est pas directement mais peut être explicité, il s'agit de la face psychologique (cf. fig 7)

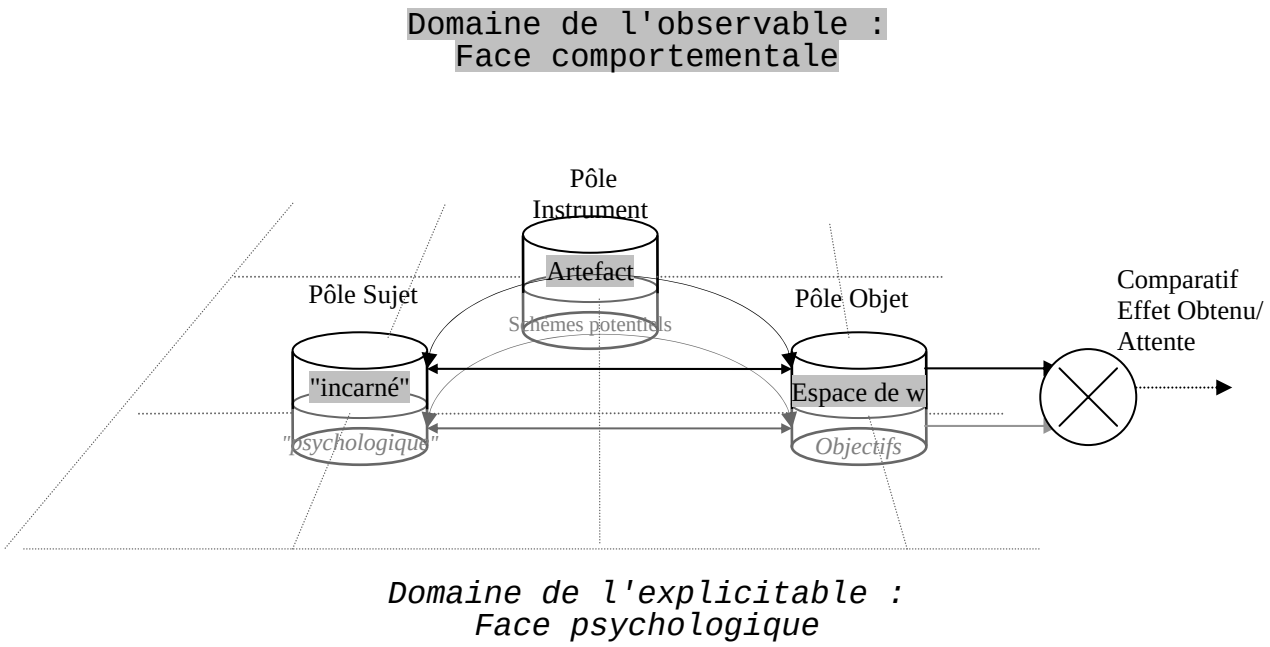


Figure 7: Les deux faces du processus instrumental

S'agissant de conception, un autre modèle, celui du concepteur, vient à son tour jouer un rôle déterminant. Béguin et Nicolas (1999) dans le même domaine de la conception automobile, ont montré comment la simulation verbale des interactions conducteur/artefact étaient centrales notamment dans la phase d'analyse fonctionnelle. Ces auteurs ont ainsi observé que cette simulation langagière de l'activité des futurs usagers jouait un rôle central dans l'évaluation des principes de solution et en retour dans l'identification de nouvelles fonctions requises pour le système.

De notre point de vue ces simulations langagières témoigneraient de la constitution d'une représentation plus ou moins complète de la situation d'action instrumentée.

Rabardel (2001a) illustre les principes de personnal view et system view introduit par Norman (1988) à partir d'un exemple de la conception d'une boîte de vitesse semi-automatique pour poids lourd (Galinier 1997). L'étude montre comment les concepteurs, pour éviter de perturber l'activité du

conducteur, sont partis d'un principe de réutilisation de la pédale d'embrayage en référence à l'activité d'origine. Il y a donc bien eu sous-jacent à ce choix une référence à ce qu'était cette activité pour orienter la nouvelle conception. L'analyse des résultats montre qu'en fait ce principe de conception conduisait à d'assez nombreuses erreurs, relativement persistantes dans le temps, dues au fait que la nouvelle fonction associée à l'appui sur la pédale de débrayage avait changé en profondeur : Les conducteurs appuyaient bien sur la pédale pour confirmer la proposition du système de changer de rapport mais pas forcement suffisamment longtemps pour laisser au système le temps mécanique pour réaliser cette transformation (ce qui pouvait laisser le véhicule au point mort !). La référence utilisée par les concepteurs s'appuyait sur des aspects de surface alors que les schèmes impliqués étaient modifiés en profondeur.

A partir de cet exemple, pris parmi beaucoup d'autres, les erreurs de conception peuvent alors s'expliquer d'après nous par un décalage entre le modèle simulé, généralement mentalement par le(s) concepteur(s), et ce qu'il se passe dans la situation réelle.

Cela peut venir soit du fait que la simulation présente une vue trop partielle de la situation (comme dans l'exemple de la pédale d'embrayage semi –automatique, nous en verrons un autre exemple avec un artefact de pilotage d'un toit ouvrant arrière dans l'étude de cas du chapitre VII), soit qu'elle se base sur une hypothèse erronée (nous en verrons aussi un exemple significatif sur un dispositif de réglage de la temporisation du cadencement d'essui-vitre).

Au total, l'approche instrumentale de la médiatisation des relations du Sujet à l'Objet par l'Instrument conduit à plusieurs représentations qu'il est intéressant de mettre en parallèle :

Ainsi un écart entre ce qui est attendu par le sujet et ce qui est obtenu peut être interprété comme un écart entre les sorties des sous modèles "psychologique" et "comportemental" : le sujet s'attend à ce qu'en appliquant tel schème il obtienne tel résultat (face psychologique) or l'effet observable obtenu par action sur la commande (face comportementale) diffère de ce qui était projeté. Cela peut s'interpréter comme un dysfonctionnement dont l'analyse doit permettre de mieux concevoir.

Par ailleurs cet écart entre résultat obtenu et résultat attendu par l'utilisateur trouve souvent son origine dans un autre écart de représentations entre celles de l'utilisateur et celles du concepteur cette fois dont nous verrons plusieurs exemples par la suite.

Il est donc grandement légitime de penser que l'analyse de ces écarts, et une prise en compte de cette analyse, devrait éviter une reproduction du même phénomène dans la conception d'artefacts *similaires*.

C'est sur cette base que seront présentées les études de cas du chapitre VII et qu'elles seront analysées au chapitre VIII.

Notons dès à présent que ces analyses participent à la compréhension de ce que l'on appelle « l'intuitivité des commandes ». Une commande intuitive se caractérisant pour nous par une bonne correspondance des faces psychologique et comportementale, alors qu'une commande contre-intuitive ou non-intuitive dénoterait un écart entre ces faces. Cette approche sera précisée dans le chapitre II (§ II.5 "traitements mis en œuvre").

CHAPITRE II: LES CARACTERISTIQUES DE LA CONDUITE ET DU CONDUCTEUR DIMENSIONNANTES POUR LA CONCEPTION D'EQUIPEMENTS: REVUE DE QUESTIONS

Nous avons proposé dans le chapitre précédant de distinguer deux faces au processus instrumental.

Une première, "explicitable" mais non directement observable, dite "psychologique" pose la problématique des attentes, objectifs et motivations de l'utilisateur, et des schèmes dont il dispose pour atteindre ses objectifs au moyen de(s) instrument(s) que l'on a conçu pour lui.

Une deuxième, observable, dite "comportementale" pose la question des résultats obtenus par la réalisation des opérations sur l'artefact, des évolutions de l'espace de travail que cela va entraîner, et enfin des contraintes et des opportunités que cette évolution va en retour exercer sur le pôle Sujet.

Nous pensons que certaines de ces contraintes constituent des *invariants de l'activité* en ce sens où chacune d'elle va agir de manière similaire pour une classe donnée d'activités et que nous pensons qu'une meilleure identification de ces contraintes conduira en retour à une meilleure conception.

Dans ce chapitre nous nous proposons précisément de passer en revue les grandes caractéristiques de l'activité de conduite telles qu'elles sont décrites dans la littérature en tentant de montrer comment l'identification de ces caractéristiques peut être vue comme l'identification de contraintes qui vont s'exercer sur le conducteur et qui sont à ce titre à prendre en compte pour concevoir.

Notons que selon notre modèle instrumental Sujet-Objet-Instrument, ces contraintes proviennent surtout de la nécessité pour le Sujet de contrôler les évolutions de l'Espace de conduite (i.e. la face comportementale du pôle Objet) (cf. fig. 6).

Illustrons la démarche à partir d'un exemple fictif et basic relatif à la lecture d'une information sur un afficheur :

Les concepteurs savent depuis longtemps que pour que cette lecture puisse se faire aisément en conduite cela va nécessiter de concevoir l'affichage en le surdimensionnant, par rapport à une conception pour une simple consultation à l'arrêt.

Une loi pour définir ce surdimensionnement a été établie et est couramment utilisée dans la conception. Cette loi s'appuie sur la détermination des hauteurs minimums de caractères selon la distance à l'œil de l'afficheur pour permettre une lecture dite «à la volée » c'est-à-dire ne nécessitant pas d'accommodation visuelle.

En effet nous savons que l'accommodation nécessite un temps, variable en fonction de la distance, de l'ordre de plusieurs dixièmes de seconde. Sachant par ailleurs que les ressources sur le canal visuel sont limitées et que, en moyenne, un détournement de regard de plus de deux secondes conduit à un sentiment d'insécurité(qui peut être accompagné de déviations de trajectoire) on comprendra tout de suite qu'un gain de quelques dixièmes de seconde n'est pas négligeable.

Essayons à présent de voir comment nous pouvons nous représenter l'effet de la contrainte de limitation des ressources visuelles sur la situation que constitue les interactions S-I-O.

En simplifiant, il y a donc un Sujet (le conducteur), à la poursuite de deux Objectifs que sont le contrôle de la trajectoire du véhicule (O1) et la prise de connaissance d'une information affichée sur un écran du tableau de bord (O2). Pour cette illustration le contenu même de cette information à peu d'importance).

Il dispose pour cela des instruments de conduite du véhicule, en particulier du volant, et par ailleurs de l'information affichée sur un écran.

Le conducteur dispose aussi de deux types de schèmes à appliquer sur ces instruments pour réaliser ses objectifs : les schèmes de maintien de la trajectoire et les schèmes de lecture de l'information.

L'ensemble de cette description (Objectifs, Schèmes et Instruments) correspond à ce que nous avons appelé la face ″psychologique″ du processus instrumental (cf. fig. 8).

Nous profitons de la présentation de la figure 8 pour préciser un point important relatif au sens des flèches figurant les liens entre les trois pôles du modèle : Le sens de la flèche indique la nature de la relation selon une distinction empruntée à Rabardel & al (2001) entre relations « épistémiques » et « pragmatiques »:

- Les relations « pour connaître » dites « épistémiques ». La flèche se dirige alors vers le pôle Sujet.
- Les relations « pour agir » dites « pragmatiques ». La flèche part alors du pôle Sujet.
- Les relations mixtes à la fois pragmatiques et épistémiques sont symbolisées par une double flèche.

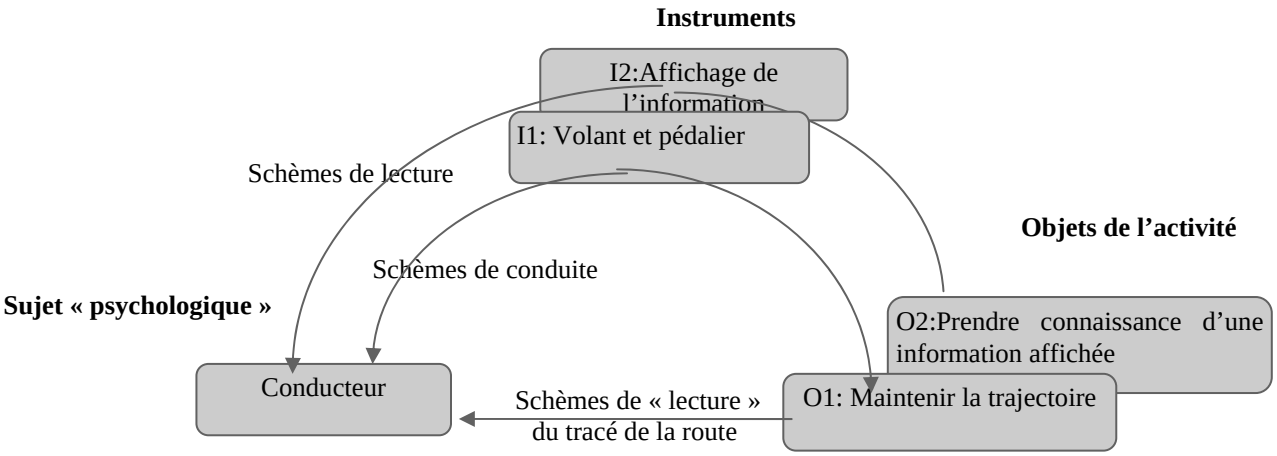


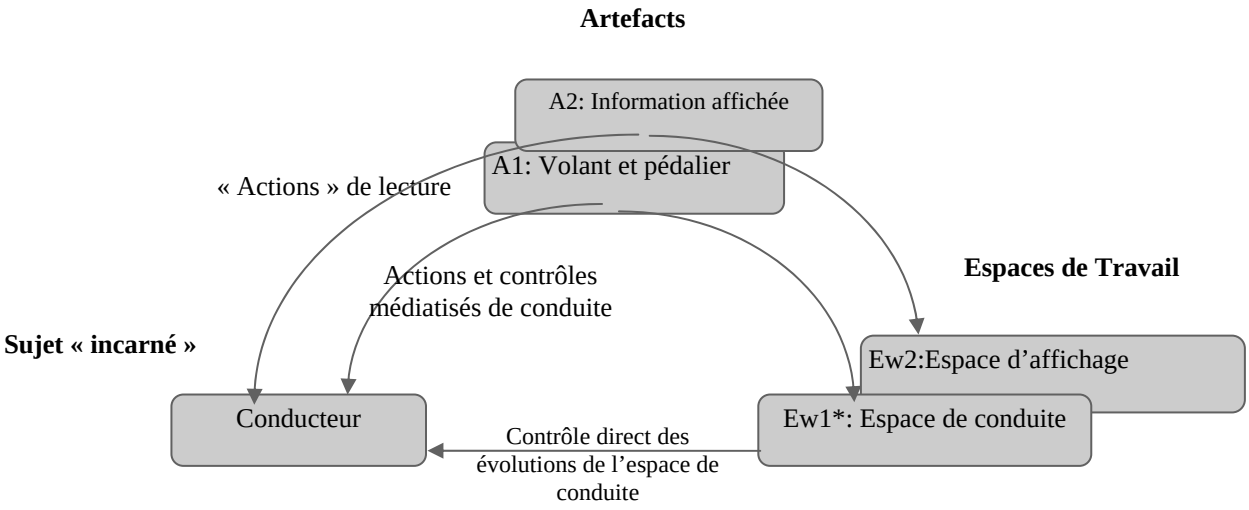
Figure 8 : Face psychologique du processus de lecture en conduite d'un afficheur

Un autre point de vue est celui de l'instanciation de(s) l'instrument(s). Il s'agit alors d'une description du comportement observable en ce sens où ce ne sont plus les schèmes qui vont être identifiés mais les actions réellement portées sur l'artefact ainsi que leurs effets sur l'évolution de la situation.

Dans notre exemple il y aura d'une part des détournements de regard portés sur l'affichage; chacun d'entre eux est constitué, à un niveau plus fin de description, d'une saccade oculaire vers l'afficheur, d'une accommodation sur l'affichage, de micro-saccades occasionnées par la lecture…

D'autre part il y aura des actions sur le volant pour assurer le suivi de trajectoire accompagnées ou non de micro-corrections pour compenser les écarts.

Ces actions et micro-actions sur le volant ont pour conséquence de faire évoluer la position du véhicule sur la voie. Or pour être correctement réalisées ces actions nécessitent un contrôle visuel sur la scène extérieure de conduite, c'est-à-dire sur des éléments de l'espace de conduite que constitue le pôle Objet externe (fig. 9).



* dans la suite de ce travail nous utiliserons la notation Ew1 pour Espace de Travail principal = la route et l'environnement de conduite (nous parlerons aussi d'espace de conduite), et Ew2 pour l'Espace de Travail secondaire (ici l'espace d'affichage).

Figure 9 : Face comportementale du processus de lecture en conduite d'un afficheur

Le fait qu'il y ait réalisation simultanée de deux actions va contraindre mutuellement l'application des schèmes pour chacune de ces activités. Par exemple le contrôle visuel nécessaire au maintien de la trajectoire va être interrompu, une ou plusieurs fois, pour permettre l'application du schème de lecture sur l'afficheur. Si l'interruption est trop longue ou se fait de manière trop rapprochée l'application des schèmes de maintien de la trajectoire sera perturbée et ne conduira plus à un résultat satisfaisant en terme de réduction d'écart à la trajectoire.

L'activité de conduite, focalisée dans cet exemple sur le maintien latéral[4] va donc exercer une contrainte sur l'activité de lecture où, du point de vue de la conception, il s'agira que cette lecture puisse se faire avec un nombre restreint de détournements qui devront, de plus, être de courte durée. Car en moyenne, comme nous l'avons rappelé, au-delà de deux secondes d'occultation visuelle de la scène avant, le contrôle de trajectoire est perturbé.

[4] c'est en ce sens que nous avons disposé l'Objet "maintenir la trajectoire" en premier plan (Objet1) de la figure 8 par rapport à celui de "Prendre connaissance d'une information affichée" (Objet2).

Dans ce cas précis les effets de cette contrainte ont été mesurés (temps au-delà duquel le maintien de trajectoire sans retour visuel à la route n'est plus assuré cf. fig. 12). Il s'agit bien d'un invariant puisque cela concerne une caractéristique systématique de l'activité de conduite.

En terme de solution cette fois, la prise en compte de cette contrainte va amener plusieurs orientations pour la conception comme par exemple :

- Le surdimensionnement des affichages pour éviter le temps nécessaire à l'accommodation,
- La localisation des afficheurs au plus près du champ visuel externe pour limiter le temps de la saccade jusqu'à l'afficheur.
- Un principe d'organisation spatiale de l'affichage lui-même comme nous le verrons au chapitre 7.

A leur tour nous considérons ces orientations comme autant de « fondamentaux de conception » puisqu'ils peuvent être généralisés à la conception d'une catégorie donnée d'artefacts (ceux nécessitant un contrôle visuel pro ou rétro actif).

Au total nous avons donc cherché dans cet exemple à caractériser un aspect de l'activité conduite (la périodicité du contrôle visuel sur la scène externe pour le maintien de trajectoire) comme une contrainte qui s'exerce sur le conducteur (un détournement de plus de deux secondes dégrade la performance du contrôle trajectoire) afin de définir des orientations de solutions de conception qui intègrent la contrainte s'exerçant sur le sujet en situation.

Ces orientations constituent ainsi ce que nous avons appelé des « fondamentaux de conception ».

Ainsi le fondamental de conception relatif à la prise à la volée de l'information s'appuie sur l'analyse de deux relations de la face comportementale du modèle: celle du Sujet à l'Artefact2 , notée S←A2 (nécessité physiologique d'accommodation en deçà d'une certaine taille de caractères), et d'une autre relation Sujet ← Ew1 (durée maximum d'un détournement au delà duquel le sujet ne peut plus contrôler visuellement les évolutions de l'espace de conduite).

Nous nous proposons donc de faire une distinction entre les invariants liés à l'activité, comme dans notre exemple la contrainte de périodicité du contrôle visuel des évolutions de la situation de conduite, et les fondamentaux de conception qui sont les contraintes à prendre en compte pour satisfaire la contrainte liée à l'activité, comme ici: le grossissement des caractères, la localisation, l'organisation des affichages...

C'est avec la perpective ainsi décrite que nous nous proposons à présent, en nous appuyant cette fois sur une revue de questions du domaine, de faire un point sur d'autres aspects qui nous paraissent particulièrement dimensionnants pour la conception des équipements embarqués.

Nous ne chercherons cependant pas à réaliser une revue de questions complète dans le domaine très foisonnant qu'est la modélisation de la conduite. Pour une vue plus exhaustive le lecteur pourra se référer à des synthèses plus spécialisées sur ce thème comme celles de Ranney (1994), de Bellet (1998), ou en encore de Saad (1995).

Notre objectif plus restreint est d'identifier, en faisant référence à des modèles usuellement cités dans la littérature, certaines caractéristiques de la conduite qui nous apparaissent majeures dans leur incidence sur la conception. Nous nous proposons donc de cette manière de développer une vision critique en discutant des apports potentiels de ces modèles vis à vis à la conception.

2.1 Première approche sur les grandes caractéristiques de la conduite

Comme le rappelle Neboit (1980): « conduire c'est effectuer un déplacement dans un environnement en perpétuelle évolution au moyen d'un outil particulier : le véhicule. Ce déplacement est orienté vers un but et est soumis à un ensemble de règles explicites ou implicites ».

Cette activité ainsi définie peut se caractériser de différentes manières. Nous soulignons que la perspective qui nous intéresse ici est la caractérisation pour la conception.

La conduite est multitâche, elle sollicite fortement l'attention et le canal visuel, elle se fait sous forte contrainte temporelle, elle met en jeu des traitements cognitifs variés et enfin elle nécessite de la part du conducteur une gestion du risque en continu.

A cela nous ajouterons deux caractéristiques qui la distinguent définitivement des autres activités de contrôle dynamique de processus : c'est une activité peu structurée qui est généralement effectuée par des personnes non professionnelles, aux caractéristiques (physiologique, psychologique, sociologique ...) extrêmement variées (l'automobile est typiquement ce qui s'appelle un produit « grand public »).

Nous nous proposons de revenir point par point sur ces particularités et leurs liens potentiels avec la conception

2.2 Contraintes induites par la multiplicité des taches

La conduite est classiquement décomposée en trois niveaux hiérarchiques (Allen, Lunenfeld,& Alexander 1971) :

- Les tâches de contrôle du véhicule, qui consistent à ajuster la vitesse et la trajectoire de manière continue tout au long de la conduite.
- Les tâches "situationnelles", qui sont constituées des "manœuvres" au sens large, telles que les franchissements d'intersection, les dépassements, la conduite en file ...
- Enfin les tâches de navigation, qui consistent à planifier son itinéraire (généralement avant de partir) et à se repérer en situation (c'est-à-dire retrouver le chemin à suivre aux différents nœuds du parcours).

Ces trois niveaux ont fait l'objet de tentatives de décompositions plus poussées comme celle de Mc Knight et Adams (1970) citée par Bellet (1997). Cependant ces approches taxinomiques ont leurs limites. En particulier, comme le précise Sébillotte (1986) en parlant de la décomposition en buts/ sous-buts: il s'agit plus d'une description a posteriori de ce qui est fait, telle que le sujet pourrait en parler avec un type de questionnement en ″pourquoi - comment″, qu'une réelle description de l'activité telle que réalisée effectivement par le sujet.

Malgré cela nous pensons que cette décomposition en trois niveaux garde un réel intérêt pour la conception pour au moins deux raisons :

D'une part ces classifications sont parlantes pour les concepteurs. En particulier pour les systèmes d'aide qui, comme les définissent Malaterre & Saad (1986), *"assistent ou suppléent certaines fonctions de la conduite"*. Des sous tâches comme *: s'orienter à une intersection, dépasser, conduire en file*, font référence à des classes de situations connues du concepteur (en tant qu'automobiliste) et peuvent contribuer utilement à définir, en première approche, le domaine d'application de l'aide.

D'autre part, comme nous allons le voir, ces niveaux sont clairement distingués en fonction de leur dynamique temporelle et des types de traitements qui y sont effectués. C'est-à-dire que chacun d'eux va contraindre de manière spécifique le sujet dans son activité.

Notons que par rapport à notre modèle instrumental, le caractère multitâche de la conduite signifie que le sujet suit simultanément plusieurs objectifs relatifs aux différents niveaux de la conduite. Cette multiplicité des objectifs et sous objectifs liés à l'activité principale de conduite peut en plus être

associée à un(des) objectif(s) relatif(s) à une (plusieurs) tâche(s) annexe(s) comme: régler l'ambiance thermique, répondre à un appel téléphonique, discuter avec le passager etc.

C'est ce qui est apparu à la figure 8 où le pôle Objet "empile" deux objectifs, l'un lié à l'activité principale de conduite (qui peut lui-même être décomposé), l'autre à la prise d'information sur un afficheur. Cette prise d'information pouvant être sans rapport avec l'activité principale de conduite.

Cet "empilage" d'objectifs concomitants est un autre invariant de l'activité qui va bien sûr influencer de manière majeure la conception.

Un des choix majeurs va donc être de hiérarchiser l'organisation des fonctions et des affichages sur la base des contraintes temporelles associées à la réalisation de chacun des objectifs. C'est ce qui sera détaillé dans le paragraphe suivant (cf. § 2.2 Contraintes induites par les différents fenêtrages temporels de l'activité de conduite).

Un autre choix ″traditionnel" en ergonomie pour traiter du problème de la hiérarchisation des objectifs sera de s'appuyer sur les fréquences d'usage. Un affichage ou une commande d'usage plus fréquent sera privilégiée par rapport à un autre d'usage moins fréquent.

De même le caractère multi-Objets de la situation de conduite devra amener le concepteur à organiser des regroupements thématiques de commandes ou d'affichages de manière à en favoriser plus rapidement l'identification.

Au total l'invariant *de l'activité* considéré: ″la multiplicité des Objectifs″ nous a amené à poser plusieurs *fondamentaux de conception*:

- Hiérarchisation des choix dans l'organisation des commandes et des affichages selon la contrainte temporelle associée aux actions concernées.
- Hiérarchisation des choix selon les fréquences d'usage
- Regroupement thématique des commandes et affichages sur des bases formelles
- Regroupement thématique par la localisation[5].

On pourra nous objecter que ces quatre fondamentaux ne sont pas les seuls à prendre en compte pour traiter la problématique de la multiplicité des Objectifs, et de plus que ces critères se recoupent et peuvent se contredire.

Ces objections se tiennent, mais nous pensons que l'identification de contraintes de conception de haut niveau, comme ceux ci, est néanmoins utile pour orienter très en amont la conception.

[5] Cette distinction dans les modes de regroupement (regroupement par le format et par la localisation) a été introduite par Scapin dans le domaine de l'ergonomie des logiciels (Scapin 1986).

En effet plusieurs études montrent que la conception se fait par raffinement progressif des contraintes (Darses 1990, Lebahar 1983). Disposer de contraintes globales en amont est de ce fait tout à fait intéressant pour la conception même si la spécification fine ne peut se faire qu'ultérieurement, entre autres à partir d'une caractérisation détaillée des actions.

Les éventuelles contradictions entre critères pouvant être levées à ce moment là[6].

En étant plus fins, les critères deviennent aussi plus spécifiques à la problématique, ici par exemple à chaque niveau des Objets d'action de la conduite.

C'est précisément à un exposé plus détaillé des contraintes relatives aux trois niveaux de la conduite que nous nous proposons à présent de passer.

2.2 Contraintes induites par les différents fenêtrages temporels de l'activité de conduite

La distinction en niveaux différents de la tâche de conduite correspond aussi à une distinction en termes d'échelles de temps.

En effet les niveaux de description de la tâche ont été associés (Allen, Lunefield & Alexanders 1971) à des niveaux différents de *performances*[7]: *macroperformance*, *situational performance*, et *microperformance*, qui correspondent à des fenêtrages temporels distincts (fig. 10). La macroperformance s'inscrit dans le long terme (de la dizaine de seconde à l'heure), la performance situationnelle s'inscrit dans le moyen terme (de la seconde à quelques secondes), et la microperformance s'inscrit quant à elle dans le très court terme (inférieur à la seconde). De plus dans ce modèle les niveaux sont hiérarchisés entre eux : par exemple le suivi d'un plan de route implique, outre la navigation, toutes les sous taches de plus bas niveau comme le contrôle de la vitesse et de la trajectoire.

[6] Le problème de la contradiction entre critères est de notre point de vue un faux problème. Elle est de toutes les façons intrinsèque à toute démarche de conception (e.g. coût/richesse des prestations, richesse des prestations/simplicité d'usage, groupement/hiérarchisation etc.) et ne concerne pas que l'ergonomie. Le réel problème est la persistance de contradictions dans la conception finale. Le but des critères est précisément de faire apparaître ces contradictions et de les traiter sur une base explicite. En effet, les choix de conception finissent souvent par s'apparenter à un positionnement sur plusieurs échelles: entre coût et prestations par exemple, ou entre richesse des prestations et simplicité, ou encore entre regroupement fonctionnel et hiérarchisation des fonctions...

[7] *performance* pris au sens anglo-saxon de *réalisation*.

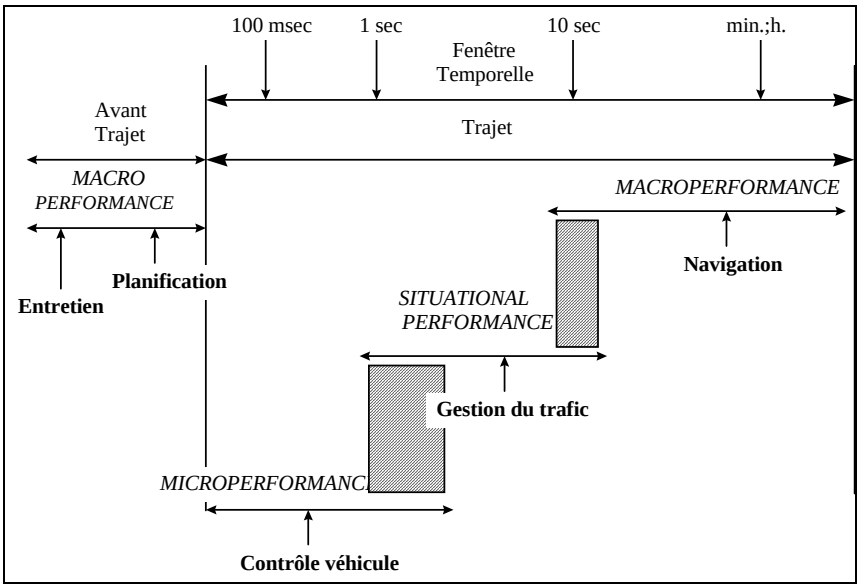


Figure 10 : Les différents niveaux de la ″performance″ de conduite (Allen & al 1971)

Notons dès à présent que ces concepts ont ensuite évolué (Hale & al 1990, van der Molen & Bötticher 1988) pour s'accorder aux niveaux Opérationnels, Tactiques et Stratégiques proposés par Rasmussen (1983) où le niveau Opérationnel correspond plutôt au Contrôle du véhicule, le niveau Tactique plutôt à celui des tâches Situationnelles, et le niveau stratégique correspond essentiellement aux taches Navigationnelles. Bien que comme nous le verrons (cf. § 2.5 Contraintes induites par la variété des traitements cognitifs)la correspondance réelle entre ces niveaux soit plus complexe que cela.

Quoiqu'il en soit le fait que des références à la temporalité aient été évoquées dès les premières études sur la conduite montrent, s'il en était besoin, à quel point la gestion du temps est une caractéristique fondamentale de cette activité.

Cette caractéristique a bien entendu un impact déterminant sur la conception. Pour illustrer ce point nous retrouvons cette hiérarchisation temporelle liée à la tâche dans les choix d'implantation de la plupart des commandes : par exemple l'interaction du conducteur avec le volant est continue (contrôle transversal du véhicule) et correspond à la posture nominale de conduite (deux mains sur le volant); le clignotant placé derrière le volant permet de signaler son intention par exemple pour une manœuvre de dépassement (tâches situationnelles); alors que le module de saisie d'une destination (tâche navigationnelle) peut se trouver placé plus loin par exemple en zone centrale de la planche de bord ou en console centrale.

Ce classement reste cependant un peu théorique puisque par exemple il peut y avoir des activités relatives au niveau navigationnel qui sont néanmoins très contraintes temporellement. C'est par exemple le cas de la répétition d'un message de guidage par un système de navigation. On comprendra bien en effet que cette action n'a plus de sens si elle est effectuée trop tard par rapport à l'avancement du véhicule à l'approche du carrefour.

C'est donc plus le concept de fenêtrage temporel qui est majeur pour la conception. Pour nous, il se définit comme la pression temporelle dans laquelle s'inscrit l'Objet de l'action. Par exemple l'objectif du niveau navigationnel consistant à se rendre à LYON quand on est à PARIS s'inscrit dans un fenêtrage temporel de plusieurs heures. Celui de dépasser un camion sur une nationale s'inscrit dans un fenêtrage de quelques dizaine de secondes, alors que celui de reprendre en main le véhicule, lorsqu'un système de régulation automatique des interdistances n'est plus dans son champ d'opérationnalité, se définit dans un fenêtrage de l'ordre de la seconde ou moins.

Cette hiérarchisation en fonction du fenêtrage temporel dans lequel s'inscrit l'action vaut aussi bien pour les choix d'implantation des commandes que pour la gestion des affichages où se pose, avec la multiplication des artefacts embarqués, de nouvelles questions relatives à la hiérarchisation des différents types d'informations, en particulier quand elles sont véhiculées par un même support d'affichage.

Allen et al (1971) remarquent que les besoins informationnels induits par les tâches de bas niveaux sont prioritaires, car plus contraintes temporellement, par rapport aux besoins informationnels des tâches plus élevées qui peuvent se faire dans un espace temporel plus long.

Le besoin informationnel pour contrôler la trajectoire du véhicule *(micro-performance)* serait par conséquent "prioritaire" par rapport à celui de gérer l'interdistance avec le véhicule précédant*(situationnal performance)* besoin lui-même "prioritaire" par rapport à celui associé à l'orientation (*macro-performance*).

C'est une orientation générale qui a son intérêt pour la conception, mais aussi ses limites, comme pour la fonction de répétition des messages de guidage qui, comme nous l'avons vu, concerne bien le niveau navigationnel mais s'inscrit avant tout dans un fenêtrage temporel court, donc prioritaire.

2.3 Contraintes induites par la limitation des ressources en attention visuelle

Chacun des niveaux de la conduite va aussi exercer sur le sujet son propre jeu de contraintes en termes de ressources d'attention visuelle.

Nous avons vu en introduction à ce chapitre un exemple de contrainte induite par la conduite sur l'activité de lecture d'un affichage. Cette contrainte provenait du premier niveau relatif au contrôle de la trajectoire du véhicule. Dans cette perpective Zwalen and al (1988) ont identifié un indicateur opérationnel pour mesurer la charge visuelle associée à des manipulations en conduite sur un dispositif embarqué.

Dans cette étude, il s'agissait de fonctions élémentaires à réaliser sur un autoradio ; il était demandé à un groupe de conducteurs de réaliser tour à tour une dizaine d'actions (de réglages et de sélections diverses cf. fig. 11). Une mesure des fixations oculaires (nombre et durée) qu'occasionnaient ces consignes a été réalisée. Par ailleurs des observables concernant la tâche principale de conduite ont été recueillis.

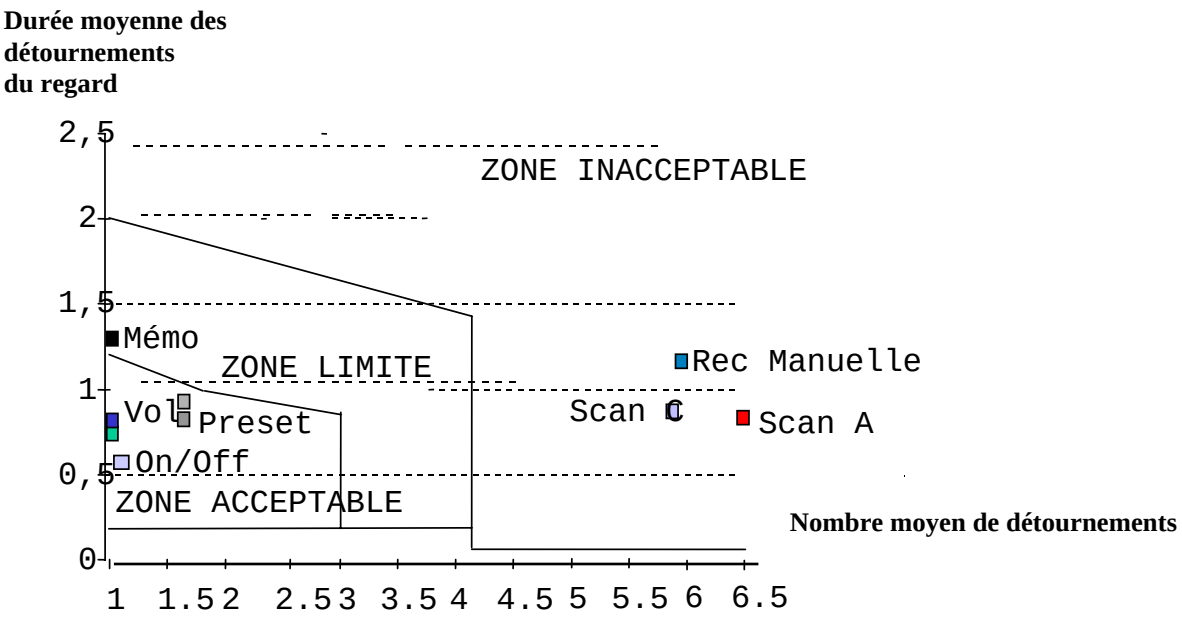


Figure 11 : Durées et fréquences des détournements du regard vers l'artefact. Exemple d'actions sur un système audio (d'après Zwalen & al 1988)

Sur cette figure nous trouvons en abscisse le nombre moyen de détournements du regard sur le dispositif de commande, et en ordonnée, le temps moyen de ces détournements.

Trois zones ont de plus été définies à partir d'une corrélation entre les enregistrements de déviations de trajectoires et les actions ainsi réalisées :

Dans la première zone dite « acceptable » les actions sur le dispositif ne sont pas associées à des déviations notables de trajectoire.

Dans la seconde dite « limite », un certain nombre de déviations, d'amplitude limitée, ont été observées.

Enfin dans la troisième zone dite « inacceptable », les déviations de trajectoires observées pendant les actions sur le systèmes étaient d'amplitude suffisamment forte pour être jugées "accidentogènes".

Nous pouvons observer sur cet abaque (fig. 11) que la durée moyenne des détournements reste relativement constante (autours d'une seconde) quel que soit le nombre. En effet plusieurs études ont montré qu'au-delà d'une certaine durée oscillant entre 1.5 et 2 secondes, selon le type de route suivi, un sentiment d'insécurité était associé au détournement du regard sur un afficheur placé sur la planche de bord (cf. fig 12).

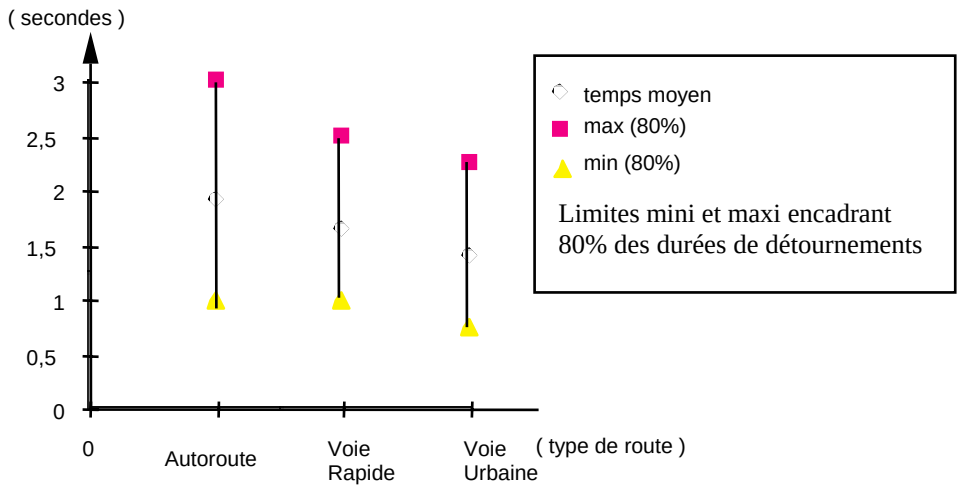


Figure 12 : Durée en secondes de disponibilité du regard pour un affichage (en position centrale PDB) compatible avec un sentiment acceptable de sécurité (selon Hartemann 1984)

Pour les activités de lecture qui dépassent deux secondes se met alors en place un schème de séquencialisation des prises d'information. Cette séquencialisation va modifier sensiblement les

schèmes classiques de lecture. Nous verrons de quelle manière au chapitre 7 et surtout comment cela doit être pris en compte dans la conception.

Dans l'étude sur la charge visuelle menée par Zwallen (1984) un autre résultat intéressant, dont ne rend pas compte la figure 11, est relatif à l'évolution de la durée du retour visuel à la route entre chaque détournement.

En effet les résultats montrent que cette durée décroît régulièrement en fonction du nombre de fixations sur l'équipement annexe. Ainsi l'auteur observe, en parallèle de l'augmentation du nombre des fixations, une diminution du temps passé à l'exploration de la scène de conduite entre chaque détournement. A bout d'un certain nombre (environ quatre ou cinq) cette durée deviendrait trop courte pour permettre un contrôle efficace de l'environnement.

Il y a bien là un paradoxe apparent:

D'un coté la durée du détournement sur l'afficheur provoque au-delà d'une certaine valeur un sentiment conscient d'insécurité (cf. fig 11). Cela conduit à ce que, au-delà de cette valeur limite, la prise d'information ne puisse plus se faire que de manière séquentielle. De l'autre, la durée des retours à la route entre chaque détournement du regard décroît de manière régulière en fonction du nombre de ces détournements.

C'est ce qui est reporté sur la figure 13 où la durée des regards portés sur l'afficheur est constante alors que la durée des regards portés sur la route tend à diminuer avec le nombre de détournements du regard.

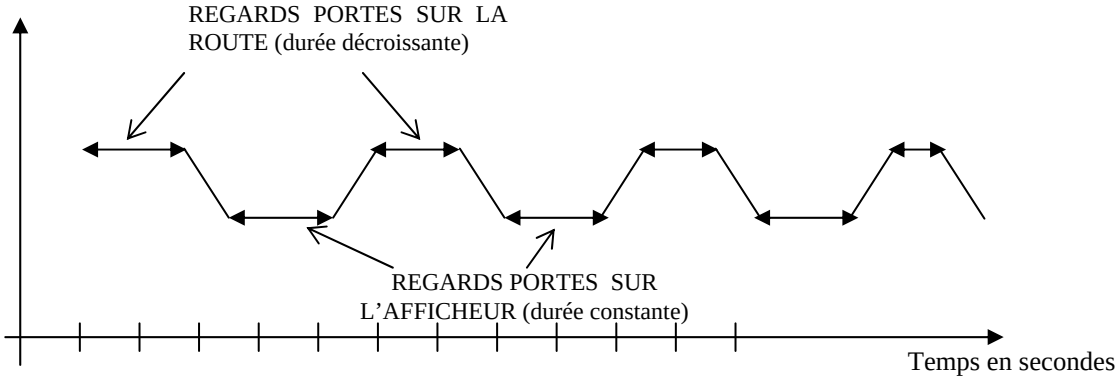


Figure 13 : Schématisation de l'évolution du temps des regards portés sur la route, versus sur l'afficheur, selon leur nombre (à partir de l'expérimentation de Zwallen & al 1988)

Pour expliquer ces résultats contradictoires nous proposons l' interprétation suivante :

Le nombre de détournements oculaires requis par la tâche annexe n'affecterait pas la durée des détournements sur l'afficheur qui serait régulée par une limite induite par un sentiment conscient d'insécurité au-delà de deux secondes. Cela n'empêcherait cependant pas une focalisation progressive non consciente sur la tâche annexe de consultation de l'équipement embarqué (système audio dans l'expérimentation de Zwallen). Cette focalisation non consciente s'exprimerait alors par une diminution progressive de la durée, cette fois, des retours à la route.

Ainsi, la durée maximum des fixations sur l'activité annexe serait générée par un schème de séquencement des prises d'informations visuelles qui pourrait faire l'objet d'un processus cognitif plus conscient que les schèmes de surveillance des évolutions de la scène de conduite dont la durée nécessaire deviendrait progressivement sous estimée. Ce phénomène de focalisation attentionnelle jouerait un grand rôle dans la prise de risque associée aux tâches annexes. Nous en verrons plusieurs exemples dans la suite de ce travail.

Soulignons ici que cette tendance à la diminution progressive des durées des retours visuels à la route va peser surtout sur le deuxième niveau dit « situationnel » de la conduite.

En effet ce dernier se caractérise par le fait que plusieurs sujets y sont en interaction dans un même espace de déplacement. L'évolution de cet espace ne dépend donc pas des seules actions d'un sujet en particulier mais aussi des autres. C'est-à-dire que l'évolution des événements dans l'espace est à ce niveau de la tâche plus diverse, plus difficile à anticiper, et de ce fait moins facile à contrôler.

Cette caractéristique de l'activité va créer sur la relation Sujet-Espace de conduite une forte contrainte où le sujet sera amené à porter sur cet espace ce que certains auteurs appellent une *attention diffuse* (en opposition à une *attention focalisée*) en ce sens où les ressources attentionnelles sont distribuées sur un champ très large, avec des cibles variables.

En effet d'après Camus (1996), l'attention est munie d'un gradient (de concentré à diffus) dont la taille s'ajuste pour correspondre aux contraintes des situations perceptives. L'attention dite « diffuse » autorise des traitements en parallèle sur plusieurs points du champ ce qui permet que le « faisceau de l'attention » n'ait pas à se déplacer d'un endroit à un autre. A l'inverse l'attention focalisée, qui permet une amélioration considérable du traitement des informations, nécessite en retour un balayage lorsque l'information apparaît ailleurs que dans le faisceau.

Le temps de déplacement de ce faisceau attentionnel a expérimentalement été estimé à 8ms par degré (Tsal 1983). Par ailleurs il a été montré que le sujet pouvait aussi contrôler la taille de la fenêtre attentionnelle (Camus opus cité).

Or la conduite, en particulier pour le contrôle des tâches situationnelles, nécessite un spectre très large d'attention puisque les interactions avec les autres usagers peuvent venir aussi bien du champ frontal, latéral, qu'arrière. Il est donc essentiel que les interactions que le conducteur entretient avec n'importe lequel des artefacts embarqués n'altèrent pas de manière prononcée l'étendue du champ attentionnel.

Certains auteurs cités par Camus (1996) parlent aussi *d'attention divisée* par rapport à *l'attention sélective* qui fonctionnerait de manière inverse : *l'attention divisée* permet le contrôle simultané de plusieurs variables alors que l'attention sélective permet précisément de résister aux interruptions et aux bruits pour permettre de se concentrer sur le suivi d'une variable pertinente pour l'activité.

Amalberti (1996) cite plusieurs exemples de problèmes, dans le champ de l'aéronautique, liés à la gestion de l'attention. En particulier il existe des problèmes de focalisation cognitive où devant une difficulté inattendue dans la réalisation d'une des tâches, le sujet a tendance à rester sur cette tâche en négligeant la gestion des autres, ce qui peut conduire à l'accident. C'est par exemple un des facteurs explicatifs qui a été avancé lors de l'analyse de l'accident du mont St Odile où l'attention des pilotes étaient portées sur le désalignement latéral au détriment de la navigation verticale (Hoc 1996).

La nécessité pour l'utilisateur de porter sur l'extérieur un spectre large d'attention partagée va avoir un impact important sur la conception : il s'agira de mettre à disposition des instruments qui précisément auront la caractéristique de par leur conception de ne pas focaliser durablement l'attention, surtout sur un élément annexe de l'activité.

Notons que c'est aussi en terme de focalisation attentionnelle que peuvent s'interpréter certaines observations recueillies durant les communications téléphoniques pendant la conduite (Parkes 1993, Zwallen and al 1988, Fairclough and al 1991). Par exemple il a pu être montré que, selon le contenu conversationnel, les effets perturbateurs sur la conduite n'étaient pas les mêmes. Une discussion de type professionnel (par exemple une négociation avec un assureur après un sinistre) ayant un impact négatif sur la conduite beaucoup plus marqué qu'une discussion de moindre enjeu. La différence de niveau attentionnel requis pour chacune de ces situations de communication explique ce résultat.

Par ailleurs Pachiaudi (2001) a pu montrer un phénomène de fixation du regard pendant les dites conversations. Fixations qui évidemment s'opposent à la nécessiter d'une exploration large de la scène de conduite.

Selon nous cela relève d'un même invariant de l'activité relatif à la nécessité de porter une attention diffuse sur l'ensemble de l'espace de conduite en particulier, mais pas seulement, pour le niveau des tâches situationnelles (survenue d'un véhicule adverse, d'un piéton etc.).

Au niveau des contraintes attentionnelles dues au dernier niveau de la conduite (tâches navigationnelles) nous présenterons au chapitre suivant une étude sur les descriptions d'itinéraires par des copilotes humains. Cela fournit indirectement un indice sur les éléments de l'environnement sur lesquels l'attention se porte pour s'orienter.

Notons que par rapport au niveau précédent de la conduite, il s'agit là d'une attention sur un champ plus restreint où il existe une attente orientée vers certains indices dont la survenue est plus facilement prévisible (un panneau, une branche de bretelle d'autoroute etc.) que les événements souvent plus ″chaotiques″ du niveau situationnel de la conduite.

Quoiqu'il en soit cette recherche d'indices pour s'orienter va aussi fortement contraindre l'activité. Nous verrons aux chapitres IV et VI comment avec les assistances à la navigation le relâchement de ces contraintes au niveau navigationnel va permettre un réinvestissement de ressources sur un autre niveau de l'activité.

