Contribution de l'analyse de l'activité au processus de conception de produits innovants : application à la conception de systèmes de contrôle-commande automobiles

Samuel Gomes

▶ **To cite this version:**

Samuel Gomes. Contribution de l'analyse de l'activité au processus de conception de produits innovants : application à la conception de systèmes de contrôle-commande automobiles. Sciences de l'ingénieur [physics]. Institut National Polytechnique de Lorraine, 1999. Français. NNT : 1999INPL003N . tel-01749915

HAL Id: tel-01749915
https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01749915

Submitted on 29 Mar 2018

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.

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

99INPL003N

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE
LABORATOIRE DE RECHERCHE EN GENIE DES SYSTEMES INDUSTRIELS

THESE

Service Commun de la Documentation
INPL
Nancy-Brabois

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'INPL

Discipline : Génie des Systèmes Industriels

présentée par

Samuel GOMES

CONTRIBUTION DE L'ANALYSE DE L'ACTIVITE AU PROCESSUS DE CONCEPTION DE PRODUITS INNOVANTS

Application à la conception de systèmes de contrôle-commande automobiles

Soutenue publiquement le 11 Janvier 1999 devant le jury

Directeurs de thèse	Madame C. GUIDAT, Professeur, Directeur de l'ENSGSI (Nancy)
	Monsieur JC. SAGOT, Maître de Conférences, UTBM (Belfort)
Rapporteurs	Monsieur S. TICHKIEWITCH, Professeur, Directeur de l'ENSGI (Grenoble)
	Monsieur R. DUCHAMP, Professeur, ENSAM (Paris)
Examinateurs	Monsieur P. TRUCHOT, Professeur, ENSGSI (Nancy)
	RRO, M (Belfort)
	Monsieur O. GOURGUECHON, Responsable Services Méthodes de Calcul, ECIA

D 136 004565 0

LA FACULTE N'ENTEND DONNER NI APPROBATION NI IMPROBATION AUX OPINIONS EMISES DANS LA THESE, CES OPINIONS DEVANT ETRE CONSIDEREES COMMÈ PROPRES A LEUR AUTEUR

Ce travail est dédié à
Rosa, Antonio, Sandrine et Lucas

SOMMAIRE

Avant-propos ---- 4

Remerciements ---- 7

Chapitre I : Problématique ---- 9

Chapitre II : En phase d'Etude de faisabilité, apports et limites de l'analyse de l'activité gestuelle réelle d'utilisation des produits existants ---- 33

Chapitre III : En phase d'Etudes préliminaires, méthodes et outils pour une recherche coopérative de solutions basée sur l'activité gestuelle d'utilisation ---- 75

Chapitre IV : MANERCOS, un outil dédié à la conception de produits adaptés aux futurs utilisateurs ---- 117

Chapitre V : Contribution de l'activité gestuelle à la démarche d'ingénierie concourante ---- 149

Chapitre VI : Conclusion générale et perspectives de recherche ---- 173

Bibliographie ---- 189

Table des matières ---- 215

Table des illustrations ---- 219

AVANT-PROPOS

Dans cette partie du document, nous proposons un guide de lecture du travail effectué. Ce travail de recherche a été réalisé au sein de l'équipe d'ERgonomie et COnception (l'ERCO) de l'Institut Polytechnique de Sévenans (IPSé) en collaboration avec le Laboratoire de Recherche en Informatique de Sévenans (LaRIS-IPSé). L'ERCO est actuellement rattachée au Laboratoire de Recherche en Génie des Systèmes Industriels (LRGSI, UPRES E.A. n°1147 - Nancy).

Suite à l'obtention du diplôme d'ingénieur en mécanique, nos premières recherches, à caractère technologique, se sont d'abord centrées sur les modalités de l'intégration de l'ergonomie dans des projets de conception de produits de grande diffusion et de produits industriels. En effet, les produits d'aujourd'hui sont de plus en plus hybrides et complexes ce qui nécessite, pour leur conception, l'intégration de nombreux métiers. L'ergonomie constitue l'un de ces métiers qui s'intéresse, en particulier, aux interactions entre l'utilisateur et le produit. Dans ce cadre, les différentes actions que nous avons pu mener se positionnent dans un cadre qualifié "d'ingénierie centrée sur l'Homme", à travers l'intégration de l'ergonomie dans le processus de conception de produits nouveaux.

Dès 1996, nous avons souhaité réaliser un travail de thèse se proposant de formaliser les connaissances et les méthodes développées au cours des différentes études réalisées. L'originalité de ce travail est d'intégrer, en amont du processus de conception de produits, une réflexion sur les activités réelles d'utilisation, de fabrication, etc., des produits existants ainsi que sur la définition des "activités futures souhaitables", pour le futur produit. Ces activités futures demeurent souhaitables en terme de sécurité, de santé, de confort et d'efficacité. En ce qui concerne les activités futures souhaitables d'utilisation, elles nous ont permis de fédérer les actions du groupe projet (concepteurs, utilisateurs et décideurs) autour de la fonction d'usage du futur produit, en complément de l'approche traditionnelle de recherche de la performance technique.

Dans le cadre du présent document, nous illustrons nos propositions à travers un projet industriel de conception d'un nouveau système de contrôle-commande d'autoradio, intégré dans un poste de conduite automobile. Ce projet a fait l'objet d'un contrat industriel de 8 mois réalisé en partenariat avec un équipementier automobile. Conscient des difficultés éprouvées

par les acteurs de la conception, pour conduire une véritable démarche d'ergonomie de conception, nous proposons de nouvelles méthodes et de nouveaux outils s'intégrant dans le processus de conception de produits.

En effet, le point marquant de notre travail est d'avoir pu développer des outils XAO d'aide aux concepteurs, dans le domaine de la conception coopérative distribuée. Ces outils sont basés, en particulier, sur la simulation virtuelle de certaines activités futures souhaitables d'utilisation, de fabrication, etc., du futur produit, à l'aide de mannequins virtuels animés.

REMERCIEMENTS

Je tiens, tout d'abord, à exprimer mes profonds remerciements aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont bien voulu porter à ce travail.

Je remercie plus particulièrement **Serge TICHKIEWITCH**, Professeur et Directeur de l'Ecole Nationale Supérieure en Génie Industriel, pour m'avoir fait l'honneur d'être rapporteur de cette thèse.

J'exprime mes remerciements à **Robert DUCHAMP**, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers, pour avoir accepté d'être rapporteur de cette thèse.

Mes remerciements s'adressent aussi à **Claudine GUIDAT**, Professeur et Directrice de l'Ecole Nationale Supérieure en Génie des Systèmes Industriels, qui a bien voulu diriger ma thèse et pour le suivi, le conseil et la confiance qu'elle a su m'attribuer.

J'exprime mes plus vifs remerciements et ma profonde reconnaissance à **Jean-Claude SAGOT**, Responsable de l'équipe d'ERgonomie et COnception à l'Institut Polytechnique de Sévenans, pour avoir accepté de co-diriger ma thèse ainsi que pour l'autonomie et le soutien constant qu'il a su m'apporter tout au long de ce travail.

Mes profonds remerciements vont aussi tout naturellement à **Patrick TRUCHOT**, Professeur à l'Ecole Nationale Supérieure en Génie des Systèmes Industriels, pour avoir guidé mes premiers pas dans la recherche. Je lui témoigne, par ailleurs, toute ma reconnaissance pour son écoute et ses remarques constructives.

Je tiens aussi à remercier **Olivier GARRO**, Professeur à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Belfort, qui a accepté spontanément de participer au jury de thèse. Je lui suis extrêmement reconnaissant pour les précieux conseils qu'il a su porter sur mon travail.

J'exprime ma plus vive reconnaissance à **Hugues BAUME**, Responsable Design et Ergonomie au sein de la société FAURECIA, pour toute la confiance qu'il a su manifester à mon égard.

Mes remerciements et ma profonde reconnaissance s'adressent aussi à tous mes collègues de l'IPSé pour leurs conseils, leur soutien et tout simplement leur sympathie. Je remercie plus particulièrement :

Abderrafia KOUKAM, responsable de l'équipe Modélisation et Analyse des Systèmes à Evénements Discrets du Laboratoire de Recherche en Informatique de Sévenans, pour son aide précieuse en relation avec les concepts, méthodes et outils utilisés en informatique,

Valérie GOUIN, ergonome cognitiviste qui, à travers ses conseils et les différentes lectures de mes manuscrits m'a beaucoup aidé à formaliser certaines parties de mon travail,

Peggy ZWOLINSKI, doctorant avec qui j'ai partagé mon bureau et de longues journées de réflexion, pour son aide, son soutien et ses remarques constructives,

Bernard ROUSSEL, médecin et neurophysiologiste pour la lecture de certaines parties de mon manuscrit,

Nicolas LEROY, ingénieur en informatique, pour avoir largement contribué à la réussite des développements informatiques mais aussi pour la lecture de mon manuscrit,

Pierre DECHIZEAUX, responsable du département informatique de l'IPSé, qui m'a beaucoup aidé en acceptant de lire la première version du manuscrit.

Que toutes les personnes qui, d'une manière ou d'une autre, m'ont aidé à progresser dans mon travail trouvent ici le témoignage de ma profonde reconnaissance. Je pense, en particulier, à **Gérard**, **Raed**, **Sylvie** et les autres pour leur contribution à ce travail mais aussi pour leur soutien amical.

Enfin, je voudrais associer à ces remerciements **Sandrine** et **Lucas** pour leur patience et leur compréhension à mon égard.

CHAPITRE I

PROBLEMATIQUE

1. Introduction

Face à un environnement économique à forte concurrence et à faible croissance, l'innovation demeure une activité fondamentale pour assurer la pérennité des entreprises. Placée, au mieux, en situation de conquête de nouveaux marchés et, au pire, en situation de survie, l'entreprise qui s'engage dans la conception d'un produit nouveau prend des risques économiques, technologiques, juridiques, etc. Lors d'un projet de conception de produits, différents métiers sont impliqués en vue de répondre au besoin identifié tout en limitant les risques liés au degré d'innovation du produit. Il s'agit, par exemple, du marketing, du design, de la fiabilité, ou de la qualité. Malgré l'ensemble des métiers réunis et malgré les nombreuses méthodes et outils de conception disponibles et utilisés (Analyse fonctionnelle du Besoin, QFD, etc.), il est important de constater que **les produits nouveaux qui apparaissent sur le marché posent de nombreuses difficultés aux utilisateurs** (IPSOS, 1990 ; CHAILLOUX, 1994). Par exemple, qui ne s'est acharné, au moins une fois, sur un distributeur automatique de billets afin d'obtenir un titre de transport correspondant simultanément à tous les critères recherchés, tels que la bonne direction et les bons horaires. De même, tout le monde a déjà été confronté à la difficile et longue expérience de la programmation de l'enregistrement d'un film à partir d'un magnétoscope et d'une télécommande.

Il en résulte des situations d'échec, de "mal-être" ou de "micro-drame" existentiel, pour l'utilisateur du produit (MOLES, 1976), qui sont préjudiciables à l'image de ce produit et donc à l'entreprise. De telles situations soulèvent plusieurs questions. Le concepteur du produit l'a-t-il suffisamment utilisé avant de le commercialiser ? L'a-t-il testé avec des utilisateurs issus de la population ciblée : apparemment pas assez bien au vu des nombreux problèmes rencontrés, a posteriori, par les utilisateurs. Ceci nous amène, dans le cadre d'une première réflexion, à formuler l'hypothèse suivante : **le dialogue entre concepteurs et utilisateurs du produit n'est pas toujours bien établi lors du processus de conception de produits**. Etant conscients des difficultés quotidiennes rencontrées par les concepteurs, fortement imprégnés de leur culture technique et constamment tenaillés par des contraintes de qualité, de coûts et de délais, une première question s'impose. **Comment mieux concevoir des produits adaptés aux futurs utilisateurs ?**

A ce stade, il est important de noter la distinction fondamentale entre la notion "d'utilisateur" et la notion de "d'acheteur" (client), car, dans certains cas, l'utilisateur n'est pas forcément l'acheteur du produit. Par exemple, le conducteur du TGV est "l'utilisateur" de la

locomotive motrice mais n'achète pas cette locomotive motrice auprès du constructeur. Cette précision est importante étant donné le nombre de métiers (marketing, qualité, etc.) et de services de l'entreprise (services commerciaux, services publicitaires, etc.) qui s'intéressent non pas à "l'utilisateur" mais plutôt au "client".

Malgré l'existence de plusieurs méthodes de conception, et compte tenu des "grossières erreurs de conception" souvent constatées, il apparaît clairement que certains problèmes liés à l'interaction entre l'utilisateur et le produit ne sont pas abordés lors de la conception de ce dernier.