2.4 Contraintes induites par la variété des traitements cognitifs

La problématique de la limitation des ressources attentionnelles renvoie à un autre phénomène important du fonctionnement humain à prendre en compte dans la conception des artefacts embarqués: Il s'agit du caractère le plus souvent implicite des attentes lors de la réalisation des tâches de la vie quotidienne.

En effet, la conscience de cette attente ne devient le plus souvent explicite que lorsque l'attente est contrariée.

C'est par exemple le cas lorsque l'on prend une voiture autre que celle à laquelle on est habitué:

Le comportement de la pédale de frein, sa course , sa dureté, peut par exemple surprendre par rapport à un comportement attendu qui correspond de façon implicite à celui du véhicule familier.

Un autre exemple peut être donné à partir des activités navigationnelles. Lorsque nous conduisons vers un endroit que nous connaissons bien, nous pouvons très bien être absorbé par le contenu d'une émission de radio ou par la conversation avec le passager. A la survenue d'un carrefour on pourra prendre sans aucune hésitation la route à suivre de manière non consciente. L'effet d'attente apparaît si par exemple il y a eu un changement dans la configuration du carrefour obligeant à interrompre la conversation pour rechercher des nouveaux indices pour s' orienter.

A nouveau, dans ce type de cas, le sujet n'est pas conscient d'une attente. L'expérience consciente de cette attente n'apparaît que lors de sa violation.

C'est aussi à ce moment là que l'activité passe d'un mode de gestion automatisé à un mode de gestion conscient et à ce titre beaucoup plus coûteux en terme attentionnel ; cela contribue au phénomène de focalisation que nous venons d'aborder.

C'est aussi ce que nous avons pu observer à l'occasion d'expérimentations menées sur les commandes symboliques (commandes vocales et *touch pad* cf. Kamp & al 2001) où l'on a pu constater certains cas de focalisation attentionnelle sur la tâche annexe lors de la survenue d'un écart entre ce qui était attendu et obtenu par le sujet. Nous trouverons une description de cette problématique au chapitre VII.

Plus généralement en terme de traitement cognitif les auteurs s'accordent à distinguer les traitements conscients et préconscients dont le tableau suivant présente les principales caractéristiques (adapté de Midland 1993).

Tableau 1 : Récapitulatif des caractéristiques des traitements Conscient versus Préconscient.

Traitement Préconscient	Traitement Conscient
Processus automatique	Processus contrôlé
Non Volontaire	Volontaire
Traitement en parallèle	Traitement en séquence
Attention partagée (plus diffuse)	Attention sélective (plus focalisée)
Ressources « illimitées »	Ressources limitées
Situations précatégorisées	Situations nouvelles

Rasmussen (1983) a fait une distinction désormais célèbre entre trois niveaux de *performance* basée sur les *Habiletés (Skills),* les Règles *(Rules) et* les Connaissances *(Knowledges)* où les informations traitées à ces différents niveaux ont les statuts respectifs de *Signaux, Signes et de Symboles.*

Par rapport au tableau récapitulatif ci dessus, cela revient à introduire une nouvelle distinction entre le Pré-conscient et le Non-Conscient.

Le non-Conscient (ou sub-conscient) serait du domaine des habiletés de Rasmussen. Il s'agit de structures de bas niveau mises en place avec l'expérience directe[8], sensori-motrice, de la situation.

C'est l'exemple typique de l'apprentissage du vélo ou du contrôle élémentaire de la trajectoire dans le domaine automobile.

Rasmussen souligne que les organes sensoriels humains sont trop lents pour permettre les mico-corrections nécessaires à ce niveau de l'action. Cela signifie que ces micro-corrections doivent être anticipées pour être réalisées dans un timing approprié. C'est ainsi que la mise en évidence d'un modèle interne dynamique du monde a été démontrée sur des bases neuro-psychologiques. Berthoz (1997) montre comment la perception n'est pas seulement une interprétation des messages sensoriels, mais aussi une simulation interne de l'action. Cette simulation est alors explicative des phénomènes d'anticipation et de pro-activité.

Le Préconscient quant à lui correspondrait à des connaissances qui ont déjà été conscientisées puis qui ont fait l'objet de règles d'automatisation.

Il est ainsi remarquable de constater qu'à tous les niveaux de l'action humaine correspond un modèle interne:

- Au niveau des habiletés sensori-motrices sub-conscientes comme nous venons de le rappeler.
- Au niveau des actions préconscientes, qui ont fait l'objet d'automatisation. L'existence du modèle apparaît au travers de l'expérience de sa violation comme nous l'avons montré plus haut avec les attentes implicites.
- Et enfin bien évidemment au niveau de l'usage des connaissances pour les situations de "résolution de problèmes" (Hoc 1987 & Richard 1990). Modèles qui a ce niveau sont conscients et dont tout un chacun peut par conséquent constater sciemment l'existence.

La psychologie de l'humain fonctionne donc toujours à partir d'un modèle mais de différents niveaux. Pour la conception cela va avoir de fortes conséquences puisque se posera en permanence la question des attentes de l'utilisateur par rapport à ce modèle et de la conformité ou non du fonctionnement des artefacts par rapport à ces attentes.

Il en va de même pour les projections qui se retrouvent à tous les niveaux de l'action proposés par Rasmussen. Pour le niveau des habiletés il s'agira de ce que Piaget a appelé les "schèmes sensorimoteurs" ; pour le niveau des règles nous retrouverons les "schémas d'action" proposés par Richard (1986) ; et au niveau de la résolution de problème il s'agira de la construction d'une représentation pour manipuler des connaissances (Richard 1990).

[8] Vermersch (1997) parle aussi du concept de « pré-réfléchi »

Précisons que comme il s'agit pour nous d'action au moyen d'artefact, ce phénomène projectif se retrouve médiatisé par l'instrument par le biais de ce que nous avons appelé les schèmes d'action instrumentée.

Au niveau de la conception se pose alors la question de la disposition ou non de ces schèmes par l'utilisateur. La notion de l'identification et de l'usage pour la conception de schèmes sociaux d'utilisation, c'est-à-dire de schèmes partagés par une communauté culturelle, prend alors tout son sens.

Ainsi, si le schème est directement à disposition de l'utilisateur, nous dirons que la commande est *intuitive*[9] *(*ou *instrumentée)*, si ce n'est pas le cas on dira que la commande nécessite un *apprentissage* ou encore qu'elle est *incomplétement-instrumentée*, si elle fonctionne de manière différente, voir inverse au schème que sa structure évoque à l'utilisateur on dira alors qu'elle est *contre-intuitive (*ou *contre-instrumentée).*

Cette question du niveau de traitement des situations d'activité avec artefact est de première importance vu les ressources en termes attentionnels nécessitées par les situations incomplètement ou contre-instrumentées. C'est par exemple ce qui ressortira dans certaines études de cas du chapitre VII.

Le niveau cognitif de traitement dépend bien du niveau d'instrumentation de l'Artefact par le Sujet (c'est-à-dire des schèmes ,de différents niveaux, dont il dispose), mais aussi des caractéristiques de l'activité elle-même. Pour la conduite cela apparaît au travers de la matrice des tâches du tableau 2 adaptée de Hale, Stoop & Hommels (1990).

Tableau 2 : Matrice des tâches de conduite entre niveaux de « performance » et niveau de traitement (Hale and al 1990).

	Contrôle (Opérationnel)	**Manœuvre (Tactique)**	**Planification (Stratégique)**
Habiletés	tenue de la trajectoire à un virage	Passage d'un carrefour familier	Trajet domicile/ travail
Règles	Conduite d'un véhicule non familier	Dépassement d'un autre véhicule	Choix entre itinéraires familiers
Connaissances	Débutant durant les premières leçon	Contrôle du dérapage sur route verglacée	Navigation dans une ville inconnue

[9] Cette définition de l'intuitivité d'une commande inclut le concept d'affordance introduit par Gibson (1966) qui décrit une relation de réciprocité entre perception de l'environnement et action (en d'autres termes pour un artefact, une caratéristique dans la conception de celui-ci qui appelle une certaine action).

Ces auteurs ont en effet croisé les trois niveaux de *performance d*e la conduite (Contrôle du véhicule, Manœuvre, Navigation) avec les trois niveaux de traitement de Rasmussen (Traitement à partir des Habiletés, des Règles ou des Connaissances).

Il apparaît ainsi deux éléments importants pour la conception :

- D'une part il existe une très grande variabilité dans le niveau de traitement induit par les situations de conduite rencontrées. Donc la notion de compatibilité avec la conduite des tâches annexes doit être relativisée par rapport à cette diversité. Par exemple tenir une conversation téléphonique sur autoroute par temps clair n'aura pas les mêmes conséquences sécuritaires que tenir cette même conversation dans un environnement urbain chargé. Ainsi, par rapport à cet exemple, le projet CEMVOCAS (Tattegrain and al 2001) s'est donné pour objectif de concevoir un système qui adaptait l'interaction du conducteur avec le système selon la complexité de la situation rencontrée (par exemple en différant un appel téléphonique à un moment opportun par rapport à la conduite).
- D'autre part les niveaux de familiarité du Sujet, avec l'itinéraire, la conduite, et le véhicule, vont directement dimensionner les niveaux de traitements impliqués et donc les ressources à mobiliser. Les aides à la conduite nouvellement envisagées peuvent être vues comme des moyens pour pallier des manques de familiarité selon ces trois axes: manque de familiarité avec l'environnement (exemples système de guidage, aide à la planification d'itinéraire …), manque de familiarité avec la conduite (ex. aide au dépassement …) et manque de familiarité avec le véhicule (aide au parking, robotisation des boîtes de vitesse…).

Cela reprendrait une opposition introduite par Amalberti (1996) entre complexité et difficulté que cet auteur distingue comme suit : *« la complexité renvoie à des éléments observables, qu'il s'agisse de facteurs externes ou du niveau d'expertise requis pour le travail ; la complexité est ''objective'' externe à l'opérateur… . La difficulté au contraire renvoie à l'exécution du travail par l'opérateur ce jour là pour ce cas là ; c'est un vécu personnel lié à la mise en jeu des savoirs et des savoir-faire et à leur contrôle dynamique pour atteindre l'objectif fixé par cet opérateur ».*

Les systèmes du premier type qui adaptent l'interaction en fonction de la situation rencontrée ou qui déserrent des contraintes abaisseraient le niveau de complexité. Ceux du deuxième type qui pallie un manque sur un des niveaux de familiarité avec la situation, abaisserait le niveau de difficulté de celle-

2.5 Contraintes induites par la gestion du risque

ci. Au niveau de la conception il est ainsi possible de jouer sur l'une ou l'autre de ces dimensions.

De nombreuses expérimentations ont mis en évidence un comportement de régulation du conducteur vis-à-vis du risque. Par exemple la séquentialisation des prises d'information visuelle dont nous avons parlé en introduction à ce chapitre rend compte de ce comportement de régulation.

Ce phénomène peut être interprété par différents modèles (Summala 1988 , Fuller 1984 , Wilde 1982) qui ont tous la caractéristique d'être motivationnels (Saad 1995), c'est-à-dire de placer le risque au centre des actions de régulation comme une tentative du conducteur pour garder le niveau de risque d'accident constant à tout moment. Le plus célèbre appliqué à l'automobile est sans doute celui de Wilde dont nous présentons une figure simplifiée (cf. fig. 12)

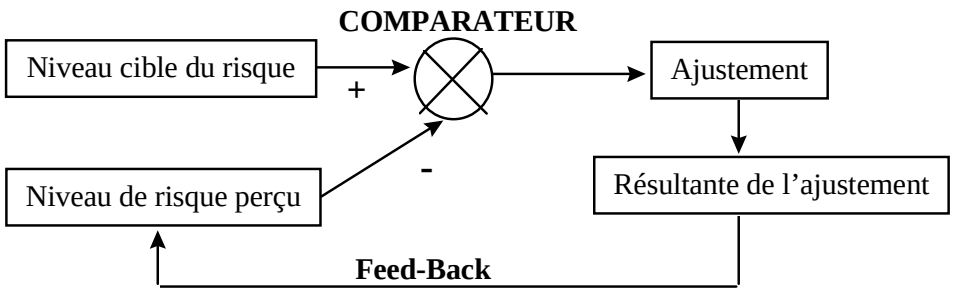


Figure 12 : Modèle de la régulation du risque d'après Wilde (figure simplifiée)

Van der Molen et Bötticher (1998) ont appliqué ce modèle en cherchant à traiter les points de continuité entre les trois niveaux de la conduite.

Ils prennent pour cela l'exemple d'un couple d'automobilistes qui doit se rendre à un concert. Pour éviter d'être en retard (les portes de la salle se ferment à une certaine heure), ils planifient une vitesse moyenne de 100 km/h sur l'ensemble du trajet (niveau navigationnel). Arrivés sur la voie rapide, ils se trouvent derrière un camion dont la vitesse ne dépasse pas 80 km/h. Un calcul est alors opéré par simulation mentale sur l'utilité de la manœuvre de dépassement. Cette simulation met en balance une référence à la motivation globale d'arrivée à l'heure au concert(niveau navigationnel) et le risque de la manœuvre de dépassement (niveau situationnel).

Enfin le dernier niveau (opérationnel) concerne les prises de décisions très locales relatives à une éventuelle manœuvre d'urgence (freinage d'urgence, évitement...).

La manœuvre de dépassement peut ainsi être modélisée par rapport à l'ensemble de l'activité (voir figure en annexe 1).

Amalberti quant à lui (1996) propose un modèle de la gestion du risque qui prend la forme d'un compromis entre le coût cognitif et la performance souhaitée. Il identifie une plage dite de "confort" pour les situations sans enjeu où sont préservées des marges importantes de ressources cognitives. Une plage "motivée" où l'augmentation du niveau de performance est associée à une plus grande fatigue

résiduelle. Enfin une troisième plage est dite "artificielle" car accessible uniquement avec des aides spécifiques.

L'auteur met en garde sur le développement de telles aides ad hoc qui "déplacent le compromis" et exposent le sujet à travailler à un niveau où ses propres mécanismes de sécurité écologique sont dépassés. En effet l'auteur souligne le caractère structurant des erreurs pour l'apprentissage. Faire disparaître artificiellement un certain nombre d'erreurs risque de placer le sujet dans une situation où ses propres mécanismes d'estimation du risque et de gestion des erreurs se trouvent altérés. En résumé ces aides diminueraient le nombre des erreurs mais chacune d'elles aurait des conséquences plus graves.

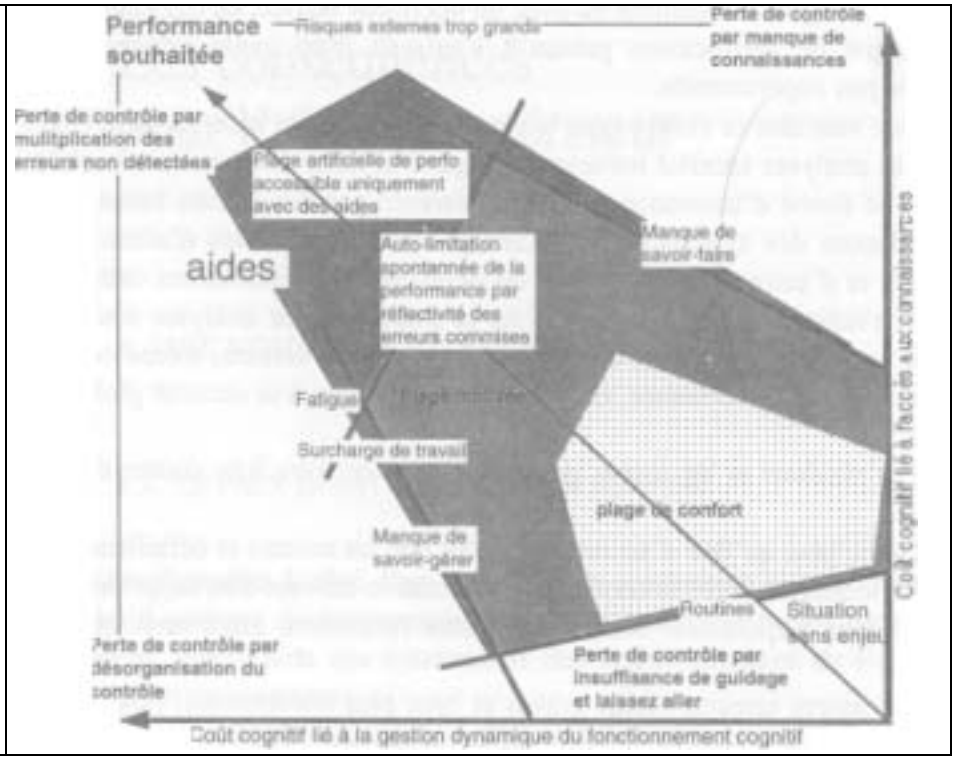
« La figure décrit les plages de réglage du compromis cognitif. Spontanément, le compromis vise à une performance suffisante pour un coût cognitif acceptable [en préservant des marges importantes par rapport aux limites de savoir faire et savoir gérer]. Ces marges peuvent cependant être facilement utilisées [pour une meilleure performance] dans une situation à plus forte motivation (plage motivée). La limitation spontanée de la performance repose sur un mécanisme d'autorégulation lié à la prise de conscience de la réduction des marges [et de l'augmentation des erreurs]. Les aides trompent ce mécanisme d'autolimitation en réduisant Le nombre d'erreurs commises ... le nombre global d'erreur diminue mais le risque d'erreurs non détectées et non récupérées augmente ».	

Figure 15: Performance et compromis cognitif d'après Amalberti (1996)

Quel que soit le modèle considéré ils rendent compte de l'apparent paradoxe bien connu des concepteurs de systèmes améliorant la sécurité (Air-bags ; ABS :Anti Blocking System, ESP : Electronic Stability System…) : L'introduction même fiabilisée de ces systèmes n'entraîne pas de baisse notable et/ou durable du nombre d'accidents.

Le modèle de Wilde rend compte de ce constat par le principe d'homéostasie du risque. La baisse relative de risque amenée par le nouveau système serait compensée par une prise de risque relative plus importante. Ce qui se traduirait par un bilan nul en termes d'accidents.

Quant au modèle d'Amalberti, il s'applique sur les systèmes agissant sur la sécurité primaire[10] (c'est-à-dire qui limitent les risques de survenue d'accidents comme par exemple l'ABS).

En effet l'expérience des erreurs liées au freinage diminuant au moyen de l'artefact, les conducteurs perdraient un certain savoir-faire acquis lors du vécu de ces situations, savoir pourtant utile pour gérer les situations les plus critiques.

Nous pouvons reprendre ici la métaphore du vaccin proposée par cet auteur: L'exposition au risque à petite dose (au travers des erreurs compensées par le système d'aide) permettrait à l'organisme (le conducteur) de mettre en place les procédures nécessaires à éviter et à gérer les situations réellement critiques.

Pour le concepteur, d'autres problèmes se posent dont rendent compte ces deux modèles: Ceux de l'écart entre les estimations subjectives et objectives du risque.

En effet dans les deux modèles précités une autorégulation subjective s'opère soit à partir de l'estimation du risque (modèle de Wilde), soit à partir de la prise de conscience de la réduction des marges de sécurité lors de la survenue d'erreurs (modèle d'Amalberti).

Or des études (comme celle de Summala 88) ont montré que les écarts entre estimation objective et subjective du risque n'évoluent pas dans les mêmes proportions selon certaines variations du contexte de conduite.

Par exemple nous savons que l'adhérence des pneus sur la chaussée est surestimée par temps de pluie par rapport à des valeurs objectives et que cette valeur est sous estimée par temps sec.

Cette question devrait concerner le partage des responsabilités entre concepteurs et usagers : Le concepteur doit-il par exemple considérer que c'est à lui de " verrouiller " les fonctions accessibles en conduite ? (par exemple la prise d'appel téléphonique) ou est-ce au conducteur de distinguer par lui-même les séquences de conduite où l'usage de l'artefact est problématique de celles où elles ne le sont pas? : Faut il encore que son estimation subjective du risque lui permette de faire cette distinction de manière appropriée!.

Nous pensons ainsi que la sous-estimation systématique de certains risques devrait être étudiée en tant que telle et mieux prise en compte dans les débats de conception.

La Réglementation et la Normalisation peuvent amener quelques garde-fous (Gougeon 2001), mais l'expérience montre (par exemple l'introduction du radio-téléphone dans les voitures), que les concepteurs ne peuvent faire l'économie d'une réflexion poussée sur le sujet.

[10] La sécurité « primaire » est dite aussi sécurité « active » par rapport à la sécurité « secondaire » dite aussi « passive »

Au total, s'il y a une capacité bien réelle d'autorégulation du risque, cette capacité est limitée. C'est une caractéristique importante du Sujet en situation de conduite qui peut être prise en compte de plusieurs manières lors de la conception. Nous en verrons plusieurs exemples dans ce travail. Ces exemples constituent des pistes pour l'élaboration d'un concept de « sécurité primaire indirecte » en ce sens où il ne concerne pas directement la protection des personnes en cas d'accident (sécurité secondaire comme la ceinture, les airbags etc.) ni les systèmes d'aide pour gérer les situations critiques (sécurité primaire comme : l'ABS, les systèmes de contrôle de trajectoire etc.), mais des systèmes, ou des principes de solutions, qui amènent une avancée indirecte mais notable en matière de de sécurité. Cela devant bien entendu être estimé par rapport à une situation de référence. Ainsi le "kit main libre téléphone", même si nous savons qu'il ne résout pas tous les problèmes de sécurité, pourrait représenter un premier exemple de système à valeur ajoutée en "sécurité primaire indirecte" par rapport à un usage du téléphone sans dispositif d'intégration particulier dans le véhicule. Un système qui gérerait l'interaction en fonction des évolutions de la complexité de la situation rencontrée (par exemple en différant un appel entrant cf. projet CEMVOCAS Tattegrain and al 2001) présenterait une avancée encore plus marquée en terme de sécurité primaire indirecte .

Après des exemples donnés tout au long de ce travail nous reviendrons en conclusion sur ce que pourrait être ce concept de « sécurité primaire indirecte ».

2.6 Contraintes provenant du manque de structuration et de la diversité des situations rencontrées

Comme le rappelle Saad (1995) la plus grande part des informations traitées en situation de conduite est de type informel. En effet la tâche formelle (i.e. le code de la route) est proportionnellement très réduite alors que l'essentiel de l'apprentissage se fait au travers de l'action.

Le fait que la tâche soit peu structurée nous paraît être aussi une conséquence de la très grande variabilité des situations rencontrées que mentionne Neboit (1980) dans sa définition de la conduite rappelée en début de chapitre (§2.1).

Ces deux caractéristiques ont un impact de complexification important pour la conception. Si nous prenons le cas des systèmes d'aide à la navigation, qui sera développé plus loin, cette diversité et se manque de structuration a contribué pour une très large part à complexifier les spécifications fonctionnelles du système.

En effet un comportement adapté du système dans une situation donnée pourra ne plus l'être pour une autre qui pourrait être a-priori jugée voisine.

L'illustration à ce propos peut être donnée avec l'exemple du message élémentaire de guidage " serrez à droite " qui selon la situation peut amener à des interprétations diverses (s'agit il de prendre une voie de sortie à droite ou simplement de se positionner à droite de la chaussée?).

Pour pallier ce problème nous avons utilisé une méthode (Moussa & al 1998) qui consiste d'abord à identifier des situations d'usage problématique de l'artefact à l'aide d'une approche empirique (par enregistrement vidéo de situations réelles rencontrées avec une version donnée de développement de l'artefact que l'on veut améliorer).

Puis nous avons cherché par l'analyse à identifier les traits majeurs de la situation (i.e. les invariants les plus dimensionnants communs à plusieurs situations problématiques). Nous avons abouti à ce que nous avons appelé des "situations génériques" qui peuvent alors faire l'objet de règles formelles de spécifications.

Une telle approche nécessite une validation ultérieure des choix opérés mais permet d'atteindre une certaine exhaustivité par rapport au problème de la diversité des situations à traiter.

Notons que cette difficulté d'appréhender la diversité des situations se retrouve dans la conception de la plupart des systèmes d'aide embarquée (Villame & Theureau 2001) . Cette diversité constitue même souvent d'après nous un des freins à l'introduction de ces nouvelles technologies dans le véhicule par rapport à des applications où il existerait une plus grande structuration de la tâche (par exemple le pilote automatique en avionique n'a pas encore son équivalent en automobile).

2.7 Contraintes provenant du caractère "grand public" du produit

C'est la dernière des grandes caractéristiques de l'activité de conduite automobile. Cette caractéristique a été prise en compte dans la conception depuis de nombreuses années pour les aspects anthropométriques. De nombreuses possibilités de réglages sont ainsi proposées au conducteur, qui prennent en compte les variations autour de la moyenne sur des critères multicroisés de hauteurs de buste, de longueurs des membres inférieurs et supérieurs, de poids etc.

Ces connaissances anthropométriques sont ainsi utilisées pour la spécification des zones d'atteintes, des zones visibles ou masquées, des accès dans le véhicule, du confort postural etc.

Dans le domaine de l'ergonomie cognitive cette recherche d'adaptation du véhicule et de ces équipements aux spécificités du conducteur est plus récente, plus complexe aussi.

Deux pistes de réflexion sont ouvertes:

- Une piste dite ″normative" où il s'agit de concevoir pour le plus grand nombre dans une culture donnée. L'approche instrumentale et son paradigme sur les schèmes sociaux d'utilisation nous paraît particulièrement prometteuse. L'idée que nous avons déjà défendue ici (cf. § 2.4) est de prendre en compte dans la conception des schèmes d'équipements ″grand public" (en les adaptant, le cas échéant, pour les rendre compatibles avec la conduite). Cela permet de faire des commandes plus "intuitives" compréhensibles par le plus grand nombre.

- Une autre piste dite ″différentielle" consiste à analyser ce qui discrimine les conducteurs pour identifier des besoins spécifiques. L'ergonomie physique s'est basée sur des discriminations en termes anthropométriques. L'ergonomie cognitive gagnerait à mieux prendre en compte les différences en particulier celle provenant des trois dimensions de familiarité avec l'activité de conduite que nous avons déjà distinguée (cf. §2.4) :

- Familiarité avec l'environnement (conducteur connaissant ou non l'itinéraire)
- Familiarité avec la conduite en général (conducteur novice/confirmé)
- Familiarité avec le véhicule (s'agit il du conducteur principal de la voiture ou d'un conducteur occasionnel ou nouveau ?)

Cependant cette approche différentielle ne se cantonne pas à ces trois dimensions de "familiarité": il peut aussi s'agir de développer des systèmes auto-adaptatifs (comme la boîte de vitesse automatique pro-active qui adapte les stratégies de gestion des rapports selon des paramètres de conduite). Cette adaptation peut aussi se faire à partir d'une analyse des ″styles" de conduite (Saad & Theureau 2002).

CHAPITRE III : ETUDE SUR LE COPILOTAGE HUMAIN

Par rapport à la caractérisation de l'activité de conduite proposée au chapitre précédent, les systèmes d'aide à la conduite envisagés concernent les trois niveaux de la conduite : ″ contrôle du véhicule″, ″situationnel″ et ″ navigationnel″ (Voir les ouvrages Michon (1993) et de Parkes & Franzen (1993) pour une vision détaillée dans le domaine des aides à la conduite envisagées).

Par exemple les systèmes *ACC* (Autonomous Cruise Control) et *Line Keeping* (aide au contrôle transversal) concernent les niveaux 1 & 2, tandis que les systèmes d'aide à la navigation concernent bien évidemment le niveau 3.

Pour tous ces systèmes d'aide se pose le problème de la situation de référence qui va permettre aux concepteurs de définir les caractéristiques de l'aide dans un domaine d'utilité bien identifié (Malaterre & Saad 86) et à l'évaluateur d'apprécier l'apport du système.

Dans les trois chapitres à venir, nous allons nous centrer sur les systèmes de niveau 3 qui concernent donc les aides à la navigation et plus précisément ceux qui vont guider le conducteur le long de l'itinéraire.

Les trois études qui vont être présentées ont été réalisées à des étapes et sur des problématiques de la conception différentes; ainsi la situation de référence de chacune de ces études a varié en conséquence.

La première étude, réalisée très en amont, a pris pour référence le copilotage humain. La seconde a consisté à comparer l'utilisation d'une carte papier par rapport à une première version du système. Enfin la troisième a consisté à comparer une évolution du système par rapport à la version antérieure qui servait alors de référence.

Cependant l'un des intérêts de l'analyse que nous proposons au chapitre VI, au travers du paradigme instrumental, va être de re-situer ces études dans un même cadre d'analyse afin de mieux identifier les invariants ainsi que les changements de point de vue opérés entre ces études.

Cela nous permettra de préciser et valider notre modèle instrumental du premier chapitre que nous étendrons ensuite à l'analyse d'autres cas de conception (Chapitre VII).

Dans ce présent chapitre, nous reportons une première étude sur le guidage que nous avons menée en partenariat avec le LIMSI (Laboratoire d'Informatique pour la Mécanique et les Sciences de l'Ingénieur, faculté d'ORSAY : Briffault & al 1993).

A l'époque quelques prototypes de système de guidage automobile existaient et quelques études avaient été publiées où la situation de référence était le plus souvent celle d'un sujet utilisant une carte papier (Antin & al 90; Streeter and al 85; Daimon 92), ou plus rarement celle d'un conducteur connaissant l'itinéraire à suivre (Antin opus cité).

D'autres études consistaient à comparer, à partir de prototypes, différents types de modalité de transmission de l'information (graphique par rapport vocale, ou graphique et vocale par rapport à vocale seule).

Très peu de ces études s'attelaient à étudier le contenu même des prescription de guidage comme avaient commencé à le faire Parkes & Burnett (1993), par exemple, en comparant l'apport que pouvait représenter un message d'anticipation au guidage par rapport à la même situation sans message d'anticipation.

De manière générale les résultats de toutes ces études montraient bien une amélioration des performances de navigation sur les parcours testés quand le sujet utilisait un instrument électronique par rapport au simple usage de la carte papier. Par exemple une amélioration des temps de parcours et une diminution des erreurs d'orientation avaient pu être enregistrées.

Par ailleurs ces études tendaient à montrer que les performances étaient meilleures dans le cas de l'utilisation d'une modalité vocale plutôt que graphique. Il est à noter que dans ces études, les formes graphiques et vocales étudiées étaient redondantes quant au contenu des informations présentées.

Chez Renault, des études ergonomiques sur des prototypes de systèmes d'aide à la navigation avaient montré que les conducteurs suivaient aisément les instructions transmises dans le cas où les intersections étaient simples. C'est d'ailleurs ces situations qui avaient été utilisées dans les études précédemment citées (effectuées pour la plupart dans des agglomérations nord-américaines avec un réseau routier récent et simple). Par contre dans les cas des sites plus complexes, comme le sont les villes européennes beaucoup plus anciennes, nous avions observé que les sujets éprouvaient des difficultés importantes à identifier la branche de sortie qu'ils devaient suivre . C'est pour cette raison que notre étude portait essentiellement sur des sites complexes.

Pour cela, nous nous sommes intéressés à une situation de référence originale qui était celle de la description d'itinéraire en dynamique par un copilote humain. Nous pensions en effet qu'une analyse préalable de la communication homme-homme en situation serait particulièrement utile pour la conception ergonomique d'un système de navigation réellement adapté aux besoins du conducteur en situation de guidage complexe (comme c'est le cas sur les plus importants carrefours de l'agglomération parisienne). Il s’agissait donc d’une première étape d’identification du besoin en guidage par l’analyse d’une situation existante (le guidage par un copilote humain) dont on veut s’inspirer pour créer un artefact computationnel d’aide au guidage.

Notre hypothèse générale était qu'en situation de guidage complexe les stratégies de description utilisées par des copilotes humains allaient être particulièrement variées; cette variation dépendant notamment des caractéristiques du site traversé et des caractéristiques du couple pilote/copilote.

Certaines études préliminaires avaient déjà été réalisées sur la description d'itinéraire , nous pensons en particulier aux études sur la description d'itinéraire pédestre (GRYL 92) ou à la description d'itinéraire routier (LE BRETON 83). Cependant ces études étaient orientées sur la description en statique, c’est-à-dire sur les stratégies de description utilisées par des sujets avant la réalisation de la tâche de déplacement.

Une des originalités de notre étude a donc été de recueillir des descriptions en dynamique, c'est-à-dire pendant l'activité de conduite elle-même. Ce choix se justifiait pour plusieurs raisons:

- d'une part les systèmes d'aide sont prévus pour fournir de l'information "pas à pas" c'est-à-dire au fur et à mesure de l'avancement du véhicule sur l'itinéraire, c'est donc une description de ce type qui nous intéressait pour une application pratique.

- d'autre part les descriptions données hors du contexte de conduite peuvent s'avérer inadaptées en situation. C'est par exemple le cas lorsqu'il existe un écart trop important entre la description proposée et ce qui est visible en situation ou encore quand le travail d'interprétation de la description par le pilote est incompatible avec la charge induite par la conduite (cf. chapitre 2).

3.1 Présentation de l'étude

3.1.1 Présentation du protocole

Le premier objectif de cette étude a donc été d'obtenir une liste détaillée des différentes stratégies de description utilisées par des copilotes en situation de conduite. Pour mieux appréhender la diversité de ces descriptions, nous avons donc introduit une variable expérimentale relative au niveau de connaissances préalables du copilote sur le trajet.

Les modalités de cette variable étaient les suivantes :

Modalité 1: Les copilotes "non informés" (CNI) disposaient, juste avant le départ, d'une carte papier avec l'itinéraire surligné.

Modalité 2 : Les copilotes "informés" (CI) avaient effectué au préalable trois fois le parcours avant de guider le pilote et disposaient aussi de la carte papier.

Ces deux modalités intéressaient directement la dimension ergonomique de notre étude :

- De la première, parce que s'agissant de copilotes qui ont eu une expérience du trajet (copilotes informés), nous nous attendions à obtenir des descriptions optimisées du point de vue de l'opérationalité des indications transmises. En d'autres termes les descriptions proposées devraient être plus performantes et pouvaient donc constituer un meilleur modèle pour une communication homme-machine.
- De la seconde, parce que s'agissant de copilotes qui découvraient le trajet au fur et à mesure de leurs déplacements, nous pensions recueillir des descriptions qui s'étayaient beaucoup plus systématiquement sur le traitement de l'information cartographique ; or c'est de cette information que le système pouvait tirer ses propres stratégies descriptives. Les descriptions obtenues étaient donc plus réalistes quant à la possibilité de leur implémentation.

3.1.2 Choix du trajet

Le trajet initialement prévu comportait quatre types d'environnements:

- autoroute, grande nationale (A6, A10, N118)
- zone urbaine (boucle dans le secteur Ouest de Paris)
- zone suburbaine (banlieue)
- zone non urbaine (Bois de Boulogne)

Cet itinéraire avait été choisi au regard de sa complexité et de la diversité des situations rencontrées.

La passation a eu lieu sur l'ensemble du trajet. Cependant seule la partie concernant la zone urbaine, celle pour laquelle l'ergonomie d'un système d'aide est la plus problématique, est présentée ici.

3.1.3 Choix des sujets

Il s'est agi de 27 couples de sujets répartis aléatoirement selon le sexe. La majorité des sujets provenaient du LIMSI (chercheurs/ étudiants/ personnel administratif). Ces personnes avaient au minimum deux années de familiarité avec la conduite.

3.1.4 Matériel embarqué

Les copilotes disposaient de cartes sur lesquelles était surligné l'itinéraire à suivre.

Il s'agissait, sur la zone parisienne du trajet, d'une carte au 1/10000 avec les sens uniques.

La voiture était équipée du matériel vidéo suivant:

- quatre micro caméras placées sur la planche de bord (deux filmaient l'environnement extérieur et les deux autres filmaient le copilote et le pilote)
- un répartiteur d'image permettant le recouvrement des quatre prises de vue sur une seule sortie vidéo
- deux micros cravate (un pour le pilote l'autre pour le copilote)
- un magnétoscope
- un écran de visualisation permettant à l'expérimentateur de suivre le bon déroulement de l'enregistrement

3.1.5 Retranscription

Les 27 dialogues ont été intégralement retranscrits sur la partie urbaine de l'itinéraire concernant les neuf sites complexes suivants:

- Trois portes de PARIS (St Cloud, Maillot,Brancion)
- Deux places comportant un bâtiment particulièrement important (référé sur la carte et visible en situation: Maison de radio-France, Trocadero)
- Trois places de taille moyenne à choix multiple avec ou sans rond point (place Victor Hugo, place Rodin, place de la Muette à la jonction Av Mozart et P.Doumer)
- Une traversée d'une grosse artère avec deux bifurcations juste avant et après la traversée (av Foch au niveau de l'avenue de Malakof).

Sur ces sites l'orientation et le suivi de l'itinéraire étaient rendus complexes du fait du grand nombre de voies de sortie et/ou de l'enchaînement rapide d'actions à réaliser.

De manière à rendre compte de la chronologie d'apparition des stratégies descriptives, trois zones d'approche des sites ont été définies:

- une zone "lointaine" en amont du site (site non visible)
- une zone "proche" (site visible mais branche de sortie du site non visible)
- une zone "immédiate" (pendant la traversée du site avec branche de sortie visible)

3.2. RÉSULTATS

3.2.1 Méthode d'analyse du corpus

A partir du corpus ainsi obtenu, nous avons extrait ce que nous considérions être les unités élémentaires de description fournies par le copilote.

Ces unités étaient généralement composées d'un verbe d'action: (prendre, tourner, continuer....) et d'un groupe nominal.

Dans certains cas le verbe pouvait être elliptique: "prendre à droite, vers le TROCADERO "

Dans ce cas nous distinguions deux unités élémentaires "prendre à droite" et "*prendre* vers le TROCADERO".

3.2.2 Typologie des descriptions

Nous avons répertorié quatre grandes catégories de descriptions que nous avons appelées ″prescriptives″:

Les orientations egocentrées[11]

Ce sont les stratégies de description qui utilisent un référentiel ayant pour origine la position du véhicule sans directement faire appel à une caractéristique du contexte environnemental.

* Les orientations simples: référentiel antéro-postérieur ou latéral (devant/ derrière/ droite/ gauche)

" aller à gauche/droite/en face"

* Les orientations précisées par un adverbe d'intensité:

"prendre complètement à droite"

[11] Voir Briffault X., thèse de doctorat, 1992, pour une étude approfondie sur l'expression de la localisation dans la langue française.

* Les orientations utilisant un référentiel angulaire ou horaire

"prendre à 10 heures"

* Les désignations de l'orientation par la référence à la demi droite matérialisée par un geste ou les désignations de voie

" prendre par là" (+ geste)

"prendre celle là"

Les orientations "contextualisées"

Il s'agit des prescriptions qui font cette fois référence à une caractéristique plus spécifique du contexte environnemental connu ou visible.

* Prescriptions d'action qui concernent la position transversale du véhicule: à l'approche du site (positionnement sur la chaussée), ou pendant la traversée de celui-ci (e.g. positionnement sur un rond point)

"prendre la voie de droite"

"rester sur la gauche"

* Orientation faisant référence une particularité de la voie

"prendre la branche gauche du Y"

"prendre la grosse avenue en face"

"descendre sur la droite"

* Orientation faisant référence à un repère tridimensionnel (mobile ou non)

"suivre la voiture rouge"

"passer devant le palais des congrès"

Les dénombrements

Stratégies qui consistent à compter le nombre de voies à laisser sur sa droite (ou sur sa gauche), à partir de la position du véhicule (dénombrement egocentré) ou d'un repère extérieur (dénombrement exocentré).

*dénombrement égocentré "prendre la troisième à droite"

*dénombrement exocentré "prendre la 1ere après celle d'en face"

Les références toponymiques

Stratégies qui utilisent les noms propres des objets de l'environnement :

*Jalonnement

- Description qui consistent à présenter, très en amont, les différents points de passage. A ce niveau cette stratégie ne semblait pas vraiment jouer un rôle de prescription d'actions précises, elle indiquait plutôt les buts intermédiaires sans le détail de la procédure.

"aller à la porte de St Cloud puis passer par Maison de Radio-France ..."

- Cette stratégie pouvait aussi consister à mentionner, à son approche, le prochain point de passage important

" aller jusqu'à la porte de St Cloud"

"continuer tout droit jusqu'au Trocadéro"

*Référence explicite aux panneaux directionnels

Les objets nommés (places,voies, villes...) pouvaient appartenir ou non à l'itinéraire.

"Prendre la direction voie Georges Pompidou".

*Référence aux noms de rues

e.g. "prendre la rue de Boulainvilliers"

Cette stratégie pouvait être utilisée comme prescription d'action et/ou comme indice de confirmation, à posteriori, que la voie suivie par le conducteur est bien celle prescrite par le copilote.

*Référence à une connaissance générale sur la topologie des lieux

Par exemple à une sortie du périphérique intérieur *"prendre vers PARIS"* est un équivalent à "prendre à droite".

3.2.3 Répartition des types de description

Dans le tableau suivant, nous présentons les occurrences moyennes d'apparition des différentes stratégies de description en fonction du groupe des sujets (CI/CNI) et des zones d'approches sur les neuf sites étudiés.

Tableau 3 : Nombre moyen d'apparition des occurrences des différents types de prescriptions selon les connaissances du copilote sur l'environnement (CI/CNI) et selon la zone d'approche

	LOINTAIN		**PROCHE**		**IMMÉDIAT**		Moy. ensemble des zones	
	CI	**CNI**	**CI**	**CNI**	**CI**	**CNI**	**CI**	**CNI**
orientations égocentrées								
simples et précisées	1,3	1,5	4,3	3,3	4,1	2,1	**9,7**	**6,9**
orientations "contextualisées"								
positionnement au sol	0,6	0,5	0,7	1	0,5	0,7	1,8	2,2
particularité des voies	1,9	5,6	5,6	9,5	1,8	3	**9,3**	**18.1**
repère en trois dimensions	0,6	0,7	2,7	3,6	2,0	2,7	5,3	7,1
dénombrement								
dénombrement égocentré	0,3	0,7	1,0	1,3	0,9	1,0	2,2	3
dénombrement exocentré	0,1	0,1	0,7	0,9	0,3	0,5	1,1	1,5
toponymie								
jalonnement	**2,7**	**4,5**	0,6	0,5	0,0	0,3	3,3	5,3
panneaux	0,1	0,6	1,2	1,9	1,5	2,1	**2,8**	**4,6**
noms de voies	0,6	3,3	1,3	2,8	0,4	2,6	**2,3**	**8,7**
topologie	0,1	0,9	0,8	0,9	0,2	0,2	1,1	2,0
désignation								
désignation d'orientation	0,0	0,0	0,4	0,6	0,8	0,7	1,2	1,3
désignation de voie	0,0	0,0	0,6	0,3	1,2	0,8	1,8	1,1
Moyennes sur l'ensemble des stratégies	**8,3**	**18,4**	19,9	26,6	13,7	16,7	**41,9**	**61,8**

3.2.4 Bilan des résultats

Nous avons observé une grande diversité dans les types de descriptions utilisés :

Au total les Copilotes non informés (CNI) ont utilisé en moyenne 62 unités différentes de descriptions pour les neuf sites étudiés, ce qui faisait en moyenne presque 7 descriptions par site, là où un nombre beaucoup plus restreint aurait pu théoriquement suffire.

Cependant ce résultat est à nuancer pour les "informés" (CI) (42 unités utilisées pour la description des neuf sites). En effet le tableau 3 montre que les informés fournissaient moins d'informations surtout en amont. Ceci pour deux raisons: d'une part ils n'utilisaient pas ou peu la carte; d'autre part, connaissant les lieux, ils localisaient plus rapidement que les "non informés" la branche de sortie à suivre sur le carrefour. Ils pouvaient donc être plus précis et, plus tardifs, dans leur description.

Ce résultat est à mettre en parallèle avec celui de Grall et Visser (2001) qui ont montré que le contenu et le nombre des prescriptions dépendaient, outre les connaissances propres du prescripteurs, aussi des connaissances supposées de l'interlocuteur. En effet selon le niveau de connaissance de celui-ci, seul les buts à atteindre sont décrits ou alors associés à des détails sur la procédure.

Par ailleurs certaines stratégies sont apparues comme préférentiellement utilisées par l'un ou l'autre des deux groupes.

C'étaient en particulier le cas pour:

- Les orientation égocentrées qui étaient pratiquement les seules stratégies à être plus utilisées par les copilotes informés (9.7) que par les non-informés (6.9). Ces stratégies se caractérisent par leur aspect fortement "décontextualisé", elles apparaissent comme la base du discours descriptif. Par leur références aux éléments extérieurs, les autres stratégies descriptives viennent, lorsqu'il s'agit comme ici de sites complexes, compléter et désambiguïser ces descriptions de base. Il est intéressant de noter que ce besoin de désambiguïsation était plus important chez les CNI que chez les CI.

- Les orientations faisant référence à une particularité de la voie, qui ont été les prescriptions les plus courantes, et qui ont été deux fois plus utilisées par les CNI (18.1) que par les CI.

- La nomination des voies, a aussi été surtout employée par les CNI (8.7, pour 2.3 chez les CI), ce qui s'explique par l'influence de la carte dans le choix des stratégies descriptives des CNI.

- Les références explicites aux panneaux directionnels qui ont, de même, été plus utilisées par les CNI (4.6) que par les CI (2.8). Il est à noter que, dans certaines circonstances, des CNI (qui n'ont pourtant pas d'expérience préalable du trajet) ont su faire en amont, à partir des informations extraites de la carte, un certain nombre d'inférences sur l'existence et le contenu des panneaux directionnels. Ces inférences s'étaient révélées, à une exception près, toujours exactes.

Au total nous avons pu observer que les descriptions proposées par les copilotes informés ont différé de celles proposées par les copilotes non-informés de trois manières :

La première concerne le nombre d'unités de description. Les CI apparaissaient moins "prolixes" que les CNI. Le fait que le guidage soit plus concis nous paraît par ailleurs être un bon indice de l'efficacité[12] des descriptions transmises par les CI.

La seconde concerne le type d'unités de description utilisé. Les résultats montrent que certaines stratégies sont préférentiellement utilisées par les CNI (comme l'utilisation des attributs des voies : nom, taille ...).

Ces deux différences s'expliquent par le recours systématique des copilotes non informés à la carte papier.

La troisième apparaît au travers de l'analyse des zones d'approches du site (cf. tableau 3) en apportant des précisions sur les différences de prescriptions entre ces trois phases :

La première phase a lieu très en amont de la traversée du site. Il s'agit de ce que nous avons appelé la stratégie du "jalonnement". Cette stratégie est surtout utilisée par les CNI.

La deuxième phase se produit juste en amont du site. L'objectif est de préparer l'action à venir. Les CI, de part leurs connaissances des lieux, peuvent se permettre d'être succincts et d'utiliser des stratégies descriptives peu contextualisées, alors que les CNI multiplient les types de descriptions sur la base de données cartographiques.

La troisième phase débute au moment ou la vision au sol permet l'identification de la branche de sortie. Ici encore les différences sont importantes. Pour les CI il s'agit simplement de reconnaître la branche de sortie à suivre, puis de l'indiquer au conducteur. Pour les CNI la situation est sensiblement plus complexe puisqu'il s'agit d'apparier les données de la carte papier avec des indices prélevés en situation, de manière à déduire la sortie qui devra être suivie par le conducteur. Plusieurs stratégies descriptives issues des données cartographiques peuvent être utilisées et leur pertinence dépend directement des repères présents sur le site et de la vision qu 'en a le conducteur. La complexité même de cette situation encourage les copilotes à fournir une description de l'itinéraire plus exhaustive que synthétique.

Dans le cas de la communication homme-machine nous nous retrouvons dans une situation qui ressemble beaucoup plus à l'interaction conducteur/CNI. C'est donc bien préférentiellement cette situation qui nous a servi de référence pour la conception.

[12] Notons que dans l'une ou l'autre des modalités de guidage (i.e. Copilotes Informés ou Non Informés) aucune ″erreur d'orientation″ n'avait été observée.

Premières conclusions du chapitre III

Certains enseignements ont pu être tirés et utilisés avec profit pour la spécification ergonomique de la prestation de guidage offerte par les systèmes embarqués d'aide à la navigation. Cinq points nous semblent particulièrement intéressants:

a- Les copilotes, en particuliers les non-informés, ont couramment recours à certaines caractéristiques, du site ou des voies, pour désambiguïser les descriptions.

Il s'agit surtout de certains attributs des voies: comme la taille (petite, grosse) ou le statut (voie rapide, périphérique...). Il est intéressant de noter que les bases de données se sont graduellement enrichies de certains de ces attributs. Cette étude préliminaire a permis d'orienter les priorités à donner quant à cet enrichissement (panneaux, feux tricolores, monuments visibles en situation ...)..

b- Il est apparu dans nos résultats que la stratégie de dénombrement égocentré (par exemple sur un rond point complexe "prendre la nième à droite") a été évitée par les sujets quand n devenait trop important.

Cette stratégie apparaissait souvent remplacée par un dénombrement exocentré (comme par exemple "prendre la première après celle en face"). Bien qu'à ce jour les artefacts computationnels ne sachent toujours pas produire ce type de description de manière vocale on peut noter que nous avons eu confirmation de l'utilisation de ce type de stratégie par les utilisateurs eux mêmes (on parlera ici d'intrumentation) à partir des indications portées sur la vignette graphique (par exemple la figuration d'un sens unique pourra servir de point de départ d'un dénombrement pour identifier aisément la voie de sortie sur un rond point indépendamment du dénombrement égocentré fournis par la synthèse parole). L'identification de cette stratégie de dénombrement très en amont de la conception a donc pu orienter certains choix de spécification de la vignette graphique (Moussa & al 1998).

c- L'utilisation par les copilotes non-informés de stratégies qui font référence aux panneaux directionnels, avant même que ces panneaux soient présents dans l'environnement visible, a bien montré que les copilotes faisaient bien un certain nombre d'hypothèses sur l'existence de ces panneaux.