En effet, au cours de ces 5 dernières années, nous avons été impliqués dans différents projets de conception de produits de grande diffusion (GOMES et al., 1994 ; GOMES et SAGOT, 1995 ; SAGOT et GOMES, 1996a ; SAGOT et GOMES, 1996b ; GOMES et al., 1997 ; GOMES et al., 1998a). En parallèle, nous nous sommes aussi intéressés à des projets de conception de moyens de production (SAGOT et al., 1996 ; SAGOT et GOMES, 1997a ; SAGOT et GOMES, 1998). Lors de ces différents projets, nous avons pu constater que les concepteurs, plus préoccupés par les aspects fonctionnels et techniques du produit, ont souvent négligé certains aspects tels que ceux liés à son utilisation. Cette dimension est toujours abordée plus tard dans le projet, donc trop tard. C'est souvent dans un tel contexte que nous sommes consultés par les industriels. En effet, ceux-ci nous sollicitent principalement pour corriger les erreurs de conception identifiées trop tard, c'est-à-dire uniquement à travers des problèmes déjà soulevés par les utilisateurs, une fois le produit commercialisé. Par exemple, dans le domaine du transport ferroviaire (TGV, Locomotive diesel, tramway, etc.) et suite à différentes plaintes de conducteurs, nous avons été consultés pour améliorer certains postes de conduite existants (SAGOT et al., 1993 ; GOMES et al., 1996 ; SAGOT et GOMES, 1997b). Des améliorations ont ainsi pu être réalisées en considérant, par exemple, les écarts de stature, d'atteinte, de posture existants entre les conducteurs de grande et de petite taille.

Lorsque l'on s'intéresse de plus près aux démarches de conception adoptées par les concepteurs, il est souvent relevé l'absence de dispositions spécifiques dédiées à l'interaction entre l'utilisateur du produit et le produit lui-même. Comme nous le verrons, dans la suite de ce chapitre, nous avons identifié deux grandes familles de processus de conception : les processus de conception séquentiels et les processus de conception coopératifs. Hormis certains processus de conception coopératifs tels que celui de ROUSE (cité par COFFIN,

1995), aucun des processus de conception existants ne formalise de manière pragmatique le dialogue entre les différents acteurs de la conception et, plus particulièrement, entre concepteurs et utilisateurs. Cela nous amène à formuler le constat suivant : **les processus de conception existants intègrent peu ou pas du tout les modalités du dialogue entre concepteurs et utilisateurs**. Par exemple, prenons le cas des processus de conception séquentiels, processus encore bien implantés dans les habitudes des concepteurs et dans les entreprises. A travers leur structure constituée d'une juxtaposition de phases de conception successives, ils excluent manifestement la coopération "simultanée" de l'ensemble du groupe projet : c'est ce qui fait la particularité des processus de conception coopératifs. Malheureusement, ces processus de conception coopératifs sont encore assez peu appliqués sur le terrain, certainement du fait d'un manque de méthodes et d'outils concrets et accessibles montrant tout leur intérêt.

Afin de mieux concevoir des produits adaptés aux futurs utilisateurs et ceci, face aux différents constats montrant manifestement des dysfonctionnements dans le dialogue entre utilisateurs et concepteurs, il devient nécessaire de rétablir ce dialogue lors du processus de conception de produits sur le thème de l'interaction Homme-Produit. **Pourtant, parmi toutes les disciplines intervenant lors de la conception d'un produit, il en existe une qui s'intéresse aux interactions entre l'utilisateur et le produit : c'est l'ergonomie**. Outre sa vocation de discipline scientifique dédiée à la production de connaissances sur les interactions entre l'homme, le produit et son environnement, l'intégration de la dimension technique de l'ergonomie dans le processus de conception de produits peut être abordée sous deux approches complémentaires (RABARDEL et al., 1998).

Une première approche qualifiée de **normative** traduit une approche traditionnellement anglo-saxonne basée sur les normes et standards ergonomiques : c'est l'ergonomie des "Human Factors". Par exemple, un concepteur de siège de bureau pourra intégrer dans son cahier des charges différentes recommandations issues des normes en vigueur en ergonomie : taille et poids des utilisateurs européens, efforts maximum admissibles lors de l'utilisation des leviers de réglage du siège, dimensions des commandes, etc. Cette approche normative, dominante sur le plan international, est facilement applicable dans les projets de conception et remporte, en général, l'adhésion des concepteurs.

La deuxième approche est orientée sur **l'activité réelle d'utilisation du produit** et correspond à une approche francophone de l'ergonomie. Cette approche met en oeuvre des

outils et des méthodes pour observer, écouter, analyser et interpréter l'activité qui est effectivement menée par les différentes catégories d'utilisateurs du produit, dans différentes situations normales et dégradées. Par exemple, en reprenant le cas très simple du siège de bureau, il conviendra d'observer sur le terrain les différentes conditions réelles d'utilisation des sièges existants : lorsque l'utilisateur est assis à son bureau, lorsqu'il se sert de son siège pour se déplacer dans différents endroits de la pièce, lorsque son siège fait parfois office d'escabeau pour saisir un objet au-dessus d'une armoire, etc. Parallèlement, il conviendra de recueillir les avis subjectifs des utilisateurs sur les problèmes qu'ils rencontrent lors de l'utilisation du siège, sur leurs souhaits, bref sur la nature des relations qu'ils entretiennent avec le produit.

Cette approche francophone de l'ergonomie, née dans les années 60 comme pratique de terrain, s'est d'abord centrée sur l'analyse des composantes gestuelles et sensorielles de l'activité pour mettre ensuite l'accent sur le fait qu'il ne peut y avoir d'activité gestuelle et sensorielle sans participation mentale (POMIAN et al., 1997). L'activité mentale, encore appelée activité cognitive (ce qui permet de traiter l'information, de raisonner, de mémoriser, et de résoudre des problèmes), est très rapidement devenue un objet d'étude privilégié mené en interdépendance avec les composantes gestuelles et sensorielles (QUEINNEC et al., 1991 ; POMIAN et al., 1997).

Lorsqu'il s'agit de produits industriels mettant en oeuvre des activités de travail, cette notion centrale d'activité en ergonomie s'enrichit d'une dimension sociale, en relation avec le tissu socio-économique de l'entreprise.

Malheureusement, nous avons pu constater que, hormis les grands groupes industriels disposant d'importants moyens en terme de temps, de compétences en ergonomie ainsi que d'importants moyens financiers, la démarche d'analyse de l'activité d'utilisation du produit était très peu appliquée dans les projets de conception de produits. **Malgré toute la richesse des données issues de l'analyse de l'activité réelle d'utilisation, nous avons pu nous rendre compte des difficultés éprouvées par les concepteurs pour intégrer ces données et ces méthodes, lors du processus de conception de produits**. Ceci constitue certainement la raison pour laquelle les produits que nous utilisons, même s'ils intègrent les normes et standards ergonomiques, posent encore de sérieux problèmes "d'utilisabilité". Cette notion d'utilisabilité du produit englobe des concepts liés à la fonction d'usage du produit, à sa facilité d'utilisation tout y intégrant des éléments de confort, d'efficacité, de sécurité et de préservation de la santé. Reprenons l'exemple du siège de bureau à travers le cas d'un

concepteur européen de sièges de bureau devant concevoir un nouveau produit adapté maintenant au marché indien. Le nouveau siège de bureau proposé, même s'il intègre les standards ergonomiques relatifs aux tailles des utilisateurs vivant en Inde, posera néanmoins de nombreuses difficultés s'il ne prend pas en compte l'activité réelle des dits utilisateurs indiens, tel que le fait que ceux-ci s'assoient parfois en tailleur sur le sol pour travailler.

Face à ces différents constats, que nous développerons plus en détail dans la suite de ce chapitre, il est maintenant possible de formuler la problématique de base de ce travail. La réflexion que nous voulons mener pour améliorer le dialogue entre concepteurs et utilisateurs, en vue de concevoir des produits qui leur sont adaptés, part de l'hypothèse suivante : **le concept "d'activité d'utilisation" du produit, concept propre à l'ergonomie francophone, pourrait être mieux exploité par les concepteurs lors du processus de conception de ce produit.** Nous avons été amenés à formuler cette hypothèse pour la raison suivante : **le manque de dialogue entre concepteurs et utilisateurs lors de la conception du produit nous semble être principalement lié aux difficultés de coopération entre concepteurs et ergonomes,** en particulier, sur le terrain de l'analyse de l'activité réelle d'utilisation du produit. L'origine de telles difficultés peut être attribuée non seulement aux différences séparant les deux métiers (différences conjuguées de culture, de langage, de connaissances, de méthodes et d'outils utilisés) mais aussi et surtout, au "**paradoxe de l'ergonomie de conception**". Cette notion de paradoxe de l'ergonomie de conception se traduit par le dilemme auquel est confronté le concepteur lorsqu'il s'agit de devoir appréhender "la réalité d'une situation d'utilisation future". En d'autres termes, ce paradoxe se manifeste lorsqu'il s'agit d'analyser l'activité d'utilisation d'un produit inexistant, car en cours de conception. Ceci explique la raison pour laquelle la démarche d'analyse de l'activité réelle d'utilisation est particulièrement intéressante lorsqu'il s'agit d'améliorer et de corriger des produits existants : on parle alors **d'ergonomie de correction**. Malheureusement, cette démarche nous paraît insuffisante, en tant que telle, lorsqu'il s'agit de concevoir des produits nouveaux adaptés aux futurs utilisateurs : on parle alors **d'ergonomie de conception**, objet de notre travail.

La question fondamentale posée, dans le cadre de ce travail, est donc : **comment mieux prendre en compte l'activité d'utilisation d'un produit lors du processus de conception de produits nouveaux ?**

En tant que concepteur de formation, oeuvrant dans le domaine du génie des systèmes industriels en adoptant une logique "anthropocentrique" (RABARDEL, 1995 ; ROUSSEL et

LE COQ, 1997 ; LOMBARD, 1997), nous proposons une première piste de réponse à cette question centrale. Cette première piste de réponse consiste à **rétablir le dialogue entre les différents acteurs de la conception à travers la notion "d'activité gestuelle d'utilisation".** Cette dimension clé pour ce travail, limitant le concept global "d'activité d'utilisation" à la prise en compte de la gestuelle, des déplacements, des postures et des directions de regards de l'utilisateur, nous semble ouvrir une première porte au rétablissement de la coopération entre concepteurs et ergonomes. Nous avons choisi de retenir, pour commencer, cet aspect partiel de l'activité d'utilisation afin de pouvoir très rapidement **instaurer de nouveaux supports de coopération communs aux ergonomes et aux concepteurs.** Ces nouveaux supports de coopération sont proposés en tant **"qu'objets intermédiaires de la conception"** (GARRO, 1997 ; BOUJUT et JEANTET, 1998). Les "objets intermédiaires de la conception" sont des objets produits ou utilisés au cours du processus de conception. Ils permettent, d'une part, de représenter les choix de conception effectués ainsi que la future apparence du système. Ces objets constituent, d'autre part, un lieu de médiation et de coordination entre les différents acteurs de la conception. Dans notre cas, il s'agit, par exemple, de documents multimédias accessibles à l'ensemble des acteurs de la conception. Certains de ces documents multimédias pourront se présenter sous la forme de films vidéographiques et de films en images virtuelles, traduisant respectivement certaines conditions d'exercice de "l'activité gestuelle existante" et de "l'activité gestuelle future souhaitable" d'utilisation du produit. Ces supports de coopération sont complétés par des données analytiques extraites de l'analyse des "activités gestuelles" existantes et futures d'utilisation : nombre de manipulations du produit, durée des déplacements, nombre de changements de posture effectués lors de l'utilisation de ce produit.

Nous avons choisi comme champ d'application celui du transport, à travers la conception d'organes de commande intégrés dans le poste de conduite automobile. Ce choix se justifie, d'abord, par la nature même du secteur automobile, secteur très concurrentiel et très avancé dans le domaine des méthodes de conception utilisées. Ce choix se justifie ensuite par la complexité du poste de conduite automobile et par l'importance des interactions entre le conducteur et son véhicule, au cours de l'activité de conduite.

Suite à ce premier chapitre traduisant la problématique et les différents constats évoqués, le deuxième chapitre présente notre projet d'application industriel. Il s'agit d'un

projet au cours duquel une analyse de "l'activité gestuelle" d'utilisation de commandes automobiles est menée en conduite réelle, dans un but de conception d'un nouveau concept d'autoradio, adapté aux futurs utilisateurs. Plusieurs difficultés méthodologiques sont apparues, au cours de ce projet, lorsqu'il a fallu conjuguer les méthodes traditionnelles d'analyse de l'activité d'utilisation et la recherche de nouvelles solutions d'autoradio.

Une nouvelle réflexion s'est donc imposée, au cours du troisième chapitre, sur les méthodes et les outils à mettre en oeuvre pour préserver "l'activité gestuelle" d'utilisation du produit, en tant que support de coopération, lors de la recherche de solutions d'autoradio, en phase d'études préliminaires.