D'un point de vue applicatif cela aurait pu avoir deux conséquences: D'une part cette stratégie devait être proposée par un système d'aide, en particulier dans les situations complexes. D'autre part elle pouvait ne pas nécessiter la constitution d'une base de données complètes des panneaux si l'inférence de l'existence du(des) panneau(x) pouvait être réalisée par le système avec un taux de certitude suffisamment important (comme c'est le cas pour les copilotes humains).

La deuxième proposition n'a pas été retenue, par contre la première à pu faire l'objet d 'un cahier des charges précis (Moussa & al 98).

d- A l'inverse certaines des stratégies qui ont été utilisées par les copilotes ne pouvaient être utilisées de manière réaliste dans un modèle de communication homme-machine ; par exemple la référence à des repères mobiles (comme suivre la voiture rouge).

Notre étude avait toutefois montré que ce type de stratégie ″non implémentable″ était quantitativement très marginal. Les autres pouvaient avoir des modes de substitution (comme dans l'exemple du paragraphe b).

e- Enfin il existe une dernière forme de description non évoquée dans les résultats car quantitativement très marginale et qui se situe à un niveau différent de la catégorisation proposée.

Il s'agit de ce que nous avons appelé les "mises en garde" (par exemple "Ne pas prendre le périphérique mais la petite rue à droite").

Ces formes linguistiques sont très intéressantes dans la mesure ou elles peuvent marquer deux aspects particuliers de la description: D'une part la "saillance" d'une voie à laquelle les sujets se réfèrent préférentiellement, d'autre part le risque de surcoût (notamment en temps de parcours) qui peut être particulièrement important en cas de choix erroné.

Tout comme pour l'exemple donné au paragraphe d) (″suivre la voiture rouge″) le traitement intégral de ce type de stratégie par le système est certainement trop complexe et coûteux (avec les risques de dysfonctionnement induits par la complexité) surtout au regard de la valeur ajoutée fournie au conducteur par ce type de prescription.

Toutefois l'identification très en amont des stratégies de ce type est intéressante pour la conception car elle permet de spécifier des modalités d'affichage qui peuvent efficacement se substituer aux stratégies plus complexes utilisés par les copilotes humains (comme dans l'exemple du paragraphe b ″prendre la première après celle en face″).

Par exemple la stratégie de mise en garde relative à l'entrée sur une voie rapide (périphérique) a pu être simplement intégrée par l'affichage d'une petit icône jouxtant la voie qui matérialise sur la vignette la voie d'accès au périphérique.

Cela permet à l'utilisateur de prendre cette voie comme repère (″saillance″ de la voie) pour s'orienter tout en l'évitant si elle ne constitue pas son itinéraire (risque de perte de temps importante consécutif a un embranchement erroné sur une voie rapide).

Dans ce chapitre nous avons présenté une étude exploratoire de type “ analyse du besoin ” par l’observation de situations de références dont l'étude nous a servi de guide pour contribuer à la spécification du système.

Après quelques phases d’essais intermédiaires, le système a été implémenté dans une version proche de la commercialisation qui prenait en compte certaines des spécifications que nous avions pu tirer de la première étude.

Nous proposons dans le chapitre suivant de présenter l’étude de validation de cette première version du système.

CHAPITRE IV : ETUDE COMPARATIVE ENTRE ARTEFACT COMPUTATIONNEL DE GUIDAGE ET CARTE PAPIER

Traditionnellement, l'étude ergonomique des systèmes concerne d'abord l'analyse du besoin et des spécifications souhaitables (un exemple en a été donné au chapitre précédent), puis après une phase de développement appuyée par des évaluations, une phase de validation du système tel qu'il a été élaboré par l'équipe de conception.

Quand il est question, comme dans la conduite automobile, d'activités multitâches (cf. § 2.2 *Contraintes induites par la multiplicité des tâches),* l'évaluation a cette particularité qu'il s'agit de s'assurer qu'en assistant un des aspects de l'activité on n'en détériore pas un autre.

La tâche d'orientation dans un environnement peu ou mal connu concerne le niveau le plus élevé (niveau stratégique cf. tab. 2 chapitre II). Il s'agit alors d'un processus conscient qui nécessite des ressources attentionnelles importantes (Midtland 1993 et Pauzié 1995). Selon cette analyse, si la situation de conduite est trop chargée par rapport aux ressources du conducteur, cela pourrait se traduire par des baisses de performance ou des dysfonctionnements qui, selon les priorités que se donne le sujet, pourront concerner tels ou tels aspects de la conduite, (erreurs d'orientation, fautes de code, mauvais placements sur la chaussée, sur ou sous-vitesse etc.).

Contrairement à l'étude du chapitre III, qui prenait pour situation de référence le copilatage humain, l'étude que nous présentons ici consiste à comparer deux situations de conduite, dans des environnements urbains peu connus du conducteur, où il lui est demandé de suivre un itinéraire complexe avec alternativement deux types d'aide: une carte papier ordinaire d'un coté, et le système de guidage à valider de l'autre. Nous pensons en effet que l'artefact usuel de référence que nous cherchons à améliorer par la conception d'un système computationnel est bien la carte papier.

Comme nous l'avons mentionné, l'utilisation de la carte papier comme situation de référence à comparer avec une aide électronique a été assez utilisée dans ce type d'évaluation (F. Antin, Steeter, Daimon opus cité). Mais pour des aspects pratiques, ces études n'ont pu se faire qu'auprès de sujets qui ont eu une simple phase de prise en main du système, juste avant la passation, sans en faire véritablement l'apprentissage. Un aspect original de cette étude a consisté à faire l'expérimentation auprès de sujets familiarisés avec le système.

Outre la possibilité d'observer des situations où l'instrument est déjà constitué (au moins partiellement), cela rend la comparaison avec la situation de référence plus concordante puisque les

sujets, qui sont des conducteurs confirmés, ont déjà eu de ce fait de nombreuses occasions de se familiariser avec ce premier type d'aide qu'est la carte papier.

4.1 Présentation de l'étude[13]

4.1.1 Objectifs

Les objectifs de cette expérimentation s'intègrent dans les objectifs généraux de l'évaluation CARMINAT[14] qui couvraient des thèmes aussi divers que le Marketing, l'Ergonomie, la Sécurité ou la validation technique. Pour la partie ergonomique de l'évaluation du système CARIN les sous objectifs étaient d'identifier les points suivants:

a) Les effets sur les déplacements (navigation) : Nous nous sommes intéressés à la comparaison de la planification des itinéraires par le système et par les sujets[15] eux-mêmes, ainsi qu'au recensement des difficultés d'orientation et de leur gestion.

b) L'incidence sur la conduite que peut avoir l'utilisation du système (gestion de l'environnement de conduite et du véhicule). Deux investigations ont été proposées:

La première consistait à observer, d'une manière aussi systématique que possible, les dégradations de la conduite lors de l'utilisation du système et de la carte papier.

La seconde consistait à analyser les détournements du regard, associés à la présentation des informations de guidage sur certains sites représentatifs. Cette seconde partie n'est pas présentée ici.

[13] Une partie importante de cette étude a été publiée dans Forzy 1999.

[14] CARMINAT était un consortium qui regroupait plusieurs industriels (RENAULT, SAGEM, PHILIPS, TDF, LED...) à des fins de développement et d'industrialisation d'une gamme variée de systèmes d'aide à la navigation. En 1994-1995 une flotte d'une centaine de véhicules a été testée sur trois sites: CITIES (Paris)/ MELYSSA (Lyon)/ PLEIADES (Lille). L'évaluation ergonomique a été conjointement assurée par RENAULT pour CITIES et par L'INRETS du centre de Bron pour MELYSSA. Les résultats présentés sont ceux issus de l'évaluation du système C3 sur Paris.

[15] A partir d'une carte papier détaillée (Michelin Paris et Banlieue de 1/10 000 et de 1/15 000)

Enfin les problèmes d'utilisation du système, par une analyse site par site de la conduite avec CARIN ; et la perception du système par les sujets, par une analyse thématique des verbalisations; ont aussi été investigués. Ces analyses ont fait l'objet d'une liste de préconisations ergonomiques (Moussa & al 1998).

4.1.2 Population et support de test

Population testée

La sélection a porté sur 16 sujets (12 hommes et 4 femmes) et s'effectuait parmi des personnes ayant eu un véhicule équipé en prêt pendant une semaine. Il s'agissait de conducteurs expérimentés, de CSP assez élevé, et habitant dans la zone EST de l'agglomération parisienne. Dix sujets avaient entre 30 et 40 ans, six autres avaient entre 40 et 50.

Par ailleurs, ces sujets devaient être peu familiers avec les lieux de l'expérimentation (Paris XVIème et proche banlieue Ouest) et avoir précisé, dans un premier questionnaire de recrutement , être familiarisés avec l'usage des cartes papiers.

Artefact testé

L'aide testée était un système de guidage (appelé C3) développé sur la base du système ″CARIN″. Ce système transmet pas à pas au conducteur des prescriptions d'actions sous la forme de schémas graphiques (appelée ″vignettes″) et de messages vocaux (cf. fig. 15).

Synthèse parole :

″au rond point prendre la deuxième sortie″



Figure 15 : Illustration d'un message transmis par le système ″C3″

4.1.3 Hypothèses expérimentales

Hypothèse 1: Le système a été conçu pour assister le conducteur dans son activité de navigation. On s'attend donc à une amélioration des performances navigationnelles avec le système par rapport à la situation de guidage avec une simple carte papier (situation de référence).

Hypothèse 2: L'interface conducteur/système doit être conçue de manière à perturber le moins possible l'activité de conduite. On veut donc vérifier que l'utilisation du système n'entraîne pas plus de dysfonctionnements dans la gestion de la conduite que la situation de référence (guidage avec une simple carte papier).

4.1.4 Protocole d'expérimentation

Principe général

On a défini, sur deux parcours (aller[16] et retour[17] voir annexe 2) choisis pour leur complexité (carrefours importants) et leur diversité (variation des types de voies), des points intermédiaires[18] par lesquels le sujet devaient passer en utilisant, soit à l'aller soit au retour, le système ou une carte papier[19]. L'ordre de passation des deux conditions a été contrebalancé.

Deux horaires de trafic relativement fluide ont été définis (entre 10 :30 et 12 :00 et entre 13 :30 et 15 :00) pour assurer des conditions de trafic suffisamment fluide et constant.

Les performances navigationnelles (en termes de nombre d'erreurs d'orientation, de temps de parcours et de kilométrage...) et les dysfonctionnements dans le contrôle de la conduite (nombre de fautes de code, de situations accidentogènes ...) ont été recueillis et comparés selon ces deux conditions.

Après chaque passation un rapide entretien a été tenu avec pour objectif de faire un récapitulatif des appréciations du sujet sur le système.

[16] Trajet aller: Du quai Le Gallo à Boulogne Billancourt jusqu'à la Pl. Adenauer PARIS XVI via pl. du Trocadero.
[17] Trajet retour: De l'av. Foch PARIS XVI jusqu'au quai Le Gallo à Boulogne Billancourt via le carrefour des cascades (bois de Boulogne).
[18] Notons que les sujets étaient libres de leur planification d'itinéraire avec la carte papier entre ces points de passage.
[19] Notons un recouvrement partiel avec l'itinéraire élaboré pour l'expérimentation sur le copilotage humain (cf. chapitre III)

Données recueillies

Verbalisations du conducteur pendant la conduite : juste après le passage des intersections les plus complexes il était demandé au conducteur ″comment avez vous procédé pour vous orienter ?″, ″qu ‘est ce qui a pu poser problème ?″. L’objectif de ce questionnement était d’avoir des indications sur :

- La facilité d'identification de la branche de sortie du carrefour et le niveau de certitude quant à la concordance des choix effectués aux intersections par rapport aux actions prescrites par le système, ou celles préalablement planifiées avec la carte papier (doutes).
- La conformité des messages du système (adéquation du message par rapport à ce que voit le sujet sur le site, et éventuellement par rapport à sa propre connaissance des lieux).

En complément, deux brefs entretiens tenus à l’arrêt permettaient de récapituler les points positifs et les problèmes rencontrés (pendant la passation ou la semaine de prêt). De plus trois échelles d’opinions étaient remplies (cf. § 4.4) concernant la facilité à retrouver son chemin à partir des informations disponibles et la facilité à conduire tout en s’orientant.

Observations sur la navigation :

- Les erreurs d'orientation : chaque erreur se définit par un écart entre l’itinéraire planifié par le système ou par le sujet, selon les conditions expérimentales, et ce qui est réellement suivi en situation.
- Les hésitations : exploration visuelle appuyée sur des éléments navigationnels de la scène extérieure, placement incertain sur la chaussée, tour de rond point supplémentaire... .
- Le temps de parcours et le nombre de kilomètres parcourus.

Observations sur la conduite: Nous avons uniquement répertorié les observables sur la conduite dans les séquences vidéo ou l’analyse pouvait montrer que le sujet était effectivement en train de chercher son chemin ou de consulter l’artefact (système de guidage versus carte papier). Ont alors été relevés :

- Les ″fautes de code″ ; nous n’avions pas au préalable de grille bien définie de toutes les ″fautes de code″ potentielles, en pratique cela a concerné : Les feux rouges ″brûlés″ ; Le franchissement de lignes blanches ; Les refus de priorités ; et quelques rares cas de survitesse quand cette dernière pouvait être attribuée à un manque d’attention résultant de l’utilisation de l’artefact. D’autres

observables comme par exemple l'oubli des clignotants, n'était pas comptabilisé car il était difficile de déterminer si celle-ci était ou non une faute usuelle du conducteur. Dans ce dernier cas elle ne pouvait être reliée à l'utilisation de l'artefact.

- Les manœuvres brusques ; seulement deux types d'observables ont été classés dans cette catégorie : freinages brusques et changements de voies tardifs.
- La gêne occasionnée aux autres usagers ; ici encore nous n'avions pas de grille préétablie pour cette catégorie. En pratique nous avons ici codé toutes les situations pour lesquelles nous pouvions avoir un indice sur le fait que le véhicule expérimental avait gêné un ou plusieurs autres usagers : appel de phare, coups de Klaxon, ralentissement/freinage, changement de voie résultant d'une sous vitesse ou d'une manœuvre brusque du véhicule test.

Ces observables devaient avoir été relevés par au moins un des deux expérimentateurs (généralement les deux) présents dans le véhicule durant la conduite (cf. § 4.1.5). Cependant c'est après coup, à partir de l'enregistrement vidéo, que nous déterminions si l'occurrence d'apparition de l'observable se faisait dans une séquence de consultation de l'artefact (système ou carte papier) ou de recherche de la route à suivre. Si ce n'était pas le cas la séquence n'était pas comptabilisée.

Les conditions expérimentales (système versus carte papier) étaient forcement connues des expérimentateurs. Cela aurait pu biaiser certains résultats (pour ce genre d'observables, il est préférable d'avoir des observateurs "aveugles" par rapport aux conditions expérimentales). Cependant le fait de prendre deux observateurs, qui codaient séparément, et après vérification systématique des observables pour un examen plus précis sur la vidéo, permettait de limiter les risques de biais dus à une subjectivité possible des moyens de mesures.

Consignes

Le sujet était informé des deux phases expérimentales. On lui présentait sur une carte les points par lesquels il devait passer sans lui présenter le tracé précis de l'itinéraire planifié par le système. Les consignes étaient de trois types:

- Relatives à la gestion du véhicule: conduire normalement, sans prendre de risques ; respecter les limitations de vitesse.
- Relatives à l'utilisation du système: suivre les instructions du système pour parvenir à la destination ; faire des commentaires après le passage d'un site jugé difficile.
- Relatives à l'utilisation de la carte papier: passer par les points de passage donnés par l'expérimentateur; préparer l'itinéraire avant de partir (avec possibilité de prendre des notes et de consulter la carte en cours de route); suivre le trajet initialement planifié ou informer l'expérimentateur des changements décidés; commenter les difficultés rencontrées.

4.1.5 Matériel et expérimentateurs embarqués

Le véhicule utilisé était une SAFRANE dotée d'un système CARIN placé en en haut de console centrale.

Ce véhicule était équipé de :

Quatre micro-caméras filmant: le système ; l'environnement frontal extérieur ; le tableau de bord (vitesse, clignotants, kilométrage ...) ; le sujet (fixations oculaires)

Nous disposions aussi de : un magnétoscope avec incrustateur de temps (Time Code) ; un moniteur pour le calibrage des micro-caméras ; deux micro-cravates pour l'enregistrement des verbalisations du conducteur et de l'expérimentateur ; un mélangeur des quatre sources vidéo ; un clavier, permettant une incrustation sur l'image de codes correspondant à différents événements (erreurs de conduite, manipulations du système, etc.).

Enfin deux expérimentateurs étaient à bord : Un premier, assis sur le siège passager avant, donnait les consignes et utilisait le clavier pour faire ses observations. Un second, assis à l'arrière, notait sur une grille papier ses propres observations qui étaient ensuite confrontées avec celles du premier expérimentateur (double codage). Il assurait en outre le bon fonctionnement des appareils d'enregistrement.

4.2 Comparaison des résultats concernant les performances navigationnelles

La tâche de navigation se décompose en deux sous-tâches distinctes (planification et suivi de l'itinéraire planifié). Cela nous amène à distinguer les résultats sur la planification elle-même et ceux sur le suivi de l'itinéraire en situation.

4.2.1 Comparaison des itinéraires planifiés avec la carte papier et avec le système.

Le tableau suivant présente le kilométrage moyen pour chacun des trajets planifiés.

Tableau 4
Comparaison en kilométrage des trajets planifiés par les sujets et par le système

Kilométrage moyen de l'itinéraire "aller" planifié par les sujets	8,4 km
Kilométrage moyen de l'itinéraire "retour" planifié par les sujets	10,5 km
Kilométrage moyen aller et retour planifié par les sujets	**18,9 km**
Kilométrage de l'itinéraire "aller" planifié par le système	8,8 km
Kilométrage de l'itinéraire "retour" planifié par le système	11,4 km
Kilométrage moyen aller et retour planifié par le système	**20,2 km**

On remarque peu de différences, légèrement à l'avantage des sujets toutefois, entre la planification opérée par le système et par les sujets en terme de kilométrage . L'étude statistique a néanmoins montré que cette différence n'était pas significative (cf. § 4.2.2).

L'observation plus fine des planifications a montré que les planifications des sujets sont plus "simples", moins "hachées", que celles opérées par le système. Ceci est particulièrement frappant à l'aller sur le tronçon Quai le Gallo à Boulogne Billancourt-> pl. du TROCADERO à Paris (cf. schéma en annexe 2).

Les planifications humaines se caractérisent surtout par leur relative simplicité en terme de nombre de changements de direction. Cela permet d'obtenir un itinéraire simple à mémoriser. Le système favorise moins les axes rapides (Périph/Voies sur Berges) au profit d'axes intermédiaires (Bl. EXELMANS/Bl Extérieur) ce qui conduit à des changements d'orientation plus fréquents et donc à une planification plus complexe.

La stratégie de planification des sujets relève de stratégies qui ont déjà été observées dans d'autres expérimentations (cf. Pailhous 1970)[20]. La stratégie de planification du système, même si elle présente certaines analogies avec celle des sujets, reste un peu moins optimisée.

On peut donc dire que, pour cette sous tâche, le système a été plutôt moins performant que les sujets.

[20] Stratégie d'optimisation qui consiste à limiter le temps à passer sur le réseau secondaire par rapport au temps à passer sur le réseau principal.

4.2.2 Comparaison des résultats concernant le suivi de l'itinéraire

Nous nous intéressons à présent à la deuxième sous-tâche de la navigation: le suivi de l'itinéraire en situation.

Sur la figure 16, nous pouvons voir qu'en termes de comparaisons, sur le kilométrage réellement effectué et sur le temps de parcours, les différences sont faibles et plutôt à l'avantage de la condition carte papier. Il ne s'agit cependant que d'une tendance, le test statistique du T de Student sur groupes appareillés n'est pas non plus significatif.

On remarquera néanmoins que l'écart type du "temps de parcours" , en ce qui concerne la carte papier, est beaucoup plus important. Cela signifie que les performances navigationnelles des sujets avec le système sont plus homogènes que celles obtenues avec la carte papier.

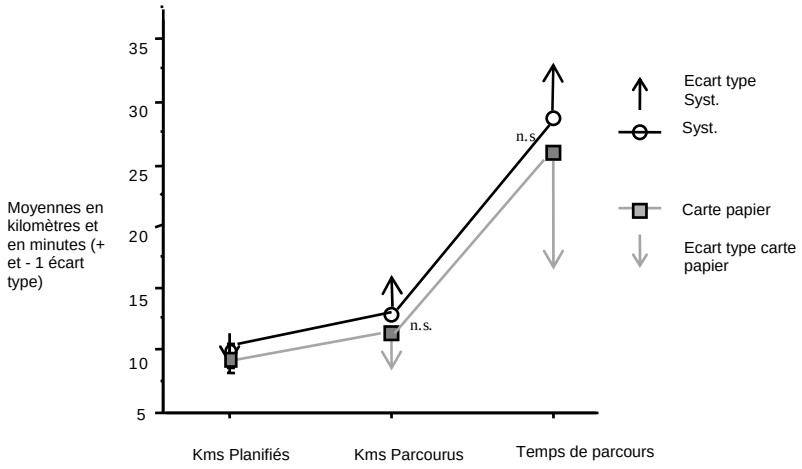


Figure 16
Comparaison des moyennes de performances navigationnelles (kilométrage et durée) entre carte papier et système

La figure 17 montre que le nombre d'erreurs d'orientation est légèrement plus important avec le système (en moyenne 3,7) qu'avec la carte papier (en moyenne 2,7). Cependant cette tendance n'est pas non plus statistiquement significative (test de Wilconxon).

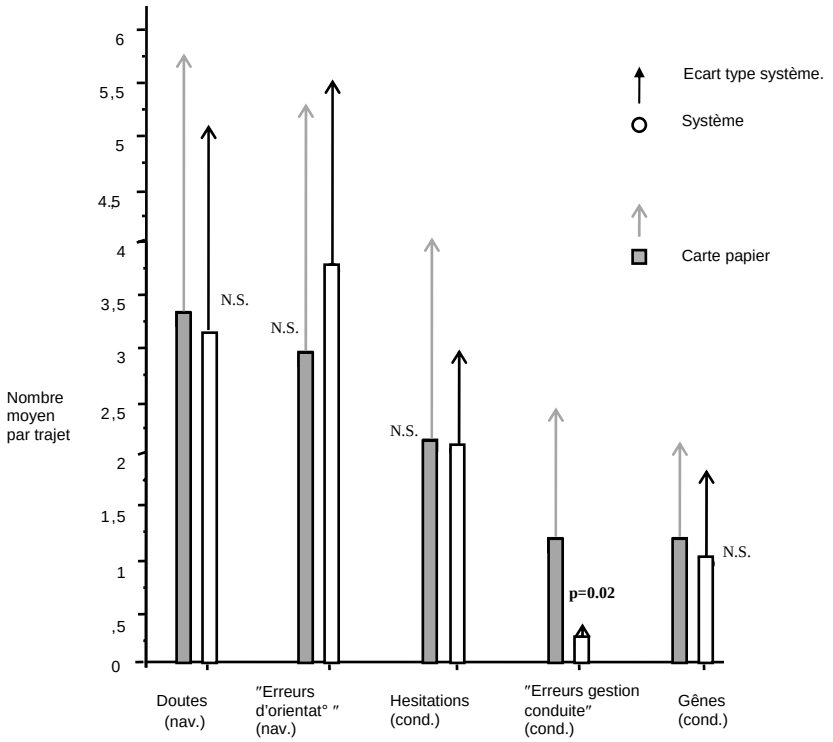


Figure 17
Comparaison entre des observables sur la navigation (doutes, "erreurs" d'orientation) et sur la conduite (hésitations, "erreurs" gestion de conduite, gênes) entre carte papier et système

4.2.3 Récapitulatif des résultats sur les performances navigationnelles

Au total notre première hypothèse a été invalidée: on ne peut pas dire en effet que les performances navigationnelles ont été améliorées avec l'utilisation du système. Cela a été observé aussi bien en terme de planification de l'itinéraire initial, qu'en termes de performances globales sur la durée du parcours et du kilométrage effectué, ainsi qu'en terme de facilité d'identification de l'itinéraire à suivre en situation (doutes, hésitations et erreurs d'orientations).

Rappelons que la route planifiée par les sujets avec la carte papier était globalement plus simple que celle planifiée par le système. Nous pensons que la plus grande complexité de la route avec le système est la raison majeure de cette absence d'amélioration des performances navigationnelles avec cette procédure de test[21].

[21] Cela explique très certainement des écarts de résultats relatifs à l'amélioration des performances navigationnnelles constatés avec d'autres études (ANTIN 90 ; PAUZIE 95). Par ailleurs précisons que le module de planification du système a été amélioré depuis cette expérience.

Cependant l'analyse des écarts types sur tous les observables relatifs à la navigation (en particulier la durée) montre que le système tend systématiquement à homogénéiser les performances.

4.3 comparaison des résultats concernant la gestion de la conduite

Après les données navigationnelles, nous traitons à présent celles concernant les dysfonctionnements dans la gestion de la conduite (cf. figure 17).

Le résultat le plus marqué concerne le nombre d'erreurs dans la gestion de la situation de conduite. La différence est fortement en faveur du système. L'écart des moyennes est significativement différent à p=0.002 (test de Wilcoxon). Ces erreurs regroupent à la fois les fautes de code qui ont pu être observées et les problèmes de gestion de la situation de conduite.

Par contre la différence est beaucoup moins marquée (non significative) en ce qui concernait la gêne des autres véhicules. Cela provient peut être du fait que "se faire klaxonner" est une chose fréquente dans Paris ce qui contribuerait à rendre ce critère peu discriminant.

Au total les résultats montrent une différence significativement supérieure du nombre de problèmes de gestion de la situation de conduite (au sens large) dans la condition de guidage avec une carte papier par rapport à la condition de guidage avec le système. Notre hypothèse 2 (pas plus de problèmes de gestion de la situation de conduite avec le système qu'avec la carte papier) est donc plus que confirmée.

Notons que ce résultat est d'autant plus significatif que l'itinéraire suivi par les sujets avec le système était plus complexe que ceux suivis avec la carte papier.

4.4 Analyse à partir des échelles d'opinion

A l'issue du trajet aller et du trajet retour, on a demandé aux sujets de se positionner sur 3 échelles d'opinion de manière à comparer les situations de conduite avec la carte papier et avec le système.

Tableau 5: Récapitulatif des réponses aux échelles d'opinions

	intitulés des échelles	*SYSTEME*	*CARTE*
MOY.(écart type) sur 16 sujets	Q1: Vous orienter le long de ce parcours a été; de 1 (très difficile) à 6 (très facile)	**4,44 (1,10)**	**3,94 (1,44)**
	Q2: Conduire tout en utilisant le système (versus la carte) a été; de 1 (très difficile) à 6 (très facile)	**5,44 (0,51)**	**3,94 (1,44)**
	Q3: Comprendre les messages du système (versus: utiliser la carte pour s'orienter aux carrefours) a été; de 1 (très difficile) à 6 (très facile)	**4,13 (0,62)**	**3,75 (1,48)**

Comparaison des résultats entre système et carte pour chaque question (test "T" student appareillé) :

n=16	ddl=15	valeurs du T	significativité
sur Q1		1,10	n.s.
sur Q2		3,77	P <0,005
sur q3		0,90	n.s.

Commentaires:

Sur ces trois échelles d'opinion, seule Q2 donne des réponses significativement différentes: Les sujets ont jugé la compatibilité avec la conduite moins bonne avec la carte papier qu'avec le système. Les différences sur la facilité d'orientation et d'interprétation des informations ne sont pas significatives.

On notera, en outre, que les dispersions des réponses aux trois questions sont plus importantes avec la carte papier qu'avec le système.

L'ensemble de ces résultats est pleinement conforme aux résultats tirés des données observées en conduite.

4.5 Synthèse de la comparaison système / carte papier

L'hypothèse 1: "Meilleures performances navigationnelles avec le système qu'avec la carte papier " a été infirmée.

Notons cependant que les performances ont été plus homogènes dans la condition de guidage avec le système que dans la condition de guidage avec la carte papier.

L'hypothèse 2: " pas plus de problèmes de gestion de la situation de conduite avec le système qu'avec la carte papier " a été plus que confirmée puisque au total il y a eu moins de problèmes de gestion de la conduite avec le système.

Tout s'est donc passé comme si l'aide apportée ne s'était pas directement répercutée sur les performances navigationnelles mais sur les performances dans la gestion de la situation de conduite.

Trois causes, qui ne sont pas exclusives, peuvent être invoquées:

D'une part, on peut considérer qu'en utilisant le système on baisse la charge induite par la navigation, et on libère ainsi des ressources qui permettent au conducteur de mieux gérer sa conduite.

D'autre part la bonne gestion des erreurs d'orientation par le système[22] encourage le sujet à favoriser la sécurité au détriment d'éventuelles erreurs, facilement rattrapées, d'orientation. Ceci est évidemment beaucoup moins vrai lors de l'utilisation de la simple carte papier où les erreurs d'orientation sont généralement beaucoup plus coûteuses.

Enfin le choix de l'itinéraire expérimental joue de toute évidence un rôle important sur l'évolution des performances selon les deux conditions (carte papier et système). Notre itinéraire de test passait par plusieurs sites particulièrement complexes à traiter pour le système. L'analyse fine de ces situations nous a permis de tester le système dans des contextes difficiles et de dégager un certain nombre de préconisations d'amélioration du dispositif; mais cela contribue aussi à expliquer pourquoi une amélioration nette des performances navigationnelles n'a pas été observée.

Quoiqu'il en soit les résultats montrent un impact positif global important du système sur la gestion des situations de conduite par le conducteur. Ce résultat est corroboré par l'analyse des échelles d'opinion où les sujets ont jugé l'aide avec le système sensiblement plus compatible avec la conduite que l'aide apportée par la simple carte papier.

4.6 Analyse site par site et analyse des verbalisations

[22] Le système est toujours localisé et il replanifie automatiquement un nouvel itinéraire lorsque l'itinéraire initial n'est pas suivi.

Analyse site par site

Basée sur l'enregistrement audio/vidéo, une analyse a été réalisée site par site et sujet par sujet avec pour objectif d'obtenir une synthèse descriptive de la séquence de traversée du carrefour (en particulier les informations traitées par le conducteur et les stratégies et difficultés dans la recherche d'orientation).

Ces descriptions ont été réalisées sur la base des verbalisations du sujet pendant et juste après avoir traversé le site où il lui était demandé de décrire comment il/elle avait procédé pour s'orienter et les éventuelles difficultés rencontrées.

De là une synthèse était faite sur les sites les plus complexes de l'itinéraire. Cette synthèse était composée de quatre parties :

description du message transmis par le système

résumé des problèmes rencontrés par les sujets et des stratégies adoptées

description des conséquences des problèmes d'orientation (pour donner une indication sur la gravité du problème

guide(s) pour la conception

Nous donnons en annexe 3 un exemple de synthèse pour un des sites de l'itinéraire

Autre analyse sur la base des verbalisations

En complément de l'analyse décrite ci-dessus, une analyse thématique a été réalisée sur la base des verbalisations obtenues à l'arrêt après chaque parcours. Dans ces entretiens plus généraux le conducteur était amené à s'exprimer sur les points positifs et les problèmes dans l'utilisation du système (en donnant des exemples pris pendant la semaine de prêt du système ou pendant la passation venant de s'écouler).

Les verbatim ont été classés selon quatre catégories :

concernant l'utilité du système et comment il avait été utilisé

concernant les limites du système

concernant les problèmes rencontrés

concernant les points positifs

Sans entrer ici dans le détail des commentaires obtenus. Nous pouvons, pour résumer, dire qu'en dépit de plusieurs insatisfactions en particulier concernant la vignette qui ″ne correspond pas toujours suffisamment avec l'environnement réellement rencontré″ (12/16 sujets), l'appréciation globale est largement positive car le système ″réduit le stress″ (10 sujets), ″corrige les erreurs d'orientation″ (9 sujets), "gêne moins la conduite que l'usage de la carte papier" (11 sujets). Notons que l'on retrouve à nouveau au travers de ces commentaires une bonne cohérence avec les résultats obtenus à partir des autres résultats.

Premières conclusions du chapitre IV

Le premier enseignement général que nous tirons de cette étude est que l'effet positif que l'on peut attendre d'un système d'aide peut s'observer à d'autres niveaux de la tâche que celui pour lequel il a été, a-priori, initialement conçu.

Dans notre expérimentation nous avons vu que contrairement à notre première hypothèse, les performances navigationnelles n'ont pas été généralement améliorées avec le système. Cela est probablement du au fait que les planifications opérées par les sujets ont été meilleures que celles du système. Cependant en dépit d'un itinéraire plus complexe suivi avec le système les performances sur la conduite ont été significativement améliorées. Ce qui allait cette fois au-delà de notre attente sur la seconde hypothèse (pas de dégradation des performances de conduite avec le système).

Nous pensons à la lecture de ces résultats qui incluent l'ensemble des nombreuses données recueillies : mesures de performance, échelles d'opinion, verbalisations (comme: ″le système déstresse″, ″il corrige les erreurs″ etc.) que le système de guidage entraîne une baisse de la ″charge attentionnelle″ attribuée à la navigation durant la conduite. Cette baisse s'est matérialisée par une amélioration des performances de conduite plutôt que celles de navigation.

Par conséquent, selon nous, les ressources dégagées au niveau Stratégique/ Navigationnelle (cf. § 2.5) ont été ré-allouées au niveau Tactique/gestion des manœuvres. Une étude plus poussée pourrait préciser ce point , mais les résultats montrent clairement la capacité du sujet à "manager" les ressources allouées aux différentes facettes de la conduite en fonction de ″choix″ fait par lui en terme de performance et de prise de risque. Or un système bien conçu doit faciliter de telle adaptation.

Accessoirement cela veut dire aussi qu'un protocole d'évaluation, en particulier lorsqu'il s'agit d'une activité aussi complexe que la conduite, doit couvrir des aspects suffisamment larges pour mettre en évidence les effets de l'aide, qu'ils soient positifs ou négatifs, sur les différentes composantes de la tâche.

Après avoir comparé l'utilisation du système CARMINAT par rapport à l'utilisation d'une simple carte papier, nous proposons dans le chapitre suivant une autre comparaison entre la version CARMINAT décrite dans ce chapitre et une version améliorée utilisant le guidage par panneaux.

L'ensemble des résultats de nos trois études relatives à la conception d'un système de guidage seront repris et analysés avec notre modèle instrumental au chapitre VI.

CHAPITRE V : ETUDE SUR UNE EVOLUTION DE L'ARTEFACT COMPUTATIONNEL

5.1 PRESENTATION DE L'EXPERIMENTATION[23]

5.1.1 Système testé

Il s'agissait d'une nouvelle version du système de guidage CARMINAT permettant un affichage d'informations directionnelles s'appuyant sur le fléchage par panneaux existant sur le réseau routier (cf figure 18). Cet affichage se surajoute aux prescriptions vocales (e.g. " prendre la 2ième à droite ") et aux vignettes schématiques de guidage des versions antérieures du système.

VERSION 1 : GUIDAGE PAR "CHEMINEMENT"



VERSION 2 : GUIDAGE PAR "CHEMINEMENT" ET PAR "PANNEAUX"



Figure 18 : Les deux versions testées du système

[23] Cette étude a été partiellement présentée au congrès SELF'98 (Forzy 1998)

5.1.2 Impacts possibles du nouveau système

Pour évaluer l'impact de l'évolution du système (adjonction du guidage par panneaux directionnels) par rapport à la version antérieure (guidage par "cheminement" uniquement), nous avons cherché à identifier:

d'une part, comment les conducteurs interprétaient les situations de guidage rencontrées, de manière à comprendre de quelle manière l'adjonction d'informations sur les panneaux directionnels pouvait agir ou non sur les performances navigationnelles et sur la gestion de la traversée de l'intersection.

et d'autre part , d'un point de vue plus spécifiquement sécuritaire, identifier ce qui se passe quand il y a conflit entre les différentes prescriptions d'actions. Cela peut en effet arriver occasionnellement à l'issue d'un dysfonctionnement du système, où plus généralement, à l'issue d'une difficulté, du conducteur en situation, à recouper les différentes sources informationnelles.

Pour illustrer ce problème des conflits de prescriptions nous en donnons un exemple fictif simple :

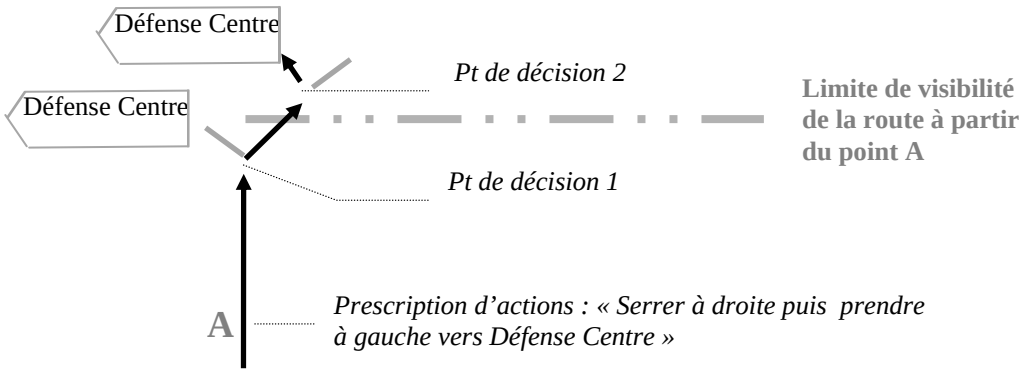


Figure 19 : Exemple de conflit de prescription

Nous pouvons voir sur cet exemple schématique qu'un conflit peut apparaître au premier point de décision où la question peut se poser de suivre l'indication de cheminement (serrer à droite) ou du panneau directionnel ("La Défense Centre" à gauche). Précisons que le panneau du deuxième point de décision n'est pas visible au niveau du point « A »).

Notons la portée plus générale de cette problématique:

Avec le progrès technique (ici l'adjonction et l'exploitation d'une base de données de panneaux au système de guidage par cheminement) l'aide peut devenir beaucoup plus adaptée aux besoins (cf. chapitre III).

A l'inverse la complexité technique entraîne aussi plus de risques relatifs à la sûreté de fonctionnement (par exemple ici le risque de configuration avec des descriptions ambiguës ou contradictoires) qui sont, mêmes si leur probabilité d'apparition reste faible, évidemment très préjudiciables au système.

Ce type de problématique nécessite à la fois une étude sur la valeur ajoutée de la nouvelle aide (son *utilité*), ainsi qu'une autre sur les cas limites *de dysfonctionnement*, que la sophistication technique engendre.

5.1.3 Protocole

L'expérimentation a consisté à demander à huit conducteurs expérimentés, mais peu familiers des lieux, de parcourir deux trajets d'une vingtaine de kilomètres chacun où étaient référencés une douzaine de sites choisis pour leur complexité et pour la diversité des situations rencontrées (carrefours urbains et échangeurs de voies rapides). L'ordre de présentation des deux modalités du système (avec et sans adjonction à l'écran d'informations sur les panneaux directionnels) a été contrebalancé.

Au préalable une présentation succincte du système était donnée aux sujets, et une prise en main était opérée sur une dizaine de kilomètres.

Les conducteurs avaient pour consigne de suivre le guidage proposé sur chaque site, en respectant le code de la route, et en verbalisant (penser à haute voix) sur la manière d'opérer leur orientation et sur les éventuelles difficultés à manœuvrer.

Pour quatre sujets, un entretien approfondi d'autoconfrontation a été réalisé en utilisant une méthode de questionnement adaptée des entretiens dits "d'explicitation" (Vermersch 1994).

5.1.4 Recueil des données

En situation: Un enregistrement audio/vidéo a été réalisé tout au long du trajet. Cet enregistrement était composé de quatre vues vidéo synchronisées (sur le conducteur, sur la scène externe avant, sur le système et sur le pédalier) et de trois prises de son (conducteur, expérimentateur et synthèse vocale du système).

Lors des entretiens d'autoconfrontation: Le sujet était placé face à un moniteur vidéo de grande taille. Sur l'écran était présenté, en quadra vision, les vues vidéo enregistrées lors de la passation, à l'exception de celle présentant l'écran du système qui était masquée. La bande son enregistrée pendant la passation n'était pas non plus restituée au sujet. Les entretiens ont généralement eu lieu dans la semaine qui a suivi la passation.

Il s'agissait pour l'expérimentateur de faire défiler la bande vidéo jusqu'à l'arrivée aux sites, objets de l'étude. La vidéo était alors arrêtée et nous demandions au sujet de ré-évoquer la situation rencontrée à partir de ce moment (jusqu'à la fin de la traversée du site).

Le questionnement portait sur (inspiré de la méthode de questionnement de Vermersh 1994):

le déroulement temporel de l'action, avec des questions du type:

- à partir de ce moment là (arrêt image) qu'est ce que vous avez fait?
- et ensuite ?

les prises d'informations :

- qu'est ce que vous avez pris en compte ?, qu'est ce que vous avez vu ou entendu ?

les prises de décisions

- quand / comment vous êtes vous décidé ?

les vérifications opérées

- comment saviez vous: que vous vous étiez trompé? - que vous aviez suivi le bon chemin?

Nous faisions défiler la vidéo avant l'arrivée sur le site pour faciliter la remise en situation et, surtout, pour nous assurer que les verbalisations obtenues lors de l'évocation étaient bien rattachées au site spécifique objet de l'étude (en effet beaucoup de carrefours se ressemblent et des confusions peuvent exister).

Après cette phase nous refaisions défiler la vidéo et le sujet pouvait alors compléter ou préciser certains aspects. Notons que le son et la vue sur le "système" étaient occultés lors du défilement de manière à continuer à avoir, avec l'évocation, une description de ce qui s'était passé en situation et non des verbalisations explicatives, reconstruites à posteriori, que la bande son, ou la présentation des informations transmises par le système, pouvaient générer.

5.1.5 Dépouillement des données

A partir d'un pré-dépouillement et de l'analyse des quatre entretiens approfondis, nous avons réalisé trois grilles pour catégoriser la situation de guidage du conducteur par le système avec les deux modalités de passation (avec et sans adjonction du guidage par panneaux).

- Une première grille concernait la performance navigationnelle, nous y avons distingué six échelons, selon d'une part la présence ou non d'erreurs d'orientation (en incluant l'effet de ces erreurs qui pouvait être pénalisant ou non : c'est-à-dire provoquant ou non un détour important) et d'autre part les doutes rencontrés par l'utilisateur quant à la conformité des choix qu'il avait opéré par rapport à ce qui était prescrit par le système.

0: erreur orientation pénalisante non consciente (ErrPénNcs)

1: erreur orientation pénalisante consciente (ErrPénCs)

2: erreur orientation non pénalisante non consciente(ErrNPénNcs)

3: erreur orientation non pénalisante consciente (ErrNPéncs)

4: pas d'erreur mais doute à l'issue du passage (SsErrDo)

5: pas d'erreur d'orientation sans doute à l'issue du passage (ssErrSsDo)

Le codage par cette grille s'est donc fait à partir de données provenant de la comparaison entre l'itinéraire planifié par le système (itinéraire prescrit) et l'itinéraire réellement suivi en situation par le conducteur ; ainsi qu'à partir de données verbales (expression de doute).

- Une deuxième grille concernait la compréhension du guidage par le conducteur

0: détection d'un conflit majeur dans les prescriptions = pas de compréhension de la situation (Conflit)

1: traitement très parcellaire des informations = compréhension limitée au traitement sélectif de certaines données simples (CompLim)

2: difficultés à recouper les sources informationnelles = compréhension tardive (CompTard)

3: effort d'attention important mais sans difficultés majeures (formule néanmoins une critique à l'égard du système) = compréhension non immédiate (EffortAtt)

4: aucun problème évoqué = compréhension aisée de la situation (RASComp)

5: trouve le système particulièrement performant = identifie une caractéristique du système qui a particulièrement facilité la compréhension (CompFac)

Le codage par cette grille s'est fait à partir de données verbales.

- Enfin une troisième grille concernait la gestion de la manoeuvre en amont et lors de la traversée de l'intersection

0: faute importante vis à vis du code de la route (feux, lignes continues...) associée ou non à une manoeuvre d'urgence (FauteCond)

1: manœuvre d'urgence sans faute de code (changement brusque de file et/ou freinage tardif) (ManUrg)

2: gêne du trafic sans vraiment de prise de risque (a par exemple obligé un véhicule à ralentir, ce qui est souvent associé à un coup de klaxon ou à un appel de phare) (GênTraf)

3: pas de gêne du trafic mais le comportement est hésitant et/ou le conducteur dit avoir dû privilégier la sécurité (simpHés)

4: aucun problème évoqué (ManRAS)

5: le conducteur mentionne une caractéristique du système qui a facilité la manœuvre (ManFac)

Le codage par cette grille s'est fait à partir de données comportementales (e.g.: les fautes de codes , les hésitations visibles au niveau du pédalier, les difficultés d'insertion dans le trafic) et/ou verbales.

Par ailleurs, d'autres observables ont été retenus :

le nombre de fixations oculaires à l'écran par message affiché pendant la traversée des sites (indicateur de charge visuelle)

la vitesse de traversée du site

Nous avons aussi relevé des éléments sur le trafic et sur les arrêts aux feux de manière à contrôler la validité de nos comparaisons en terme de sollicitation visuelle de l'écran (les fixations à l'arrêt ne sont pas comptabilisées) et de vitesse de traversée des sites (qui dépend bien entendu aussi du trafic).

5.2 RESULTATS

Un récapitulatif des résultats obtenus aux grilles d'analyse site par site est proposé en annexe 4.

5.2.1 Comparaison des performances navigationnelles

En ce qui concerne la performance navigationnelle (fig. 20), nous n'avons pas observé d'amélioration globale. Le taux d'erreurs reste assez important sur les treize sites étudiés (environ 30% dont 20% d'erreurs dites pénalisantes), il est à peu près identique dans les deux situations (avec et sans guidage par panneaux).

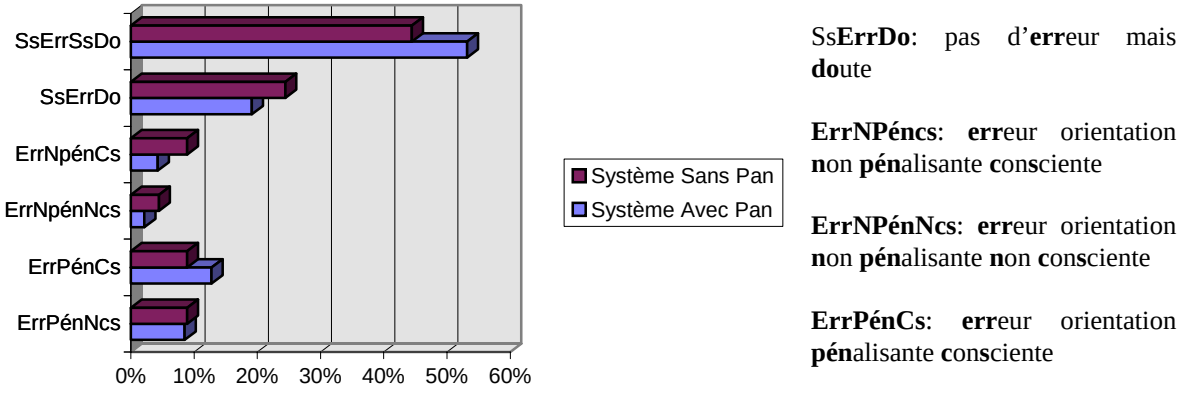
Trois interprétations peuvent expliquer ce résultat :

D'une manière générale, les systèmes de guidage sont des systèmes relativement complexes qui nécessitent un apprentissage assez important, or, pour des raisons matérielles, la phase de prise en main proposée dans l'expérimentation était trop courte.

Deuxièmement, sur certains sites complexes, le guidage par panneaux n'était pas encore pleinement opérationnel (ce qui a donné lieu ultérieurement à un complément de spécifications Moussa and al 1998).

Enfin et surtout, les résultats sont évidement tributaires du choix de l'itinéraire expérimental qui était ici aussi particulièrement complexe (proche de celui proposé au chapitre IV).

C'est donc plus la valeur relative des résultats (comparaison avec et sans panneaux) qui est pertinente, que la valeur absolue.



ss**ErrSsDo**: pas d'**er**reur d'orientation **s**an**s** **do**ute

Ss**ErrDo**: pas d'**err**eur mais **do**ute

ErrNPéncs: **err**eur orientation **n**on **pén**alisante **c**on**s**ciente

ErrNPénNcs: **err**eur orientation **n**on **pén**alisante **n**on **c**on**s**ciente

ErrPénCs: **err**eur orientation **pén**alisante **c**on**s**ciente

ErrPénNcs: **err**eur orientation **pén**alisante **n**on **c**on**s**ciente

Figure 20 : Comparaison des résultats sur la performance navigationnelle (avec et sans adjonction des panneaux)

En termes comparatifs, il y a donc sensiblement plus de bonnes orientations qui se réalisent sans *doutes* de la part du conducteur (SsErrSsDo=53%) quand il y a un guidage avec panneaux contre seulement 44% quand le guidage se fait sans l'usage des panneaux. A l'inverse on observe plus de *doutes* avec le système sans la modalité "panneaux" (23%) qu'avec (18%).

C'est un point très positif surtout si nous admettons qu'un conducteur ayant une meilleure conscience des réussites et des échecs quant à son orientation aura plus de facilité à faire l'apprentissage du système.