Le quatrième chapitre présente l'outil logiciel MANERCOS. Cet outil a été développé sur la base des nouveaux concepts proposés et sert de support à la méthode de recherche coopérative de solutions préconisées en phase d'études préliminaires (Chapitre III).

Ensuite, au cours du cinquième chapitre nous nous proposons d'étendre les concepts, les méthodes et les outils proposés, à l'ensemble du cycle de vie du produit, en s'intéressant, par exemple, à l'activité de fabrication, de maintenance, etc., du futur produit, et ceci conformément à la démarche d'ingénierie concourante encore appelée ingénierie simultanée.

Enfin, le dernier chapitre propose une conclusion générale portant sur les apports, les limites de notre travail et nos futures perpectives de recherche.

2. Cadre théorique et méthodologique

Il s'agit, dans ce paragraphe, de dresser le cadre théorique et méthodologique sur lequel va s'appuyer notre travail, qui rappelons-le, se propose de réfléchir sur la question "comment mieux concevoir des produits adaptés aux futurs utilisateurs ?". Face aux difficultés rencontrées par les utilisateurs de certains produits, il apparaît que l'interaction entre l'utilisateur et le produit n'est pas suffisamment abordée lors du processus de conception de produits, préjugeant ainsi d'un manque de dialogue entre concepteurs et utilisateurs. Ceci nous amène donc, dans un premier temps, à recenser les processus de conception de produits existants en vue d'identifier ceux dont la structure intègre les modalités du dialogue entre les concepteurs et les utilisateurs du produit. Dans un deuxième temps, nous nous proposons d'examiner pourquoi l'ergonomie, discipline s'intéressant pourtant aux interactions entre l'utilisateur et le produit, n'intervient pas efficacement lors des projets de conception de

produits nouveaux, posant ainsi la question des conditions d'exercice d'une véritable "ergonomie de conception".

Dès à présent, il nous semble important de faire état de la terminologie que nous utiliserons tout au long de ce travail. Au terme "produit", et en accord avec l'AFNOR, nous entendons : "ce qui est (ou sera) fourni à un utilisateur pour répondre à son besoin". Il est dès lors possible de distinguer deux catégories de produits correspondant à des offres différentes : **les produits matériels et les services** (DELAUNAY, 1987). En ce qui concerne les produits matériels, ce sont des biens intermédiaires vendus aux entreprises comme composants et des biens de consommation vendus aux particuliers. De la même manière, il est possible de discerner les services destinés essentiellement aux entreprises (ingénierie, méthodes, etc.) et ceux vendus aux particuliers (assurances, banques, etc.).

Dans ce travail, et en correspondance avec les travaux menés au sein de l'Equipe en Ergonomie et Conception de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (L'ERCO-UTBM), nous retiendrons la catégorie des produits matériels destinés aussi bien aux particuliers qu'aux industriels. Dans le premier cas, nous parlerons **d'utilisateurs** confrontés à des **produits de grande diffusion** (électroménager, téléphonie embarquée, distributeur de billets, poste de conduite automobile, etc.). Rappelons dans le cadre de ce travail, que nous faisons une nette distinction entre la notion "**d'utilisateur**" (celui qui utilise réellement le produit) et la notion de "**client**" (celui qui achète le produit), car dans de nombreux cas, l'utilisateur n'est pas forcément l'acheteur de ce produit. Lorsqu'il s'agit de **produits industriels** (pupitre de supervision, armoire de commande, poste de travail, etc.), impliqués dans un **process** (procédé de fabrication), le terme utilisateur sera abandonné au profit **d'opérateur**. L'opérateur est caractérisé par la dimension professionnelle des tâches qu'il accomplit dans des situations précises de l'industrie ou de l'administration. Quant à l'utilisateur d'un produit, qu'il soit un professionnel ou un individu anonyme du grand public, il se caractérise par l'usage de ce seul dispositif technique, sans que soit pris en compte la diversité des tâches et des situations (DE MONTMOLLIN, 1995).

Un système peut être décrit comme un ensemble d'éléments en interaction formant une unité globale organisée en fonction d'un certain but (DE ROSNAY, 1975 ; DURAND, 1994). En effet, lorsqu'il s'agit de replacer le produit et l'utilisateur dans le cadre plus global du contexte d'utilisation, contexte incluant les interactions entre le produit, l'utilisateur et l'environnement d'utilisation, nous ferons appel à la notion de système, et en particulier, à la

notion de **système Homme-Produit-Environnement**. En étant positionnés dans une approche d'ingénierie concourante, nous nous proposons d'adopter une vision globale qui place l'homme et son environnement au centre de la problématique de ce travail (TICHKIEWITCH, 1998) : la conception de nouveaux produits adaptés aux futurs utilisateurs.

En accord avec MALINE et BOURGEOIS (1994), nous définirons **le scénario en ergonomie** comme étant à la fois :

- une proposition hypothétique qui tente de concevoir une image d'une réalité à construire,
- une proposition descriptive qui permet d'identifier une situation d'utilisation future souhaitable, contexte particulier mettant en relation les différents éléments du système Homme-Produit-Environnement,
- une proposition explicative dans la mesure où l'enchaînement des interactions entre les différents éléments du système Homme-Produit-Environnement indique la nature des relations qui sont susceptibles d'apparaître.

Nous désignerons par **acteurs de la conception**, l'ensemble des personnes pouvant participer et contribuer à la réussite d'un projet. Ces personnes peuvent être des représentants de différents corps de métier (marketing, ergonomie, design, ingénierie, etc.), de différents secteurs de l'entreprise (études, méthodes, fabrication, direction, etc.), mais aussi et surtout de la population d'utilisateurs et d'opérateurs en relation avec le produit existant et futur.

2.1 Vers une autre vision du processus de conception de produits

Il s'agit ici de traduire notre vision du processus de conception de produits, et ceci suite à une première réflexion sur l'importance de l'étape de conception au regard du cycle complet de vie du produit. Ainsi, à l'issue d'un recensement des processus de conception existants, nous proposons un processus de conception correspondant à notre vision de la conception de produits adaptés aux futurs utilisateurs. Tout en conservant les principales phases de conception, connues et appliquées par les concepteurs, cette vision du processus de conception s'appuie sur une démarche coopérative visant à rétablir le dialogue entre l'ensemble des acteurs de la conception (concepteurs, ergonomes, utilisateurs, opérateurs, décideurs, etc.).