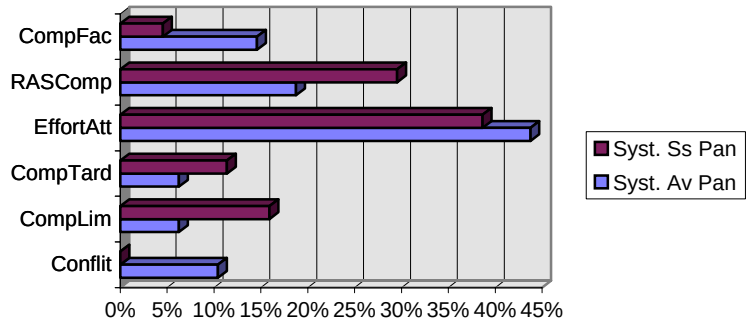
5.2.2 Comparaison quant à la compréhension de la situation

En ce qui concerne le niveau de compréhension de la situation, on a observé des résultats beaucoup plus contrastés (cf. fig. 21) dans les cas d'utilisation du guidage avec panneaux (par rapport aux cas d'utilisation sans).

D'un coté les résultats montrent que dans 15% des cas le guidage associé au guidage par panneaux est perçu comme particulièrement performant (contre 5% dans l'autre cas).

L'analyse des verbalisations montre que c'est surtout la bonne correspondance des distances entre les panneaux de pré-signalisation et celles affichées à l'écran qui renforce cette perception de performance du système (S4 site 5, S6 site 9, S7 site 7&11, S8 site 9).

Notons aussi que les sujets ayant commencé l'expérimentation avec la modalité « panneaux » disent au moins une fois avoir regretté leur absence sur la deuxième partie de l'itinéraire.



- **CompFac**: identifie une caractéristique du système qui a particulièrement **fac**ilité la c**omp**réhension
- RASComp: aucun problème particulier
- E**ffort** d'**Att**ention mais sans difficultés majeures (formule néanmoins une critique à l'égard du système)
- **Comp**réhension **Tard**ive: difficultés à recouper les sources informationnelles
- **Comp**réhension **Lim**itée au traitement sélectif de certaines données simples
- **Conflit**: détection d'un conflit majeur dans les prescription

Figure 21 : Comparaison des résultats sur la compréhension du guidage

A l'inverse, il y a eu 10% des cas (5 cas sur cinquante) ou une incohérence majeure dans le guidage est apparue au conducteur dans la modalité "avec panneaux "[24] (contre 0% dans le cas du guidage sans panneaux où les doutes quant à la direction à suivre étaient attribués à un manque de précision du système plutôt qu'à une incohérence des informations traitées).

Nous verrons (§ 5.2.3) que ces 10% de cas ont eu un impact négatif limité en terme de sécurité sur la population testée. Il est intéressant de souligner ici que, paradoxalement, la situation où il y avait une erreur de codage de la base de données panneaux (site 12) n'a généralement pas été identifiée en tant que telle par les conducteurs, alors que la situation sur les sites 2,3,4 a été identifiée par tous les sujets comme incohérente bien que d'un point de vue purement technique (base de données cartographiques et panneaux), il n'y avait pas d'erreur de codage.

Cela montre bien que pour un certain niveau de détail d'analyse, l'étude des incohérences et de la sûreté de fonctionnement ne peut être faite qu'à partir de données empiriques.

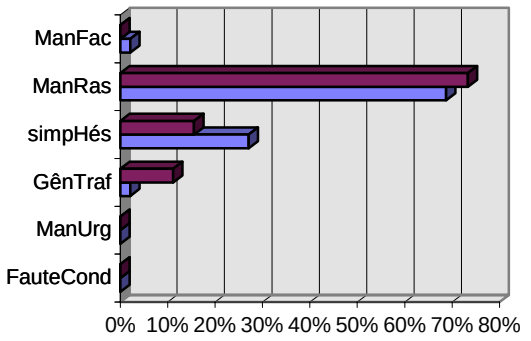
[24] Notons que le caractère élevé de ce pourcentage (10%) s'explique en partie par la complexité un peu artificielle du trajet expérimental, où nous cherchions à analyser grâce à cette relative complexité, un certains nombre de cas de "conflits de prescription".

5.2.3 Comparaison quant aux manœuvres

Concernant les résultats relatifs aux manoeuvres (fig. 22), nous n'avons observé aucune situation critique (fautes graves de code ou manœuvres d'urgence), lors des huit passations.

C'est un résultat qui est positif, même si il est difficile à généraliser.

Il est par ailleurs conforme à ce qui avait été observé lors des expérimentations CITIES (cf. chapitre IV) où le nombre de fautes de codes et de manoeuvres tardives était sensiblement moins importante lors de l'utilisation du système de guidage que durant l'utilisation d'une carte papier.



-**ManFac**: le conducteur identifie une caractéristique du système qui a **fac**ilité la **man**œuvre
-**ManRAS**: aucun problème évoqué
- simp**Hés**: pas de gêne du trafic mais comportement **hés**itant
- **Gên**e du **traf**ic sans vraiment de prise de risque
- **Man**œuvre d'**Urg**ence sans faute de code (freinage ou cht file tardifs)
- **Faute**Cond: **faute** importante vis à vis du code de la route (feux etc.)

figure 22 : Comparaison des résultats sur la facilité à manoeuvrer

L'un des objectifs de cette expérimentation était d'avoir une compréhension, de ce qui se passait pour le conducteur, lorsque le guidage du système n'apparaissait pas cohérent (c'était essentiellement le cas sur les sites 3 et 12)

Même dans ces cas extrêmes nous n'avons pas observé de prise particulière de risque par les conducteurs (fig. 23).

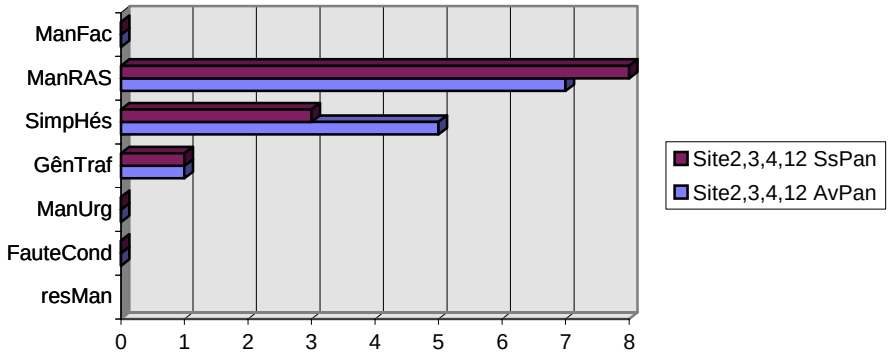


Figure 23 : Comparaison des résultats sur la facilité à manœuvrer pour les sites de guidage "non concordants" (en nombre d'occurrences)

Les entretiens réalisés après la conduite (Sujets 1,2,6 et 8) nous permettent de comprendre ce résultat. En effet, deux grandes stratégies ont été mises en place par les conducteurs pour gérer les situations de ce type :

Soit ils font le choix de prendre la solution la moins coûteuse et la moins risquée en terme de manœuvres (en évitant les changements de voies cf. exemples : sujet 2 sites 1 & 3 ; sujet 8 sites 6 et 12; sujet 1 site 2).

Soit ils font le choix de ne traiter que les aspects les plus élémentaires du guidage (en particulier le message vocal et la distance) sans tenir compte des autres informations (exemples : sujet 6 site 12, sujet 2 site 12, sujet 8 site 3). Cette deuxième stratégie peut être mise en parallèle avec des résultats d'études en avionique ou Amalberti (1996) relate comment des pilotes experts accepteraient de ne pas tout comprendre sur l'évolution d'aspects de la situation qu'ils savent estimer secondaires.

Dans les deux cas un tel conflit dans les prescriptions d'action entraîne souvent des erreurs d'orientation mais avec un impact négatif limité sur la manœuvre. Cela ne veut évidemment pas dire qu'il n'existe pas un caractère potentiellement accidentogène à présenter des messages "panneau" et "cheminement" non concordants, cela indique simplement que l'impact en terme sécuritaire est moins fort que ce que l'on pouvait craindre a priori.

Notons encore qu'un travail de spécification logiciel (Moussa ; Forzy 98), qui s'est fait à partir de l'analyse détaillée de situations de ce type, a été entrepris pour circonscrire les risques d'occurrence de ces anomalies.

Mis à part ce point spécifique, de survenue d'incohérence dans le guidage, nos résultats montrent que le guidage avec panneaux fait apparaître sensiblement moins de situations de ″gêne des autres usagers de la route″ (gêne du trafic) que la situation de guidage sans les panneaux.

En effet si on reprend les six situations où il y a eu gêne du trafic (sujet1 site13, sujet 2 site 9, sujet 3 site11, sujet 4 site 10, sujet 5 site 3, sujet 7 site 12), cinq sont survenues alors que le guidage était sans panneaux.

Nous expliquons ces résultats dans la mesure où ces gênes sont souvent consécutives à des difficultés du conducteur à se rabattre sur la bonne file (sujet1 site13, sujet 2 site 9, sujet 3 site11) or ces difficultés, par un meilleur suivi des voies de pré-signalisation en amont , s'atténuent fortement avec le guidage par panneaux.

5.2.4 Comparaison des nombres de fixations oculaires portées sur l'afficheur

En complément de l'analyse réalisée à partir des trois grilles concernant: la performance navigationnelle ; la compréhension de la situation ; et la facilité à manœuvrer ; nous avons réalisé un dépouillement systématique du nombre de fixations oculaires à l'écran, par message affiché pendant la traversée des sites, ainsi qu'un relevé de la vitesse moyenne pendant cette traversée (cf. annexe 5).

Tableau 5 : Comparaison du nombre moyen par message de fixations oculaires sur l'écran selon l'ordre de présentation des deux configurations

trajet configuration Panneau	Trajet1 Avec	Trajet2 Sans	total groupe1 S1à4	Trajet1 Sans	Trajet2 Avec	total groupe2 S5à8
Total Moyenne Nbr fix	**5,43**	**4,27**	4,83	**4,13**	**3,86**	3,99
Total Ecartype Nbr fix	3,10	3,44	3,31	3,67	4,30	3,99
Total Moyenne Vit moy	43,09	35,58	39,17	44,15	38,84	41,34
Total Moyenne trafic	1,44	1,89	1,67	1,09	2,36	1,76
Total NB de messages	32,00	36,00	68,00	32,00	36,00	68,00
Total Somme	13,00	9,00	22,00	10,00	9,00	19,00

arr feux					

En ce qui concerne la charge visuelle, la comparaison la plus intéressante est relative à l'effet de l'ordre de présentation des dispositifs (avec ou sans adjonction des messages de guidage) sur l'évolution du nombre moyen de fixations à l'écran par message.

En effet il est intéressant de constater que la différence du nombre moyen des fixations est importante pour le groupe 1 (modalité avec panneau en premier = + 1,16) alors qu'une telle différence ne s'observe plus pour le groupe 2 (présentation de la modalité avec panneau en deuxième = - 0,27).

Cela montrerait que l'adjonction d'une nouvelle information à l'écran n'augmenterait la charge visuelle que dans une première phase d'utilisation. Cet effet disparaîtrait au fur et à mesure de l'appropriation du système par l'usager et une meilleure identification par ce dernier des informations pertinentes à traiter en fonction des caractéristiques du site.

Premières conclusions du chapitre V

a) Evaluation de l'apport que représente l'adjonction du guidage par panneau

Cette adjonction amène globalement les évolutions suivantes:

Moins de doutes du conducteur, à l'issue du passage, quant au choix d'orientation effectué : c'est un point important, surtout si nous admettons qu'une meilleure conscience du conducteur, sur ses réussites et échecs d'orientation, favorisera l'apprentissage du système.

Amélioration de la compréhension des messages de guidage en situation: cela est apparu au travers des verbalisations où les sujets ont identifié l'adjonction des panneaux comme élément facilitant la compréhension de ce qui était prescrit.

Amélioration de la gestion de certaines manœuvres : moins de gênes du trafic ont en effet été observées lors de l'ajout du guidage par panneaux. L'analyse indique que cela provient essentiellement d'une meilleure prise en compte par le conducteur des panneaux de pré-signalisation sur les sites rapides.

Nous n'avons toutefois pas observé d'amélioration de la performance navigationnelle dans la mesure où, dans l'état du logiciel, le guidage par "panneaux" et par "cheminement" n'apparaissaient pas, dans un certain nombre de cas complexes, concordants (cf. résultats de la partie b- concernant les conflits de prescriptions). Cela contribue fortement au taux important d'erreurs d'orientation (30% des cas sur les sites complexes étudiés).

Enfin, il apparaît que l'ajout du guidage par panneaux n'augmente la charge visuelle (calculée en nombre moyen de fixations à l'écran par message) que sur la première partie de l'itinéraire. Il apparaît aussi que ce différentiel tend à s'inverser sur la deuxième partie.

Ceci est probablement dû au fait que les conducteurs développent des stratégies de sélection dans le traitement des informations de guidage en fonction de la situation, et que l'élaboration de ces stratégies (nécessairement plus complexes dans le cas de l'adjonction du guidage par panneaux) nécessite un temps d'apprentissage.

Il est même envisageable qu'un essai plus long aurait pu nous permettre d'observer, à terme, une baisse notable du nombre de consultations de l'écran dans le cas de l'adjonction du guidage par panneaux.

b)Résultats (en terme sécuritaire) de l'étude sur les situations de "conflit de prescriptions"

Nous entendons par ″conflit″ les situations où le conducteur perçoit une incohérence entre les différentes prescriptions de guidage (par exemple le guidage par cheminement serait interprété comme prendre à droite alors que le fléchage par panneau indiquerait en face).

Il est intéressant de noter que ces conflits ne sont pas toujours associés à des erreurs de codage de la base de données, mais le plus souvent à des problèmes d'interprétation en dynamique de la situation par le conducteur.

Cependant, quelque soit l'origine du conflit, deux grandes stratégies sont apparues mises en œuvre par les sujets:

Soit ils choisissaient la solution la moins coûteuse en termes de manœuvres et de risques (économie d'actions)

Soit ils filtraient l'information en se centrant sur les aspects les plus élémentaires de la description (économie de traitements).

Cela explique à notre avis le peu d'impact négatif que ces situations ont eu sur la gestion de la manœuvre.

Un travail de spécification fonctionnelle, s'appuyant sur l'analyse détaillée de cas concrets, a pu être réalisé (Moussa & al 98). Il n'en demeure pas moins, qu'intrinsèquement (ne serait ce qu'à la suite de problèmes de mise à jour des bases de données) de telles situations peuvent potentiellement être

générées par ce type de système ; d'où l'intérêt de cette partie de l'étude, qui examine (au moins qualitativement) l'impact de ces contradictions sur le conducteur.

CHAPITRE VI : BILAN DES ETUDES SUR LES ARTEFACTS NAVIGATIONNELS. RE-INTERPRETATION DES RESULTATS DANS LE CADRE DE L'APPROCHE INSTRUMENTALE

Dans ce chapitre nous allons ré-examiner, au travers du paradigme instrumental, notre approche et nos résultats exposés dans les trois études précédentes.

Il s'agit, par une démarche de réflexion a posteriori, de dégager de nouveaux enseignements à partir de nos premiers résultats d'études et, surtout, de tester le paradigme instrumental comme méthode opérationnelle pour identifier des invariants de conception dans la diversité de la problématique des artefacts embarqués.

Au premier chapitre nous avons repris la notion *d'instrument*, comme entité combinant un artefact et ses schèmes d'utilisation, et la notion de *médiatisation* des relations du *Sujet* à *l'Objet de son activité* par le dit *Instrument*. Nous avons aussi proposé de distinguer dans un même modèle tripolaire deux "faces" de description de la situation d'action instrumentée: l'une dite "comportementale", l'autre dite "psychologique",

Nous avons aussi vu au second chapitre comment la relation du Sujet à *l'Espace de déplacement* (i.e. le pôle Objet de la face *comportementale*) était constituée d'un certain nombre de *contraintes de l'activité* s'exerçant sur le Sujet en situation, et à ce titre dimensionnantes pour la conception.

C'est donc avec le détail de ce cadre d'analyse que nous nous proposons de ré-interpréter nos résultats d'études sur la navigation. Nous nous proposons de procéder en plusieurs étapes:

Une première consistera à identifier les pôles Sujet, Espace de travail, Artefact et à donner un rapide descriptif des liens entre ces pôles.

Une deuxième étape consistera à discuter de la nature des schèmes d'action instrumentée observés au cours de ces trois études.

Enfin une dernière partie consistera à remettre en perpective nos trois recherches, à en dégager certains invariants, et à montrer comment ces trois études peuvent être vues comme des focalisations différentes sur des éléments d'un même cadre d'analyse instrumentale.

Au préalable nous proposons un rapide bilan des principaux résultats des trois études exposées sur lesquelles vont porter l'application de ce cadre d'analyse.

Une première problématique ergonomique a été de définir, au travers de l'étude sur le copilotage humain, le contenu des prescriptions de guidage à fournir au conducteur.

L'approche que nous avons choisie à consister à prendre pour situation de référence les prescriptions fournies par des passagers humains amenés à guider le conducteur le long d'un itinéraire complexe.

Deux raisons nous ont conduit à ce choix :

Il s'agit d'une situation de référence pour l'utilisateur du futur système : Etre guidé par un copilote humain est une situation usuellement rencontrée par n'importe quel conducteur. En utilisant des prescriptions tirées de cette situation, nous espérons être plus proche de ses attentes.

Il s'agit d'une situation de référence pour le concepteur : Il ne s'agit bien évidemment pas d'avoir une copie conforme par l'artefact de ce qui est produit par les copilotes humains (les interprétations de la situation opérées par le copilote humain sont beaucoup trop complexes pour être réalisées par une machine), mais plutôt d'avoir une source de réflexion à appliquer de manière circonstanciée selon les évolutions technologiques. Par exemple une famille donnée de prescriptions (les guidages « par panneaux ») n'a pas pu être intégrée dans une première version de l'artefact mais l'a été ultérieurement (cf. chapitre V) ce qui permet d'illustrer un impact à court et moyen terme des résultats de la première étude.

En résumé sur cette étude du copilotage humain : Une typologie des prescriptions a été réalisée en 13 sous classes, qui différent essentiellement selon le caractère plus ou moins spécifique de la description et le type d'éléments contextuels utilisés. L'élément fondamental pour la conception a été de nous permettre de disposer d'un "vivier" assez exhaustif de prescriptions, au regard de la diversité des carrefours étudiés, associé à des indications sur les fréquences d'occurrences des prescriptions.

Sur cette base de données empiriques une réflexion, validée en terme d'analyse du besoin, a pu avoir lieu sur l'opportunité de leur implémentation.

Une deuxième étude a ensuite été entreprise sur les effets (sur la conduite et sur les performances navigationnelles du conducteur) de la production des prescriptions par l'artefact computationnel. La situation de référence a été cette fois l'utilisation d'un artefact plus élémentaire qu'est la carte papier.

Principaux résultats de la deuxième étude:

L'effet positif de l'aide s'est davantage matérialisée sur la conduite que sur la performance navigationnelle. Cela peut, de prime abord, apparaître paradoxal, car dans l'esprit des concepteurs il s'agissait plus d'assister la tâche navigationnelle, sans perturber la tâche de conduite, que d'améliorer cette dernière. De ce fait nous nous attendions plutôt à une amélioration des performances navigationnelles qui pouvaient être ponctuellement associées à une détérioration de la conduite. Les

résultats sont allés à l'opposé de cette attente: Pas d'amélioration notable des performances sur la navigation mais de meilleurs résultats sur la conduite.

Ce constat a engendré l'hypothèse interprétative suivante : l'artefact, en tant qu'instrument cognitif évolué, a déchargé le conducteur d'une partie de son activité mentale associée à la tâche de navigation. Cela a permis de libérer des ressources attentionnelles qui ont été, pour une question probablement de gestion du risque, prioritairement réinvesties dans la conduite. Nous verrons comment d'autres interprétations de ce résultat peuvent apparaître par l'application de notre nouveau cadre d'analyse.

Enfin dans la troisième étude il s'agissait de réaliser un nouveau cahier des charges fonctionnel du guidage de manière à améliorer la prestation sur les sites complexes.

Cela a abouti a une première évolution de l'artefact qui intégrait une nouvelle sous classe de prescriptions dites de "guidage par panneaux".

Les évolutions technologiques rendaient en effet possible la constitution et l'exploitation d'une base de données cartographiques où sont répertoriées, sur certains sites, les informations directionnelles fléchées.

Dans le but de simplifier le problème d'implémentation de la fonction, les concepteurs ont pensé ne présenter que l'information sur le dernier panneau (ou l'un des panneaux quand plusieurs directions sont fléchées pour une même voie de sortie) correspondant à la fin du cheminement prescrit.

Il s'agissait donc d'associer deux types de prescriptions (comme « suivre la deuxième à droite » et « prendre vers Boulogne »).

Malheureusement cela a posé certains problèmes d'interprétation par le conducteur sur les sites complexes. Un exemple simple a été présenté cf. fig.19 qui montre que selon la complexité de la situation, l'association des prescriptions peut générer des conflits si la continuité du fléchage n'est pas assurée par rapport aux différentes étapes du cheminement.

L'expérimentation a montré que face à ces situations conflictuelles, deux types de stratégies ont été mises en place par les conducteurs.

Soit la situation est perçue comme trop complexe, alors seules les prescriptions les plus élémentaires (i .e. les moins contextualisées comme "tournez à droite dans 500m") sont prises en compte (il n'y a plus alors de conflit puisqu'il n'y a pas de tentative de recoupement entre les différentes prescriptions).

Soit la situation est réellement perçue par le conducteur comme conflictuelle (i.e. le recoupement des prescriptions aboutit à une contradiction), dans ce cas la prescription qui conduit à la manœuvre la plus simple (c'est-à-dire aussi la moins accidentogène) est sélectionnée.

Ce résultat a corroboré les résultats de notre deuxième étude en montrant qu'un niveau supérieur de régulation se mettait en place chez les conducteurs pour privilégier la sécurité plutôt que les performances navigationnelles telles que nous les avons mesurées. Nous allons voir comment ce résultat peut s'interpréter avec le paradigme instrumental.

6.1 Interprétations à l'aide du cadre instrumental de la problématique des aides au guidage

Les artefacts de guidage ont la caractéristique de traiter de l'information spatiale et de présenter des prescriptions d'actions à un conducteur pour l'aider à s'orienter en situation. Ils constituent de ce fait des instruments cognitifs qui prennent une part importante dans l'activité mentale du conducteur .

Discussion sur le pôle Sujet des trois expérimentations:

Dans nos trois études le pôle Sujet est constitué de conducteurs participant à une expérimentation. Ces sujets ont deux caractéristiques communes importantes pour mettre ces trois études en perpectives:

- Il s'agit de conducteurs confirmés (minimum deux ans d'expérience de conduite)

- Ils devaient bien sûr ne pas connaître les lieux de l'expérimentation (i.e. ne pas être familier des lieux de l'itinéraire du protocole expérimental).

Dans la première étude, conduite dans un cadre universitaire, il s'agissait essentiellement d'étudiants et d'enseignants chercheurs; dans la deuxième il s'agissait de clients potentiels du système qui avaient été recrutés selon des critères marketing correspondants; enfin dans la troisième il s'agissait d'employés du personnel Renault.

Soulignons la caractéristique propre des sujets de la deuxième expérimentation qui avaient eu en prêt le système pendant une semaine. Bien que le processus de genèse instrumentale n'a pas pu être directement étudié, nous considérons qu'au travers de cette semaine de prêt une construction instrumentale avait pu avoir lieu et que donc, au moins par certains côtés, les observations effectuées l'ont été sur la base d'un instrument déjà constitué (c'est-à-dire d'un artefact associé à des schèmes d'utilisation déjà stabilisés).

Discussion sur le pôle Objet:

Nous avons proposé dans le premier chapitre de distinguer deux faces au pôle Objet (cf. fig. 7) : celle dite *psychologique* constituée pour l'essentiel des *Objectifs de l'action* et celle dite *comportementale* constituée de l'Espace de Travail sur lequel porte l'action (c'est-à-dire ici l'Espace de Déplacement).

Au niveau de la face Comportementale du pôle Objet (i.e. l'espace de déplacement) il existe une réelle homogénéité entre nos trois études dans la mesure où les itinéraires poursuivis étaient très proches: Il s'agissait d'une même zone urbaine avec des tronçons et des places souvent communes (cf annexe 2 pour une description d'un itinéraire de la deuxième expérimentation). A un niveau *macroscopique* nous pouvons donc dire que les éléments sur lesquels portaient l'activité de conduite étaient proches: les sites, la chaussée, la signalisation et le trafic (les créneaux horaires des passations avaient été aussi choisis dans ce sens).

Par contre à un niveau *microscopique*, il est bien entendu que la multitude des variations qui composent les situations de conduite naturellement rencontrées limite foncièrement cette relative similarité.

De même à un niveau de description macroscopique du pôle Objet de la face *psychologique* cette fois (i.e. les Objectifs poursuivis), nous retrouvons une similarité forte entre les situations proposées dans les trois études au travers des consignes expérimentales fournies (suivre autant que faire se peut les prescriptions fournies tout en privilégiant la sécurité de conduite).

Notons que pour ce qui est de la description fine de ce pôle une première analyse des stratégies des conducteurs pour s'orienter a été obtenue sur les principaux sites expérimentaux de la deuxième étude avec, dans la troisième étude une "mise en mots" beaucoup plus fine au travers des entretiens d'autoconfrontation (cf. § 5.1.4). Ainsi, une explicitation des réflexions suivies en situation par le Sujet a été obtenue permettant l'identification de stratégies de haut niveau ne concernant pas seulement l'activité de navigation mais la gestion globale de la conduite en fonction des situations rencontrées (notamment celles conflictuelles).

Discussion sur le pôle Artefact/Instrument

La première étude sur le copilotage humain pose un problème très spécifique de positionnement des copilotes dans le modèle. Deux points de vue peuvent ainsi être considérés:

- Soit il s'agit de placer les copilotes comme éléments d'une Situation d'Activité Collective Instrumenté (cf. fig 24), en tant qu'*"Autre Sujet"*.

Cela nous amène alors à considérer le pôle artefact comme un *instrument sémiotique* (un équivalent de *"langage opératif"* : Falzon in Montmollin 1992) de communication conducteur-copilote où ces

couples (conducteur-pilote) ont pour Objectif commun de s'orienter vers une destination donnée par l'expérimentation.

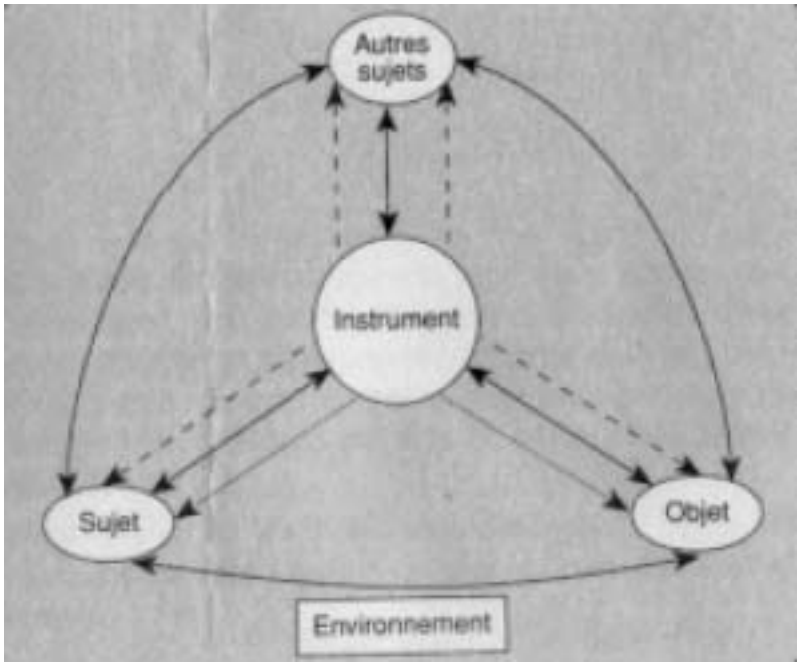


Fig 24 : modèle quadri-polaire des Situations d'Activité Collective (Rabardel 1995)

Ce modèle aurait par exemple été approprié pour l'analyse de régulations discursives adoptées par le co-pilote selon sa perception de l'environnement et selon des *signes de disponibilité et de compréhension* émis par le conducteur (de manière à faire "coïncider" les prescriptions d'action planifiées avec la perception directe de la situation à un moment opportun pour le conducteur).

L'autre alternative pour modéliser la situation avec le cadre instrumental consiste à placer le copilote dans le pôle Artefact. En effet notre objectif pour cette étude exploratoire consistait essentiellement à obtenir un "panorama" suffisamment exhaustif des prescriptions d'actions fournies en dynamique par un copilote, sans pour autant analyser dans le détail les modalités précises de transmission de ces informations.

Cette limitation dans l'étude était due au fait que nous considérions que les capacités d'analyse en situation du copilote excéderaient sur biens des plans les capacités d'un copilote électronique sans bien même qu'il nous soit nécessaire d'identifier précisément ces différences.

En effet, connaître l'ensemble des prescriptions données par les copilotes avec un minimum d'indications sur leur contexte de survenue nous apparaissait être le minimum suffisant pour une investigation des besoins du conducteur en prescription de guidage qui puissent à terme faire l'objet d'une assistance artificielle.

Cette réduction dans l'analyse des productions du copilote nous parait justifier le fait de ne pas introduire un nouveau pôle "autre sujet" en restant sur un modèle tripolaire.

En définitive, même si idéalement la représentation quadripolaire proposée par Rabardel & Beguin (fig. 24) apparaît plus appropriée pour mettre en perpective la coopération Conducteur/Copilote, il est clair que nous avons opéré une réduction importante où le copilote n'était analysé que dans sa dimension de producteur de messages sans analyse précise des conditions de cette production, en particulier sans analyse de la coopération Conducteur-Copilote. Soulignons que cette discussion sur le modèle instrumental a permis de préciser les contours de cette réduction.

Dans les deux études suivantes, le pôle artefact est constitué de deux versions de systèmes embarqués de navigation. La première étude consistait à valider le système avant une première phase de commercialisation, la deuxième correspondait à étudier l'évolution dans le cycle de vie du système (matérialisée par une deuxième version).

En appliquant pour ces trois études le modèle Sujet - Artefact - Espace de déplacement à la situation de guidage par un artefact, nous obtenons pour la face comportementale du modèle le schéma suivant:

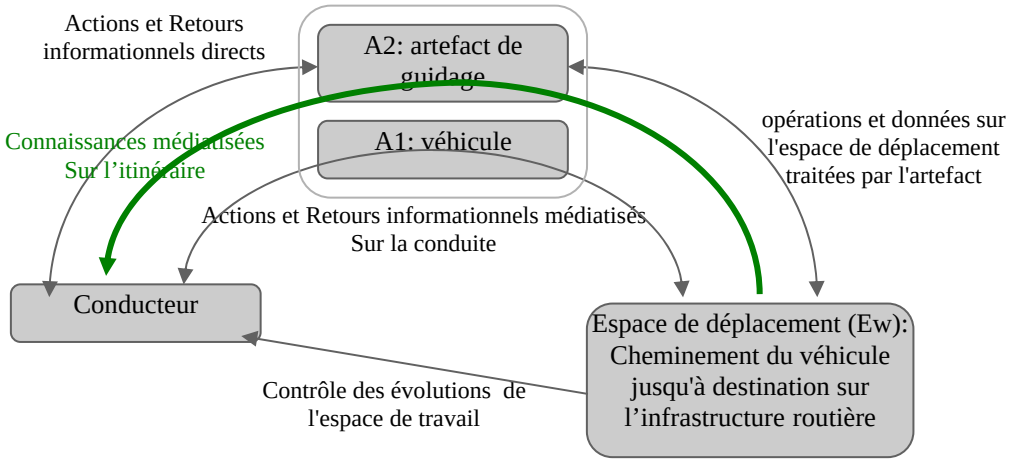


figure 25 : instanciation de la face comportementale du modèle à la situation d'activité navigationnelle instrumentée par un véhicule équipé d'un système de guidage

Les principaux échanges entre les éléments de la triade se résument comme suit :

Tab 6 : tableau récapitulatif des principaux liens entre les pôles du modèle

Liens :	Contenu des liens :
relation pragmatique S → A2	- Données sur la destination entrées par le conducteur (e.g. saisie d'adresse)
relation epistémique Ew → A2 → S	Informations transmises au Sujet sur: - la planification globale (e.g. affichage de la carte) **- le cheminement à suivre en situation (i.e. messages prescriptifs à chaque nœud de l'itinéraire)**
relation epistémique Ew → S	- Contrôle de l'avancement sur l'espace de conduite (Ew).
relation pragmatique S→A1→Ew	- Actions du conducteur sur l'Espace de Conduite au travers des instruments (e.g. volant pour le contrôle transversal, pédalier pour le contrôle longitudinal etc.)
relation epistémique Ew→A1→S	- Prises de connaissances du conducteur sur l'Espace de Conduite au travers d'instruments de conduite (e.g. surveillance de l'espace de conduite arrière au travers des rétroviseurs.)
Ew → A2	- Données sur la localisation traitées par le système au fur et à mesure de l'avancement (e.g. données recueillies par un capteur GPS, un compteur de tours de roue etc.)

N.B. : Le sens des relations « pragmatique » et « epistémique » a été défini en introduction à la figure 8 (chapitre II).

6.2 Discussion sur la nature des schèmes d'utilisation associés aux artefacts de guidage étudiés

En dehors de la décomposition tripolaire, nous avons vu que l'autre point majeur de l'approche instrumentale concerne la nature de l'instrument décomposée en deux éléments distincts: l'Artefact et les Schèmes d'Utilisation qui lui sont associés (cf. fig.1).

Dans ce cadre instrumental, les prescriptions transmises seraient donc traitées par le conducteur par *instanciation de schèmes* (que nous appellerons schèmes d'orientation), sur lesquels peuvent s'appliquer les propriétés Piagétiennes *d'assimilation* et *d'accommodation (cf. § 1.3).*

Dans cette perpective, notre première étude a posé, nous l'avons vu, le copilote comme *"instrument de navigation"* dans la mesure où nous l'avons étudié sur le versant restrictif de "machine à fournir des prescriptions" et où l'étude était focalisée sur le contenu de ces prescriptions.

Dans une perpective instrumentale donc, les *schèmes d'orientation* du conducteur s'appliquaient alors aux *prescriptions de guidage* émises par le copilote. Ces dernières pouvant être assimilées plus ou moins aisément par le conducteur selon la facilité d'interprétation de la prescription en fonction de la situation rencontrée (par exemple nous avons vu l'usage du "dénombrement" quand la situation était simple ou des prescriptions plus contextualisées par rapport au site quand le contexte routier se complexifiait).

Dans cette première étude, nous n'avons cependant pas étudié, en eux-mêmes, les schèmes appliqués par le conducteur à partir de ces prescriptions, ni même les effets détaillés de ces prescriptions sur la conduite.

Comme nous l'avons dit l'objectif premier de cette étude exploratoire était seulement d'obtenir une typologie des prescriptions.

Par contre en utilisant comme situation de référence le copilage humain nous avons cherché à identifier des stratégies de prescriptions communément utilisées, c'est-à-dire sur lesquelles puissent s'appliquer ce que Rabardel (1995) appelle des "*schèmes sociaux d'utilisation"*, en d'autres termes des schèmes partagés par une population donnée, nous parlerons alors de *schèmes sociaux d'orientation.*

Ceci est important dans la mesure où il s'est agi d'élaborer un produit *grand public*, ne devant pas nécessiter d'apprentissage particulier[25], et qui réponde aux attentes de l'utilisateur, c'est-à-dire qui soit suffisamment conforme aux moyens usuels dont ce dernier dispose pour se guider. L'un de ces moyens est l'usage de la carte papier, un autre est celui du copilotage humain, utilisé en référence dans cette première étude.

Pour nous résumer, en identifiant les modes usuels de prescriptions fournies par des copilotes humains, et en choisissant de s'en inspirer pour définir les modalités de guidage du système, nous avons posé le postulat que les schèmes d'orientation suscités par ces prescriptions puissent être des schèmes largement partagés dans la population des conducteurs (i.e. des schèmes sociaux d'utilisation) ce qui

[25] Notons à ce sujet l' exemple significatif du ″référentiel horaire″ (du type "prendre à 10 h") utilisé de manière marginale par certains copilotes humains. Malgré qu'il s'agisse d'une stratégie de guidage probablement très performante (c'est celle utilisée par les pilotes de Rallye) nous ne l'avons pas introduite dans la définition fonctionnelle du produit car elle induit précisément un schème d'orientation trop spécifique à une population experte donnée.

est évidemment très dimensionnant pour la définition d'un produit amené à être *Grand-Public* (cf. § 2.7).

La deuxième étude a montré l'impact que ces prescriptions pouvaient avoir sur la conduite.

Dans le cadre théorique de l'instrumentation des prescriptions par les *schèmes d'orientation*, nous pouvons relire nos résultats expérimentaux selon trois cas :

- Cas 1 : Le conducteur identifie aisément la voie de sortie du site prescrite par le système de guidage. Nous dirons alors que la prescription est facilement *assimilée* par le conducteur.

- Cas 2 : Le conducteur éprouve des difficultés à appliquer le cheminement prescrit par rapport à ce qu'il perçoit du site réel. La prescription ne permet pas alors une prise de décision aisée et cela se matérialise aux travers d'indicateurs comportementaux et d'une baisse de performance.

Dans notre étude, plusieurs indicateurs, de différents types, ont permis de rendre compte de ces difficultés d'assimilation :

Certains de ces indicateurs concernaient la tâche navigationnelle elle-même (comme l'expression de ″doutes″ quant à la conformité de ce qui a été suivi par rapport à ce qui a été prescrit) ou des indicateurs de performances plus globaux (comme le kilométrage parcouru ou la durée du trajet).

D'autres concernaient des problèmes de gestion de la conduite matérialisés par des *″fautes de conduites″* (e.g . freinage ou changement de voie tardifs) et/ou de "*codes*" (e.g. franchissement de lignes blanches, feux non respectés etc.).

- Cas 3 : Il s'agit de situations proches du cas 2 mais où ont été observées ce que nous avons appelé des ″erreurs d'orientation″ , c'est-à-dire des situations où il existait un écart entre ce qui était prescrit par le système et ce qui a été réellement suivi par le conducteur.

La consigne expérimentale précisant bien la priorité de suivre, autant que faire se peut, les prescriptions de guidage, nous considérerons qu'il y a eu alors un échec d'assimilation de la prescription.

Le tableau suivant résume ces différents cas d'assimilation et les effets sur les observables expérimentaux collectés.

Tableau 7: Récapitulatif des niveaux d'assimilation des prescriptions pour la deuxième étude.

Niveaux d'assimi-lation de la prescription	Effets observés liés à l'usage de l'artefact	Valeurs moyennes (par trajet avec système)	Valeurs moyennes (par trajet avec carte papier)	Significativité stastistique
Facilité d 'assimilation	La facilité d'assimilation s'est observée de manière globale avec les indicateurs généraux de performance navigationnelle :			T de Student appareillé
	- Kms parcourrus	13 (3.3)	(3.3)	n.s.
	- Durée du trajet	29' (4.8)	26' (9.9)	n.s.
Difficulté d'assimilation	Indicateurs navigationnels:			Test de Wilcoxon
	- Doutes	(2.05)	3.25 (2.49)	n.s.
	- Hésitations	2 (0.97)	(1.98)	n.s.
	Indicateurs sur la gestion de la conduite :			
	- Pbs de gest° de la conduite	1.1	0.25	significatif P<<.05
Echec d'assimilation	- Erreurs d'orientation	3.7	2.9	Test de Wilcoxon n.s.

Notons que les échelles d'opinions (cf.§4.4) corroborent ces résultats: Les difficultés d'assimilation dans le cas de la carte papier par rapport à la situation d'usage du système sont identifiées avant tout comme un problème de compatibilité de l'usage de la carte avec la conduite.

Commentaires :

La comparaison des problèmes d'assimilation entre les deux situations expérimentales (système versus carte papier) n'apparaît significative que sur les *observables liés à la conduite*, et non sur ceux *liés à la navigation.*

Nous observons donc moins de difficultés d'assimilation des prescriptions avec le système, mais cela s'est essentiellement matérialisé par une meilleure gestion de la conduite.

Bien que cette étude n'explorait pas en profondeur les mécanismes d'assimilation des informations d'orientation par les conducteurs avec la carte papier, il est néanmoins clair que ces mécanismes sont très différents selon que les prescriptions viennent du système ou sont déduites de la carte papier.

En effet plusieurs études (cf. étude bibliographique Forzy 1991) montrent la nature complexe des opérations cognitives qui sont nécessaires pour passer d'une information plutôt de type déclaratif (carte papier) à une information procédurale plus directement exploitable (par exemple une prescription d'action comme "prendre la deuxième à droite"). Cela serait en particulier dû aux problèmes de rotation mentale (Denis 1989) et de repérage de la localisation sur la carte qui seraient les principales raisons des difficultés d'assimilation observées globalement dans le cas de l'usage de la carte papier par rapport à l'usage de l'artefact computationnel.

Dans une autre étude (Marin-Lamellet and al 2001), il était demandé à un copilote ayant subi une lésion cérébrale importante de guider un conducteur alternativement avec une carte papier ou à partir des informations transmises par le système CARMINAT. L'objectif de cette recherche[26] était de voir si un artefact du type de CARMINAT pouvait intégrer les besoins spécifiques de personnes « cérébrolésées » qui sont souvent amenées à reconduire après réadaptation fonctionnelle. Les résultats montrent une amélioration très substantielle du guidage transmis par le copilote lorsque ce guidage s'est fait sur la base des informations fournies par le système.

Ce résultat vient confirmer notre hypothèse selon laquelle plusieurs opérations cognitives complexes seraient grandement facilitées avec le système. Cependant si ces résultats expliqueraient pourquoi il y a eu moins de difficultés d'assimilation avec le système, cela n'explique pas pourquoi dans notre étude cette amélioration s'est reportée sur les performances de conduite plutôt que sur celles de navigation.

Deux types de raisonnement peuvent rendre compte de ce phénomène:

- Soit nous raisonnons en termes de ressources, c'est ce que nous avons fait au chapitre IV, en expliquant que le système libérait des ressources du conducteur par rapport à la situation de l'usage d'une carte papier: cet apport se transférant alors préférentiellement sur l'activité de conduite plutôt que sur celle de navigation.
- Soit nous raisonnons en termes de contraintes, en suggérant que le système en desserre certaines par rapport à la situation avec la carte papier (par exemple le conducteur n'a plus à se localiser sur le plan puisque cette fonction est assurée par le système) et que ce desserrement de contraintes lui permet d'être plus performant pour la conduite.

Quoiqu'il en soit, que l'on raisonne en termes de libération de ressources ou en termes de desserrement de contraintes, il est remarquable que le système ait permis de mieux gérer les compromis de l'action entre la justesse de l'orientation et la sécurité de conduite.

[26] Cette étude s'est inscrite dans le cadre du projet européen TESCAN du 4ième PCRD : TELematic Standards and Co-ordination of ATT system in relatioN to elderly and disabled travellers.

Notre hypothèse serait que suite à l'instrumentation du système (le système avait été mis à disposition des sujets pendant toute une semaine de prêt) de nouveaux schèmes seraient appliqués de manière à gérer ces compromis.

En effet une caractéristique importante du système est d'être toujours localisé. Concrètement cela a pour conséquence qu'à chacune des "erreurs" d'orientation le système recalcule un nouvel itinéraire jusqu'à la destination. Cela veut dire aussi qu'une erreur d'orientation aura des conséquences relativement limitées puisque l'utilisateur reste guidé, même si l'itinéraire n'a pas été optimisé.

Ce n'est évidemment plus du tout le cas pour la carte papier, où une erreur d'orientation peut avoir un coût important (se relocaliser sur la carte, chercher un chemin, mémoriser éventuellement de nouveaux repères etc.).

L'identification par les sujets de cette caractéristique forte du système est apparue au travers de certaines verbalisations ("le système déstresse ", "il ne se perd pas" etc.), et par les échelles d'opinion (plus grande compatibilité avec la conduite).

Notre hypothèse serait qu'au cours du processus d'instrumentation, des schèmes de régulation se seraient construits chez l'usager pour exploiter cette caractéristique du système (i.e. le recalcul permanent de l'itinéraire) afin de produire un comportement plus sécuritaire (e.g. moins d'erreurs de conduite) plutôt que d'améliorer les performances de navigation (en terme par exemple de nombre d'erreurs d'orientation).

En d'autres termes les utilisateurs auraient préféré être plus approximatifs dans leurs orientations (sachant que les conséquences d'une erreur étaient limitées) de manière à être plus concentrés sur leur conduite et avoir un comportement plus adapté (par exemple en limitant les changements tardifs de voie, les sur ou sous-vitesses etc.).

Cependant, par rapport au travail réalisé dans le cadre de l'étude CITIES, notre investigation avait surtout été tournée vers des indicateurs comportementaux, plus aisément quantifiables (même si nous avons cherché à élargir le plus possible la "palette" des données recueillies). Comme nous allons le voir, c'est seulement lors de la troisième étude avec l'utilisation des entretiens d'auto-confrontation que nous avons obtenu une description précise des dits schèmes de gestion des compromis de l'action.

Dans la troisième et dernière étude, nous avons pu voir qu'avec une évolution du système (adjonction du guidage par panneau) la compréhension de la situation était facilitée. Facilitation qui s'est matérialisée par moins d'expressions de doute et par une meilleure conscience des "erreurs" c'est-à-dire des écarts entre l'itinéraire prescrit et l'itinéraire suivi (cf. figure 21).

Si le processus d'assimilation se traduit comme étant une action cognitive qui consiste à donner une signification à une situation instrumentée en lui appliquant un schème d'utilisation, nous pouvons dire que ce processus a été globalement amélioré avec cette deuxième version du système (i.e. avec adjonction des panneaux).

Cela c'est aussi traduit par une amélioration des indicateurs relatifs à la gestion de la conduite. L'interprétation de cette évolution est tout à fait similaire à celle que nous avons pu faire pour la deuxième étude où une amélioration du guidage décroît la complexité des situations rencontrées permettant une amélioration à un autre niveau de l'activité[27].

La troisième étude propose en parallèle une analyse détaillée des cas particuliers de non-concordance entre la prescription de cheminement et l'affichage du panneau à suivre.

Nous avons pu montrer que cela avait bien entendu un impact négatif sur les performances navigationnelles (en particulier les erreurs d'orientation) mais peu (i.e. beaucoup moins que ce que nous pouvions craindre a priori) sur la gestion et la sécurité de la conduite.

L'analyse des entretiens d'explicitation par auto-confrontation (cf § 5.1.4), que nous avons réalisés sur ces sites, ont pu mettre en évidence l'émergence de deux stratégies mises en place par les conducteurs dans ces situations de conflits de prescriptions (cf. § 5.2.3) :

- L'une consistait à ne se focaliser, en négligeant les autres, que sur certains aspects élémentaires des informations de guidage (stratégie dite *d'économie de traitement*)
- L'autre consistait à choisir la prescription la moins coûteuse en termes de manoeuvres et de risques (stratégie dite d'économie *d'actions*).

L'application de ces schèmes de haut niveau en situation de conflit de prescription conduit à des résultats cohérents et complémentaires avec ceux de la deuxième étude:

En effet, une baisse ponctuelle de la pertinence de l'aide (les prescriptions fournissent une contradiction) ne conduit pas à une baisse des performances de conduite (ce qui se traduirait ici par des "erreurs de conduite") mais à une baisse ponctuelle des performances de navigation (ce qui se traduit ici par des erreurs d'orientation).

[27] Il est intéressant de noter la tendance (cf. tableau annexe 5) à ce que l'adjonction de l'information ″panneau″, portée à l'écran, ne provoque une augmentation de la consultation oculaire que dans un premier temps d'utilisation..
Cela rend très certainement compte de l' amélioration progressive de la capacité du sujet à sélectionner, parmi l'ensemble des informations de guidage disponibles, la plus performante en fonction de la situation. Par exemple l'information du type ″**dénombrement″** comme « prendre la deuxième à droite » peut être très pertinente dans certain cas, alors qu'une autre, en **référence à un panneau directionnel,** le sera plus dans une autre.

Le tableau suivant résume ce point:

Pertinence du guidage	**Conséquences observées sur les performances**	**Conclusion**
Pertinent	Amélioration des performances de sécurité de conduite	Les performances relatives à la sécurité de la conduite sont privilégiées par rapport aux performances sur la navigation
Non pertinent	Baisse des performances de navigation mais pas celles de sécurité de conduite	

Par ailleurs la figure 25 récapitule les catégories de schèmes construits par l'instrumentation des aides à la navigation.

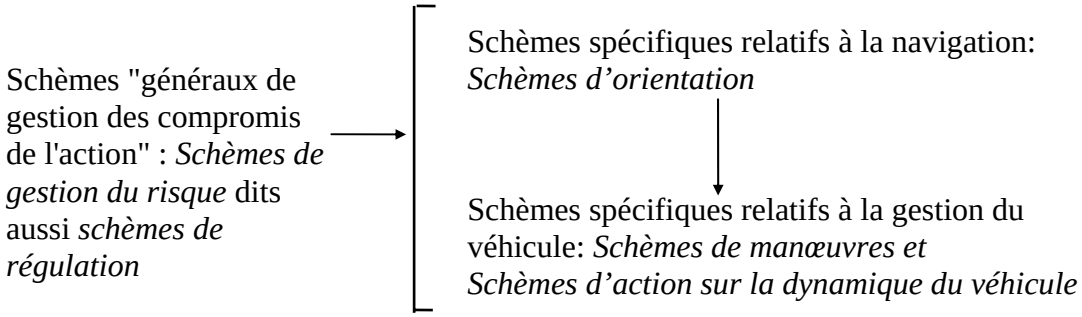


Figure 25: Typologie des schèmes construits par l'instrumentation des aides à la navigation

N.B : La figuration des flèches indique une subordination de certaines catégories de schèmes par rapport aux autres.

Cette distinction entre les types de schèmes nous amène à préciser la nature des liens, sur la face psychologique du modèle cette fois, entre les pôles Sujet Instrument et Objet

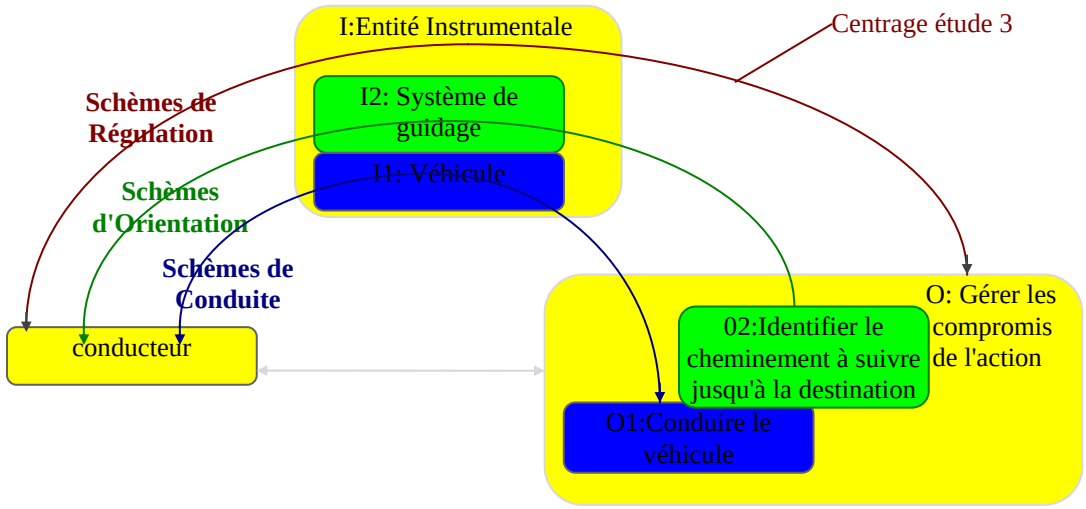


Figure 26 : Nature des schèmes entre les pôles Sujet/Instrument/Objet dans le cas des systèmes de guidage embarqués (face psychologique)

Remarquons que nous avons été amenés à décomposer les pôles Instrument et Objet en plusieurs éléments. Cela provient de la nature des schèmes qui servent de liens entre ces pôles: Certains s'appliquent spécifiquement à l'instrument "véhicule" (schèmes de conduite) d'autres spécifiquement à l'instrument de "navigation" (schèmes d'orientation)[28], alors que les schèmes dits de régulation s'appliquent à l'entité instrumentale d'ensemble (c'est-à-dire au Véhicule associé au système de Guidage).

Il s'agit donc, à proprement parler, d'une situation "multi-instrumentée" ou l'analyse de l'activité ne peut se décomposer en succession d'actions sur des instruments distincts sans occulter la dimension centrale de la problématique qui consiste pour le conducteur à gérer globalement la situation, en fonction du risque notamment.

Cela provient d'une caractéristique de la conduite automobile où l'usager est amené à agir simultanément sur différents instruments (dans notre exemple le conducteur continue à gérer la dynamique du véhicule tout en cherchant à s'orienter) en coordonnant l'ensemble de cette activité.

[28] On remarquera que pour les schèmes d'orientation nous avons fait figurer la flèche que dans sens O → I → S puisque que le lien est de nature épistémique (il s'agit de schèmes relatifs à la connaissance sur l'orientation) .

Dans la suite de ce travail nous reviendrons à l'occasion de la présentation d'autres cas de conception (chapitre VII) sur ce concept fondamental de multi-instrumentation.

Une autre conséquence est la décomposition du pôle Objet, comme nous avons dû le faire pour le pôle Instrument, entre les Objets spécifiques à la navigation (par exemple trouver la branche de sortie d'un rond point), ceux spécifiques à la conduite (sur ce même exemple prévenir à l'aide du clignotant de son intention de quitter le rond point) et ceux qui gèrent l'ensemble (par exemple décider de faire un tour supplémentaire sur le rond point pour éviter une manoeuvre brusque de changement de voie).

6.4 Bilan sur la mise en perpective des trois études par l'approche instrumentale

L'objectif de ce chapitre était de montrer la pertinence de l'approche instrumentale pour notre contexte d'étude dans le but d'élargir ensuite l'usage de cette approche à la conception des divers artefacts composant le poste de conduite.

L'approche instrumentale des études sur la navigation que nous venons de réaliser rend compte de trois points majeurs:

Le modèle de base a pu s'appliquer aux trois études: La spécificité de chaque problématique d'étude se traduisant par des focalisations sur tels ou tels éléments ou liens d'une face ou l'autre du modèle (face comportementale versus cognitive).

Pour bien rendre compte de certains résultats expérimentaux, ce modèle de base doit être enrichi d'une notion de *multi-Instrumentation*, pour une activité de conduite elle-même *multi-Objet* (qui peut de surcroît être réalisée en parallèle d'autres activités annexes comme nous en verrons des exemples au prochain chapitre).

Il y a un apport spécifique de la démarche à la compréhension du mécanisme de l'assistance navigationnelle avec la mise en exergue de processus de gestion des compromis de l'action.

Nous nous proposons de reprendre et préciser chacun de ces points

1. Le modèle de base s'applique aux trois cas étudiés

Le premier lien évident entre ces trois études est chronologique. Il suit classiquement le cycle d'étude et n'est en rien spécifique à l'approche instrumentale. Ce lien chronologique peut se résumer comme suit:

- Etape préliminaire d'analyse du besoin: La première étude a consisté à analyser une situation de référence (le copilotage humain) dans une perpective d'identification des besoins.
- Etape de validation: La seconde correspondait à une phase de validation de l'artefact en comparant deux situations : l'usage de l'artefact computationnel versus l'usage de la carte papier.
- Etape d'évolution: Dans la troisième étude il s'agissait de faire évoluer le produit en y intégrant de nouvelles fonctionnalités de guidage.

En dehors de ce point de vue ″chronologique″ guidé par le cycle de conception du produit, l'usage du modèle instrumental ouvre aussi une discussion sur les invariants entre les trois situations expérimentales:

Si nous reprenons les éléments de notre figure 27, nous pouvons constater que la principale source de différentiation entre nos situations provenait du type d'instrument utilisé par le conducteur pour se guider :

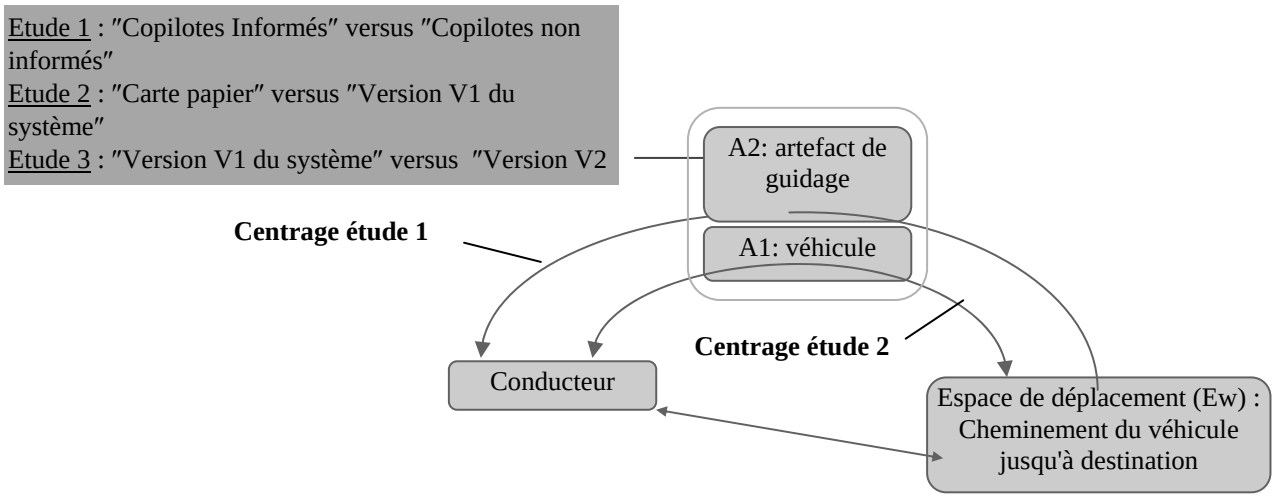


fig 27: Mise en perpective des différentes modalités de guidage testées au cours de trois études sur la navigation (face comportementale du modèle)

En effet les entités ″Sujet″ et ″Espace de déplacement″ étaient relativement stabilisées dans la mesure ou il s'agissait :

De conducteurs confirmés issus de Catégories ″Socio-Professionnelles″ assez homogènes.

De parcours expérimentaux sur les parties étudiées qui présentaient de fortes similitudes (Paris & Proche Banlieue Ouest et certains carrefours étaient communs aux trois études cf. Annexe 2).

Notons aussi en outre qu'il s'agissait de véhicules (Artefact 1) de gamme assez homogène au regard des enregistrements sur la conduite qui ont été effectués (Safrane pour les études 2 et 3).

Cependant, si les protocoles expérimentaux présentaient d'assez grandes similarités au niveau des entités ″Sujet″ et ″Espace de déplacement″, la focalisation de l'analyse a fortement différé entre ces trois études :

- L'analyse réalisée sur l' étude 1 a été centrée sur la relation « Ew → A2 → S » de la triade. En effet l'objectif premier de l'étude était de réaliser une typologie selon les sites traversés des prescriptions transmises par les copilotes cf. fig 27.
- L'étude 2 a été centrée sur la relation « S → A1→Ew » car il s'agissait d'observer l'impact des prescriptions sur la conduite au sens large (cf. fig 27).

- Quant à l'étude 3 une partie importante de l'analyse était centrée sur la face cognitive (cf fig 26) où la recherche a abouti à l'identification de schèmes de régulation de haut niveau caractérisant la relation S → I → O.

La discussion qui vient d'être menée rend compte de la validité du modèle instrumental pour notre objet d'étude en ce sens où il permet de rendre compte des invariants majeurs aux situations expérimentales rencontrées, et surtout où il permet d'intégrer les différents points d'analyse, dans un modèle commun, par focalisations successives sur les différentes faces, éléments ou liens de la triade.

Notons par exemple qu'une étude à caractère purement technique a été réalisée sur la relation Ew → A2 afin d'évaluer la fiabilité du module de localisation du système (cf. tab. 6 § 6.1).

Il s'agissait donc d'une relation relativement ″transparente″ (dans l'acception informatique du terme) pour l'utilisateur.

Soulignons cependant qu'une telle étude sur les effets d'une défaillance de localisation (qu'il est important d'envisager dans la conception) aurait pu être intégrée dans notre démarche instrumentale en montrant les conséquences de ces défaillances sur les autres relations du modèle [en particulier les effets des défauts de localisation du système: relation Ew→A2; sur l'orientation du conducteur en situation: relation Ew→ A2 → S; et sur la gestion de la conduite : relations S→A1→Ew et Ew←A1←S).

Ce dernier point contribue aussi à montrer l'intérêt en soi de ce cadre théorique qui permet d'intégrer de manière cohérente différentes études plus ciblées, relatives aux différentes facettes de la problématique, dans un cadre d'approche parfaitement intégrée.

2. le modèle instrumental de base nécessite un enrichissement avec les notions de multi-Instrumentation pour une activité de conduite (au sens large) multi-Objets

La réinterprétation des résultats de la troisième étude au travers du paradigme des schèmes d'utilisation et de l'approche instrumentale a permis de préciser le concept d'activité multi-instrumentée qui rend compte de l'existence de Schèmes de régulation (relatifs à la décision et à la gestion du risque) non spécifiques à tel ou tel instrument mais qui s'appliquent à l'ensemble de l'entité instrumentale.

En effet dans notre cas de multi-instrumentation ces schèmes de ″haut niveau″ ne s'appliquent pas simplement à la coordination séquentielle d'une activité avec plusieurs instruments (comme pourrait l'être, par exemple, la conception d'un texte et de ses illustrations au moyen de deux logiciels spécifiques) mais d'une gestion dynamique <u>simultanée</u> des différents instruments qui constituent alors

de ce point de vue une entité propre (e.g. le véhicule, les artefacts de ″pilotage″, de ″communication″, de ″confort″ etc.).

3. Apport spécifique de la démarche à la compréhension du mécanisme de l'assistance notamment en terme de gestion du risque.

Pour synthétiser l'ensemble des résultats sur l'évaluation des systèmes d'aide à la navigation considérés (carte papier, version 1&2 du système), nous pouvons dire que l'amélioration de l'aide ne conduit pas à moins d'erreurs (il s'agit ici d'erreurs d'orientation) mais à une baisse sensible des conséquences de ces erreurs (surtout en terme de sécurité).

Nous nous proposons en conclusion de mettre ce résultat en perpective des trois théories sur le risque que nous avons introduites au deuxième chapitre : celle de Wilde d'*homéostasie du risque*, celle de Van der molen et celle d'Amalberti de *sécurité écologique*.

Le modèle de Wilde, qui postule un taux de risque constant, ne tient pas compte d'éventuelles réallocations entre différents types de risque (dans notre cas il s'agit du *risque de se perdre* versus de celui d'*avoir un accident*). A l'inverse, celui de Van der molen qui s'inspire du modèle de Wilde en le combinant à celui de Michon sur la conduite (cf. annexe 6) pourrait rendre compte de ce processus de réallocation de manière quantitative. Mais nous pensons que notre modèle de multi-instrumentation donne une dimension explicative aux mécanismes de ces réallocations au travers de l'identification de schèmes dits de régulation (cf.fig 25).

Le modèle d'Amalberti quant à lui permet d'interpréter des résultats d'études sur des systèmes où certaines fonctions de pilotage sont automatisées de manière à améliorer "artificiellement" les performances. Cela conduit à une réduction du nombre d'erreurs mais qui peuvent qualitativement être beaucoup plus pénalisantes, l'opérateur ne disposant plus de ses repères *écologiques* pour faire face.

Dans notre cas des systèmes de guidage il s'agit de systèmes de nature différente qui fonctionnent sur un principe d'assistance informationnelle et non d'automatisation). Contrairement au cas des fonctions automatisées en question dans le modèle d'Amalberti les performances n'ont ainsi pas été directement améliorées mais, à l'inverse, les conséquences des erreurs étaient plus faibles[29] ce qui a permis au conducteur de gérer de manière plus sécuritaire les compromis de l'action avec les autres niveaux de la conduite.

[29] Le risque que le système se perde est faible puisqu'il recalcule en permanence un itinéraire

La différence dans la nature des assistances expliquerait cette différence dans les résultats observés. Cela pourrait venir compléter le modèle d'Amalberti et être le précurseur à un nouveau concept de sécurité dit de « sécurité primaire indirecte » que nous préciserons comme une perpective possible à notre travail (cf. Chapitre 9).

Notons aussi que la théorie de la genèse instrumentale et de l'instrumentation dans l'usage permet d'expliquer comment une des caractéristiques du système (celui *de ne pas se perdre*) permettrait l'émergence de schèmes de régulation du risque au profit d'une conduite plus sûre.

Au total nous pensons que le modèle instrumental, avec les compléments rendus nécessaires à la situation spécifique de conduite multi-instrumentée, apparaît bien être un cadre d'étude permettant une approche intégrée nouvelle pour la conception des systèmes embarqués.

Dans la seconde partie de ce travail nous proposons d'élargir la réflexion à d'autres cas de conception dans le but de généraliser cette approche.

CHAPITRE VII : ELARGISSEMENT DE L'APPROCHE A L'ETUDE DE CAS VARIES DE CONCEPTION DES EQUIPEMENTS DU POSTE DE CONDUITE

Rappelons qu'au travers de l'application du paradigme instrumental notre objectif est de retrouver des invariants de conception communs aux classes d'artefacts composant le poste de conduite. C'est ce que nous entendons par approche intégrée, c'est-à-dire une approche qui prend l'ensemble de la problématique des liens Sujet-Instrument-Objet pour en dégager des principes transversaux aux artefacts embarqués.

Une première étape a consisté à appliquer le paradigme aux études sur l'assistance à la navigation: l'approche instrumentale a apporté une dimension explicative nouvelle à certains résultats, en particulier ceux relatifs à la gestion du risque.

Nous avons aussi pu aussi montrer que chacune de ces études pouvait s'interpréter comme une focalisation sur certains éléments d'un même modèle.

Cela est très intéressant pour bien intégrer les différentes composantes de la problématique. Par exemple nous avons montré comment une étude que nous n'avons pas détaillée ici, relative à la précision du module de localisation du système (GPS), pouvait s'intégrer dans le modèle comme une focalisation sur le lien A2 ← Ew(Espace de déplacement). A partir de là une défaillance dans ce lien aurait pu être étudié sous l'aspect de ses conséquences sur les autres liens du modèle.

Dans ce nouveau chapitre, nous nous proposons d'élargir notre approche à l'étude de cas pratiques de conception d'artefacts dont l'ensemble nous apparaît assez représentatif de la variété des artefacts qui composent le poste de conduite.

Nous rappelons que contrairement aux études sur la navigation, la conception de ces cas n'a généralement pas fait l'objet d'études expérimentales poussées. La problématique de conception apparaissant souvent trop élémentaire pour justifier un tel investissement d'études.

Par contre comme alternative à ces études expérimentales ad hoc, nous pensons qu'il est intéressant de capitaliser sur les usages qui sont faits de ces artefacts de manière à en tirer des enseignements pour la conception de systèmes similaires ou plus complexes à concevoir, et cela à partir d'un recueil de données beaucoup plus léger à mettre en place que celui des expérimentations ad hoc.

Une fois l' analyse effectuée de ces études de cas, au moyen de l'approche instrumentale, notre objectif au chapitre VIII sera d'identifier de nouveaux invariants de conception dans la diversité des cas étudiés.

7.1 Point sur la méthode de recueil de données

C'est donc cette démarche d'analyse que nous appelons "à partir d'études de cas" que nous nous proposons à présent de détailler.

Nous sommes essentiellement parti d'un recueil systématique de ″cas de conception″ perçus négativement, ou positivement, par des essayeurs professionnels sur l'ensemble de la gamme véhicules (Forzy 1998).

Il s'agissait en effet de faire une mise à plat des problèmes d'ergonomie cognitive réellement rencontrés sur les véhicules de la gamme, c'est à dire déjà commercialisés. En effet à cette époque, alors que la nature des problèmes d'ergonomie « physique » était déjà bien connue, ceux d'ergonomie « cognitive » l'était beaucoup moins. Cela était du à la diversité des systèmes concernés et à la diversité de leurs situations d'usage, mais aussi du peu de nombre de personnes impliquées à l'époque sur ces problématiques dans les projets.

Dans cette perpective, nous avons travaillé avec le secteur chargé d'essayer les véhicules au fur et à mesure de l'avancement des projets et de réaliser des synthèses sur les problèmes ainsi rencontrés. Ces problèmes pouvant aussi bien toucher à l'ergonomie, au confort, à la sécurité, à la fiabilité etc. Seuls les aspects touchant à l'ergonomie étaient pris en compte ici.

Les entretiens étaient menés de manière collective avec trois ou quatre représentants de chaque équipe d'essayeurs. Ces entretiens avaient lieu à l'arrêt dans le véhicule qui faisait l'objet de l'évaluation. Il était demandé aux essayeurs de faire un bilan les points positifs ou négatifs constatés pendant le projet concernant les problèmes de compréhension des affichages ou des commandes.

A l'évocation de chacun de ces points il était demandé à l'essayeur de raconter le contexte d'usage dans lequel ce point était apparu. Cela permettait en effet d'éviter certaines généralités discursives, de bien comprendre l'origine de la difficulté et d'identifier les conséquences de ces difficultés en particulier sur la conduite.

Au total une centaine de points ont ainsi été identifiés. A chaque étape de rédaction du document récapitulatif un retour avec les essayeurs était organisé pour être sûr que les points étaient correctement décrits et qu'il n'y avait pas eu d'omissions importantes. Nous ne reprenons ici que quelques uns des cas identifiés, que nous avons voulu chacun assez simple, mais illustratif, d'une classe de problèmes de conception.

L'objectif de la présente recherche est de relier ces points à une théorie sur l'activité. C'est en effet le seul moyen d'obtenir une dimension explicative et généralisable à l'étude de chacun des cas.

Comme nous l'avons dit, les appréciations portées par les essayeurs font référence, le plus souvent, à des situations réelles de conduite rencontrées lors des essais par l'une ou l'autre des personnes interrogées. Si c'est le cas nous le mentionnons alors dans le descriptif des pôles *"Sujet"* (essayeur en situation) et *"Objet"* (les objectifs d'action qu'il s'est donné à un moment donné de l'essai).

Quelques autres cas, tirés d'expérimentations que nous avons pu mener, souvent à partir de prototypes, sont aussi inclus. Cela est alors mentionné dans le pôle *Artefact* (descriptif rapide du prototype), *Sujet* (Sujets d'une expérience) et *Objet de l'action* (consignes expérimentales).

Enfin précisons que ces analyses portent exclusivement sur des artefacts déjà commercialisés ou dont les études sont anciennes et ont été publiées par ailleurs. Cela se justifie pour des raisons de confidentialité que l'on comprendra bien. Cependant la démarche d'analyse que nous préconisons peut bien entendu s'appliquer à des problématiques de conception de plus grande actualité.

7.2 Etudes de cas

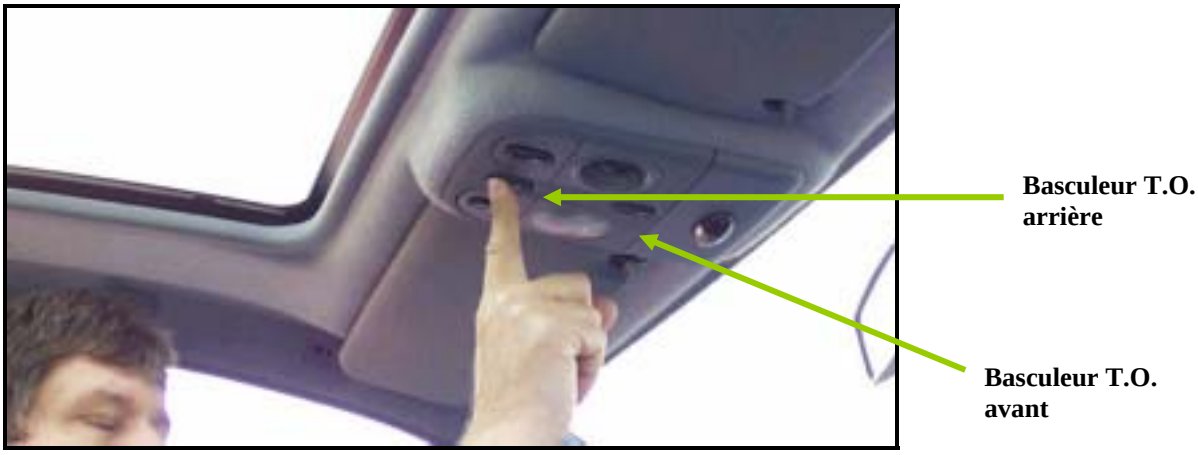
Rappelons que l'objectif de ces études de cas est de faire ressortir à partir de notre modèle les aspects les plus dimensionnants pour la conception.

Pour un rappel complet de la signification des annotations utilisées se référer au descriptif proposé dans les figure 8 & 9 du chapitre II.

Nous utiliserons la lettre S pour le pôle Sujet, la lettre I pour Instrument (I1 instrument de l'Objet principal et I2 instrument de l'Objet annexe), la lettre A pour Artefact (A1 artefact principal et A2 artefact secondaire) , la lettre O pour Objet de l'activité et Ew pour Espace de travail (Ew1 pour Espace de travail principal et Ew2 pour Espace de travail secondaire). Aucun indice n'est associée aux abréviations si l'on ne considère dans l'analyse qu'un seul Objet d'action.

La discussion sur l'opposition entre les faces "psychologiques" et "comportementale" du modèle sera portée au chapitre VIII de synthèse des enseignements sur les études de cas.

Cas 1 : Manipulation du Toit Ouvrant (TO) arrière



Descriptif du pôle "Objet(s)-Espace(s) de travail"

En ouvrant le deuxième toit d'un niveau d'entrebâillement qui restait à déterminer, l'objectif de l'essayeur était d'obtenir une meilleure aération du véhicule pour les passagers arrières. Cela s'est fait sur autoroute par temps sec et chaud.

Descriptif du pôle "Instrument(s)-Artefact(s)"

Le dispositif de commande est constitué d'un simple basculeur, positionné sur le pavillon entre le conducteur et le passager (au niveau de la platine d'éclairage) à l'arrière du basculeur du TO avant. L'intention de conception, identifiée par les essayeurs, était de regrouper les dispositifs d'ouverture avant/arrière en référence spatiale avec l'implantation (devant /derrière) des deux toits ouvrants. Par ailleurs un choix de conception important a été de donner l'ensemble du contrôle des ouvertures au conducteur (plutôt que de mettre le dispositif de commande du TO arrière en zone d'accès des passagers arrières).

Descriptif du (des) sujet(s)

Le conducteur (essayeur du service « synthèse » en condition d'essai) et potentiellement un passager avant (à l'exclusion des passagers arrières)

Analyse des relations

Opérations élémentaires d'actionnement du basculeur (S>A2) associés au schème d'usage (S>I2) « appui sur l'avant du basculeur = ouverture ; appui sur l'arrière = fermeture».

- Une sérigraphie a été placée sur la touche pour guider l'utilisateur (I2>S)

- Retour d'information ″tactile″ par enfoncement de la touche du dispositif de commande (A2>S)

A2>Ew2 : Il s'agit de l'ouverture du TO lui même, par un mécanisme électrifié.

Au cours de l'ouverture du TO le conducteur obtient, outre un retour tactile (relation A2>S), un retour auditif et kinesthésique (courant d'air) provenant directement de l'ouverture du TO arrière(Ew2>S) . Par contre la détermination du niveau d'entrebâillement ne peut se faire qu'avec un contrôle visuel soutenu qui rentre en conflit avec le contrôle visuel[30] du champ avant (Ew1>S). L'essayeur mentionne alors la survenue rapide de perturbations dans le contrôle transversal du véhicule (S-A1-Ew1) pendant la manipulation du TO.

Bilan (synthèse & orientations de conception)

La difficulté vient ici d'un conflit dans la relation du sujet aux différents espaces de travail qu'il doit contrôler. En effet le contrôle de l'ouverture du TO arrière (Espace de travail : Ew2) nécessite des ressources visuelles et attentionnelles sur le champ arrière d' une durée de plusieurs secondes incompatible avec la surveillance de la conduite (Espace de travail principal : Ew1).

Le premier niveau de perturbation de la conduite a été celui du contrôle latéral[31]. Perturbation dont s'est plaint l'essayeur (″j'étais sur l'autoroute en train d'actionner le TO arrière et soudain je me suis rendu compte que je n'allais plus droit″).

Plusieurs solutions sont envisageables consistant par exemple :

- à rajouter un feed-back visuel relatif à l'ouverture du TO dans le champ avant (techniquement complexe) ;

[30] de même que l'attention portée à la scène avant se trouve en concurrence avec celle portée à l'ouverture du TO

[31] Notons que dans une perpective de raffinement de l'analyse, la discussion du chapitre II sur les contraintes de la relation Espace de déplacement>S permettrait de positionner la perturbation mentionnée (ici relative au contrôle transversal) parmi l'ensemble des perturbations possibles des fonctions de conduite (contrôle longitudinal - problèmes de gestion des interactions avec les autres usagers - problèmes de navigation etc.) en les catégorisant et en les ordonnançant.

- à définir un niveau discontinu (au moyen d'une variable discrète) de pas de réglage du TO avec un retour proprioceptif au moyen d'un crantage (tout ouvert, à demi ouvert, à quart ouvert, entrebâillé, tout fermé) afin de créer une médiatisation du retour d'information sur l'ouverture du TO au travers de la perception tactile de la position relative de la commande.

- ou enfin, plus simplement, à mettre la commande à disposition unique du passager arrière avec par exemple une fermeture automatique du TO avec la condamnation centralisée des portes (pour éviter par exemple que lors d'un usage ultérieur du véhicule le conducteur se trouve gêné par l'entrebâillement du TO arrière sans qu'il n'y ait de passager à l'arrière pour le refermer).

En termes de problématique de conception plusieurs éléments sont susceptibles de généralisation:

- La problématique de la substitution du contrôle visuel sur la tâche annexe (relation S←Ew2) par une perception tactile médiatisée obtenue par la manipulation de la commande (relation S←A2←Ew2).

- Le problème de focalisation attentionnelle sur la tâche annexe

- Le problème de la répartition des commandes entre les différents usagers

Ces points seront repris pour une discussion détaillée.

Cas 2 réglage du cadenseur d'essuie vitre



Descriptif du pôle ″Objet(s)-Espace(s) de travail″

Dans une situation de conduite sous une pluie fine, il s'agissait pour l'essayeur d'adapter le réglage temporisé de l'essuyage selon le besoin induit par le mouillage progressif du pare-brise .

Descriptif du pôle "Instrument(s)-Artefact(s)″

Il s'agit d'un dispositif de réglage au moyen d'une bague crantée, regroupé avec les autres fonctions d'essuyage dans un ″commodo″ sous volant.

Descriptif du (des) sujet(s)

Essayeur du service « synthèse » en condition d'essai. Plus généralement le conducteur à l'exclusion du passager.

Analyse des relations

Opération élémentaire d'actionnement de la bague rotative (S>A2) associée au schème d'usage d'incrémentation par rotation dans le sens du cadran horaire et de décrémentation en sens inverse (S>I2).

A2<S : Retour proprioceptif d'information par les crans mécaniques des positions de la bague. Une sérigraphie, qui est apparue contre intuitive à l'essayeur, indique un sens de fonctionnement inverse à l'attente (O2<I2<S). Après examen il est apparu que pour les concepteurs, le rapprochement progressif de la graduation sérigraphiée (cf. évolution de l'épaisseur des traits de la sérigraphie sur la photo de la commande) était supposé indiquer une augmentation du temps entre les séquences d'essuyage alors que pour l'essayeur il s'agissait d'une augmentation de la fréquence d'essuyage (soit l'effet inverse).

La divergence de représentation, entre concepteur et utilisateur, porte donc ici sur la variable manipulée par le schème de rotation de la bague.

A2>Ew2 : Il s'agit d'une mise en mouvement temporisée du balai d'essuie vitre

Ew2>S : La difficulté induite par la contre-intuitivité du choix de la variable manipulée est renforcée par le fait que la temporisation du mouvement du balai d'essuie-glace rend impossible tout contrôle visuel immédiat.

Cette difficulté est particulièrement pénalisante dans la mesure où l'essuyage du pare-brise est une fonction sécuritaire puisqu'elle joue directement sur la qualité de la visibilité de la scène de conduite.

Bilan (synthèse & orientations de conception)

La difficulté vient de deux éléments :

- une est intrinsèque à la relation S>I2>O2, par l'émergence d'une opposition entre les représentations du concepteur et de l'utilisateur sur la variable manipulée par le schème d'utilisation[32]

- l'autre est propre à la relation Ew2>S où le premier problème est renforcé par le fait que le contrôle visuel de l'essuyage se fait dans un espace temps différé (plusieurs secondes) qui ne permet pas un réajustement immédiat du réglage.

32 Nous rappelons ici la distinction introduite au premier chapitre entre schème d'action instrumentée qui s'applique à l'objet de l'action via l'artefact (par exemple le fait d'augmenter la fréquence des essuyages) et le schème d'usage qui s'applique directement sur l'artefact (dans notre cas il s'agit du stéréotype consistant à tourner la bague dans le sens des aiguilles d'une montre pour obtenir une incrémentation de la valeur).

La fonction du dispositif étant directement liée à la bonne visualisation de la scène avant, le défaut de base relativement modeste est perçu, en situation, comme très perturbant par l'essayeur.

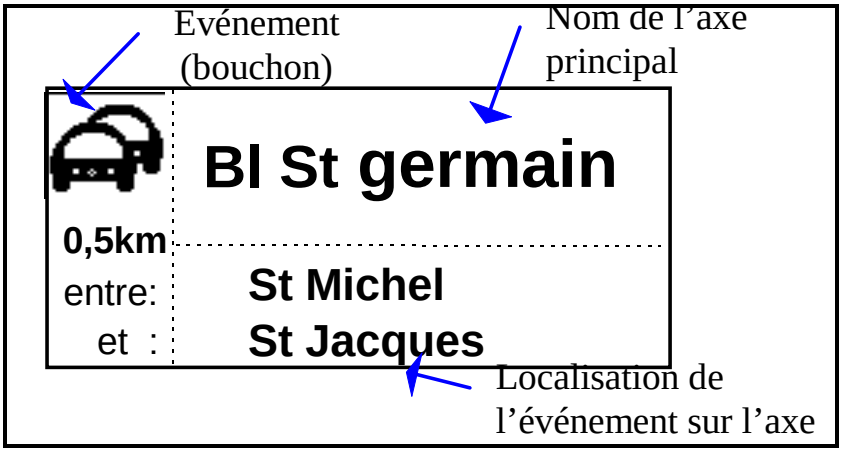
Cela renvoie a trois types de problématiques généralisables:

- Pertinence du choix de la variable manipulée par rapport aux représentations de l'utilisateur

- Identification de la variable par l'utilisateur en situation

- Feed-backs à mettre en place lorsque le contrôle direct des effets de l'action (relation Ew>S) n'est pas directement perceptible ou bien quand l'effet de l'action (relation A>Ew) est, comme ici, différé dans le temps.

Cas 3 organisation des messages visuels d'information routière



Descriptif du pôle "Objet(s)-Espace(s) de travail"

Il s'agit pour le conducteur d'obtenir des informations sur l'état du réseau routier dans la perpective de modifier éventuellement son itinéraire ou même sa conduite (par exemple si la perturbation se situe dans l' environnement proche du conducteur il devra ralentir en conséquence).

Dans notre cas toutefois la situation de conduite était simulée à partir d'une tâche de tracking (Dionisio 92) et la consigne donnée aux sujets consistait à lui demander de lire et de restituer à haute voix l'information affichée à l'écran.

Descriptif du pôle "Instrument(s)-Artefact(s)"

Il s'agit d'un dispositif de présentation de l'information composé de quatre items (événement, localisation, longueur, niveau de perturbation).

Deux modalités étaient testées par le plan d'expérience : présentation textuelle uniquement (e.g. Bouchon de 500m sur le Boulevard St Germain entre St Michel et St Jacques), et mixte de présentations textuelles et graphiques (cf. figure illustrative du cas).

Descriptif du (des) sujet(s)

Il s'agissait de 20 sujets se prêtant à l'expérimentation. Nous présentions, de manière contrebalancée pour chaque sujet, une série de messages représentatifs des modalités étudiées (textuelle versus graphique-textuelle).

Analyse des relations

Présentation d'informations visuelles (A2>S) et opérations de lecture de l'information à l'écran (S>I2).

Tout comme l'artefact de guidage (cf. chapitre IV) il s'agit d'un artefact purement informatif. Il n'y a donc pas de relation A2>Ew. Seule la relation Ew>A2 pourrait être active sur un véhicule roulant (e.g. si l'information routière était filtrée par exemple en fonction de la localisation du véhicule).

Ew1>S : Il s'agit ici des contraintes de l'activité de conduite simulée s'exerçant sur le sujet. En particulier les contraintes dues à la gestion partagée des ressources attentionnelles et visuelles (cf. chapitre II).

Bilan (synthèse & orientations de conception)

Les résultats ont montré un avantage très significatif de la version graphique/textuelle sur la version textuelle. Avantage qui fait l'objet de l'interprétation suivante :

La principale distinction entre ces deux versions réside dans l'organisation de l'affichage (voir l'illustration du cas). En effet la modalité textuelle nécessite une lecture plus linéaire qui rend difficile une séquencialisation des prises d'informations à l'écran. Ceci est particulièrement vrai pour les messages longs où il est critique pour le sujet d'interrompre sa tâche de lecture pour revenir à la tâche principale de conduite, puis reprendre son activité de lecture là où elle avait été interrompue.

A l'inverse dans la version graphique/textuelle, une structuration systématique de la présentation de l'information en fonction de son contenu (type de perturbation, temps estimé, localisation sur l'axe principal, sens de la perturbation etc.) permet aisément de lire l'affichage item par item en revenant à la route entre chaque lecture d'item.

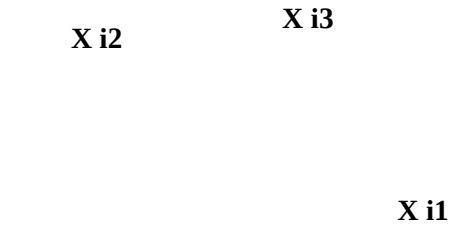
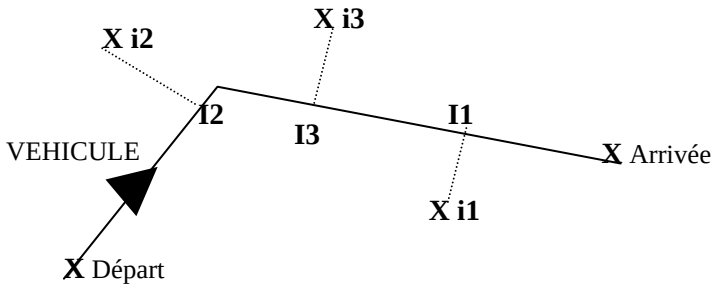
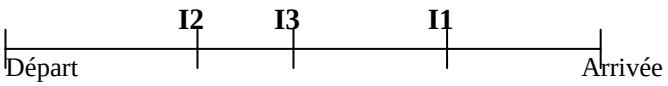
Cela a un effet facilitateur sur le schème de séquentialisation de la prise d'information visuelle dont nous avons vu (cf. Chapitre II §2.3) l'aspect tout a fait fondamental pour la gestion en conduite des tâches annexes.

Eléments de généralisation

Le principe proposé dans la version d'affichage mixte (textuel et graphique) optimise l'application du schème de lecture séquentialisée. Ce principe qui consiste à décomposer la phrase en champs thématiques pourrait être appliqué à d'autres présentations d'informations à base textuelle comme pourrait l'être par exemple bon nombre des services de télématique embarquée (météo, parkings etc.).

Cas 4: Ordonnancement de l'information routière

Ordonnancement selon un axe spatial des informations routières (principe du brevet FR 93/00939)

Survenue aléatoire d' informations routières (i1,i2,i3 …) selon un ordre chronologique	
Projection virtuelle des points i1,i2,i3 sur l'espace de déplacement D-X-A	
Projection des points sur un axe linéaire pour une consultation en fonction de l'état d'avancement du véhicule sur le trajet	

Descriptif du pôle ″Objet(s)-Espace(s) de travail″

Il s'agit pour le conducteur d'identifier la pertinence des informations sur l'état du réseau routier par rapport à l'itinéraire restant à parcourir. Notons que l'information affichée se fait sur un choix contraint d'écran qui par sa taille et sa résolution ne permet un affichage cartographique.

Descriptif du pôle "Instrument(s)-Artefact(s)″

Dispositif d'affichage des points de perturbations routières par projection sur un axe spatial (tracé à partir des coordonnées des points de départ et d'arrivée de l'itinéraire) plutôt que selon un axe temporel (constitué par l'ordre de diffusion des messages).

A partir de cet affichage spatial un dispositif de commande permet de désigner les points de localisation de manière à permettre une consultation de l'information complète sur la perturbation (selon les modalités présentées au cas de conception n°3)

Descriptif du (des) sujet(s)

Il s'agissait des mêmes vingt sujets de l'expérimentation du cas 3. Le mode de consultation des messages selon un axe spatial leur était présenté à partir d'un maquettage de démonstration en comparaison d'une consultation à partir d'un axe qui suivait la chronologie de diffusion.

Analyse des relations

A>S : Présentation de l'information à l'écran sur un axe spatial

S>I>O : Schème de repérage de l'incidence de l'événement par rapport à l'estimation de l'avancée du véhicule sur l'itinéraire.

Ew>A : Il a été envisagé (cf. brevet n° 93/00939) une version du système avec capteur GPS qui utilise les données sur la localisation du véhicule (dans l'Espace de déplacement) pour optimiser la présentation de l'information en matérialisant par exemple la position du véhicule sur l'axe d'ordonnancement des informations routières (axe tracé à partir des points de départ et d'arrivée).

Bilan (synthèse & orientations de conception)

La présentation selon "l'axe spatial" est apparu beaucoup plus pertinente que la présentation selon l'axe "temporel". Résultat qui fait l'objet de l'interprétation suivante :

La principale différence entre les deux versions d'artefact a consisté à transformer une *variable technique* utilisée par défaut pour la restitution (ordonnancement selon la chronologie d'arrivée des informations) en une *variable opérationnelle* (ordonnancement selon la distance de la perturbation par rapport au cheminement du véhicule).

L'opérationnalité de cette seconde variable provient du fait qu'elle est directement pertinente vis à vis de l'Objet de l'action qui est de déterminer l'incidence de l'information par rapport à l'état d'avancement sur l'itinéraire

Eléments de généralisation

Généraliser le principe à la présentation de toute liste d'informations à traiter selon un ordre de proximité temporelle et/ou spatiale par rapport à l'état présent (par exemple ordonnancer la présentation des actions d'entretien du véhicule selon un niveau d'urgence des actions ; ordonnancer l'affichage des parkings selon leur ordre de proximité par rapport à la localisation du véhicule etc.).

Cas 5: Recherche automatique de station par la commande sous volant.



Descriptif du pôle ″Objet(s) - Espace(s) de travail ″

Il s'agissait pour l'essayeur de trouver une station radio déterminée (e.g. France Inter) dans la perpective de la mémoriser sur une des présélections. Pour cela il devait d'abord régler son autoradio sur la fréquence d'écoute recherchée.

Descriptif du pôle "Instrument(s) - Artefact(s)″

Pour simplifier la recherche des stations il est proposé à l'utilisateur une fonction dite de ″recherche automatique″ qui permet d'obtenir la station suivante sur la bande de fréquence en cours d'écoute.

L'incrémentation se fait alors de manière automatique jusqu'à l'arrêt à la fréquence d'émission suivante présentant une qualité de réception suffisante.

Pour faciliter cette recherche la fonction est activable à partir d'une commande placée sous le volant, manipulable tout en gardant le volant dans le creux de la main.

La mémorisation , qui est facultative, peut alors être opérée par un appui long sur une des touches de présélections placées sur la façade de l'autoradio elle même.

Descriptif du (des) sujet(s)

Il s'agissait ici aussi d'un essayeur récapitulant un des problèmes rencontré en situation réelle. Par ailleurs la commande, telle qu'elle est placée, est à l'adresse exclusive du conducteur.

Une redondance de l'accès à la fonction, à l'intention du passager avant, est proposée sur le boîtier de l'autoradio.

Analyse des relations

I2>S : Présentation d'une sérigraphie, placée à proximité du bouton poussoir, figurant d'après l'essayeur une analogie avec le ″déplacement d'un bras de lecture sur un disque vinyle[33]″ (cf. figure d'illustration du cas).

Opération élémentaire d'actionnement du bouton (S>A2) selon le schème d'usage d'appui sur la touche (S>I2).

A2>Ew2 : Il s'agit de l'effet de la fonction opérée par l'artefact. Normalement la fonction d'incrémentation s'arrête d'elle-même quand une émission présentant un signal d'écoute suffisant est trouvée. Dans le cas présent l'insuffisance de la qualité générale de réception a eu pour conséquence le maintien de l'incrémentation.

A2>S : Retour visuel correspondant à l'incrémentation continue de l'affichage de la fréquence radio (la valeur boucle à la borne supérieure de la gamme d'onde).

Tentative de l'essayeur pour interrompre la fonction de recherche (S>A2) selon un schème d'action ″d'interruption ″ (S>I2) par ″re-appui″ sur la touche (un appui lance la fonction ; un nouvel appui l'interromprait)

A2>Ew2 : Le nouvel appui sur la touche n'a pas d'effet ...

[33] l'analogie date un peu !

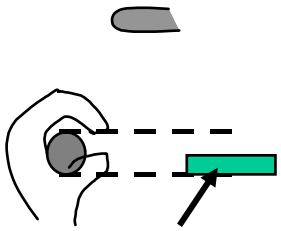
Ew1>S : Il s'agit à nouveau des contraintes qui s'exercent sur le sujet pendant la conduite. En particulier le partage des ressources visuelles et attentionnelles entre les deux Espaces de travail (Ew1: surveillance de la scène de conduite et Ew2: surveillance de l'incrémentation de la fréquence radio) s'est clairement fait au dépend de la tâche de conduite : ″ça m'agaçait... [le fait de ne pas pouvoir interrompre la recherche automatique] alors je ne faisais plus attention à ce qui se passait devant ...″.

Bilan (synthèse & orientations de conception)

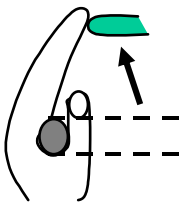
Plus globalement, il s'agit d'un problème de contrôle de l'action. Notons l'existence d'un schème de "ré-appui" comme schème préexistant chez l'utilisateur dans sa tentative d'interruption du processus en cours. Ce schème de ré-appui peut être utilisé pour le contrôle de l'incrémentation d'autres variables continues (comme par exemple l'ouverture en continue des vitres ...).

Cas 6: Position du Klaxon sur le volant : Détermination d'un besoin de "préparation à l'action".

Position 2 : la commande n'est pas accessible sans quitter la main du volant



Position 1 : la commande est accessible sans quitter la main du volant





Descriptif du pôle ″Objet(s)-Espace(s) de travail″

Il s'agissait pour l'essayeur de prévenir un risque en se préparant à klaxonner lors du dépassement d'un poids lourd sur la file de gauche de l'autoroute ″au cas où le chauffeur ne m'aurait pas vu″.

Descriptif du pôle "Instrument(s)-Artefact(s)″

Historiquement, certains constructeurs comme Renault ont proposé de positionner la commande en bout de commande de phares, d'autres (par exemple les modèles allemands) sur le devant du volant. (cf. illustration du cas). Dans un soucis de « standardisation » les concepteurs ont voulu ramener la commande sur le volant.

Descriptif du (des) sujet(s)

L'essayeur en situation d'essai. Il s'agit bien entendu d'une fonction à l'adresse exclusive du conducteur.

Analyse des relations

A2>S : Présentation de sérigraphies, placées sur les deux boutons poussoir.

S>A2 : Opération élémentaire d'actionnement du bouton selon le schème d'usage d'appui sur la touche (S>I2). L'élément intéressant est que le jugement négatif sur cette commande ne portait pas directement sur l'accessibilité mais sur la facilité à "préparer l'action" dans un cas (position 1 : commande placée en bout du commodo des phares) et pas dans l'autre (position 2 : commande placée sur le volant).

S'agissant juste de l'action de préparation (″au cas où″), il n'y a pas eu de déclenchement effectif du Klaxon dans cette séquence (A2>Ew2).

La situation de conduite était particulièrement chargée puisqu'il s'agissait pour le conducteur de dépasser un camion à vive allure sur la file de gauche de l'autoroute. Cela se traduit par une attention particulièrement soutenue (Ew1>S) et la nécessité d'un maintien du volant à deux mains (S>A1).

Bilan (synthèse & orientations de conception)

L'élément le plus intéressant dans cette étude de cas est l'identification d'un schème de "position d'attente" pour agir "au cas où". Il y a bien sûr la question des positions psychologiques d'attente à l'action créée par l'anticipation, mais il est plus rare que l'on se pose la question d'une conception qui permette de faire coïncider à cette position psychologique d'attente un positionnement corporel.

L'une des deux conceptions proposées ici (position 1) le permet puisque le doigt peut venir effleurer la touche, en laissant le creux de la main sur le volant permettant ainsi de garder confortablement cette position, le temps du dépassement.

Dans l'autre cas (position 2), le placement sur le volant de la commande, ne permet pas de garder cette position corporelle d'attente (nécessité de lâcher la main du volant).

Cela a bien entendu un haut degré de généralisation pour la conception: Toutes les actions de conduite qui se font dans un fenêtrage temporel court (de l'ordre ou inférieur à la seconde) nécessiteraient des positions d'attente de ce type:

- le passage phare>code en anticipation à la sortie d'un virage de montagne par exemple

- l'appel de phare (pour des raisons similaires à l'avertisseur sonore)

- La mise en route de l'essuyage quand la chaussée est humide, même si il ne pleut pas , mais où le fait de doubler ou de se faire doubler peut amener une projection importante d'eau sur le pare-brise dont l'action d'essuyage doit pouvoir être anticipée.

- La pédale de frein, à l'arrivée dans une agglomération, où une position corporelle d'attente pied levé devant la pédale peut s'observer au cas où par exemple un enfant traverserait brusquement la chaussée... .

Cas 7 : Commandes électrifiées de siège



Descriptif du pôle ″Objet(s)-Espace(s) de travail″

Les actions de réglage de siège s'inscrivent dans les actions de réglage du poste de conduite.

L'objectif est d'obtenir une bonne position de confort et de visibilité aux moyens d'action sur des variables relatives à des caractéristiques anthropométriques: hauteur et avancement du siège, inclinaison .

Descriptif du pôle "Instrument(s)-Artefact(s)″

Le design de l'Artefact a consisté à regrouper sur une même commande un nombre important de possibilités de réglages des différents paramètres.

Le choix de design a été de créer une copie en miniature de l'"Espace de travail" sur lequel l'utilisateur cherche à agir (ici le siège) par une action qui s'apparente à de la "téléopération": ainsi une action vers le haut sur la barre horizontale du "minisiège" permettra d'agir sur la hauteur d'assise du siège réel, une action sur la touche figurant le dossier permettra d'incliner celui-ci ...

Descriptif du (des) sujet(s)

De manière générale cette fonction d'électrification des commandes de siège s'adresse au conducteur des véhicules de haut de gamme et au passager avant.

Analyse des relations

La difficulté majeure a été de réaliser un design qui permette à l'utilisateur d'identifier, sans ambiguïté, le paramètre sur lequel il va agir.