Tout d'abord, il apparaît que le cycle de vie global d'un produit, tel qu'il est décrit par de nombreux auteurs (DUCHAMP, 1988 ; QUARANTE, 1994 ; BOCQUET et al., 1996), est constitué de 4 étapes : la pré-existence, la naissance, l'existence et la post-existence du produit (Figure 1). L'activité de conception de produits, proprement dite, intervient principalement lors des étapes de pré-existence et de naissance du produit, en amont du cycle de vie. Toute activité de conception n'est justifiée que s'il existe un besoin, un problème à résoudre, point d'impulsion et de départ du processus.

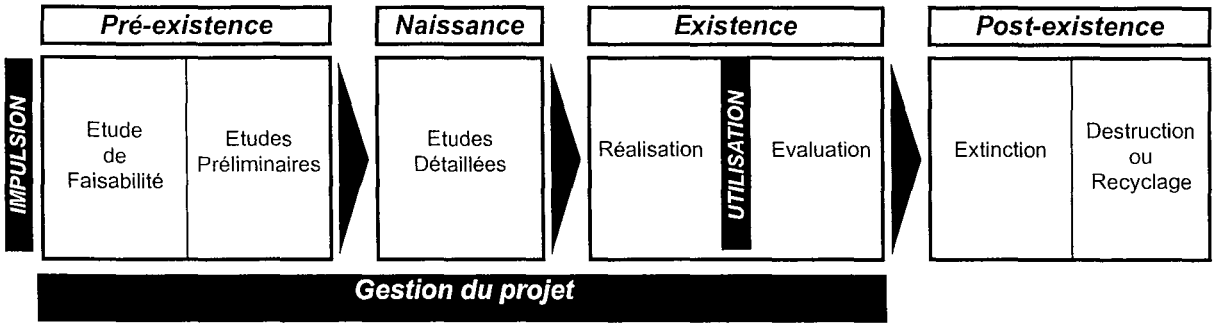


Figure 1 : Illustration simplifiée du cycle de vie global d'un système inspiré des travaux de QUARANTE (1994) et de BOCQUET et al. (1996)

Les principales phases du processus de conception, phases classiques appliquées dans les projets de conception, peuvent être résumées par : l'étude de faisabilité, les études préliminaires, les études détaillées, la réalisation, l'évaluation (QUARANTE, 1994). En ce qui concerne l'étape de post-existence du produit : l'extinction, la destruction ou le recyclage, elle regroupe les dernières phases du cycle de vie du produit. Cette étape met en jeu d'autres domaines d'activité, tels que la fiabilité ou la préservation de l'environnement, mais reste tributaire des choix de conception effectués en amont du cycle de vie. Comme le traduit la Figure 1, la gestion de projet est une étape transversale nécessaire au processus de conception. Elle consiste à planifier et à orchestrer les différentes phases du projet en conjuguant la dimension temporelle de l'exécution des tâches à la dimension humaine des compétences requises.

Selon QUARANTE (1994), l'activité de conception proprement dite fait appel, à un processus de pensée en trois temps dont le point d'impulsion est l'identification du problème (Figure 2).

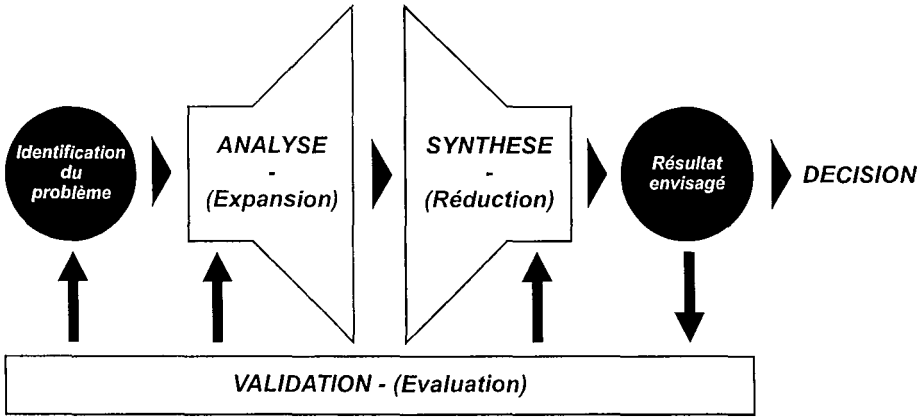


Figure 2 : Mode de pensée commun à chaque étape du processus de conception inspiré des travaux de QUARANTE (1994)

Le 1er temps traduit une analyse (ou expansion) consistant pratiquement toujours à un élargissement du champ d'investigation matérialisé par le concept d'expansion. Le 2ème temps met en œuvre une synthèse (ou réduction) traduisant un concept de rétrécissement du champ d'investigation qui permet d'aboutir à un résultat donné. Enfin, le 3ème temps traduit une validation ou une évaluation du résultat envisagé à l'issue de la synthèse. Ce 3ème temps peut être assimilé à un processus de rétroaction vers chacune des phases antérieures, faisant intervenir la notion de "feed-back", notion propre à la théorie des systèmes (DE ROSNAY, 1975 ; DURAND, 1994).

Un tel formalisme en trois temps "(Analyse-Synthèse)/Validation" nous semble assez représentatif des modes de pensée mis en jeu au cours des différentes phases du processus de conception de produits, dans la mesure où celui-ci peut être considéré comme une succession itérative de phases d'Analyse et de Synthèse entrecoupées de phases de Validation. Ceci s'illustre parfaitement par la succession des différentes phases classiques de la conception : étude de faisabilité (Analyse), cahier des charges (Synthèse), études préliminaires (Analyse), avant-projet/préconcepts (Synthèse), études détaillées (Analyse), et ainsi de suite. C'est à partir de cette succession de phases d'Analyse, de Synthèse et de Validation que nous formaliserons le processus correspondant le mieux à notre vision de la démarche de conception. Mais, au préalable, il est important d'effectuer un recueil des processus de conception existants.

Comme nous l'avons évoqué précédemment, différentes méthodologies de conception ont été formalisées par de nombreux ouvrages et auteurs : elles traduisent généralement de

grandes lignes directrices communes mais structurées différemment selon le processus de conception retenu. Au cours de l'analyse des processus de conception existants, nous avons identifié deux grandes familles de processus de conception : les processus de conception séquentiels et les processus de conception coopératifs. L'objectif d'un tel recensement est d'identifier quels sont les processus de conception qui se rapprochent le mieux de notre vision de la conception de produits, vision selon laquelle on établirait un dialogue entre les concepteurs et les utilisateurs pour la conception de produits adaptés aux futurs utilisateurs.