La sagacité du concepteur a consisté à établir un lien d'analogie entre l'action sur l'Objet au travers du schème d'action instrumentée(relation S>I>O) et celle sur l'Artefact au travers du schème d'usage (relation S>I).

Bilan (synthèse & orientations de conception)

Ce principe de conception consistant à établir une analogie entre l'action portée sur l'Espace de travail et celle portée sur l'artefact est un principe qui apparaît extrêmement efficace et que l'on peut retrouver à plusieurs endroits dans la conception du poste de conduite.

Ce principe s'apparente aussi aux diverses correspondances spatiales qui peuvent être faites entre:

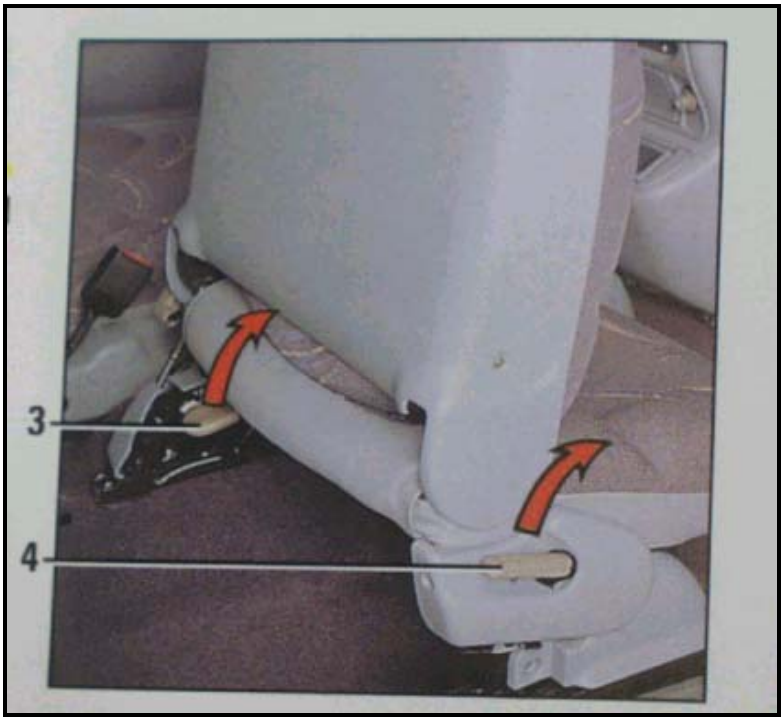
- L'organisation de la commande et l'organisation de l'afficheur sur lequel apparaît le résultat des actions (par exemple une commande de climatisation et son afficheur)

- L'organisation de la commande et la position relative des organes effecteurs (un exemple en a été donné avec le Toits-Ouvrants Avant/Arrière et l'organisation en analogie des touches Avant/Arrière au niveau du plafonnier cf. cas 1).

De nombreux autres exemples peuvent être donnés avec le référentiel Haut/Bas (pour la figuration par exemple des orientations du flux sur une commande de répartition de l'air) ou encore Gauche/Droite par exemple pour les actions différenciées conducteur/passager des réglages de température etc.)

- L'orientation de l'affichage par rapport au sens de marche du véhicule (par exemple pour l'orientation de la carte)...

Cas 8 : Dispositif pour le basculement du siège arrière



Descriptif du pôle ″Objet(s)-Espace(s) de travail″

Il s'agit d'un cas de conception qui diffère de ceux présentés jusqu'ici dans le sens où il ne concerne pas le poste de conduite mais l'habitacle.

L'Objet de l'action est ici de faire basculer le siège avant, de manière à libérer l'accès aux places arrière dans un véhicule à deux portes.

Le versus de cette action consistant à faire basculer le siège pour s'extraire cette fois des places arrière.

Descriptif du pôle "Instrument(s)-Artefact(s)″

L'artefact est composé de deux commandes. Une est formée d'un levier placé sur le coté externe du siège, l'autre consiste en une mini-pédale, positionnée à l'arrière du siège.

L'action sur l'un ou l'autre de ces dispositifs déverrouille le siège et permet son basculement.

Descriptif du (des) sujet(s)

Il s'agit généralement d'un passager arrière lors d'une phase d'introduction dans le véhicule ou d'extraction de celui-ci.

Analyse des relations

L'élément intéressant ici est le doublement de l'artefact agissant sur un même Espace de travail (le basculement du siège) mais dans une dynamique d'action différente qui amène à des Objets d'actions différents (entrer versus sortir de l'habitacle)

Bilan (synthèse & orientations de conception)

Cet exemple illustre la problématique générale de la *flexibilité*. C'est-à-dire des différents moyens donnés au Sujet pour des Objets d'action similaires mais qui se font dans des contextes différents.

Ce concept de flexibilité (que l'on retrouve en ergonomie des logiciels cf. Scapin 1986), trouve de nombreuses applications dans les systèmes embarqués quand on cherchera par exemple à ce qu'une même fonction ait des modalités d'accès différents selon le niveau familiarité du Sujet avec l'Instrument (modes expert/novice ...).

Cas 9 : Etude sur les commandes symboliques (vocale ou tactile): problématique de la correction des erreurs.

Descriptif du pôle ″Objet(s)-Espace(s) de travail″

Les Objets de l'action ont été donnés par les consignes d'un protocole expérimental où il était demandé au sujet de réaliser un scénario rapide d'usage d'un prototype de système de communication avancé (télématique/téléphonie) dans une situation de conduite simulée.

Descriptif du pôle "Instrument(s)-Artefact(s)″

Il s'agissait d'une maquette de serveur télématique proposant des pages HTML relatives à des services liés au véhicule (consultation d'informations routières, parkings, loisirs etc.)

La consultation de ces pages pouvait se faire indifféremment à partir d'un boîtier de commandes "classiques" (composé de boutons poussoir et d'un bouton rotatif), d'une surface tactile ou d'une commande vocale.

Descriptif du (des) sujet(s)

Au total une trentaine de Sujets ont participé à cette expérience. Cependant la partie qualitative, qui seule nous intéresse ici, concernait la moitié de ces sujets. Une phase d'une trentaine de minutes était proposée pour familiariser les Sujets avec le simulateur et l'équipement maquetté.

Analyse des relations

Lors de cette expérimentation, nous avons pu observer des cas de focalisation attentionnelle sur l'espace de travail annexe (S ← Ew2) au dépend de la surveillance de la scène de conduite (relation S ← Ew1) lorsque le signe produit par le Sujet (graphème ou mot de commande vocale) était mal reconnu par le système (défaut dans la relation S→A2). Cela produisait une modification de l'état du système télématique (Ew2) qui ne concordait pas avec les attentes de l'utilisateur (O2).

Cette non concordance créait une rupture dans l'enchaînement des actions relatives à l'activité annexe et plaçait le Sujet dans une situation délicate où il devait effectuer une correction beaucoup plus complexe que celles occasionnées par des erreurs de manipulation de la commande « classique ».

En effet les actions à entreprendre pour corriger « l'erreur » (revenir plus haut dans l'arborescence , ressaisir la commande…) sont apparues plus difficiles avec les commandes symboliques (commande vocale ou tactile) qu' avec le dispositif « traditionnel » de commande par clavier.

Cette difficulté sur l'activité annexe impactant à son tour les performances de conduite sous la forme de sous vitesse, de contrôle médiocre de trajectoire … (relation S-A1-Ew1).

En effet les commandes symboliques sont intéressantes en ce qu'elles sont moins sollicitatrices en ressources visuelles sur les relations S←A2 (pas de contrôle visuel sur la commande elle-même) et S←Ew2 (moins de contrôle sur l'espace de travail annexe piloté par la commande) qu'une commande classique pilotant un équipement comparable (il s'agissait ici d'un serveur télématique embarqué). Par contre les risques de déclenchement d'une opération non voulue sont aussi beaucoup plus importants.

Ces résultats nous ont amené à chercher, et à trouver, des solutions spécifiques à cette problématique de la gestion des erreurs à partir de commandes symboliques en particulier pour les commandes vocales (Martini & al 2000). Cela a conduit à une révision des modes de retour d'information accompagnée de modes de rectification plus naturelle par exemple en utilisant un schème usuel de correction vocale dont on donne ci dessous un exemple fictif.

- Utilisateur: Mante

- Système: Nantes

- Utilisateur: non, Mante[34].

Bilan (synthèse & orientations de conception)

Dans l'analyse reportée ici il ne s'agissait que de quelques cas observés dans le contexte d'une étude expérimentale de comparaison de différentes modalités de commandes qui ne visait pas particulièrement la problématique de la gestion des erreurs.

Cette problématique est apparue presque fortuitement au cours des passations. Cependant les analyses que nous venons de mener ouvrent des enseignements de porté plus générale relatifs à l'identification de schèmes sociaux de correction spécifiques à la modalité de médiatisation concernée:

- le schème de ré-appui pour une commande traditionnelle (cf. étude de cas 5)
- le schème de correction langagière du type de celui donné ci dessus pour les commandes vocales
- le schème consistant à rayer le mot ou le caractère erroné sur un système tactile de reconnaissance de caractères.

[34] Il est clair que cette stratégie de gestion des erreurs n'a de sens que si le mot mal reconnu par le système ne peut être présenté une seconde fois à l'utilisateur.

CHAPITRE VIII DISCUSSION SUR LES CAS DE CONCEPTION AUTOUR DES CONCEPTS DE CONCORDANCE VERSUS NON-CONCORDANCE DE L'ACTE INSTRUMENTAL

Nous proposons de reprendre ici la discussion introduite au premier chapitre sur" l'acte instrumental" qui est l'unité d'étude de l'activité instrumentée et que nous définissons comme *la projection et la mise en acte, par le sujet en situation, de schèmes sur l'instrument pour un objectif donné*.

Nous pensons que deux parties peuvent être distinguées dans cet acte.

1) La première partie est intériorisée dans la mesure où il s'agit d'un processus non directement observable qui consiste pour le Sujet, et selon l'Objet de l'action, à projeter des schèmes d'utilisation[35] sur l'instrument. Cela correspond à la ″face psychologique″ de notre modèle (cf. fig.7).

L'élément à souligner à partir de nos études de cas, est l'existence simultanée d'un contenu projectif sur l'Instrument, opéré par le sujet et, à l'inverse, d'une *prédisposition* de l'Instrument à provoquer une telle projection.

En d'autres termes l'Instrument, de par sa conception, est constitué d'une couche de "signes, symboles ou signaux" (pour reprendre la terminologie de Rasmussen) qui vont pouvoir mobiliser chez l'usager les schèmes d'Utilisation correspondants.

2) En complémentarité de ce processus interne nous distinguons un processus externe (i.e. directement observable) constitué des opérations elles-mêmes, réellement appliquées par le sujet sur l'artefact, et qui produisent certains effets sur l'espace de travail dans lequel s'inscrit l'action (par exemple sur l'Espace de déplacement en modifiant la trajectoire du véhicule sur la route).

Ces modifications de l'Espace de travail produisent, le plus souvent, une réduction de l'écart entre ce qui est recherché et ce qui est perçu, ce qui peut amener le Sujet à réactualiser l'Objet de son action.

Nous postulons que ce serait l'unité ou non de ces deux parties qui témoignerait, en situation, de la réussite ou non de la constitution d'un instrument pour un Objectif et pour un Sujet donnés.

Par ailleurs rappelons la spécificité forte de notre terrain d'étude *de situation multi-instrumentée pour une activité multi-objets* et des éventuels conflits qui peuvent en découler (cf. Chapitre II).

[35] Rappelons que, en reprenant la terminologie de Rabardel, nous considérons (cf. chapitre I) comme *schèmes d'usage* ceux qui s'appliquent à la relation S -I et *schèmes d'action médiatisée* ceux qui s'appliquent à la relation S-O médiatisée par I (S-I-O). L'ensemble de ces schèmes constituant les schèmes d'utilisation.

Sur la base de ce cadre interprétatif, qui est donc composé des deux faces "psychologique" et "comportementale" de notre modèle d'acte instrumental proposé au premier chapitre et du concept de Multi-instrumentations pour une activité multi-Objets proposé au chapitre VI, nous commentons à présent nos études de cas du précédent chapitre.

Ainsi trois classes vont être distinguées qui s'articulent autour d'un conflit potentiel dans le continuum perception-action que constituent les deux faces, psychologique et comportementale, du modèle :

1- Absence de conflit lors de l'acte instrumental qui se définit par une concordance des processus psychologiques (internes) et comportementaux (externes).

2- Conflit dans une dimension mono-instrumentée de l'acte qui se caractérise par un écart entre le résultat attendu et le résultat obtenu consécutivement à l'opération exercée sur un artefact spécifique (Piaget 1975 parlerait aussi de conflit entre " la représentation[36] et l'action ").

3- Conflit dans la dimension multi-instrumentée de l'acte où la difficulté ne provient pas de la relation duale avec un artefact particulier mais d'une difficulté à gérer l'ensemble de la situation multi-instrumentée (ce qui est évidemment une problématique critique de conception pour les équipements embarqués)

C'est sur la base de ces distinctions que nous nous proposons d'interpréter le tableau suivant récapitulatif des cas de conception rencontrés au chapitre VII.

[36] Nous pourrions utiliser aussi le terme de « simulation mentale » qui possède selon Berthoz une validité psycho-physiologique plus éprouvée.

8.1 Tableau récapitulatif des Etudes de cas au travers du modèle instrumental

n° du cas	**Catégorie d'artefact**	**Catégorie de sujet**	**descriptif de(s) Objet(s) de l'action**	**Elément(s) dimensionnant(s) de la relation S-I-O (face psychologique) et/ou S-A-Ew (face comportementale)[37].**	**Problématique(s) de conception**	**Orientation(s) pour la conception**
1	Confort : Toit Ouvrant arrière	Conducteur & passager avant	Obtenir plus d'air à l'arrière	Conflit entre la relation S<Ew1 (surveillance scène de conduite) et la relation S<Ew2 (surveillance du niveau d'ouverture du Toit Ouvrant)	Echec du schème de séquentialisation des prises d'informations qui conduit à une focalisation attentionnelle sur l'organe effecteur du T O. (Ew2)	Concevoir une commande qui permette de s'affranchir d'un contrôle visuel sur l'organe effecteur: par exemple en changeant de type variable pour piloter le TO avec contrôle sensoriel tactile des "pas d'ouverture" (variable discrète plutôt que continue).
2	Conduite: Cadenceur essuie vitre	Conducteur en situation dégradée de conduite (pluie)	Adapter le cadencement au besoin	L'opération sur la commande (relation S>A) pilote une variable contre intuitive par rapport au schème d'action instrumentée (relation S>I>O)	- Choix de variable non pertinent (durée de temporisation versus fréquence) - La sérigraphie ne lève pas l'ambiguïté sur la nature de la variable pilotée - Pas de retour immédiat sur l'effet de la commande (effet différé)	Changer la variable (agir sur la fréquence plutôt que sur la durée)

[37] Nous récapitulons les notations utilisées dans le tableau:
Pour la face comportementale du modèle (cf fig 6 et 7): S pour Sujet "embodied"; A pour Artefact (A1 pour artefact principal de conduite et A2 pour artefact secondaire); Ew pour espace de travail (Ew1 pour Espace de conduite qui est aussi l'espace de travail principal et Ew2 pour l'espace de travail secondaire)
Pour la face psychologique du modèle (cf fig 5 et 7): S pour Sujet "psychologique"; I pour Instrument (avec le même système d'indice que plus haut : I1 instrument de conduite, I2 instrument secondaire); O pour Objet de l'action (O1 Objet de conduite, O2 Objet secondaire).
Si l'on ne considère pas dans la discussion la dimension multi-instrumentale aucun indice n'est figuré
Les flèches < et > indiquent le sens de la relation: flèche droite (>) pour les relations "pragmatiques" et flèche gauche (<) pour les relations "épistémiques" (cf. paragraphe introductif à la figure 8) . Une relation à double sens est figurée par – (exemple S-A).

n° du cas	Catégorie d'artefact	Catégorie de sujet	descriptif de(s) Objet(s) de l'action	Elément(s) dimensionnant(s) de la relation S-I-O (face cognitive) et/ou S-A-E (face comportementale).	Problématique(s) de conception	Orientation(s) pour la conception
3	Conduite : modalités de présen-tation des informa-tions routières	Conducteur & passager avant	prendre connaissances des perturbations et agir en conséquence	prises en séquence d'informations (S<A2) entrecoupées de retours à la route (S<Ew1)	Réussite du schème de lecture séquentialisée grâce à une organisation thématique de l'affichage.	Généraliser le principe de l'organisation thématique de l'affichage aux informations textuelles standardisées.
4	Conduite : ordonnance ment de l'informa-tion routière	Conducteur & passager avant	prendre connaissances de l'ordre des perturbations par rapport à l'avancement du véhicule	transformation d'une variable technique (ordonnancement selon la chronologie d'arrivée des informations) en une variable opérationnelle (ordonnancement selon la distance de la perturbation par rapport au cheminement du véhicule). Variable traitée dans la relation S<I2<O2	Réussite du schème d'ordonnancement des perturbations grâce à un affichage organisé selon leur ordre d'apparition par rapport au cheminement	Généraliser le principe à la présentation d'informations à traiter selon un ordre de proximité par rapport à "l'état présent" (e.g. ordonnancer les actions d'entretiens à faire réaliser sur le véhicule selon un niveau d'urgence des actions ...).
5	Communic ation : recherche de station autoradio	Conducteur (fonction en redondance pour le passager)	interrompre la fonction de recherche automatique de station	Impossibilité de contrôler la variable (i.e. interrompre l'incrémentation) sur la relation A2>Ew2. Schème de réappui (relation S>I2>O2) inopérant.	Rendre opérationnel le schème de réappui (pour permettre d'interrompre le processus).	Généraliser l'utilisation du schème de "réappui" au contrôle des variables réversibles.

n° du cas	**Catégorie d'artefact**	**Catégorie de sujet**	**descriptif de(s) Objet(s) de l'action**	**Elément(s) dimensionnant(s) de la relation S-I-O (face cognitive) et/ou S-A-E (face comportementale).**	**Problématique(s) de conception**	**Orientation(s) pour la conception**
6	Conduite: Avertisseur sonore	Conducteur (en situation de conduite très contrainte)	Se préparer à avertir	Pas de position posturale prévue (relation S>A2) compatible avec un bon contrôle du volant (relation S>A1>Ew1) correspondant au schème d'attente (relation S>I2>O2)	Trouver un emplacement de la commande qui permette une position d'attente "deux mains sur le volant″.	Généraliser l'opérationalisation de "l'attente posturale" à toutes les fonctions de la conduite dont les Objets d'action doivent être anticipés car touchant à la sécurité et devant se faire dans une boucle temporelle très courte (de l'ordre de la seconde ou moins). Exemples: appel de phare, clignotant, pédale de frein etc.
7	Confort: Commandes électrifiées du siège	Conducteur (commandes similaires pour le siège passager)	Régler sa position de conduite	Multiplicité et interdépendance des variables impliquées dans la relation S>A>Ew	Etablir un lien entre schème d'usage (relation S>I) et schème d'action instrumentée (S>I>O)	Etablissement du lien selon un principe de "manipulation en miniature" : Plus généralement établissement d'un référentiel à l'action à partir des correspondances spatiales.

n° du cas	Catégorie d'artefact	Catégorie de sujet	descriptif de(s) Objet(s) de l'action	Elément(s) dimensionnant(s) de la relation S-I-O (face cognitive) et/ou S-A-Ew (face comportementale).	Problématique(s) de conception	Orientation(s) pour la conception
8	Confort: Commandes de basculement du siège avant	Passager arrière	S'insérer dans la place arrière (versus en sortir). Prérequis: faire basculer le siège	Diversité des positions d'action caractérisant la relation S>A (debout lors de l'insertion dans le véhicule ou assis sur la banquette lors de l'extraction).	L'accès à certaines fonctions doit pouvoir se faire à partir de positions (posturales ou psychologiques) diversifiées.	Diversifier les accès à une même fonction selon : - les caractéristiques du Sujet en situation: par exemple selon les positions d'actions - les caractéristiques de niveaux d'expertise du Sujet Par exemple en établissant différents niveaux d'accès aux fonctions selon le niveau de familiarité avec un système d'information comme les systèmes de guidage embarqués.
9	Communication: Commandes vocales et tactiles	Conducteurs lors d'une situation simulée de conduite	Diverses consignes expérimentales relatives à l'usage d'un système de communication avancé (type serveur télématique)	Lors de la survenue d'une erreur de reconnaissance du mot-clé ou du graphème par le système (relation A2>Ew2) difficultés à identifier l'écart entre effet attendu (S<O2) et effet perçu (S<Ew2).	La gestion de l'erreur est problématique car elle induit une focalisation attentionnelle sur l'activité annexe au détriment de l'activité principale.	Opérationalisation d'actions de correction au travers de schèmes usuels de rectification. Par exemple, usage de l'expression de la négation comme mot clé introduisant une correction: (e.g. - système vocal : 17 ? - utilisateur : non dix, sept...

8.2 Concordance des faces, psychologique et comportementale, de l'acte instrumental comme élément sous-jacent à la notion d'intuitivité

Nous défendons ici l'idée que les cas réussis de conception se caractérisent par une certaine unité entre ce qui est attendu du comportement de l'Artefact par le Sujet, selon une simulation des effets de l'application des schèmes d'utilisation qu'il projette sur l'Instrument pour un Objectif donné, et ce qui est réellement exécuté par l'Artefact, consécutivement à la mise en œuvre des opérations qui sont exercées sur lui par le Sujet. Nous avons rappelé (§ 2.4 Contraintes induites par la variété des traitements cognitifs) le contenu de ces similations cognitives selon trois niveaux qui correspondent à des traitements différents : subconscient ou *sensori-moteur*, préconscient ou *automatisé*, conscient ou *basé sur des connaissances*.

Cela signifie aussi qu'à partir du moment où il y a un Objectif d'utilisation pour un Artefact donné associé à une simulation il y a consécutivement une attente par rapport au comportement de cet Artefact.

En particulier plus l'Objectif d'utilisation sera flou plus l'attente risque d'être floue, à l'inverse plus l'Objectif sera précis plus l'attente sera précise, et plus l'écart entre ce qui est attendu et ce qui est observé consécutivement à l'action sur l'artefact pourra être précisément évalué rendant ainsi l'action plus efficace.

Avec les cas de conception du ″mini-siège″ (cas n°7) nous nous trouvons devant un objectif initial d'utilisation qui peut être assez flou (obtenir un confort postural ″satisfaisant″) mais qui nécessite néanmoins des réglages de paramètres physiques très précis (hauteur d'assise, orientation du dossier...).

C'est alors par ajustement progressif de ces derniers[38] que l'Objet de l'action se précise, jusqu'à l'obtention d'une position de confort ″acceptable[39]″.

[38] Bien que du point de vue de l'utilisateur, le raisonnement ne se fait évidemment pas en termes ″métriques″ mais par rapport à l'impact que ces réglages ont sur le confort.

[39] Le terme ″acceptable″ renvoie à l'ensemble des contraintes associées à chaque réglage : par exemple le confort acoustique peut être pénalisé par les bruit de soufflerie de la ventilation d'air en concurrence avec le confort thermique. Un autre exemple de compromis peut être donné avec la recherche d'une bonne accessibilité visuelle ou tactile aux commandes et aux afficheurs qui peut parfois entrer en concurrence avec la recherche du confort postural.

Cette réflexion peut être élargie à d'autres des artefacts du poste de conduite comme les commandes de climatisation/chauffage qui elles aussi nécessitent un réajustement parfois croisé pour obtenir un bon confort thermique (température, débit et orientation du flux).

Ainsi le mixage des différents paramètres est interdépendant alors que l'identification des paramètres à manipuler peut s'avérer difficile.

Or l'élément particulièrement exemplaire dans le cas de conception du mini-siège tient au référentiel à l'action utilisé pour permettre à l'utilisateur de manipuler et distinguer les différentes variables qui vont participer à l'atteinte de l'Objectif : Dans ce cas le référentiel utilisé pour l'artefact de commande est l'organe piloté lui-même.

Dans un autre cas, que nous n'avons pas présenté dans ce travail pour des raisons de confidentialité, il s'agissait d'une analogie avec un artefact du domaine "grand-public" où la nouveauté consistait à le transposer au domaine automobile. S'agissant d'un artefact "grand public" les schèmes d'utilisation sont déjà connus de l'utilisateur.

Notons que dans l'un ou l'autre cas, l'identification des variables (face psychologique), et de leurs manipulations au travers de l'artefact (face comportementale), apparaissent *immédiates* et *concordantes*.

En ce sens, de notre point de vue, ce sont typiquement des commandes *intuitives* c'est-à-dire des commandes dont les schèmes d'utilisation sont à la disposition du Sujet. Soit parce que l'instrument est déjà constitué (e.g. schèmes d'utilisation d'un produit grand-public), soit parce qu'il utilise un référentiel aisément identifiable par le Sujet (cas du mini-siège).

Dans ce dernier cas ("mini-siège") la force de la conception tient au recouvrement entre les schèmes d'usage (orientés vers l'artefact) et les schèmes d'action instrumentée (orientés vers l'Objet de l'action). Ainsi ce recouvrement permet qu'après la mobilisation du schème d'action (par exemple "avancer le siège"), la correspondance soit quasi immédiate avec le schème d'usage (soit ici "tirer vers l'avant le bouton qui figure l'assise du siège"): Le schème d'action sert alors de référentiel au schème d'usage.

Plus généralement cette notion d'introduction d'un référentiel dans la conception peut être étendue aux différentes correspondances spatiales qui peuvent être faites entre ce que nous appelons les artefacts *de commande* (qui pilotent la fonction) et les artefacts *effecteurs* (qui agissent directement sur l'espace de travail).

Pour en donner des exemples dans le contexte automobile cela peut consister:

à positionner la commande de mise en marche du dégivrage du pare-brise au dessus de celle pilotant le dégivrage de la lunette arrière selon le référentiel avant/arrière du véhicule;

à constituer un référentiel haut/bas pour organiser le séquencement de la commande de répartition d'air;

ou à constituer un référentiel gauche/droite pour les commandes dédoublées (ouverture/fermeture des vitres avant/arrière/gauche et droite, réglages gauche/droite des rétroviseurs et de la température) etc.

Nous pouvons voir aux travers de ces exemples que les trois dimensions spatiales sont concernées et que cela peut être appliqué à une grande variété d'artefacts.

Notons que la dimension temporelle peut être aussi impliquée (cf. cas n°4 sur l'ordonnancement des informations routières selon leur ordre d'apparition au fur et à mesure de l'avancement sur l'itinéraire).

Cet usage d'un référentiel peut toucher aussi les affichages, en les orientant par exemple dans le sens de marche du véhicule (orientations de la vignette de guidage, de la carte, de la vignette de figuration des fonctions sous contrôle etc.)

Les deux derniers cas de conception, identifiés comme ″réussis″ (cas n° 3 relatif à l'affichage du contenu d'une information routière et cas n° 8 relatif au basculement du siège avant), sont intéressants pour faire ressortir l'aspect contextuel de la cohérence entre les faces psychologique et comportementale de l'acte instrumental.

Dans le cas de l'affichage de l'information routière il est à souligner que la lecture d'un message de ce type ne présente pas en soi de difficulté... s'il s'agit d'une lecture à l'arrêt !

Il suffit en particulier que la lisibilité des caractères soit suffisante et que l'information soit pertinente par rapport à l'objectif de l'utilisateur (prendre connaissances d' informations sur le trafic pour agir en conséquence) pour que les schèmes de lecture s'appliquent de manière cohérente à l'affichage du texte.

Cette cohérence est par contre mise à mal dans un contexte de conduite où les schèmes ″traditionnels″ de lecture de texte ne sont plus opérants dans la mesure où ces derniers nécessitent un parcours visuel linéaire et continu de l'afficheur, et où toute interruption du processus de lecture est pénalisante (difficultés à reprendre une lecture en cours au milieu d' une phrase).

Or nous avons vu au chapitre II combien les ressources temporelles, visuelles, et attentionnelles du conducteur sont extrêmement limitées, trop limitées en tout cas pour la lecture en une seule séquence visuelle sur l'afficheur d'une phrase un peu complexe.

La caractéristique du nouvel affichage proposé, c'est-à-dire la décomposition systématique du message selon les contenus informationnels (cf. cas n°3 événement, localisation, conséquence etc.) permet de modifier les schèmes de lecture de manière à les rendre séquentialisables :

Il y a donc bien ici une attente implicite (pouvoir reprendre la lecture là où elle a été interrompue) qui est satisfaite. De ce point de vue nous considérons qu'il y a aussi ici concordance entre les deux faces du processus instrumental.

Le dernier cas de conception ″réussie″ concerne la conception de la commande de basculement du siège (pour l'accès aux places arrières). L'analyse des Objets d'action sur cette commande montrent qu'ils peuvent être ponctuellement similaires (faire basculer le siège) mais motivés par des Objectifs sur-ordonnés qui peuvent être diamétralement opposés (s'introduire dans le véhicule versus s'en extraire).

Ce cas de conception illustre bien que la concordance des processus, psychologique et comportementale, n'a de sens que pour une position d'action donnée : Tirer vers le haut le levier positionné sur le coté du siège quand le sujet se présente debout pour s'y introduire ne l'est plus pour s'en extraire (où surgissent alors des problèmes d'accessibilité et d'effort à fournir sur ce même levier à partir de la position assise).

D'où l'idée des concepteurs qui a consisté à proposer deux moyens de décrochage de l'attache reliant l'arrière du siège au plancher pour permettre d'en optimiser l'actionnement selon la position initiale du Sujet (debout versus assis).

Nous voyons bien par cet exemple que la cohérence de l'acte instrumental est donc bien *située* pour un contexte donné d'action.

L'intérêt de l'analyse de ces contextes est de déterminer des invariants dimensionnants pour la conception à partir des invariants de l'activité : comme ceux provenant des limitations des ressources visuelles pendant la conduite selon les abaques proposés dans les figures 11 & 12, ou autre exemple, selon les caractéristiques biophysiques du mouvement sur la commande à partir des positions debout ou assis dans le cas du basculement du siège.

Nous nous proposons à présent de discuter les cas où est apparu un défaut de conception en faisant une distinction entre les dimensions ″mono-instrumentale″ et ″multi-instrumentale″ de l'acte.

Précisons que quand nous parlons d'un ″défaut″ ou d'une ″réussite″ de conception il ne s'agit pas d'un jugement porté sur l'artefact en général, mais sur un point précis, mentionné par les essayeurs ou identifié suite à des résultats expérimentaux.

8.2 Non-concordance des faces, psychologique et comportementale, dans l'acte mono-instrumenté

Cette non-concordance est survenue dans plusieurs de nos études de cas comme celui du cadenceur d'essuie-vitre avec une ambiguïté sur la variable manipulée (n°2) ou celui de la recherche automatique de station (cas n°5) avec le schème d'interruption par ré-appui appliqué sans effet sur la touche (cf. Chapitre VII).

Il y a dans ces cas de conception des schèmes d'utilisation qui sont projetés sur l'instrument, avec un résultat attendu mais qui aboutissent à une incohérence, mentionnée sous une forme ou une autre par les essayeurs, provoquée par un écart entre ce qui était attendu (consécutivement à une simulation mentale) et ce qui est obtenu (consécutivement à l'opération portée sur l'artefact).

Ces écarts peuvent s'interpréter comme une non-concordance dans l'acte mono-instrumenté dans la mesure où ce n'est pas la situation de conduite qui crée l'incohérence mais une particularité de l'artefact de commande considéré (ambiguïté sur la variable manipulée dans un cas et impossibilité d'interrompre le processus dans l'autre).

En effet, et bien que les conséquences de l'incohérence soient évidemment plus perturbatrices[40] en conduite qu'à l'arrêt, le même phénomène de non-concordance peut s'observer sur ces cas de conception que l'on soit à l'arrêt (situation mono-instrumentée) ou en conduite (situation multi-instrumentée).

[40] D'autant qu'un des deux artefacts (cadenseur essuie vitre) agit directement sur la vision de conduite.

Pour caractériser cette non-concordance, nous proposons d'utiliser le terme de commandes ″contre-intuitives″ , introduit au deuxième chapitre, en opposition avec la caractéristique d'intuivité présentée dans les précédents cas de conception.

Nous pensons qu'il existe aussi dans ces cas de "contre-intuitivité″ des référentiels à l'action qui ont été utilisés de manière le plus souvent implicite dans la conception: La référence au "stéréotype" consistant à faire correspondre une incrémentation de la valeur avec une rotation de la bague du cadenseur (cas n°2) "dans le sens des aiguilles d'une montre" en est un exemple. Dans cette perpective notons qu' il n'y a pas de contre-intuitivité à ce niveau (i.e. au niveau du schème d'usage).

Cependant si le référentiel est cohérent pour ce qui est du sens d'incrémentation et de décrémentation de la variable, la question se pose du choix de la variable ? (il s'agit de la variable "fréquence" pour l'essayeur et de la variable "durée de temporisation" pour les concepteurs) c'est donc bien à ce niveau (celui de l'application du schème d'action médiatisée) que la non-concordance des deux faces du modèle trouve son origine.

Ainsi le référentiel utilisé par la sérigraphie placée à proximité de la commande (progressivité dans l'espacement des traits) serait suffisant pour désambiguïser l'identification du sens de l'incrémentation, mais pas suffisant pour identifier la nature de la variable manipulée.

Nous retrouvons dans l'autre cas, relatif au dispositif de recherche automatique de station, une problématique différente dans le sens où il y a bien un référentiel à l'action ″le stéréotype de ré-appui pour interrompre le processus lancé par la même commande″ mais qui est cette fois utilisé par le sujet alors que ce référentiel n'a pas été identifié lors de la conception initiale; la fonction d'interruption n'existant pas sur cette commande ...

L'analyse de ces deux cas nous permet de préciser différentes facettes à la non-concordance de l'acte instrumenté: La non-concordance de l'acte instrumenté est donc d'après nous provoquée par un écart entre ce qui est attendu et ce qui est observé : Or nous savons qu'à l'origine même d'une action il existe déjà un écart entre un état perçu et un état recherché.

L'acte instrumenté s'inscrit donc dans un continuum où, dès l'origine, la perception d'un écart engendre un Objet d'action qui est propre à réduire l'écart perçu.

Or dans nos deux derniers cas de conception, non seulement l'action ne va pas dans le sens d'une réduction de l'écart, mais de surcroît, le contrôle du sens de cette réduction est défaillant.

Cela renforce la perception d'incohérence entre les deux faces du processus:

Pour l'essuie vitre puisqu'il s'agit d'une temporisation, l'effet de l'action ne s'observe qu'au travers de l'évolution de la durée entre deux séquences d'essuyage. Ainsi le contrôle de l'action ne peut être immédiat.

Pour la fonction de recherche automatique, c'est encore plus intrinsèquement le contrôle de l'action qui est problématique puisque la fonction d'arrêt n'est pas directement disponible à l'utilisateur et c'est précisément ce point qui fait défaut.

En terme de conception il y a donc bien d'une part un problème de non-concordance entre les faces psychologique et comportementale (c'est-à-dire que l'attente et les effets de l'action ne coïncident pas); et d'autre part un problème de gestion de cette incohérence qui, comme nous pouvons le voir sur le cas de conception de l'essuie vitre, vient se surajouter au problème initial.

8.3 Non-concordance des faces, psychologique et comportementale, dans l'acte multi-instrumenté

Un premier exemple est donné avec le cas de conception relatif au Toit Ouvrant Arrière (n° 1) où aucun problème majeur de conception ne s'est manifesté au niveau de la dimension mono-instrumentale.

En effet le schème d'usage se révèle correctement projeté, ce qui se manifeste par le fait que le basculeur est apparu convenablement identifié en tant que tel (schème d'usage d'appui possible sur l'une ou l'autre des deux extrémités du basculeur), ainsi que les schèmes d'Actions médiatisées avec les deux distinctions des actions d'ouverture versus fermeture du toit ouvrant. De plus l'usage d'un référentiel spatial (Devant/Derrière) pour disposer les commandes d'ouverture des deux toits ouvrants avant et arrière a aussi été compris de manière immédiate.

La difficulté ne provient donc pas d'une projection inadéquate des schèmes sur l'artefact mais, lors de la mise en œuvre, d'une difficulté à contrôler l'action. Une preuve en est qu'aucune difficulté n'a été exprimée relative à l'usage du Toit ouvrant Avant fonctionnant sur les mêmes principes mais sur lequel un contrôle visuel sur l'organe effecteur est plus aisé.

La difficulté n'apparaît donc que sur le dispositif d'ouverture arrière dans la situation multi-instrumentée c'est-à-dire en conduite.

D'après notre modèle instrumental, c'est un conflit entre les relations S<Ew1 (surveillance de la scène externe) et S<Ew2 (contrôle visuel de l'ouverture du toit de manière à déterminer le niveau d'entrebâillement souhaité) qui est en jeu.

Malgré l'aspect secondaire de cette dernière tâche, elle apparaît suffisamment sollicitatrice pour ne pas permettre une application réussie du schème visant à partager les ressources visuelles. La non-concordance viendrait ainsi de l'incapacité du conducteur à appliquer le schème *de séquentialisation des prises d'information.*

Un autre exemple, que nous classerons aussi comme une incohérence des faces psychologique et comportementale dans l'acte multi-instrumenté, est donné avec l'exemple de l'avertisseur sonore sur le volant.

En dépit de son caractère faussement ″anecdotique″ (positionner la commande de Klaxon sur le volant lui-même ou en bout de commande de phares), l'analyse de ce cas nous a permis d'identifier un autre schème intitulé *schème d'attente posturale* dont la prise en compte devrait être généralisée à la conception de plusieurs des *artefacts critiques* du poste de conduite.

Nous savons en effet depuis longtemps l'importance des fonctions anticipatrices sur la conduite. Plus généralement Berthoz (1997) propose des explications neuropsychologiques sur ce phénomène qui pourrait être une des caractéristiques de base du fonctionnement psychologique *intelligent*.

Dans notre cas il s'agit d'une sous-classe de ce fonctionnement où le Sujet se prépare à la survenue d'un événement potentiel (se préparer à agir "au cas où").

Ce cas de conception de l'avertisseur sonore est exemplaire car il s'agit d'un artefact très basique où le processus traditionnel de conception n'a pas su néanmoins intégrer cette dimension fonctionnelle pourtant majeure dans l'usage.

Un dernier exemple de non-concordance entre ce qui est attendu (à partir du sous-processus psychologique) et obtenu (à partir du sous-processus comportemental) peut être donné avec certaines situations d'utilisation des commandes à base de variables symboliques (commande vocale et surface tactile de reconnaissance de forme).

Bien que les résultats montrent l'indiscutable intérêt de ces moyens de commande pendant la conduite, les analyses montrent aussi qu'en cas de défaillance de la reconnaissance (quand le mot ou le graphème reconnu par le système n'est pas celui énoncé par le sujet) l'incohérence entre ce qui est attendu et ce qui est obtenu est particulièrement marqué.

Cela s'observe aux travers des difficultés qu'à alors le Sujet pour interpréter l'erreur du système et la corriger.

Il y a là un risque de focalisation d'attention sur l'activité annexe au dépend de l'activité principale de conduite plusieurs fois observés lors de l'expérimentation que nous avons menée (cf. cas 9).

L'introduction de moyens spécifiques de correction basés sur la reproduction de schèmes d'usage courant (comme le schème langagier *"non + réitération du nom de commande voulue"* pour la commande vocale ou le *raturage* pour les signes tactiles) apparaissent comme des moyens commodes pour gérer ces écarts entre ce qui est attendu et ce qui est obtenu.

La problématique est bien une problématique de multi-instrumentations dans la mesure où le principal intérêt revendiqué par les concepteurs de ces moyens sophistiqués de commande est l'accès facilité en conduite aux fonctions pilotées par ces systèmes. Malheureusement notons qu'à l'inverse la gestion des éventuelles incohérences entre ce qui est attendu et obtenu est aussi particulièrement épineuse en situation de conduite (i.e. en situation de multi-instrumentations).

CHAPITRE IX : DISCUSSION DE SYNTHESE SUR LA VALIDITE DE L'APPROCHE A LA CONCEPTION DE NOUVEAUX PRODUITS

9.1 Validité et capacité de généralisation du modèle

Dans ce travail nous avons développé un modèle instrumental qui suit deux orientations:

- Une orientation théorique, où le modèle doit avoir une réelle représentativité vis à vis du fonctionnement humain dans les situations d'action instrumentée.
- Une orientation pratique, où il doit alors servir de référence, de manière à traiter plus rapidement, et avec plus de certitude, les choix les plus dimensionnants de la conception.

C'est bien cette deuxième orientation qui est la finalité ultime de cette démarche. Cependant l'expérience nous montre qu'elle ne peut faire l'économie d'une réflexion suffisamment approfondie sur le fonctionnement humain en situation. C'est en effet par une caractérisation de ce dernier que l'on pourra déterminer les caractéristiques adéquates de l'artefact (ou que pourront être justifiés les nécessaires compromis de conception).

Ainsi toutes nos études de cas illustrent, de près ou de loin, un aspect du fonctionnement humain à intégrer dans la conception. Pour ne prendre que quelques exemples, des questions comme :

- quelle variable faire manipuler pour correspondre aux attentes implicites de l'utilisateur? (e.g. fréquence ou durée dans le cas du cadenceur) ?

- l'utilisateur dispose-t-il de schèmes opérationnels supplétifs lors des dysfonctionnements du système? (questions qui se posent pour les artefacts complexes d'assistance comme le système de guidage étudié)

- quel référentiel à l'action choisir pour traiter de l'intuitivité d' une commande de réglage agissant sur plusieurs paramètres ? (e.g. mini-siège)?

- quel moyen de correction doit être conçu selon la modalité d'interaction considérée (commande vocale, reconnaissance tactile, commande traditionnelle) ? ...

sont autant de points clés pour la conception qui nécessitent à titre divers, une référence au fonctionnement de l'utilisateur en situation.

Ainsi nous nous retrouvons devant l'une des problématiques majeures de l'ergonomie (Daniellou 1988) qui est la question d'intégrer dans la conception des connaissances sur le fonctionnement de l'utilisateur d'un système qui n'existe pas encore, alors même que pour le concevoir nous avons besoin d'informations relatives à son usage réel ?

C'est là que la notion de modèle prend tout son sens: comme moyen de se représenter ce que serait l'activité future avec l'artefact à concevoir.

Il est intéressant de souligner que c'est à la base de ce que font tous les concepteurs, ou designers, quand ils traitent d'un problème qui va impacter l'interaction avec l'utilisateur: par exemple lors de la phase d'analyse fonctionnelle Beguin et Nicolas (1999) ont montré comment à partir de ce que ces auteurs ont appelés « *simulations langagières* » les concepteurs se communiquaient des représentations de situations d'usage possible de manière à déterminer collectivement des choix de conception. Il y a donc bien l'idée d'une représentation de l'activité future à la base de toute démarche de conception. Notre propos est de nous appuyer sur ce processus écologique.

Cependant l'une des difficultés majeures qui limite la validité de cette démarche naturelle est qu'elle s'appuie le plus souvent sur ce que Norman appellerait une psychologie "naïve" pour se représenter le fonctionnement de l'utilisateur[41].

Pour éviter cet écueil, il s'agit de faire évoluer la représentation en intégrant des éléments qui ont fait l'objet d'une réelle démarche scientifique et qui apportent au concepteur une représentation moins sommaire par rapport à ce qui peut être projeté des situations d'utilisation future.

Dans l'exemple de conception sur le toit ouvrant arrière (cas n°1), les concepteurs ont été amenés à "simuler" certains contextes d'usage de la commande avant de déterminer que son emplacement devait être en zone d'accès du conducteur plutôt qu'à proximité des passagers arrière: en particulier dans l'hypothèse où ces derniers descendent du véhicule, en laissant ouvert le TO, il est alors nécessaire que le conducteur puisse agir dessus sans avoir à s'arrêter.

Cependant ces contextes simulés d'usage sont nécessairement restrictifs, l'exhaustivité est bien évidemment impossible dans ce domaine. Le choix de ces contextes, qui se doivent d'être dimensionnants pour la conception, est par conséquent un enjeu majeur. La qualité de cette simulation, c'est-à-dire sa représentativité par rapport à l'usage probable futur est aussi un enjeu de premier ordre.

Or le modèle instrumental proposé dans ce travail permet d'intégrer avec beaucoup plus de représentativité, c'est-à-dire de réalisme et de précision, mais aussi de manière plus opérationnelle, les différentes facettes qui composent l'activité future projetée.

Une première illustration peut être donnée toujours avec ce même exemple du Toit Ouvrant:

[41] le terme de "psychologie naive" est utilisé chez cet auteur en référence à la physique dite "naive" qui s'oppose à la physique "scientifique".

En effet les concepteurs avaient bien identifié une situation d'usage probable pour déterminer un aspect du problème relatif à la localisation de la commande.

Par contre le fait que l'action puisse être simultanée avec la conduite n'avait fait l'objet d'aucune "simulation" particulière.

Or la pratique a montré qu'il a suffi d'un exposé assez succinct, mais précis, de la problématique à partir de l'analyse du cas présenté au chapitre VII pour que les designers proposent un principe de commande qui réponde aux deux principales difficultés identifiées:

- le contrôle visuel sur l'espace de travail de l'artefact effecteur (i.e. le contrôle visuel direct de l'ouverture du TO: relation S<Ew2) en concurrence avec le contrôle visuel de la scène externe de conduite (relation S<Ew1).
- le risque de focalisation attentionnelle sur cette même relation S<Ew2.

A partir de là, un principe de commande a pu être retenu où le contrôle des effets de l'artefact effecteur (relation S<Ew2) puisse être médiatisé par la commande elle-même (relation S<A2<Ew2) et en utilisant de surcroît un canal autre que visuel.

Bien entendu il restera ultérieurement à vérifier que les caractéristiques projetées de l'interaction avec le nouveau design de la commande correspondent à ce qui est attendu en terme de médiatisation du contrôle, mais il est clair qu'une fois les objectifs ergonomiques ainsi définis il devient aisé de vérifier aux différents stades d'évaluation et/ou de validation que la commande conçue correspond bien à son cahier des charges ergonomiques.

Dans cette confrontation de notre analyse avec les designers, l'aspect à remarquer ne tient pas seulement dans le fait qu'un principe de commande satisfaisant les nouvelles exigences ergonomiques a pu être aisément dégagé, mais surtout que ce principe a été identifié comme pouvant être aussi appliqué à d'autres artefacts de commandes (par exemple ici un principe proche a été identifié pour le design de commandes des lève-vitres électriques).

Il y a donc bien une généralisation possible, à une classe d'artefacts, des résultats de l'analyse obtenue sur un artefact particulier.

Ainsi, si nous fonctionnons dans un premier temps de manière rétrospective par rapport au processus de conception, l'analyse du cas de conception nous permet de nous inscrire dans une démarche prospective en documentant deux points :

- les possibilités d'amélioration de l'existant
- l'identification de nouveaux principes ergonomiques applicables à une classe donnée d'artefacts

Ce principe de généralisation, rendu possible par l'application du modèle, permet ainsi de fonctionner de manière prescriptive par rapport à la conception de nouveaux artefacts, ou par rapport à l'amélioration d'anciens, sans forcement nécessiter toujours le recours à des études ad hoc pourtant a priori nécessaires à la conception.

Un autre exemple de généralisation est donné avec l'avertisseur sonore (cas 6).

L'identification du schème d'attente sur un cas précis d'utilisation a permis de dégager une règle généralisable à toute une classe d'artefacts : Ainsi la conception de la commande d'appel de phare doit aussi permettre une telle préparation à l'action et ce pour les mêmes raisons que l'avertisseur sonore.

Peut-être de manière plus surprenante, la commande d'essuie vitre a pu bénéficier du même raisonnement. En effet sur cette base d'identification d'un schème d'attente, un concepteur a pu projeter aisément la situation d'un conducteur roulant derrière un camion sur route mouillée, sans qu'il soit nécessaire pour ce conducteur de mettre en action les essuie-glaces (il ne pleut pas), mais où par contre il peut se préparer à agir, *au cas où le camion roulerait dans une flaque et que de grande quantité d'eau soit soudainement projetée sur le pare-brise...*

Un même invariant de l'activité - *se préparer à agir dans l'urgence, en s'engageant corporellement dans l'action (effleurer la touche avec le doigt), tout en maintenant une position de conduite très contrainte (due à la nécessité, en roulant à vive allure sur l'autoroute, de maintenir les deux mains sur le volant)* - a pu être ainsi identifié et faire l'objet d'une généralisation à toute une classe de situations d'usage dites "d'attente posturale" qui, une fois assimilée par les concepteurs, va pouvoir dimensionner de manière pertinente le design des artefacts concernés.

La contrainte sur l'activité étant similaire, il est en effet naturel que l'on retrouve une contrainte de même type sur la conception de cet ensemble d'interfaces.

Un autre exemple de généralisation peut être donné avec le cas du "mini-siège".

Comme nous l'avons dit l'intelligence de la conception a consisté à créer une analogie entre l'action sur l'espace de travail (Ew : ici le siège) et l'action sur l'Artefact de commandes (organisée en similarité avec le siège réel avec ses différents degrés de liberté : avancement, hauteur, inclinaison etc.).

Ce type d'analogie (qui se résume selon notre modèle à une homothétie entre schèmes d'usage et schèmes d'action instrumentée) s'est beaucoup développée dans la conception des nouveaux instruments informatiques.

C'est en bonne partie ce qui a fait le succès que l'on connaît des premiers MacIntosch et de leur Operating System[42].

Ainsi le principe de la "corbeille" permettant de "jeter" de manière réversible les fichiers obsolètes est devenu une référence, mais c'est bien l'ensemble de l'Operating System qui fonctionne sur ce principe: constitution de dossiers, de fichiers, notion de bureau, de fenêtrage, d'ascenseur etc. .

Dans l'automobile ce principe apparaît également comme pouvant être généralisé à de nombreux artefacts embarqués.

Comme nous l'avons indiqué (cf. § 7.2 cas 7) le principe de la correspondance entre l'organisation de la commande et l'emplacement des organes effecteurs (par exemple la platine regroupant le pilotage des quatre vitres électriques) s'appuie sur une correspondance spatiale qui, d'un point de vue conceptuel, appartient à la même grande famille: celle qualifiée de "natural maping" par Norman (1988).

Pourtant il est curieux de voir que ce principe n'est, loin sans faut, pas toujours appliqué. A notre avis c'est précisément dû au fait qu'il n'a pas été réellement formalisé et que de ce fait aucune règle générale de conception n'a pu être dégagée pour être appliquée de manière systématique.

Car, en tout état de cause, si cette phase de formalisation n'est pas suffisante, elle est un pré-requis nécessaire à une prise en compte systématisée dans la conception.

Par ces exemples nous venons de voir comment peut s'opérer une généralisation utile à la conception d'autres artefacts à partir d'une étude de cas. Un point essentiel du modèle est qu'il permet de préciser le (ou les) élément(s) des relations Sujet-Instrument-Objet qui peut (peuvent) faire l'objet de généralisation. De plus, nous verrons dans le paragraphe suivant comment l'ensemble des formalisations opérées sur nos études de cas peut être rattaché à des critères de conception.

Cependant nous avons conscience que ces enseignements pour la conception nécessitent, au moins pour les cas les plus complexes, un retour pour vérification a des observations empiriques.

Par exemple le caractère opérationnel des schèmes de gestion des compromis de l'action, qui permettent au conducteur de gérer de manière sécuritaire une contradiction des prescriptions du guidage (cf. chapitre V), n'est sûrement pas un résultat qui peut s'observer tel quel dans tous les cas où l'utilisateur est confronté à une dissonance cognitive induite par le dysfonctionnement d'une assistance.

[42] Notons au passage que ce succès a été loin d'être immédiat: La première machine conçue sur la base du multi-fenêtrage et de la souris, la XerosStar développée au centre de recherche de Palo Alto, a été, malgré son incontestable ingéniosité, un échec économique (machine trop lente et trop chère). Idem pour le premier produit d'Apple (Lisa) directement inspiré de ces recherches. Les évolutions dans ce domaine de la communication homme machine se heurtent à de nombreuses difficultés qui rend le processus d'évolution plus lent que ce que l'on pourrait de prime abord imaginer.

Par contre ce résultat permet, au minimum, d'orienter les évaluations à entreprendre sur ce type de système complexe, et d'amener une approche scientifique par catégorisation entre les artefacts qui suivent la règle et ceux qui ne la suivent pas.

Or à partir du moment où des éléments de généralisation sont "validables" pour la conception d'artefacts d'une dimension catégorielle donnée (par exemple ceux devant être compatibles avec une posture d'attente ; ceux qui peuvent mettre l'utilisateur en situation de dissonance cognitive ; ceux qui peuvent faire l'objet d'une correspondance spatiale etc.) cela ancre le caractère scientifique de la démarche tout en combinant des données recueillies à partir d'une démarche "clinique" (comme l'analyse à partir des études de cas menée au chapitre VII) ou "expérimentale" (comme les expérimentations ad hoc menées sur les systèmes de guidage).

9.2 Approche par critères de conception

Après avoir précisé les capacités de généralisation, il nous reste à discuter de l' opérationalité de la démarche.

Ainsi, une autre façon de tirer des enseignements de l'analyse consiste à ne pas partir des cas de conception, un par un comme nous venons de le faire, mais de faire ressortir directement des critères de conception qui peuvent, eux aussi, amener des enseignements porteurs pour la conception.

C'est ce que nous nous proposons de faire à présent en nous inspirant des critères utilisés en ergonomie des logiciels (Scapin & Bastien 1997) tout en utilisant notre modèle pour faire un lien entre ces critères et la modélisation des situations d'usage qui va pouvoir les justifier.

Cela nous amène à préciser ce que nous entendons par critères de conception:

Les critères sont des concepts qui permettent d'orienter la conception et/ou de porter un jugement d'appréciation. Ils se présentent sous la forme d'une prescription qui doit prendre en compte des invariants de l'activité dimensionnants pour la conception.

Pour cela ils doivent être rattachés selon nous à une théorie de l'activité (nous avons développé le modèle de la multi-instrumentation dans ce sens) et à des références à des situations d'usage ayant fait l'objet d'un recueil de données empiriques analysées à partir du dit modèle.

Ces critères peuvent être métriques (par exemple les critères sur l'emplacement des afficheurs ou sur l'emplacement des commandes) ou qualitatifs (par exemple les moyens que l'on donne à l'utilisateur pour gérer "ses erreurs").

Ces critères doivent être exemplifiés par des solutions mais ne pas être confondues avec ces dernières: Les solutions sont des instanciations de critères à développer pour une application donnée et qui font le plus souvent l'objet d'un compromis.

Nous proposons à présent une taxinomie de ces critères qui s'appuie sur les différents liens entre les deux faces et les trois pôles de notre modèle (cf. fig 7).

9.2.1 Guidage de l'utilisateur

Une première grande famille de critères concerne ce que l'on appelle le ***guidage*** de l'utilisateur. C'est-à-dire l'ensemble des moyens que l'on se donne dans la conception pour guider l'action de l'utilisateur pendant l'interaction.

L'approche instrumentale permet de préciser ce que nous entendons par guidage: Il s'agit en fait des moyens pour activer l'évocation d'un schème spécifique d'usage (relation S<I) et/ou d'action instrumentée (relation Sujet Objet médiatisée par l'instrument: S<I<O)

Cela peut passer par ce que l'on appelle une ***incitation*** c'est-à-dire un signe constitutif de l'artefact (par exemple un onglet, une sérigraphie etc.) à l'adresse de l'utilisateur pour orienter son action. Dans notre exemple sur la commande d'essuie vitre (cf. illustration cas n°2) la sérigraphie constitue un *signe* indiquant le mode de fonctionnement de la commande (en rotation sur un axe). Cela renvoie aussi à la notion de "visibilité" développée par Norman (1988). En ce sens la sérigraphie concerne ici, comme nous l'avons déjà indiqué, l'évocation du *schème d'usage*. Alors que, autre exemple, la sérigraphie disposée sur la commande audio qui figure un changement de piste (cf. illustration cas 5), "guide" cette fois l'utilisateur par rapport à l'Objet de l'action. De ce fait cette dernière sérigraphie oriente alors le *schème d'action instrumentée*.

En reprenant la notion de visibilité proposée par D. Norman il y a donc une visibilité qui concerne ce qui peut être fait par rapport à l'action sur l'artefact (évocation du schème d'usage), et une visibilité sur ce qui peut être obtenu par rapport à l'Objet de l'action (évocation du schème d'action instrumentée).

Nous placerons sous cette même rubrique de critères l'ensemble des prescriptions à l'adresse de l'utilisateur (sous formes textuelles, graphiques, vocales) qui ont pour but de décrire de manière plus ou moins explicite une opération à réaliser (par exemple les ***aides en lignes***).

Le guidage peut aussi se faire par le ***regroupement*** et par son versus qu'est *la* ***discrimination*** *:* Il a été en effet maintes fois démontré que le contexte dans lequel est placée la commande, ou l'information affichée, va directement influencer sa compréhension.

Cela peut se faire par le ***format****:* par exemple toutes les icônes concernant les alertes de dysfonctionnements du freinage sont usuellement déclinées sur une même base représentant un tambour de frein ; ou par la ***localisation****:* par exemple un regroupement spatial des commandes agissant sur un même dispositif (e.g . une console de réglage du chauffage regroupe toutes les commandes relatives au confort thermique).

A ce titre notons qu'il nous a été rapporté qu'une des commandes de basculement du siège (cas n° 8) a été identifiée, de par son emplacement, comme une commande de réglage de l'inclinaison du dossier[43].

Il y a donc bien associé à ce critère de conception son versus: la ***discrimination*** qui doit permettre d'identifier entre eux des moyens qui agissent sur des Objets différents mais qui peuvent sur certains traits de surface s'apparenter en créant alors des enchevêtrements.

Par exemple, la confusion entre la commande de réglage de dossier et celle de basculement du siège a été renforcée par le fait que toutes deux agissent sur un même *Espace de travail:* le dossier et son inclinaison.

Dans sa typologie des erreurs Norman (1988) parlerait sans doute ici d'erreurs de "saisie" (capture errors) qui apparaissent selon cet auteur quand deux séquences d'actions ont leurs étapes initiales en commun et où la séquence familière peut fortuitement se substituer à la séquence qui l'est moins.

Au total le guidage concerne donc les relations Sujet-Instrument (schème d'usage) et Sujet-Instrument-Objet (schème d'action instrumentée) où la question de conception concerne l'évocation et la disponibilité des schèmes dont dispose l'utilisateur pour agir.

Dans certains cas la conception induit par elle-même les schèmes à mobiliser. C'est évidemment ce qu'il y a de plus favorable car c'est aussi ce qui sera le plus économique en terme d'attention et/ou de charge visuelle mobilisée. C'est par exemple ce qui a pu être obtenu avec le principe du mini-siège (cas n°7). Dans ce cas un principe d'analogie a été utilisé avec profit.

[43] Cette confusion entre les deux commandes aurait été faite par un journaliste automobile qui aurait ainsi critiqué le fonctionnement de la commande (certes mal commode pour cet Objet d'utilisation!). Il est intéressant au passage de remarquer comment une erreur de conception portant sur la localisation d'une commande peut incidemment se transformer en critique sur son fonctionnement.

Après ***l'incitation*** et le ***regroupement***, *l'**analogie*** sera donc notre troisième sous critère de guidage qui répond à la question du référentiel, implicite ou explicite, auquel on a fait appel dans la conception.

Il s'agit de référentiels qui ont un ancrage culturel plus ou moins important. Notons:

- Les *stéréotypes culturels* (cf. code of practice of the British Department of Transport 1993) qui vont surtout aider à la mobilisation des schèmes d'usage. Par exemple l'incrémentation d'une valeur se fait par un mouvement de bas vers le haut plutôt que l'inverse; de gauche à droite plutôt que de droite à gauche; par une rotation dans le sens des aiguilles d'une montre etc. .

- Les références aux schèmes sociaux d'utilisation des artefacts "grand-public" : Bureautique, Electroménager, Multimédia... De ce fait nous les appellerons les ***référentiels instrumentaux***.

Pour des raisons de confidentialité nous n'en avons pas donné d'exemples dans le domaine automobile mais nous avons évoqué ceux de la Bureautique (la corbeille, le copier - coller du Macintosh …).

- Les références aux dimensions spatiales et temporelles. Nous en avons vu un exemple avec le système d'ordonnancement des informations routières (cas 4). Mais il peut s'agir plus basiquement des référentiels spatiaux: gauche/droite; haut/bas ; avant/arrière pour organiser les touches d'un boîtier de commandes en référence à la localisation des organes effecteurs sur lesquels elles agissent (par exemple dans le cas n°1 avec l'opposition relative de la touche pilotant le Toit Ouvrant Avant par rapport à celle pilotant le TO Arrière).

Ce principe peut bien évidemment se retrouver au niveau des affichages informatifs: par exemple présenter une schématisation du véhicule pour pointer un organe défectueux, ou encore au niveau du lien entre l'organisation des touches de la commande et l'organisation des affichages associés à ces touches.

Nous les nommons les ***référentiels spatiaux***, en précisant que la dimension temporelle peut aussi être sollicitée: par exemple si il s'agit de présenter une projection sur l'usure de certaines pièces du véhicule il peut être plus intéressant de les présenter selon la chronologie des révisions plutôt que selon un regroupement spatial.

- Nous proposons enfin de distinguer une dernière catégorie à partir de notre analyse de cas: celle du *mini-siège* qui présente la caractéristique de reproduire une manipulation en miniature du siège réel. Nous l'avons analysé comme une analogie entre schèmes d'usage (qui s'appliquent sur l'artefact) et schèmes d'action instrumentée (qui s'appliquent sur l'Objet de l'action). Nous parlerons alors pour ce sous critère de l'application d'un ***référentiel à l'action***.

9.2.2 Opérationalisation des actions

A la question de la mobilisation des schèmes d'utilisation et des critères de conception relatifs à cette mobilisation, se pose en miroir la question de l'opérationalité des actions observables portées sur l'artefact. Par rapport à notre modèle théorique cela consiste à nous centrer sur la face comportementale du modèle (cf. fig 7).

En termes de conception cela fait référence aux nombreux critères métriques dont certains ont été évoqués dans cette recherche. Il existe ainsi des préconisations très précises en termes d'atteintes posturales et visuelles.

Dans notre organisation par critères nous les nommerons les ***critères d'atteintes***. Ces derniers rendent compte de contraintes caractérisant de nombreux aspects des relations du modèle :

Sujet-Artefact(s) (S>A si il s'agit d'atteinte des commandes et S<A si il s'agit d'atteinte visuelle). Par exemple les réponses à des questions comme: la manipulation de telle ou telle commande de la planche de bord nécessitera-t-elle un déplacement du buste? Quelle hauteur minimum choisir pour des caractères affichés à telle ou telle distance ?

ou Sujet-Espace(s) de travail (S-Ew): par exemple les masques induits par l'architecture du véhicule sur les scènes de conduite avant (ou arrière) sont-ils pénalisants?

A la base, ces règles de conception sont surtout fondées sur une caractérisation du *Sujet* en particulier anthropométrique ou ophtalmologique (par exemple la presbytie qui concerne un nombre toujours croissant de conducteurs amène à redimensionner les tailles d'affichage). Mais il s'agit de plus en plus d'associer à ces critères, souvent métriques, une dimension contextuelle relative à l'usage.

Un exemple basique a été donné avec les critères de conception des affichages devant permettre une optimisation de leur consultation en conduite :

Ainsi certaines informations devront pouvoir être prises «à la volée». Pour cela l'information devra être surdimensionnée de manière à éviter un effort d'accommodation visuelle (chapitre II) quand la contrainte temporelle liée à la prise d'information est importante.

Le temps de la saccade oculaire permettant d'aller de la scène routière à l'afficheur devra être optimisé : des études ont ainsi été menées pour évaluer l'impact de l'excentricité de la localisation de l'afficheur en terme de capacité de contrôle de la scène visuelle externe et en terme de durée de la saccade (Forzy 1997).

Les informations textuelles devront être organisées pour permettre une séquentialisation des prises d'information (cf. cas n°3)

Au moins pour les deux premiers, et partiellement pour le troisième, il s'agit de critères métriques relatifs à la répartition des patterns oculomoteurs entre les différents espaces de travail (Espace de travail Ew1 correspondant à la scène de conduite et Ew2 correspondant à l'activité annexe). De ce fait il s'agit de ***critères d'atteinte visuelle en situation multi-instrumentée***.

Dans nos exemples nous avons surtout parlé de la sollicitation du canal visuel. Cependant la perception de l'espace de conduite (relation S<Ew1) ou de l'artefact (S<A2) ou encore de l'espace de conduite au travers de l'artefact (S<A1<Ew1) sollicite bien entendu les autres canaux sensoriels.

L'exemple du volant est intéressant à cet égard : Son rôle de médiateur dans la relation Sujet-Artefact-Espace de déplacement (S-A1-Ew1) fonctionne dans les deux sens car en retour des effets sur la trajectoire, que permet son actionnement, il informe le conducteur de l'état de la chaussée, de la présence de gravillon, du niveau d'adhérence etc. en sollicitant les récepteurs tactiles du conducteur qui se trouvent ainsi «prolongés» dans la chaîne que constitue la main, le volant, la colonne de direction, les roues, les pneus …

La restitution de ces informations et surtout leur niveau d'intégration par rapport à l'activité devraient constituer des critères de référence dans une perpective par exemple d'électrification des commandes.

Ces critères, qui n'ont pas été explorés au travers de nos études de cas mais que nous évoquons néanmoins ici car ils constituent un champ important dans l'évolution des systèmes embarqués, pourraient être une spécificité forte de la situation de conduite automobile par rapport à d'autres où la médiatisation à l'espace de déplacement est plus élevée comme le pilotage d'avion de ligne par exemple.

En effet on observe ces dernières années en avionique une médiatisation de plus en plus importante entre le pilote et son environnement. Cela caractériserait les évolutions dans la conception des postes de pilotage (Scardigli 1996).

Cet auteur décrit ainsi comment les activités de contrôle de la trajectoire ont d'abord été automatisées, suivies par celles relatives à la gestion du vol, en impliquant in fine le pilote dans un rôle de *manager du vol*, où il s'agit moins pour lui de «*sentir*» l'avion dans son environnement, pour en contrôler le mouvement, que de paramétrer des valeurs qui seront traitées par l'automate de conduite, tout en laissant au pilote la gestion d'autres tâches relatives à la gestion du vol. Pour les concepteurs il y aurait donc une volonté de faire glisser le statut du « pilote » vers un statut de « surveillant de l'automate ». Ce qui ne se fait d'ailleurs pas sans problèmes de fond quant au rôle du pilote et sur sa capacité à agir en cas de dysfonctionnement.

Cette tendance à l'électrification et à l'automatisation des fonctions de la conduite, qui se traduit donc par une médiatisation plus élevée de la relation du conducteur avec l'environnement, risque d'être encore plus problématique dans l'automobile. En particulier parce que l'activité y est beaucoup moins structurée (cf. §2.7) ce qui devrait rendre nécessaire, encore pour longtemps, un contrôle relativement direct du conducteur sur l'espace de déplacement (lien S<Ew1 et S<A1<Ew1).

Quoiqu'il en soit, après avoir vu la problématique du ***guidage*** pour l' instanciation de schèmes par rapport à un Objet d'action donné (relations S<I et S<I<O) et celle de ***l'opérationalisation*** de ces schèmes sur l'artefact (relation S>A), cela nous renvoie à une troisième grande famille de problématique qui est celle du ***contrôle*** des évolutions de la situation par le Sujet (relations S<Ew et S<A<Ew).

9.2.3 Contrôle de la dynamique de la situation

Ces contrôles se définissent dans notre cadre théorique comme les moyens dont dispose le Sujet pour évaluer les écarts entre ses Objectifs d'action finalisée (qui peuvent être conscients ou non mais qui créent des attentes) et ce qu'il obtient comme évolution de l'Espace de travail consécutivement à son action sur l'artefact.

Comme nous venons de le voir avec l'exemple du cockpit d'avion, plus l'action sera médiatisée par des instruments manipulants des variables de plus en plus abstraites par rapport à l'action, plus le contrôle des évolutions de la situation devra être lui aussi médiatisé avec les problèmes que l'on peut pressentir comme dans la discussion que nous avons introduite à partir de l'exemple de l'électrification de la commande de direction.

En termes de critères de conception il nous paraît intéressant, en reprenant les différents pôles de l'approche instrumentale, de distinguer trois types de contrôle :

Les contrôles qui se font directement sur l'artefact (relation S<A). Ce sont ceux que Scapin et Bastien (1997) appellent les feed-backs immédiats en ce sens où ils sont émis par l'artefact pour rendre compte de la prise en compte de l'action portée sur celui ci. Il s'agit généralement d'éléments comme des retours d'effort sur les touches, comme l'allumage d'une diode ou comme l'émission d'un beep… pour prendre un exemple sur chacune des modalités sensorielles généralement sollicitées. S'agissant d'une situation multi-instrumentée, ces feed-backs peuvent concerner l'artefact de l'activité principale : c'est-à-dire le véhicule (S<A1) ou les artefacts secondaires embarqués (S<A2).

Les contrôles qui se font sur le ou les espace(s) de travail (relation S<Ew):

Au premier rang duquel il y a bien sûr l'espace de conduite (Ew1) qui comme nous l'avons vu requiert pour la surveillance des évolutions de la scène externe des ressources visuelles et attentionnelles importantes qui vont en retour dimensionner la conception du véhicule ou de ses artefacts embarqués. Nous allons retrouver ici l'ensemble des critères de conception relatifs au ***contrôle direct de l'espace principal de conduite*** (S<Ew1)

Il y a aussi les multiples espaces ouverts par l'action sur les différents artefacts de confort et de communication: c'est-à-dire les espaces « thermique », « sonore », les « écrans »… et plus généralement l'ensemble des espaces de travail constitués par l'action de ce que l'on a appelé les *artefacts effecteurs* eux-mêmes pilotés par les *artefacts de commande*. Ainsi par exemple l'ouverture du toit ouvrant arrière (cf. cas n° 1), le balayage du pare-brise ou de la lunette arrière (cf. cas n° 2) sont autant d'espaces de travail avec un Objet d'action propre mais concomitant, et parfois en concurrence, avec les autres Objets d'action de la situation.

Nous allons ainsi retrouver l'ensemble des critères qui vont nous permettre de déterminer qu'un ***contrôle direct des évolutions des espaces secondaires de travail*** est possible (relation S<Ew2) et que ce contrôle est correctement subordonné par rapport au contrôle principal de la conduite.

Enfin il y les contrôles qui se font sur un espace de travail mais de manière médiatisée par un artefact (relation S<A<Ew). A nouveau nous proposons une distinction entre ceux qui correspondent à un contrôle médiatisé de l'activité principale (S<A1<Ew1) : nous avons par exemple vu comment le volant restituait au conducteur des informations sur la chaussée ; ou ceux qui se font sur l'activité annexe (par exemple une évolution intéressante dans le design de la commande du toit ouvrant arrière (cas 1) consistait à faire porter le contrôle de l'action non pas sur l'organe effecteur mais sur la commande elle-même (relation S<A2<Ew2). Nous appellerons l'ensemble de cette famille ainsi défini, les critères de **contrôle médiatisé de l'action sur l'espace principal de conduite ou sur l'espace de travail secondaire.**

9.2.4 Gestion des non-concordances entre les deux faces du modèle

Après le contrôle et sa problématique de conception qui est de définir les moyens nécessaires pour le rendre opérationnel, en particulier dans un contexte multi-instrumenté comme le notre, se pose la

question de la gestion des écarts lorsqu'il apparaît une divergence entre attente (face psychologique du modèle) et évolution perçue (face comportementale).

Cette problématique, qui s'apparente à celle de la gestion des "erreurs", peut se décomposer en plusieurs composantes à prendre en compte dans la conception :

Il y a d'abord la ***gestion des "distractions"*** c'est-à-dire que l'écart provient d'une évolution de la situation qui est sorti du champ de conscience de l'utilisateur et qui nécessite une action correctrice.

Dans le monde de l'automobile un exemple désormais classique est celui du beep de rappel d'allumage des feux lorsque le conducteur s'apprête à quitter le véhicule. Un second exemple est celui du rappel de bouclage de la ceinture. Dans ces deux cas il s'agit de ramener l'attention du conducteur sur un aspect problématique de la situation.

Un autre point est celui de la possibilité de ***corriger un écart perçu*** lorsqu'il s'agit d'une action réversible. Nous en avons vu un exemple avec la commande de recherche automatique de station (cas n° 5) et avec la mise en œuvre du *schème de ré-appui* comme moyen de revenir sur le processus engagé.

Un autre exemple, plus complexe, est fourni avec la commande vocale (cas n°9) où pour faciliter la correction nous avons utilisé un schème du langage courant consistant à introduire la requête de correction par une négation. Par exemple lors d'une numérotation téléphonique vocale

Utilisateur : Soixante dix sept (77)

Système : Soixante (60) dix sept (17)...

Utilisateur : Non soixante dix sept.

Une autre situation est celle où l'écart est perçu mais l'Objet de l'action n'est pas réversible et peut avoir un effet dangereux ou pénalisant : C'est par exemple le cas de l'ouverture du capot dont le mécanisme d'ouverture doit être protégé de toute ***manipulation fortuite.***

Ça peut être aussi le cas, plus classique en ergonomie des logiciels, d'une ***protection*** par une demande de confirmation, lorsqu'il y a manipulation de données importantes qui risquent d'être détruites ; comme par exemple les données d'un carnet d'adresses.

Enfin une dernière situation observée dans notre recherche est celui d'un écart provenant d'une ***inconsistance*** entre les informations affichées sur des artefacts différents ou sur un artefact et l'espace de travail s'y rattachant.

Cela a par exemple été le cas du système de guidage avec des informations sur les panneaux directionnels qui ont pu amener des conflits d'interprétation entre les différentes sources de prescription d'action.

Nous proposons en annexe 6 quatre tableaux récapitulatifs des grandes familles de critères (Evocation des schèmes, Opérationalisation des schèmes et Contrôle de l'opérationalisation, Gestion des incohérences)

9.3 Bilan de notre positionnement au regard de quelques grandes familles d'approche de la problématique de conception

Nous cherchons dans ce paragraphe à nous positionner par rapport à quelques approches actuelles en ergonomie. La difficulté de l'exercice est à la hauteur de l'étendue du champ concerné: il est clair que nous ne prétendons pas à l' exhaustivité sur le sujet.

Nous proposons donc de nous placer par rapport à ce qui nous apparaît être quelques grandes familles d'approches qui peuvent toucher à l'ergonomie du produit. Nous y choisirons quelques auteurs en ce sens qu'ils ont pu inspirer notre propre réflexion et/ou qu'ils nous apparaissent représentatifs d'une famille de pensée même si il est aussi évident que ces approches ne sont le plus souvent pas exclusives les unes par rapport aux autres.

9.3.1 Approche de la "composante humaine" (human factors)

Avec les "humans factors", il s'agit de caractériser l'opérateur dans ses dimensions anatomiques et physiologiques de manière à adapter la machine à l'homme et aux conditions d'utilisation (de Montmollin 1986).

Dans le milieu de la conception automobile c'est une approche qui bien qu'ancienne, reste tout à fait centrale pour déterminer des zones d'atteintes, des courses de commandes, des efforts etc.

Si au départ cette démarche était surtout basée sur des mesures physiques faites en laboratoire, par la suite une référence à l'activité est devenue nécessaire (par exemple, pour déterminer les zones d'affichage compatibles avec une surveillance de la scène de conduite, la démarche a dû s'enrichir d'une référence plus marquée à l'activité).

Par rapport à cette première famille, la principale distinction avec notre approche tient dans le degré de prise en compte de l'activité du sujet pour concevoir. En effet par rapport à notre modèle, les facteurs humains ne concernent que certains éléments de la face comportementale : caractérisation du sujet en terme anthropométrique, mesure d'accessibilité aux commandes (relation S>A), règles de confort postural (relation S>A) caractérisation de l'espace de travail (Ew), de masquage visuel (relation S<A et S<Ew).

De notre coté nous avons davantage orienté nos analyses sur le versant psychologique du modèle qui intéresse aussi plus les problèmes d'ergonomie cognitive. Quoiqu'il en soit soulignons que le modèle développé dans cette recherche inclut les deux faces (psychologique et comportementale) ce qui nous apparaît tout à fait fondamental pour modéliser l'activité.

9.3.2 Approche par critères d'évaluation (en ergonomie des logiciels)

C'est une approche, apparue au milieu des années 80, à laquelle nous avons plusieurs fois fait référence dans notre recherche et qui a été motivée par une demande pressante des informaticiens de disposer de critères pour évaluer (et aussi pour concevoir) l'ergonomie des produits informatiques (Scapin 1986).

La détermination de ces critères a été réalisée sur la base d'études bibliographiques du domaine validées par une approche par classement des évaluations opérées par des experts sur des IHMs existants (Scapin & Bastien 1997).

Rappelons que l'objectif était d'obtenir une liste de critères qui soient :

- suffisamment exhaustifs
- suffisamment indépendants les uns des autres
- validés quant à l'amélioration vis à vis de la conception que leur emploi permettait.

Par rapport à notre approche, la distinction essentielle provient du fait que nous avons créé une correspondance entre les critères et un modèle du fonctionnement humain en situation instrumentée.

D'un point de vue opérationnel cette correspondance présente deux grands avantages:

- Cela évite d'avoir une liste de critères indépendants avec des justifications elles aussi indépendantes les unes des autres. En effet cette indépendance confère aux critères et à leur justification une cellularisation qui peut apparaître arbitraire. A l'inverse, en reliant les critères par un modèle commun, nous renforçons notablement le sens apporté par chacun d'eux. Le point de vue est ainsi mieux globalisé autour de la situation instrumentale. Ainsi nous pourrions aisément montrer comment la satisfaction d'un critère (par exemple l'usage de correspondances spatiales) va avoir un impact sur le nombre et la durée des contrôles visuels portés sur la commande. Ainsi le premier critère relatif au "guidage de l'utilisateur", va avoir un effet sur le "contrôle de l'action", en diminuant la charge visuelle associée, alors que ce "contrôle de l'action" concerne dans la taxinomie une autre famille de critères. A partir du modèle nous pouvons ainsi rendre compte des liens entre critères (dans notre exemple l'évocation d'un schème de correspondance spatiale dans la relation S-I-O va impacter la relation de contrôle S<Ew).

- Cela permet de se référer avec précision à des études de cas au travers d'une même trame d'analyse. Ce qui est d'après nous indispensable pour ancrer les critères dans la réalité du questionnement posé en cours de conception. Par exemple savoir évaluer si le contrôle de l'espace de travail secondaire risque de rentrer en concurrence avec le contrôle de l'espace de travail principal (espace de conduite) et savoir si ce contrôle doit être opéré de manière directe ou médiatisée sont deux questions clefs pour la conception qui peuvent être raccrochées à l'analyse du cas simple du toit ouvrant arrière. Bien entendu, ces questions clefs peuvent être pertinentes pour une classe donnée de conception de *situations instrumentées*, mais beaucoup moins pour une autre. En ce sens l'analyse permet de distinguer ces catégories afin de recentrer le questionnement de conception sur ce qui est réellement dimensionnant pour chacune d'elles.

9.3.3 Approche centrée sur le travail de conception en lui-même

Il s'agit dans ce champ extrémement foisonnant, que nous ne prétendons pas couvrir ici dans sa diversité, d'analyser le processus de conception et d'en tirer des enseignements ergonomiques en particulier méthodologiques.

Darses (1990) propose ainsi de voir l'activité de conception comme une activité de gestion de contraintes opérée par leur formulation, leur propagation et leur satisfaction.

Cela conduit à un principe de réduction progressive de l'incertitude au travers de l'intégration pas à pas des contraintes (voir aussi Lebahar 1983 dans le domaine de l'architecture). D'autres études (Darses 2001a, Beguin et Nicolas 1999) se sont attachées à étudier les réunions de travail organisées aux différentes étapes de la conception.

Darses distingue ainsi différentes catégories de critères utilisés par les partenaires de la conception en soulignant le fait que les critères fonctionnels, proche dans leur formulation de ce qui peut être produit à partir d'une analyse fonctionnelle, ne représentent qu'une part relativement modérée dans l'évaluation réellement opérée sur les solutions

A l'inverse le rôle central d'autres familles de critères a été mis en évidence dans la démarche de conception. Il s'agit des ″critères de structure" (e.g. matériel, forme etc.) et des "critères opérationnels" (relatifs aux actions de l'opérateur utilisant l'équipement).

Dans un même ordre d'idée ces études (voir aussi Darses 2001b) montrent aussi que les critères, spontanément évoqués dans les débats de conception, sont plus souvent exprimés à un niveau concret qu'à un niveau abstrait et générique.

C'est aussi ce qui ressort des études de Béguin et Nicolas (1999) qui montrent l'importance pratique des simulations mentales opérées à partir d'hypothèses de solution, même en phase amont de la conception (phase d'analyse fonctionnelle), et ce malgré les prescriptions réitérées des animateurs d'analyse fonctionnelle à "ne pas parler solution".

Au total il apparaît clairement un besoin des concepteurs de pouvoir "naviguer" rapidement entre différents niveaux d'abstraction pour évaluer et faire évoluer des hypothèses de solutions y compris dans les phases très amont de conception. La démarche de conception n'est ainsi certainement pas « top-down » mais se présente comme des aller-retours « top-down/ bottom-up » comme l'ont souligné de nombreux auteurs et comme la pratique le confirme aussi au quotidien.

Une autre piste intéressante s'est développée ces dernières années autour des notions de *réutilisation* et de *mémoire de projet.* L'idée est d'une part de souligner l'importance du raisonnement analogique dans la conception (Visser 1992) et d'autre part de garder une trace des choix de conception (Karsenty 2001) pour une réutilisation ultérieure.

Par rapport à ces études centrées sur le travail de conception lui-même, précisons que notre approche ne s'est pas faite à partir des réunions de conception mais à partir de données sur l'utilisation des artefacts. De ce fait elle s'est orientée sur ce que Darses appelle des critères sur les modes opératoires.

Notons qu'un apport de notre démarche a été de positionner ces critères sur un axe « abstrait-concret » au travers des études de cas. En effet des principes conceptuels sont clairement identifiés et rattachés à des questions concrètes tirées d'un modèle du fonctionnement humain en situation multi-instrumentée : ainsi les besoins de "guidage" de l'utilisateur (pour instancier l'instrument au travers des schèmes qui lui sont associés) sont déclinés de manière concrète par des études de cas. Par exemple la distinction entre les sérigraphies incitatives par rapport à l'action à opérer sur l'artefact, ou incitatives par rapport à l'Objet de l'action sont rattachées aux études des cas 2 (sérigraphie du cadenceur d'essuie-vitre) et 5 (sérigraphie associée à la touche de recherche automatique de la commande audio sous volant).

Il en est de même pour les besoins de contrôle, les besoins d'accessibilité visuelle ou tactile, les besoins de gestion des erreurs, de préparation d'action etc.

C'est en ce sens que notre démarche facilite le passage entre critères abstraits et concrets dont plusieurs études montrent le caractère central (Darses 2001b).

La question de l'intégration de ce savoir dans le processus de conception se pose aussi.

Des méthodologies existent qui présentent le grand intérêt d'être multidisciplinaires. Roussel & al 2000 en proposent une, appliquée à la conception des commandes sous volant d'automobiles.

L'intégration de l'ergonomie s'y fait notamment au travers de la constitution de ce que ces auteurs nomment un « Référentiel Commun d'Usage » qui se définit comme un cahier des charges de l'ergonomie sous une forme intermédiaire entre *ses propres outils métiers et les outils des autres acteurs du groupe.*

Notre propos est d'alimenter ce type de référentiel à partir de données sur des situations d'usage recensées au travers d'observations ad hoc ou bien par le recueil des verbalisations sur le vécu des utilisateurs. L'un ou l'autre de ces types de données étant analysés au travers d'un même modèle de l'activité . Analyse indispensable à notre sens pour intégrer des enseignements sur la dite « face psychologique » de l'activité (en particulier pour expliquer les écarts ou les concordances entre ce qui est attendu et ce qui est obtenu).

9.3.4 Approche à partir d'études de cas de conception

Il nous apparaît que ce qui s'apparente le mieux à une démarche de conception à partir d'études de cas se trouve dans l'ouvrage de D. A. Norman "Psychology of everyday things" (1988) qui a été pour nous une source d'inspiration importante.

L'auteur y reprend bon nombre *d'expériences de la vie quotidienne* avec de nombreux exemples d'interfaces usuels comme des poignées d'ouverture, des téléphones, des consoles d'éclairage ...

Il analyse les difficultés d'utilisation en référence à des connaissances en psychologie cognitive, en particulier au travers des notions *d'affordance*, de *modèles conceptuels*, de *visibilité*, de *Mapping* et de *Feed-backs*.

Enfin l'auteur définit sept grands principes de conception pour "transformer des tâches difficiles en tâches simples":

- Rechercher la complémentarité entre connaissances « dans l'environnement » et connaissances « dans la tête » du sujet.
- Simplifier la structure de la tâche, en gardant par exemple une analogie avec la tâche d'origine même si elle est assistée, en systématisant les feed-backs et les capacités de contrôles de l'action ...

- Rendre les choses *visibles* sur ce qui peut être fait et sur ce qui peut être obtenu.

Enfin rechercher des «correspondances naturelles » (natural mapping) entre:

- Intentions et actions possibles
- Actions et leurs effets sur le système
- Etat réel du système et ce qui peut en être perçu
- Etat perçu du système et les besoins, intentions, et attentes de l'utilisateur.

Par rapport à l'analyse de Norman (1988) notre approche, au moins dans la deuxième partie de cette thèse, est assez proche.

Cependant dans l'ouvrage de Norman l'accent est surtout mis sur les écarts de représentation entre concepteurs et usagers des systèmes (User model et Design model). Les études de cas, qui ont essentiellement un but didactique, viennent illustrer des principes tirés de connaissances sur le fonctionnement cognitif (par exemple l'usage des affordances) propre à illuster le point de vue de l'utilisateur.

Notons que notre démarche, qui se voulait plus opérationnelle que didactique, a été inverse : Nous sommes partis des études de cas pour opérationaliser une théorie de l'activité susceptible de rendre compte des défauts et des qualités dans la conception des artefacts.

Ainsi nos études de cas ont concerné un champ plus restreint (i.e. le domaine automobile) que celui de Norman et ont été analysées avec une grille de lecture commune (le modèle instrumental) pour ensuite tirer des enseignements extrapolables pour la conception d'autres artefacts du domaine.

Par ailleurs ce principe d'usage des études de cas, comme base à la conception de nouveaux équipements, peut aussi être mis en parallèle avec la question de la prise en compte des représentations des situations d'utilisation du passé et du futur dans la conception.

Dans le domaine de la conception de processus industriels Daniellou et Garrigou (1993) proposent une méthodologie de prise en compte de ces représentations aux travers des réunions de conception qui incluent les opérateurs. L'ergonome se positionne alors comme le garant d'une certaine continuité entre les «savoirs de conception » et les «savoirs de la vie quotidienne » et aussi entre des savoirs sur des « situations passées » et les extrapolations de ces savoirs aux « situations futures projetées ».

Notre approche va dans ce sens bien que notre analyse soit plus centrée sur un savoir ergonomique « métier » qui se fait en amont sur l'activité concernée (i.e. l'usage d'artefacts en conduite).

En effet la question de ce savoir métier nous parait cruciale dans un processus de conception d'un produit comme l'automobile qui se renouvelle extrêmement vite et où la place de l'utilisateur dans les

réunions de conception n'est pas directe, mais toujours médiée par différents intervenants (de l'ergonomie, du produit, du marketing….).

Ces deux raisons (formalisation du savoir en amont des réunions de conception et médiatisation de la place de l'utilisateur) rendent nécessaire d'après nous qu'une partie importante de la constitution de ce savoir à base d'analyses de situations d'usage soit recueillie, analysée et formalisée, en particulier sous forme de critères, au préalable des débats de conception.

9.3.5 Approche à partir d'une théorie sur l'activité

L'idée est ici de s'appuyer sur une théorie de l'activité pour concevoir. Par exemple l'analyse du cours d'action développée par Theureau s'appuie sur un modèle sémiologique pour analyser l'activité en termes *d'unités significatives* pour l'opérateur dans son environnement et *d'articulation* entre ces unités au moyen du concept de *signe triadique: Objet, Représentamen, Interprétant* (cf. chapitre 1).

Cela est alors utilisé pour analyser des corpus de données et tirer des enseignements pratiques pour la conception. De nombreux exemples de terrain d'application à partir de cette méthode sont donnés dans Theureau et Jeffroy (1994).

L'approche instrumentale (Rabardel 1995) est un autre exemple d'approche qui s'appuie sur une théorisation de l'activité sur la base cette fois des trois pôles Sujet-Instrument-Objet.

Par rapport à l'approche du cours d'action soulignons que notre choix de modèle théorique s'est porté sur un modèle psychologique. En effet cela nous est apparu particulièrement intéressant pour la conception de nous appuyer sur la notion de schème et surtout de projection de schème sur l'artefact :

Cela intéresse la conception par l'identification de schèmes sociaux supposés partagés par les utilisateurs (ou une famille d'utilisateurs). L'analyse des schèmes sociaux peut aussi concerner le processus projectif du concepteur imaginant comment ce qu'il est en train de concevoir va être utilisé.

Nous pensons qu'il est important de s'appuyer sur ce processus écologique. La question devient alors d'affiner la qualité de cette représentation du concepteur. L'analyse de cas au travers de l'approche instrumentale peut y contribuer d'après nous de manière décisive.

Enfin par rapport à l'approche instrumentale rappelons que l'essentiel de nos concepts provient de cette théorie : l'identification des liens entre les trois pôles sujet-Instrument-Objet de l'activité ; l'identification du sens de ces liens (pragmatique ou épistémique selon le sens de la relation) ; les distinctions entre les différentes catégories de schèmes (dits d'usage et d'action instrumentée)… pour ne citer que quelques concepts de cette approche que nous avons particulièrement utilisés.

Cependant soulignons aussi que d'autres aspects ont été développés dans le cadre de cette recherche : en particulier la notion relative aux deux faces dites « psychologique » et « comportementale » du modèle, ainsi que la notion de multi-instrumentation que nous avons été amené à développer de manière particulière ici.

Un dernier point a été de nous orienter vers une opérationalisation de la théorie d'une part en l'utilisant comme un cadre d'analyse pour des études de cas et d'autre part en réalisant un lien entre critères de conception et modèle de l'activité.

CONCLUSION / PERPECTIVES

Nous sommes partis dans cette recherche avec deux types interrogations :

1) Malgré la grande diversité apparente des artefacts composant un poste de conduite, ne pouvons-nous pas identifier des invariants de conceptions (nous avons aussi parlé de fondamentaux) capables:

- d'aider à spécifier très en amont certains choix de conception ?
- de justifier ces choix sur une base scientifique ?
- de donner une visibilité sur les principes de base de la conception ergonomique du domaine ?

2) Les études expérimentales spécifiques à l'artefact à concevoir constituent-elles les seules sources de données empiriques sur lesquelles nous pouvons nous étayer en ergonomie cognitive ?

N'y a-t-il pas possibilité de se constituer des connaissances dimensionnantes pour la conception à partir de l'analyse des usages d'artefacts déjà conçus ?

Ces derniers ne peuvent-ils pas, bien que souvent différents sur des traits de surfaces de l'artefact à concevoir, apparaître similaire sur certains traits plus fondamentaux ?

Pour répondre à l'une et l'autre de ces catégories d'interrogations, il est apparu nécessaire de disposer d'un modèle opératif des situations d'activités instrumentées. Nous nous sommes appuyés sur le modèle instrumental qui postule la médiatisation du Sujet à l'Objet et la genèse instrumentale de l'Artefact au travers des schèmes d'usage et d'action instrumentée qui lui sont associés. Cette approche préconise aussi la systématisation de l'analyse des liens qui relient les trois pôles du modèle (Sujet-Instrument-Objet). Ces liens pouvent être de nature épistémique et/ou pragmatique selon la nature des échanges.

La recherche d'opérationalisation du modèle nous a amené à le développer sur deux axes :

- Un premier qui postule deux faces à ce modèle : une première plus directement observable dite « comportementale », une seconde explicitable dite « psychologique ».
- Un deuxième qui met en évidence le caractère multi-instrumental de l'acte. Cela est apparu au travers de l'identification des schèmes de gestion des compromis de l'activité qui ne s'appliquent pas spécifiquement à tel ou tel dispositif mais à l'ensemble instrumental.

A partir de là nous avons été capable d'analyser nos résultats d'études provenant soit d'expérimentation sur une problématique spécifique comme les études sur la navigation, soit d' un recueil d'entretiens sur des situations rencontrées dans un contexte d'usage non expérimental comme cela l'a été sur un certain nombre des cas décrits au chapitre VII.

Un des points importants de notre proposition est de mettre en parallèle les deux faces « psychologique » et « comportementale » autour des trois pôles Sujet/Instrument/Objet. Cela permet une analyse fine des concordances ou des écarts entre ces deux faces du même processus.

Un autre point a été de classer ces écarts selon qu'ils étaient :

- Inscrits dans une dimension mono-instrumentée, c'est-à-dire propres à un Objet d'action donné ;
- Inscrits dans une dimension multi-instrumentée, avec la manifestation d'un problème dans la gestion des compromis de l'action par rapport à la diversité des Objets poursuivis.

Nous avons aussi cherché à montrer le caractère généralisable des analyses obtenues à partir de l'étude des cas. Le modèle permet d'identifier le(s) élément(s) dimensionnant(s) par rapport à l'activité instrumentée, et définir une classe d'artefacts (ou de situations d'usage) qui correspond à cette(ces) caractéristique(s). Cela se fait sur des *traits profonds* qui ne sont pas identifiables sans l'analyse.

Enfin nous avons cherché, toujours dans cette perspective d'opérationalisation, à établir une relation systématique entre d'une part l'analyse du (des) point(s) positif(s) ou négatif(s) de conception à partir du modèle, et d'autre part l'identification du critère de conception s'y rattachant. Quatre grandes familles de critères concernant le guidage, l'opérationalisation, le contrôle, et la gestion des écarts entre ce qui est attendu et ce qui est obtenu, sont déclinées en sous-critères précis par rapport au lien concerné entre les pôles du modèle et sa dimension pragmatique ou épistémique.

Quatre grandes perpectives apparaissent à la suite de ce travail :

1) Développement d'un concept dit de « sécurité primaire indirecte »

Une première perspective s'inscrirait dans le développement d'un paradigme de sécurité dite «primaire indirecte». Il ne s'agit pas de la protection physique de l'individu en situation d'accident comme dans la sécurité *secondaire* dite aussi *passive*, ni de systèmes de gestion des situations critiques comme dans la sécurité *primaire* dite aussi *active*, mais d'une sécurité que nous définissons comme *primaire indirecte* dans le sens où il s'agit d'une contribution non directe, mais effective à la sécurité. Ce concept se matérialise alors au travers des principes de conception du système.

Un premier exemple a été donné avec le cas de conception n°3 relatif à une organisation graphico-textuelle permettant la mise en place d'un schème de séquentialisation de la lecture. Un autre exemple a été donné avec le cas n°1 relatif à la mise en place d'une médiatisation du contrôle de l'ouverture du toit ouvrant arrière au travers de retour tactile sur le dispositif de commande.

Plusieurs autres exemples sont apparus aux travers des analyses réalisées dans cette thèse. A partir de ces analyses nous résumons ci dessous ce que seraient les grandes orientations de ce concept :

Il s'agit de faciliter, par une conception particulière des artefacts, l'émergence dans l'usage de schèmes qui vont favoriser la production des compromis opérationnels à l'action multi-instrumentée. Les artefacts doivent ainsi être conçus de manière à ce que :

Le traitement des situations instrumentées se fasse à un niveau d'automatisme suffisant pour ne pas induire une charge cognitive importante. Cela peut être obtenu en travaillant les référentiels à la conception pour parvenir à ce que l'on a appelé des interfaces (commandes ; affichages…) « intuitifs ». Le contenu de ces référentiels a été détaillé au paragraphe 9.2.1 : *stéréotypes culturels , référentiels instrumentaux , référentiels spatiaux temporels , référentiels à l'action* .

Les schèmes ainsi mis en œuvre soient adaptés à la conduite. Ce qui nécessite de bien caractériser cette dernière, nous en avons vu un exemple avec le schème de « lecture séquentialisée » dont une application pratique a été montrée au chapitre VII.

Les erreurs d'utilisation soient aisément récupérables par le Sujet. En particulier en n'induisant pas une focalisation attentionnelle excessive. Nous en avons vu plusieurs exemples qui différaient selon les modalités utilisées (bouton poussoir, modalité vocale, modalité tactile cf. chapitre VII).

On privilégie les systèmes d'assistance informative qui déchargent le conducteur des aspects de la tâche qui nécessitent le plus de ressources cognitives. Les ressources peuvent alors être réinvesties de manière à garder des marges plus sécuritaires à l'activité (Un exemple en a été donné avec le système de guidage).

Ces quelques pistes correspondent aux éléments directement explorés dans la présente recherche. Elles pourraient être complétées pour former un concept que nous proposons d'appeler "sécurité primaire indirecte" relatif à des solutions qui amènent une "avancée sécuritaire", non directe mais notable par rapport à une situation antérieure.

Par exemple la proposition qui consiste à réguler les appels téléphoniques en fonction des évolutions d'un diagnostic des ressources disponibles du conducteur (cf. projet européen CEMVOCAS : Tattegrain and al 2001) représenterait un exemple typique de système à forte valeur ajoutée en "sécurité primaire indirecte" par rapport à un usage du téléphone en voiture sans un tel dispositif.

2) Analyse plus profondie sur les états de conscience à partir du modèle psychologique

Cela a été abordé dans le premier chapitre au travers des définitions des notions de Sujet et d'Objet. En dehors du cas des Objets conscients (attente explicite) et non conscients (attente implicite) et de celui de la focalisation attentionnelle sur un Objet d'activité annexe, que nous avons discuté à partir des cas relatifs à la manipulation du TO arrière (cas n°1 chapitre VII) et de la gestion des erreurs de reconnaissances de variables symboliques (Cas n°9 relatif à la reconnaissance vocale), se pose aussi la question des Objets Inconscients (comme réponse à un désir) que nous n'avons pas développée dans notre travail.

Il faut souligner que par rapport à notre champ d'étude, l'automobile, cette dernière problématique n'est pas neutre. En effet en dehors des aspects fonctionnels où il s'agit de répondre à un besoin explicite ou à une attente implicite (cas des Objets conscients et non-conscients), il y a aussi bien sûr la dimension d'une conception comme réponse à un désir (Objets inconscients).

Cette dernière voie a été à notre connaissance beaucoup moins étudiée, en tout cas dans un cadre de conception ergonomique. Elle ne devrait pas pour autant être négligée: Par exemple certains comportements liés à la vitesse, ou certains positionnements psychologiques par rapport aux autres usagers de la route comme céder/forcer le passage, adopter/refuser la réglementation... pourraient être analysés de cette manière. Dans un autre domaine certains choix esthétiques que l'on retrouve dans l'acte d'achat pourraient être aussi étudiés sous cet angle. C'est ainsi par exemple qu'a pu être interprété un certain « engouement » pour les voitures 4X4 par des couples de citadins. Le désir de se protéger par rapport à un environnement urbain perçu comme agressif, en étant positionné plus haut et de manière plus enveloppée, a été une explication avancée (Albert 2002), certainement plus satisfaisante que celle qui pourrait être donnée en suivant un point vu purement fonctionnel.