Les processus de conception séquentiels peuvent être répertoriés selon qu'ils sont rétroactifs ou non. L'approche séquentielle simple, approche classique du processus de conception correspond à une vision taylorienne de l'entreprise pour laquelle chaque métier est cloisonné et où l'acteur N+1 a une tâche bien déterminée qu'il commence lorsque l'acteur N a terminé et ainsi de suite (BOSSARD et al., 1995 ; COFFIN, 1995). Par analogie à l'activité sportive, cette démarche séquentielle simple peut être comparée à une course de relais en athlétisme, activité collective au cours de laquelle : aucun dialogue n'est possible entre les différents coéquipiers, un mauvais passage de témoin peut faire perdre la course, à l'issue de chaque passage de relais, l'athlète ne peut plus rien apporter à l'équipe hormis ses encouragements (COFFIN, 1995).

Les processus séquentiels simples, décrits par différents auteurs (QUARANTE, 1994 ; BOSSARD et al., 1995 ; COFFIN, 1995 ; BOCQUET et al., 1996) traduisent une juxtaposition des étapes du processus de conception sans itération et sans aucune possibilité de remise en cause des étapes précédentes. Les différences constatées entre ces processus de conception reposent sur la variabilité de la terminologie utilisée par chaque auteur.

Les processus de conception séquentiels rétroactifs diffèrent de l'approche séquentielle classique dans la mesure où ils proposent des boucles de rétroaction permettant de vérifier et de valider l'étape N avant d'entamer l'étape N+1. En cas de problème, l'étape N-1 peut être remise en cause et réexaminée. Les processus séquentiels rétroactifs ont également fait l'objet de nombreux travaux dans la littérature (CALVEZ, 1990 ; COFFIN, 1995). Les différences constatées entre ces différents processus de conception rétroactifs reposent non seulement sur la variabilité de la terminologie utilisée par chaque auteur mais aussi par le type et le nombre de boucles de rétroaction proposées. Ces processus de conception présentent l'avantage d'être très ancrés dans les savoirs et les savoir-faire des concepteurs d'aujourd'hui. Cependant, ils

présentent, de notre point de vue, un inconvénient majeur dans la mesure où ils n'abordent pas du tout les modalités de la nécessaire coopération entre les différents acteurs d'un projet : spécificité des processus de conception coopératifs.

Le passage de l'approche séquentielle à l'approche concourante ou simultanée (approche coopérative globale du processus de conception) s'effectue progressivement dans les entreprises depuis le début des années 70. En conservant la même analogie à l'activité sportive, cette nouvelle approche peut être comparée au match de rugby, activité collective au cours de laquelle tous les joueurs sont en permanence sur le terrain avec un but commun de marquer un essai. Le porteur du ballon peut être à tout moment remplacé par un équipier pour converger vers le but commun : marquer l'essai. La clé de la victoire réside dans les capacités de l'équipe à se coordonner, à faire circuler le ballon, à mener des actions collectives tout en permettant aux individualités de s'exprimer (COFFIN, 1995 ; BOSSARD et al., 1997).

Les processus de conception coopératifs font, de plus en plus, l'objet de travaux dans la littérature. Les structures de ces processus diffèrent par la nature de leurs objectifs :

- optimisation cyclique, simultanée et progressive des différentes étapes du processus de conception : modèle "Spirale" de CALVEZ (1990) ou "Hélicoïdal" de PAN (cité par COFFIN, 1995),
- optimisation de la conception et de l'évaluation du système par l'instauration de la confrontation des différentes perceptions du système et d'un véritable dialogue entre concepteurs et utilisateurs : modèle de ROUSE (cité par COFFIN, 1995),
- préservation d'une vision globale du système étudié et formalisation des interactions entre les concepteurs au cours du projet : modèle OSSAD, d'après PREVEL (cité par COFFIN, 1995) et méthode PAT-Miroir d'après LE CARDINAL (cité par QUARANTE, 1994).

Pour conclure sur les processus coopératifs de conception, il apparaît que de part leur nouveauté et le faible nombre de projets de conception menés dans de tels cadres, ceux-ci ne sont pas encore bien implantés, utilisés et exploités dans les entreprises. En effet, malgré de bonnes bases théoriques sur la nécessaire coopération dans le projet, il reste à définir, de notre point de vue, des fondements méthodologiques pragmatiques applicables par les concepteurs de terrain.

Hormis certains processus de conception coopératifs tels que le modèle de ROUSE, aucun des processus de conception évoqués précédemment ne formalise de manière concrète les modalités de l'interaction et du dialogue entre les différents acteurs de la conception et plus particulièrement entre les concepteurs et les utilisateurs. Certes, la majorité de ces processus de conception accordent une certaine importance aux facteurs humains, mais principalement d'un point de vue normatif. Malheureusement, force est de constater que le dialogue entre les concepteurs et les utilisateurs (et/ou les opérateurs) ne s'effectue pas dans de bonnes conditions et ceci très certainement du fait également des difficultés de coopération entre les concepteurs et les ergonomes. C'est dans cette optique, et compte tenu des apports et des limites des processus de conception existants, que nous proposons une vision du processus de conception de produits **: le processus rétroactif et coopératif de conception** (GOMES et al., 1998c ; GOMES et al., 1998d ; SAGOT et al., 1998a ; SAGOT et al., 1998b). Un tel processus, positionné dans une approche d'ingénierie concourante et placé au carrefour des deux familles de processus de conception existants, nous permet d'allier (Figure 3) :

- ☞ coopération, dialogue et relations privilégiées entre les différents acteurs de la conception (concepteurs, utilisateurs, opérateurs, décideurs, etc.),
- ☞ savoir et savoir-faire des concepteurs d'aujourd'hui dans leur manière d'aborder les phases classiques de la conception de produits (étude de faisabilité, cahier des charges, études préliminaires, etc.).

Cette notion **d'ingénierie concourante**, encore appelée ingénierie simultanée, vise à la conception coopérative, et non plus séquentielle, des nouveaux produits et process en prenant en compte, dès le début du projet, l'ensemble des étapes du cycle de vie du produit (MIDLER, 1993 ; LUZI et DECOSTER, 1994 ; BOSSARD, 1995 ; BOSSARD et GAU, 1995 ; BOCQUET et al., 1996 ; BOSSARD et al., 1997). Il s'agit, par exemple, d'impliquer dès le départ, dans un groupe projet, l'ensemble des métiers concernés par les études de marché, la conception, la fabrication, l'utilisation, le recyclage, etc.

Le processus de conception coopératif et rétroactif, ainsi défini, a pour point de départ l'identification du besoin des utilisateurs, comme préalable à la phase d'étude de faisabilité et pour point d'arrivée le lancement de la production en série, à l'issue de la phase d'industrialisation (Figure 3).