Dans cette même problématique relative à la conscience de l'Objet de l'action se pose la question des moyens à mettre en œuvre pour ramener l'attention du Sujet sur la conduite en cas de focalisation sur un Objet annexe.

Nous avons peu abordé ce sujet qui va devenir néanmoins majeur dans les années à venir. Ainsi de nouvelles questions se posent relatives : à l'estimation des ressources disponibles du conducteur pour

réaliser une activité annexe à la conduite ; à la gestion des interactions conducteur-système par rapport aux évolutions de ces ressources ; et aux moyens à mettre en œuvre pour ramener le conducteur à la route (Tattegrain and al opus cité).

Bien que cela n'ait pas été ici la thématique principale, nous tenions à souligner l'importance pour la conception de l'ensemble de ces thèmes relatifs à la conscience des Objets de l'action, et souligner aussi la cohérence possible d'un tel questionnement avec la dialectique Sujet-Objet de l'approche instrumentale développée dans ce travail.

3) Replacer les critères de conception ainsi définis par rapport aux autres contraintes de conception

Il est à souligner que dans ce travail nous nous sommes restreint à la détermination de critères de conception déduits de connaissances sur l'activité de l'utilisateur final (i.e . le conducteur). De ce point de vue cela s'apparente aux critères opérationnels (pour reprendre la terminologie de Darses 2001a) en ce sens où ils sont relatifs aux actions de l'opérateur/utilisateur de l'équipement.

Bien entendu il ne s'agit que d'une partie des critères qui vont contraindre la conception. Nous pouvons évoquer ceux relatifs au coût, à la disponibilité de la technologie, à sa fiabilité, aux choix esthétiques... pour n'en citer que quelques-uns.

Par conséquent la question qui suit la détermination de ces critères ergonomiques est bien celle de leur intégration dans le processus de conception. Notre sentiment est que ces critères, accompagnés de références à des cas de conception analysés, permettent d'orienter très favorablement certaines solutions en amont. Il reste à les porter tout au long d'un projet de manière à ce qu'elles restent présentes, au moins dans leur principe, à l'issue des différents arbitrages qui jalonnent le projet. L'analyse d'un tel processus représenterait en soi une étude de fond, cohérente avec celle développée ici.

4) Développer la méthode de recueil de données sur les usages (à partir par exemple d'entretiens d'explicitation collectifs) et élargir l'analyse sur les usages d'artefacts hors automobile.

Nous avons abordé au chapitre VII la méthodologie de recueil de données sur des situations d'usage à partir d'entretiens collectifs qui se faisaient généralement à trois, ou plus, à bord des véhicules concernés pour susciter l'évocation de ces situations. Nous avons surtout présenté les résultats de

l'analyse des situations évoquées au travers de notre modèle instrumental. Il est cependant clair que la question de la méthodologie de ces entretiens est un point de recherche en soi qui peut faire l'objet de progrès notables. La piste qui nous paraît la plus prometteuse est celle des entretiens collectifs d'explicitation (Vermersch 1994). Notons que la technique des entretiens d'explicitation a été en elle-même utilisée, de manière adaptée, dans le chapitre VI sur les situations de non-concordance des prescriptions.

BIBLIOGRAPHIE

Albert E. (2002). Le Stress et l'automobile. Documentation Renault sur la conférence de novembre 2002. Centre de ressources Technologiques.

Allen T.H., Lunenfeld H., Alexander G.J. (1971). Drivers information needs. Highway Research Board, 36 (7), pp. 715-729.

.

Alexander G.J. & Lunenfeld H. (1984). A user's guide to positive guidance in highway control. In R. Easterby & H. Zwage (Eds), Information Design, Chichester : Wiley , pp. 351-384.

Amalberti, R. (1996). La conduite des systèmes à risques. Paris : PUF.

Antin J.F., Dingus T. A., Hulse M.C., Wierwille W.W. (1990). An evaluation of the effectiveness and efficiency of an automobile moving-map navigational display. Int. J. Man-Machine Studies 33, pp. 581-594.

Aucherie P., Sacotte E. (1994). Utilisation d'un artefact comme instrument, analyse pour le DESS psychologie du travail et ergonomie cognitive, université Paris VIII.

Beguin P. (1997). Le schème impossible, ou l'histoire d'une conception malheureuse. Design/Recherche revue n°10 – décembre 1997.

Beguin P. , Nicolas L. (1997) Simulation et coopération dans les nouvelles stratégies de conception: analyse de l'activité des concepteurs en "ananlyse fonctionnelle". Lyon: Actes du XXXIIième congrès de la SELF pp. 765-776.

Bellet T. (1998). Modélisation et simulation cognitive de l'opérateur humain : une application à la conduite automobile. Thèse de doctorat, université Paris V.

Berthoz A. (1997). Le sens du mouvement. Paris: Editions Odile Jacob.

Briffault X. (1992). Modélisation informatique de l'expression de la localisation en langage naturel. Thèse de doctorat de l'université de PARIS VI.

Briffault X., Denis M.,Gryl A., Truc-Martini D., Forzy J.F. (1993). Interaction homme-machine avec un système d'aide à la navigation automobile: recueil et analyse d'un corpus multimodal de dialogues de navigation. Rapport de fin de contrat LIMSI-RENAULT (CNRS/103/H3.57.03).

British Department of Transport (1993). Code of practice for the design of in-vehicle information systems. England : Loughborough.

Cabin P. (2002). Dans les coulisses de la domination . Numéro spécial Sciences Humaines : L'œuvre de Pierre Bourdieu.

Cahour B. & Karsenty L. (1996). Contextes cognitifs et dysfonctionnements de la communication, Interaction et cognitions, n°4.

Camus J.F. (1996). La psychologie cognitive de l'attention. Paris : Editions Armand Colin.

Daimon T. (1992). Driver's characteristics and performances when using In-vehicle Navigation System. The 3RD International Conference on Vehicle Navigation & Information Systems.

Daniellou F.(1988). Ergonomie et démarche de conception dans les industries de processus continus. Quelques étapes clés. Le travail humain, 51, pp. 185-194.

Daniellou F. et Garrigou A. (1993). La mise en œuvre des représentations des situations passées et des situations futures dans la participation des opérateurs à la conception, in : Weill-Fassina A., Rabardel P., Dubois D. éds., Représentations pour l'action, Octares , pp. 295-309.

Darses F. (1990). Gestion de contraintes au cours de la résolution d'un problème de conception de réseaux informatiques. Rapport INRIA n° 1164.

Darses F. (2001a). Converger vers une solution en situation coopérative de conception: analyse cognitive du processus d'argumentation; in Modéliser les activités coopératives de conception, Actes du 10ième atelier du travail humain. Paris : 27-28 juin 2001.

Darses F. (2001b). Concevoir des systèmes à base de connaissances destinés aux tâches de conception: Préconisations ergonomiques. Actes IC 2001, Grenoble, 25-28 juin.

Denecker P. (1999). Les composantes symboliques et subsymboliques de l'anticipation dans la gestion des situations dynamiques. Le travail humain, tome 62, n°4, pp. 363-385.

Denis (1989). Image et Cognition. Presse Universitaire de France.

Dionisio C. (1992) , Comparaison entre deux modes de présentation visuelle dans le cadre de l'étude d'un système de transmission d'informations routières, Rapport de stage DESS Université Paris V.

Fairclough S. H., Ashby M.C., Ross T. and Parkes A.M. (1991). Effects of handdfree telephone use on driving behavior ; Proceedings of the ISATA Conference, Florence, Italy.

Falzon P.& Visser W. (1989) : « Variations in expertise : implications for the design of assistance systems », in G. Salvendy & M. Smith (Eds.), Designing and Using human computer interfaces and knowledge based systems, Elsevier, 1989.

Forzy, J.F. , Tessier Y. (2000). Macro-zoning des fonctions et des affichages. Note interne Renault.

Forzy JF (1999). Assessment of a Driver Guidance System : A multilevel Evaluation. Transportation Human Factors, I(3) pp. 273-287

Forzy JF. (1998). Etude de l'impact sur la conduite d'une évolution d'un système de guidage. Paris : Actes du Congrès SELF'98.

Forzy JF (1998). Référentiel " IHM ". Note interne Renault n°60124/98/188.

Forzy JF (1997). Préconisations ergonomiques relatives à l'excentricité des afficheurs. Note étude Renault n° 60124/97/153.

Forzy JF(1996 a). Récapitulatif des problèmes d'ergonomie observés en conduite à l'occasion de l'expérimentation CITIES : Préconisations note 117/96/60124.

Forzy J-F. (1996 b). Evaluation des aides à la conduite : cas d'un système de guidage ; ERGO IA'96. Actes du colloque, Biarritz, 37-48 .

Forzy, J.F., & Truc-Martini, D. (1994). Ergonomie des systèmes d'aide à la navigation routière. Les stratégies de description d'itinéraires. ERGO.IA'94, Biarritz, France, pp. 590-599.

Forzy J.F. (1993) Système embarqué d'information routière: Ordonnancement des informations selon un axe spatial . Brevet FR 93/00939.

Forzy JF (1991). Quels types de carte doivent être affichée à l'écran des systèmes avancés de navigation ? Rapport USC n°91-11-01 Univesity of Southern California.

Fuller R. (1984). A conceptualization of driving behaviour as threat avoidance, Ergonomics, 27, 11, pp. 1139-1155

Galinier V. (1997). Concevoir autour des schèmes d'utilisation: l'exemple d'une boîte de vitesses semi-automatique. Design/Recherche revue n°10 – décembre 1997.

Gibson, J.J., (1996). The sense considered as perceptual systems, Boston : Houghton Mifflin.

Gougeon S. (2001). Ergonomie des systèmes communicants dans le véhicule : le processus de normalisation en cours à l'ISO. In Pauzié A. (Ed.) Ergonomie des systèmes communicants dans le véhicule Usage et Sécurité . Lyon : Journée spécialisée du 27 mars 2001.

Gryl A. (1992). Opérations cognitives mises en oeuvre dans la description d'itinéraires. Mémoire de DEA de l'université de PARIS XI.

Hale A.R., Stoop J., & Hommels J. (1990). Human errors models as predictors of accident scenarios for designers in road transport system. Ergonomics, 33, pp. 1377-1388.

Hartemann (1984). Synthèse d'études sur la charge visuelle en conduite automobile. Note d'étude Renault n° 84.800

Hoc J.M. (1987). Psychologie cognitive de la planification. Presse Universitaire de Grenoble.

Hoc J.M. (1996). Supervision et contrôle de processus : La cognition en situation dynamique. Sciences et technologies de la connaissance : Presse Universitaire de Grenoble.

Kamp J.F., Marin-Lamellet C., Forzy J.F., Causeur D. (2001). HMIaspects of the usability of internet services with an in-car terminal on a driving simulator. Journal of International Association of Traffic and Safety Sciences, vol. 25, n°2, pp. 29-39.

Karsenty L. (2001) . Capitaliser le contexte des décisions en conception : Pourquoi et Comment. In : Zacklad M. & Grundstein M. (Eds) ; Management des connaissances. Paris : Hermès

Kutti K. (1996). Activity Theory as a potential framework for Human-Computer interaction research in Bonnie A. Nardi (Eds) ; Context and Consciousness. Cambridge : MIT Press, pp. 17-43.

Le Breton P.M. (1983). Aides à la navigation routière. DEA d'ergonomie réalisé à la RNUR.

Lebahar, J.C. (1983). Le dessin d'architecte. Roquevaire: Parenthèses.

Linhart, R. (1978). L'établi. Editions de minuits. Paris.

Malaterre G., Saad F, (1986). Les aides à la conduite - Définition et évaluation - Exemple du radar anti-collision. (Driver supports - Definition and evaluation - Example of the anti-collision radar). Le travail humain, 49, pp. 333-346.

Marin-Lamellet C. , Galinier V., Chapon A. (2001). Les dispositifs de guidage embarqués peuvent-ils être une aide pour des conducteurs présentant des troubles cognitifs ? In Pauzié A. (Ed.) Ergonomie des systèmes communicants dans le véhicule Usage et Sécurité . Lyon : Journée spécialisée 27 mars 2001.

Martini D. , Forzy J.F., Le Chevalier E., Pauchet M. (2000). Evaluation ergonomique de systèmes de reconnaissance vocale en situation de conduite. Note technique Renault n° 64250/2000/719.

Midland K. (1993). A Cognitive Theorical Framework For Investigating The Presentation of Information to Drivers. Drive II project HARDIE, Deliverable n°10.

Mc Knight & Adams (1970). Driver education task analysis. Vol I : Task descriptions. Alexandria, Human Ressources Research Organisation HumRRO.

Michon J.A. (1985). A critical view of driver behavior models : What we know, what should we do ? In L. Evans, R.C. Schwing (Eds), Human behavior and trafic safety, New York, Plenum Press, pp.485-520.

Michon, J.A. (1993). Generic Intelligent Driver Support (G.I.D.S.). London: Taylor & Francis.

Midland, K. (1993). A cognitive theoretical framework for investigating the presentation of information to drivers. Deliverable n°10. DRIVE Project v2008 HARDIE.

Molen (van der), H. & Bötticher, A. (1988). A hierarchical risk model for traffic participants. Ergonomics, vol.31, n°4, pp 537-555.

Montmollin M. (1986). L'ergonomie. Paris: Editions la découverte.

Montmollin M. (1995). Vocabulaire de l'ergonomie. Ouvrage collectif. Toulouse: Editions Octares.

Moussa R., Forzy J-F (1997). Axes d'amélioration du guidage type C3 (carrefours complexes et situations difficiles). Rapport interne Renault.

Moussa R., Forzy, JF (1998). Utilisation des panneaux dans les carrefours complexes : Cahier des charges fonctionnelles V2.2. Rapport interne RENAULT n° H2/98.687

Nardi B.A. (1996). Studying Context: A comparison of activity theory, situated action models, and distributed cognition in Context and Consciousness edited by Bonnie A. Nardi pp 69-102 , Cambridge MIT Press

Neboit M. (1980). L'exploration visuelle dans l'apprentissage de tâches complexes : l'exemple de la conduite automobile, thèse de Doctorat, Paris, Université René Descartes.

Neboit M. (1974) ; Perception, Anticipation et conduite automobile. Le travail humain, 37, 53-72

Norman, D.A. (1988). The Psychology of Everyday Things. New York: Basic Books

Norman D.A. & Bobrow, D. (1975); On data limited and ressource limited processing. Journal of Cognitive Psychology, 1975, 7, pp. 44-60.

Navon & Gropher (1979). On the economy of the human-Processing System . Psychological Review, 1979, (86) 3

Pachiaudi G. (2001); Les risques de l'utilisation du téléphone mobile en conduisant – Existe-t-il des solutions technologiques adaptatives?. Synthèse Inrets n°39.

Pachiaudi G., Tattegrain H., Forzy J.F., Grolet J.M., Baligand B. (1998) : Methodology for Attentional Drivers Demand. Deliverable D1. Esprit DGIII. CEMVOCAS Project n° 25589.

Pailhous J. (1970). La représentation de l'espace urbain. Presses Universitaires de France.

Parkes A.M. , Burnett G.E. An evaluation of medium range "Advance Information" in Route-Guidance Displays for use in vehicles ; International Conference on Vehicle Navigation & Information Systems (Ottawa 1993).

Parkes A.M., Franzen S. (1993); Driving Future Vehicles, London: Taylor & Francis.

Pauzié, A. (1995). Les systèmes d'aide à la conduite : Assistance effective ou perturbation potentielle pour le futur conducteur âgé? (Driver supports: effective assistance or potential disturbance for the future elderly driver?). Le travail humain, 58, pp. 132-149.

Pauzié A., Forzy J.-F. (1996). Ergonomic evaluation of guidance and traffic information in the CARMINAT program, ITS'96, Orlando.

Piaget J. (1975). L'équilibration des structures cognitives. Presses Universitaires de France.

Pradine (1948). Traité de psychologie générale, II, Le génie humain ses œuvres, 2^{ième} éd.. Presses Universitaires de France.

Rabardel P. (1993). Représentation pour l'action dans les situations d'activité instrumentée, in : Weill-Fassina A., Rabardel P., Dubois D. éds., Représentations pour l'action, Octares.

Rabardel P. (1995). Les hommes et les technologies: Approche cognitive des instruments contemporains. Paris: Armand Colin.

Rabardel P. (2001a). Instrument mediated activity in Situations, in Ann Blandford, Jean Van-derdonckt and Phil Gray (eds.). People and Computers XV _ Interactions without frontiers, Spinger-Verlag.

Rabardel P., Samurcay R. (2001b). From Artifact to Instrument-Mediated Learning. In: Actes de l'International Symposium on new challenges to research on learning. University of Helsinki: Center for Activity Theory.

Rabardel P., Vérillon P. (1985). Relations aux objets et développement cognitif. In : Actes des septièmes journées internationales sur l'éducation scientifique, Chamonix.

Ranney, T. A. (1994). Models of driving behavior : a review of their evolution. Accident Analysis And Prevention, 26, 733-750.

Rasmussen J. (1983). Skill, Rules, knowledge : signals, signs, and symbols and other distinctions in human performance models. IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics, 13, pp. 257-267.

Rasmussen, J. (1984). Strategies for state identification and diagnosis in supervisory control tasks, and design of computer-based support systems, Advances in Man-Machine Systems Research, Volume 1, pp 139-193.

Richard J.F. (1983); Logique de fonctionnement et logique d'utilisation, Rapport de Recherche n° 202, INRIA, Rocquencourt.

Richard J.F. (1986); The Semantics of Action: its processings as a Function of the Task, Rapport de recherche n°542. Rocquencourt: INRIA

Richard J.F. (1990); Les activités mentales: Comprendre, raisonner, trouver des solutions. Paris: Editions Armand Colin.

Ricoeur (1969). Le conflit des interprétations. Paris : Seuil

Roussel B., Aoussat A., Truchot P. (2000); Intégration de l'ergonomie dans le processus de conception: une avancée vers l'ingénierie anthropocntrée. Ergonomie et conception de Produit: LRGSI.

Saad F. (1995). Assistance à la conduite et activité des conducteurs: Eléments bibliographiques. Note INRETS pour le compte de Renault.

Sébillotte S. (1987). La planification hiérarchique comme méthode d'analyse de la tache: Analyse de tâche de bureau. Rocquencourt: Rapport de recherche INRIA n°599.

Sébillotte S. (1988). Les schémas d'action dans des activités professionnelles. Utilisation et Construction de nouveaux Schémas dans des tâches Administratives. Rocquencourt: Rapport de recherche INRIA n° 918.

Scapin D. (1986). Guide ergonomique de conception des interfaces homme-machine. Rocquencourt: Rapport technique INRIA n° 77.

Scapin D., Bastien C. (1997). Ergonomic criteria for evaluating the ergonomic quality of interactive systems. Behaviour & Information Technology vol. 16, n° 4/5, pp. 220-231.

Scardigli V. (1996). Le pilote automate programmable ou seul maitre à bord?: L'ingénieur et le capitaine. Penser le futur. Editions PSA peugeot Citroën: Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques.

Streeter L.A., Vitello D., Wonsiewicz S.A. (I985). How to tell people where to go: Comparing navigational aids. International Journal of Man-Machine Studies 22, pp. 549-562.

Stevens A. & Martell D.K. (1993). Development and Evaluation of the Trafficmaster Driver Information System. Proceeding of the IEEE-IEE Vehicle Navigation & Information Systems Conference, Ottawa – VNIS '93.

Suchman L. (1987). Plans and Situated Actions. Cambridge: Cambridge University Presse.

Summala H. (1988). Risk control is not risk adjustement. The zero-risk theory of driver behaviour and its implications, Ergonomics, 31,4, pp. 491-506.

Tattegrain-Veste H., Bellet Th., Bruyas M.P., Pachiaudi G., Forzy J.-F., Martni D., Baligand B.(2001). Gestion centralisée des informations sonores dans l'habitacle et technologies d'assistance adaptatives : Le projet CEMVOCAS ; In Pauzié A. (Ed.) Ergonomie des systèmes communicants dans le véhicule Usage et Sécurité . Lyon : Journée spécialisée du 27 mars 2001.

Theureau J. & al. (1994). Le cadre sémio-logique d'analyse du cours d'action in Ergonomie des situations informatisées: La conception centrée sur le cours d'action des utilisateurs, Editions Octares, pp 73-87.

Theureau J. , Gapenne O., Lenay C. (2000). Les manœuvres de stationnement et de changement de voie volontaire et les sorties de voie involontaires. Etude bibliographique réalisée pour le compte de Renault. Département Technologie et Sciences de l'Homme. Université Technologique de Compiègne.

Tsal Y. (1983). Movements of attention accross the visual field, Journal of experimental Psychology : Human Perception and performance, 9, pp. 523-530.

Van der Molen, H.H. & Bötticher, A.M.T. (1988) . A hierarchical Risk Model for Trafic Participants. Ergonomics, 1988,31(4), pp. 537-570.

Van Eslande (1992) ; Les erreurs d'interprétation en conduite automobile : mauvaise catégorisation ou activation erronée de schémas ? Intellectica, 1992/3, 15, pp. 125-149.

Vermersch, P. (1994). L'entretien d'explicitation en formation initiale et en formation continue. Collection Pédagogies. Paris : ESF.

Vermersch, P. & Maurel, M.(1997). Pratique de l'entretien d'explicitation en formation initiale et en formation continue. Ouvrage collectif. Collection Pédagogies. Paris : ESF.

Villame, Th. & Theureau J. (2001) ; Contribution of a 'comprehensive analysis' of human cognitive activity to the Advanced Driving Assistance devices design. 8th European Conference on Cognitive Sciences Approaches to Process Control.

Visser, W. (1999). Etudes en ergonomie cognitive sur la réutilisation en conception : quelles leçons pour le raisonnement à partir de cas ?. Revue d'Intelligence Artificielle. Volume 13, pp. 129-154.

Wickens, C.D. (1984). Processing Ressources In Attention. In : Parasuraman, R. & Davies, D.R. (Eds) : Varieties of Attention. Academic Press, London.

Wilde G.J.S. (1982). The theory of risk homeostasis. Risk Analysis, 2,4 pp. 209-225.

Zinchenko V.P. (1996) , Developing activity theory: the zone of proximal development and beyond in Context and Consciousness edited by Bonnie A. Nardi , Cambridge MIT Press, pp. 283-324.

Zwalen H.T. , Adams C.C. and DeBald D.P.(1988) safety aspects of CRT touch panel controls in automobiles, Vision in vehicles II. A.G. Gale & al (editors). Elsevier Science Publishers B V Q (North Holland).

Zwalen H.T., Adams C.C. and Schwartz, P.J. (1988), Safety aspects of cellular telephones in automobiles, Proceedings of the ISATA Conference, Florence, Italy.

ANNEXES

Annexe 1 : A hierarchical Risk Model for Trafic Participants: modèle du risque de Van der Molen, H.H. & Bötticher, A.M.T. (1988) .

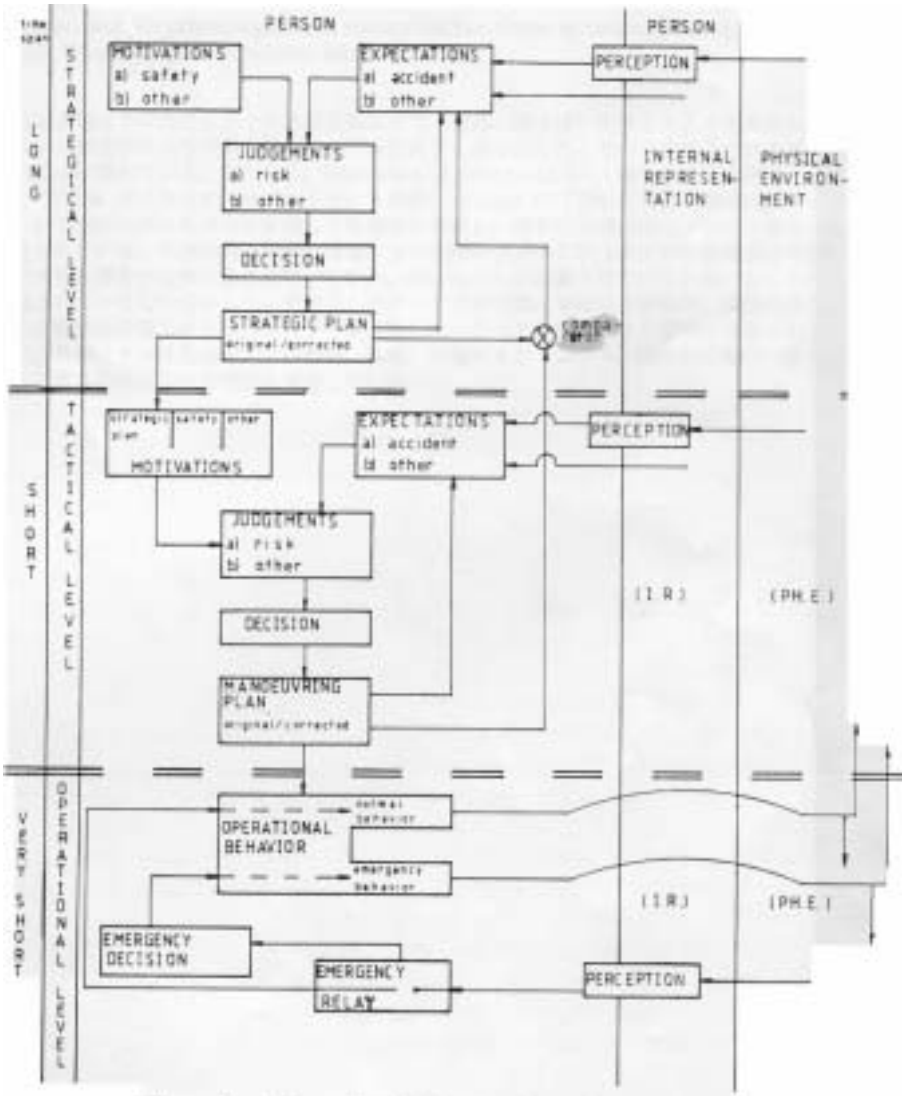
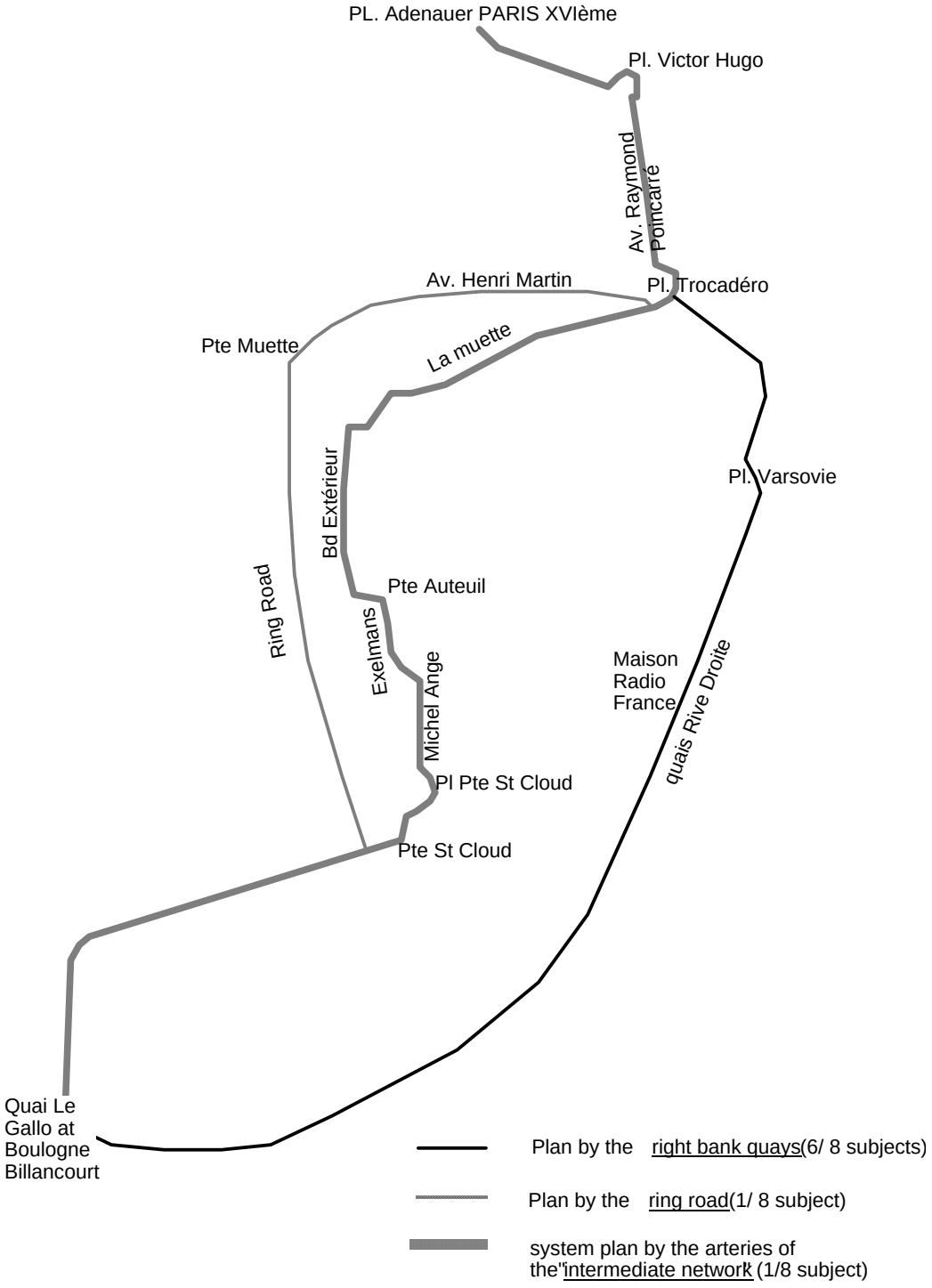


Figure 1. A hierarchical risk model for traffic participants

Annexe 2 : exemple d'itinéraire testé.



Annexe 3 : exemple de synthèse sur un des sites du parcours

SITE 6 : Pl Victor Hugo (cf. Annexe 2)

Description du message transmis par le système

N°	Intitulé	Distance	Rue suivie	Rue à prendre
31	″Rond point droit devant″	500m	Av. R. Poincarré	Av. Bugeaud
32	″Au rond point prendre la 7ième sortie″	250m	Av. R. Poincarré	Av. Bugeaud

Résumé des problèmes rencontrés par les sujets et des stratégies adoptées

Résumé : Les conducteurs ont des grandes difficultés à décompter le nombre des sorties sur le rond point.

Stratégies adoptées :

- deux conducteurs ont néanmoins essayé de compter les sorties, mais ont perdu le ″fil″ du décompte quand la gestion de la manoeuvre est devenue plus pressante (e.g. la soudaine insertion d'un véhicule devant eux).

- d'autres ont utilisé un point de référence fixe de l'environnement et décompté à partir de cette référence (e.g. : la rue en face qui fait prolongement de la rue d'accès au rond point, une voie en sens unique indiqué sur la vignette etc.)

- d'autres enfin se sont guidés par une estimation de l'orientation vers la sortie selon la forme générale de la flèche matérialisant le déplacement sur la vignette (ont aussi utilisé le nom de la rue de sortie affichée pour conforter leur choix).

description des conséquences des problèmes d'orientation

De nombreuses difficultés ont été enregistrées concernant à la fois la ″conduite″ et la ″navigation″ : trois ″doutes″ ; une ″erreur d'orientation″ ; une ″gêne d'un autre véhicule″ ; un freinage tardif (pour un total de 8 sujets qui sont passés par ce site avec le système).

4) guide(s) pour la conception

De manière générale, le guidage par ″dénombrement″ (du type prendre la nième à droite) n'est pas approprié sur les ronds points quand n est grand (nous avons estimé à trois la valeur maximale et dans notre exemple n valait 7 !).

Plusieurs recommandations ont été définies et discutées avec les concepteurs (ref . Moussa 98) sur la base de cas concrets empiriques. Pour résumé il s'est agi de trouver des stratégies de substitution (quand n est grand) en introduisant des nouveaux points de référence sur la vignette

Annexe 4 : Tableau récapitulatif des résultats aux trois grilles de codage de l'expérimentation sur le guidage par panneaux

		sujet 1	sujet 2	sujet.3	sujet 4	sujet 5	sujet 6	sujet 7	sujet 8
site 1	Modalités	avec	avec	avec	avec	sans	sans	sans	err. syst.
mess.	Orientat¡	3	3	2	3	3	3	**3**	
1&2									
Pt de St	ManÏuvre	4	3	3	3	4	4	4	
Cloud	Pres./Réel	5	5	3	5	5	5	3	
site 2	Modalités	avec	avec	avec	avec	sans	sans	sans	sans
mess	Orientat¡	0	**3**	3	3	**4**	2	**4**	**3**
2b&3									
musée	ManÏuvre	3	4	4	4	4	3	4	4
pt sèvres	Pres./Réel	3	5	4	5	2	5	5	5
site 3	Modalités	avec	avec	avec	avec	sans	sans	sans	sans
mess 4	Orientat¡	3	0	1	0	aff vide	1	1	**3**
N	ManÏuvre	4	3	4	3	2	3	4	4
118/Issy									
pt sèvres	Pres./Réel	4	1	1	1	3	0	3	0
site 4	Modalités	avec	non suivi	non suivi	non suivi	non suivi	non suivi	non suivi	non suivi
mess 5	Orientat¡	0							
Pt/ Issy ss	ManÏuvre	3							
pt sevres	Pres./Réel	pb syst.							
site 5	Modalités	avec	avec	avec	avec	sans	sans	sans	sans
mess 6	Orientat¡	4	3	4	5	3	2	4	4
Auto	ManÏuvre	4	4	4	4	4	4	4	4
Pont									
Quais	Pres./Réel	5	5	5	5	5	5	5	5
site 6	Modalités	avec	avec	avec	avec	sans	sans	sans	sans
mess	Orientat¡	2	2	**3**	**3**	1	**5**	3	1
7&8									
Sortie	ManÏuvre	3	4	4	3	3	4	4	3
Quai	Pres./Réel	4	5	2	4	4	2	5	3

site 7	Modalités	sans	sans	sans	sans	avec	avec	avec	avec
mess 9	Orientat¡	5	3	2	3	3	5	5	**4**
carr	Manvre	4	4	4	4	4	4	4	4
amont									
pte st cloud	Pres./Réel	5	5	0	5	5	5	5	0
site 8	Modalités	sans	sans	n suivi	sans	avec	avec	avec	non suivi
mess 10	Orientat¡	4	3		1	**3**	3	4	
accès	Manvre	4	4		4	4	4	4	
Périph	Pres./Réel	5	5		4	0	5	5	
site 9	Modalités	avec	sans	sans	sans	avec	avec	sans	avec
mess	Orientat¡	3	3	4	4	3	5	4	5
11à12									

Sortie	Manvre	4	2	3	4	3	5	4	4
périph	Pres./Réel	5	5	5	5	4	5	4	5
site 10	Modalités	avec	sans	sans	sans	avec	avec	sans	avec
mess12	Orientat¡	4	4	4	**3**	3	4	4	4
bifurca°	Manvre	4	4	4	2	3	4	4	4
Déf									
/Maillot	Pres./Réel	5	5	5	1	4	5	4	4
site 11	Modalités	sans	sans	sans	pb syst	avec	avec	avec	avec
mess13à	Orientat¡	4	2	3		**4**	5	5	3
15									
Accès	Manvre	4	3	2		4	4	4	4
roc.									
Défense	Pres./Réel	4	4	0		0	5	5	4
site 12	Modalités	sans	sans	sans	sans	avec	avec	avec	avec
mess 16	Orientat¡	**4**	1	2	2	3	1	0	**3**
Accès	Manvre	4	4	4	3	3	4	2	4
roc.									
Défense	Pres./Réel	1	1	4	1	5	1	1	4
site 13	Modalités	sans	sans	sans	sans	avec	avec	avec	avec
mess17&	Orientat¡	3	3	3	3	3	4	1	**3**
18									
Sortie	Manvre	2	4	4	4	4	4	3	4
roc.									
Défense	Pres./Réel	4	4	4	4	5	5	1	0

Annexe 5 : tableau récapitulatif des résultats concernant les fixations oculaires

		PANNEAUX				PANNEAUX		
messages	Données	Sans	Avec	Total	messages	Sans	Avec	Total
1	**Moyenne Nbr fix**	**3,67**	**6,00**	**5,00**	**9**	**4,50**	**4,00**	**4,25**
	Ecartype Nbr fix	1,53	4,08	3,27		1,91	3,65	2,71
	Moyenne Vit moy	39,82	31,90	35,29		22,97	25,79	24,38
	Moyenne distance	466,67	400,00	428,57		400,00	350,00	375,00
	Moyenne trafic	1	2	1,57		1,25	2,5	1,875
	NB sujets	3	4	7		4	4	8
	Somme arr feux	3	2	5		4	4	8
2	**Moyenne Nbr fix**	**5,67**	**4,75**	**5,14**	**10**	**4,00**	**3,75**	**3,88**
	Ecartype Nbr fix	2,08	1,71	1,77		2,94	4,35	3,44
	Moyenne Vit moy	31,20	34,86	33,29		13,25	31,77	22,51
	Moyenne distance	300,00	325,00	314,29		200,00	225,00	212,50
	Moyenne trafic	0,33	1,75	1,14		2,25	2,25	2,25
	NB sujets	3	4	7		4	4	8
	Somme arr feux	1	1	2		3	3	6
3	**Moyenne Nbr fix**	**5,50**	**8,25**	**6,88**	**11**	**6,25**	**2,33**	**4,57**
	Ecartype Nbr fix	4,20	4,65	4,36		4,99	1,53	4,20
	Moyenne Vit moy	43,66	32,97	38,32		67,75	55,75	61,75
	Moyenne distance	537,50	550,00	543,75		550,00	500,00	525,00
	Moyenne trafic	1,75	1,50	1,63		3,00	3,50	3,25
	NB sujets	4	4	8		4	4	8
	Somme arr feux	2	4	6		0	0	0
4	**Moyenne Nbr fix**	**#DIV/0!**	**#DIV/0!**	**#DIV/0!**	**12**	**6,75**	**6,00**	**6,43**
	Ecartype Nbr fix	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		4,35	5,57	4,47
	Moyenne Vit moy	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		32,78	28,80	30,79
	Moyenne distance	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		425,00	550,00	487,50
	Moyenne trafic	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		3,25	3,75	3,5
	NB sujets	0	0	0		4	4	8
	Somme arr feux	0	0	0		0	0	0
5	**Moyenne Nbr fix**	**#DIV/0!**	**#DIV/0!**	**#DIV/0!**	**13**	**1,50**	**3,25**	**2,67**
	Ecartype Nbr fix	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		2,12	3,30	2,88
	Moyenne Vit moy	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		46,19	38,50	41,80
	Moyenne distance	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		500,00	425,00	457,14
	Moyenne trafic	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!		3,33	3,00	3,14
	NB sujets	0	0	0		3	4	7
	Somme arr feux	0	0	0		0	0	0
6	**Moyenne Nbr fix**	**4,25**	**5,25**	**4,75**	**14**	**4,00**	**9,50**	**7,67**
	Ecartype Nbr fix	3,69	2,06	2,82		2,83	8,35	7,17

	Moyenne Vit moy	47,30	52,32	49,81		41,62	43,87	42,90
	Moyenne distance	375,00	375,00	375,00		733,33	587,50	650,00
	Moyenne trafic	1,25	0,50	0,88		2,67	2,75	2,71
	NB sujets	4	4	8		3	4	7
	Somme arr feux	0	0	0		0	0	0
7	**Moyenne Nbr fix**	**4,00**	**6,75**	**5,38**	**15**	**0,50**	**1,67**	**1,20**
	Ecartype Nbr fix	3,92	1,71	3,16		0,71	1,15	1,10
	Moyenne Vit moy	38,14	36,00	37,07		25,71	29,50	27,99
	Moyenne distance	412,50	450,00	431,25		50,00	50,00	50,00
	Moyenne trafic	0,75	1,00	0,88		1,50	1,33	1,40
	NB sujets	4	4	8		3	3	6
	Somme arr feux	1	2	3		0	0	0
8	**Moyenne Nbr fix**	**1,50**	**3,33**	**2,29**	**16**	**6,25**	**2,75**	**4,50**
	Ecartype Nbr fix	1,91	1,53	1,89		3,95	2,87	3,70
	Moyenne Vit moy	8,94	8,33	8,68		26,93	32,92	29,93
	Moyenne distance	112,50	116,67	114,29		200,00	187,50	193,75
	Moyenne trafic	0,25	0,67	0,43		1,00	1,75	1,38
	NB sujets	4	3	7		4	4	8
	Somme arr feux	3	3	6		0	1	1
2 bis	**Moyenne Nbr fix**	**1,00**	**3,00**	**2,00**	**17**	**3,00**	**3,00**	**3,00**
	Ecartype Nbr fix	0,82	1,83	1,69		1,00	2,83	2,08
	Moyenne Vit moy	86,76	81,34	84,05		50,26	62,23	57,10
	Moyenne distance	550,00	525,00	537,50		250,00	300,00	278,57
	Moyenne trafic	1,50	1,50	1,50		1,00	1,50	1,29
	NB sujets	4	4	8		3	4	7
	Somme arr feux	0	1	1		0	0	0
6 bis	**Moyenne Nbr fix**	**3,75**	**5,67**	**4,57**	**18**	**2,75**	**1,33**	**2,14**
	Ecartype Nbr fix	3,77	4,51	3,87		2,22	0,58	1,77
	Moyenne Vit moy	59,12	65,08	61,68		41,66	37,42	39,84
	Moyenne distance	362,50	366,67	364,29		187,50	133,33	164,29
	Moyenne trafic	0,75	1,00	0,86		1,00	1,67	1,29
	NB sujets	4	3	7		4	3	7
	Somme arr feux	0	0	0		0	1	1
Total Moyenne Nbr fix		**3,60**	**5,43**	**4,52**		**4,33**	**3,86**	**4,09**
Total Ecartype Nbr fix		3,12	3,10	3,22		3,35	4,30	3,86
Total Moyenne Vit moy		44,96	43,26	44,11		36,77	38,93	37,89
Total Moyenne distance		390,00	398,33	394,17		354,29	343,42	348,63
Total Moyenne trafic		0,97	1,27	1,12		2,03	2,45	2,25
Total NB sujets		30	30	60		36	38	74
Total Somme arr feux		10	13	23		7	9	16

Annexe 6 : Tableaux récapitulatifs des familles de critères

Récapitulatif des critères sur l'évocation des schèmes

Familles de Critères	Caractérisations du critère	Exemples de solutions	Eléments dimensionnants de la médiatisation
1. Evocation des schèmes (guidage de l'utilisateur dans son activité)			
1.1 Incitation			
	1.1.1 par rapport à la manipulation de **l'Artefact**	Onglet, sérigraphie, texte/ dessin d'explicitation de la procédure…	Lien Sujet-Instrument (S<I)
	1.1.2 par rapport à **l'Objet** de l'action	Sérigraphie, texte/ dessin d'explicitation des buts…	Lien Sujet-Objet médiatisé (S<I<O)
1.2 Regroupement versus discrimination			
	1.2.1 par la proximité/éloignement **spatial(e**) des éléments artefactuels	Commandes regroupées spatialement selon leur type d'effet (par exemple un sous menu dans une arborescence)	Lien Sujet-Objet médiatisé (S<I<O)[44]
	1.2.2 par la proxité/éloignement **formel(le)** des éléments artefactuels	Commandes regroupées par un thème iconographique	Lien Sujet-Objet médiatisé (S<I<O)[45]
	1.2.3 par la proximité/éloignement entre artefact et **organe effecteur** ou artefact et **espace de travail**	- Commande à proximité de l'organe piloté - Commande sur le "chemin de l'action"	- Lien spatial Artefact et Espace de travail - Lien spatial entre Instrument et Objet de l'action
1. 3 Référenciation			
	1.3.1 par rapport à un **stéréotype culturel**	Augmenter une valeur par la rotation d'une commande dans le sens des aiguilles d'une montre	Lien Sujet-Instrument (S<I)
	1.3.2 par rapport à un autre **instrument** "grand public"	Usage par exemple d'un clavier numérique du véhicule pour composer un numéro de téléphone	Lien Sujet Objet médiatisé (S<I<O)
	1.3.3 par rapport à une organisation **spatiale ou chronologique**	Répartition des commandes selon un référentiel spatial des organes effecteurs: par exemple la commande de désembuage/dégivrage du pare-	Lien entre organisation de l'Artefact et organisation de l'Espace de travail .

[44] Il s'agit en effet le plus souvent de guider l'utilisateur par un regroupement selon les similarités des "Objets d'action" (lien S<I<O) plutôt que des" procédures" (lien S<I)
[45] idem

		brise au dessus de la commande de désembuage de la lunette arrière	
	1.3.4 par rapport aux **actions** portées sur l'Espace de travail secondaire	Manipulations sur l'artefact en analogie avec les transformations de l'espace de travail ex "mini-siège"	Lien Sujet O2 médiatisé (S<I2<O2)
	1.3.5 par rapport à **l'Espace de travail** principal	Affichage en concordance avec la scène visuelle externe (par exemple figuration des sens uniques sur une vignette de guidage).	Lien Artefact de conduite (A1) et Espace de conduite (Ew1)
1. 4 Hiérarchisation			
	1.4.1 par rapport à la fréquence d'usage	Les commandes les plus fréquemment utilisées sont disposées de manière privilégiée par rapport aux autres	Lien entre les niveaux d'accès aux commandes de l'artefact et la fréquence des Objets de l'action associés à ces commandes
	1.4.2 par rapport aux contraintes temporelles	Les commandes devant se faire sous forte contrainte temporelle (par exemple avertisseur sonore) sont disposées de manière privilégiée par rapport aux autres	Lien entre les niveaux d'accès aux commandes et la contrainte temporelle associée aux Objets de l'action associés à ces commandes.
1.5 Personnalisation (prolongement de la conception par l'utilisateur)			
	Le sujet configure le système dans la perspective d'orienter son activité future	Préprogrammation de stations, personnalisation des configurations du poste de conduite etc.	Personnalisation de l'Instrument

Récapitulatif des critères sur l'opérationalisation des schèmes

Familles de Critères	**Caractérisations du critère**	**Exemples de solutions**	**Eléments dimensionnants de la médiatisation**
2. Opérationnalisation des schèmes (mise en œuvre)			
	2.1 par rapport à **l'atteinte visuelle** de l'artefact	Visualisation " sans masque " de la commande	Lien Sujet Artefact (S>A)
	2.2 par rapport à **l'atteinte tactile** de l'artefact	Accessibilité aux commandes	Lien Sujet Artefact (S>A)
	par rapport à l' **engagement** du	- Accessibilité aux commandes compatibles avec une **position**	- Cohérence S>I>O et S>A>Ew

	sujet	**d'attente** (deux mains sur le volant) - **Flexibilité** des positions d'accès (ex. Insertion versus extraction du véhicule => différentes commandes de basculement du siège)	**cf. schème d'attente "au cas où"** - Cohérence S>I>O et S>A>Ew
	2.4 par rapport à la **séquentialisation** de l'action dans une situation multi-instrumentée	- Organiser l'affichage de manière à **séquentialiser la prise d'information** - **Interruptabilité et reprise** de l'action (pouvoir reprendre une action "là ou on l'a laissée")	- séquentialisation de la relation S<A2 pour permettre un changement de focus attentionnel de O2 (objet d'action secondaire) vers O1 (focus attentionnel sur la conduite) puis retour à O2 ... - Séquentialisation de la relation S>A2 (idem changement de focus attentionnel entre O1 et O2).

Récapitulatif des critères sur le contrôle

3. Contrôle de l'opérationnalisation des schèmes (contrôle de la mise en œuvre)			
	3.1 Contrôle de **évolutions de l'état de l'Artefact** " Feed backs immédiats "	Ex. visuel : diode Ex. tactile: enfoncement touche Ex. auditifs : bip au moment de l'actionnement	Lien S < A
	3.2 Contrôle des **évolutions de l'Espace de travail 2**	**- contrôle direct** exp : ouverture des vitres - **contrôle médiatisé** exp mise en œuvre des clignotants (pas de contrôle direct possible sur l'organe effecteur)	- Lien S < Ew2 - Lien S< A2 < Ew2
	3.4 Contrôle des **évolutions de l'Espace de travail 1**	**- Contrôle direct**: Exp visibilité arrière **- Contrôle médiatisé**: Exp visibilité au travers d'un rétroviseur; retour tactile au volant sur état de la chaussée	- Lien S < Ew1 - Lien S < A1< Ew1

Récapitulatif des critères sur la gestion des écarts

Familles de Critères	**Caractérisations du critère**	**Exemples de solutions**	**Eléments dimensionnants de la médiatisation**
4. Gestion des écarts (entre ce qui est projeté et ce qui est obtenu)			
	4.1 **Réversibilité**	Ex . revenir en arrière dans une recherche de station	**Lien S>I> O** **Cf. schème de réappui**
	4.2 **Correction**	Ex. reco vocale (cf. cas n°9)	Lien S>I>O Cf. **schème d'interaction langagière de correction** du type: Y? " non X"...
	4.3 Protection contre les **erreurs pénalisantes non réversibles**	Ex. Ouverture capot protégée	Lien S > A
	Protection contre les **oublis**	Ex. beep rappel allumage des feux	Lien A <S
	4.5 Protection contre les risques de **focalisation attentionnelle** sur A2 ou sur Ew2	Ex. appel entrant différé	Inversion des priorité entre l'Objet d'action principal (O1) et secondaire (O2)
	4.6 Gestion des incohérences entre les informations provenant de l'artefact et ceux de l' espace de travail	Ex. non concordance entre les informations directionnels du système d'aide et la visualisation de la scène externe	**S<A2 / S<Ew1** **Cf. Schème de régulation du risque**