Ce processus se poursuit, bien entendu, au delà de la phase d'industrialisation, en s'intéressant par exemple aux phases de Commercialisation ou de Recyclage du produit. Comme nous l'avons déjà introduit, ce processus de conception, se caractérise par des itérations traduisant une succession de phases d'analyse (expansion) et de phases de synthèse (réduction), selon le schéma directeur proposé à la Figure 2. La décision d'engager l'étape suivante nécessite une phase de validation (évaluation), phase correspondant à la boucle de rétroaction.

Conformément à la Figure 3, la première phase d'analyse (expansion) correspond à la phase d'étude de faisabilité. Cette phase intervient dès l'identification du besoin et permet d'envisager la problématique du projet et de juger de ses chances de réussite ou d'échec. Cette première phase d'analyse est ensuite suivie d'une phase de synthèse se traduisant par l'élaboration du cahier des charges.

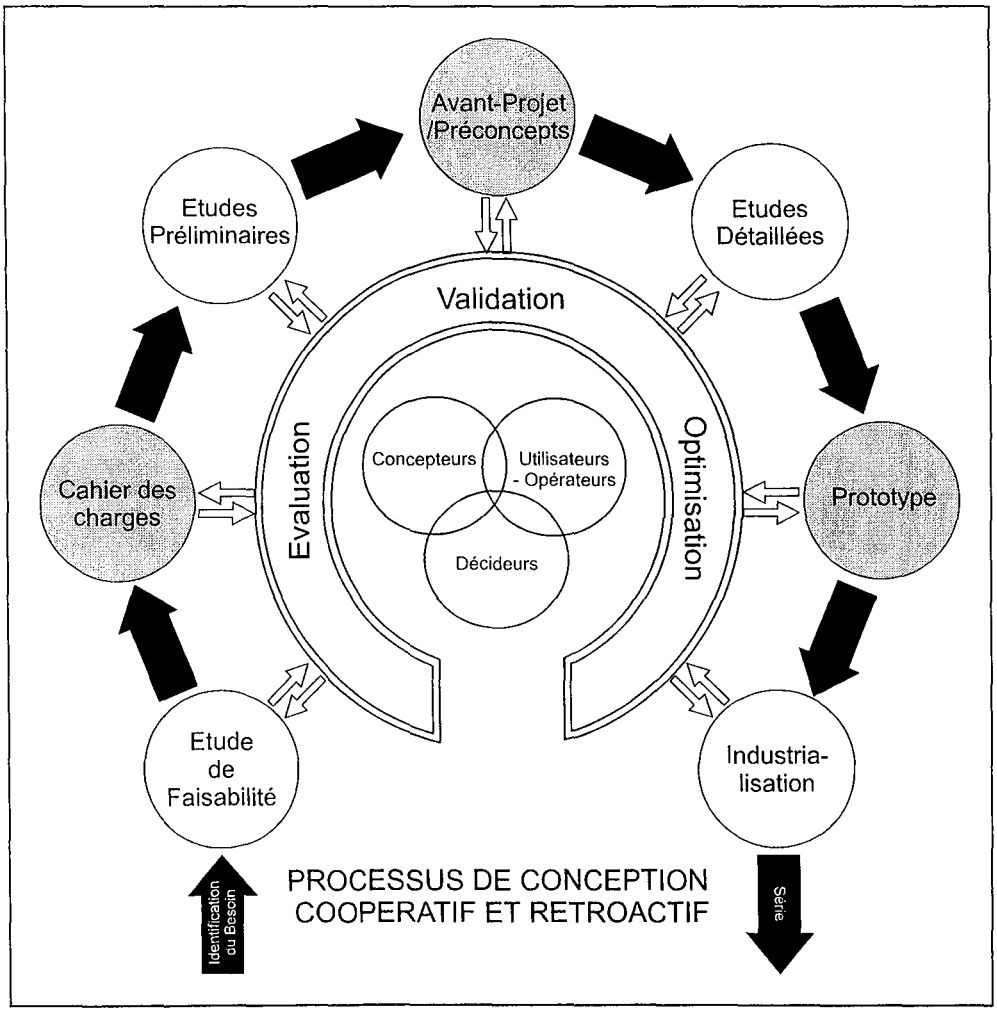


Figure 3 : Démarche de conception préconisée dans le cadre de ce travail - Succession de phases (d'Analyse-Synthèse)/Validation centrée autour de l'ensemble des acteurs de la conception incluant utilisateurs et opérateurs

Les études préliminaires, deuxième phase d'analyse engagée à l'issue du cahier des charges, correspond à une phase de projection dans la situation future et faisant appel au registre du projectif évoqué par MALINE (1997). Cette phase se traduit en effet par la recherche de solutions en accord avec le cahier des charges. La synthèse des résultats étant assurée par la phase d'avant-projets/préconcepts qui recense et hiérarchise les propositions de solution.

La troisième phase d'analyse correspond aux études détaillées. Cette phase consiste à finaliser, du point de vue technique, qualité, coûts d'obtention, etc., le concept retenu en vue de la réalisation d'un ou plusieurs prototypes.

La phase d'industrialisation, dernière phase d'analyse présentée, traduit la mise en oeuvre de moyens techniques, humains, etc., permettant la fabrication du produit. Cette phase se finalise généralement par le lancement de la production en série du produit.

Le processus de conception que nous préconisons se place résolument dans une approche coopérative de la conception de produits à travers les liens de coopération instaurés entre l'ensemble des "acteurs de la conception" : marketing, ergonomie, ingénierie, design, etc. Cette approche coopérative s'illustre aussi et surtout, par la nécessaire collaboration entre les ingénieurs, les décideurs, les ergonomes, les utilisateurs et les opérateurs, en s'appuyant sur certaines méthodes et certains outils, que nous développerons plus en détail dans la suite de ce travail. Il s'agit, par exemple, des apports de la **modélisation orientée objet** et de la **simulation virtuelle** au processus de conception de produits. De telles méthodes se proposent d'élargir la notion de maquette virtuelle, classique en ingénierie concourante, au nouveau concept **"de maquette virtuelle du futur produit dans ses différentes situations de vie"** (utilisation, fabrication, maintenance, etc.). En effet, l'objectif recherché, à travers ces nouveaux concepts, méthodes et outils, centrés sur **l'activité gestuelle,** est de proposer de nouveaux supports de coopération, **"objets intermédiaires de la conception"** permettant de fédérer, très tôt, les représentations que se font les acteurs du projet sur les caractéristiques du futur système.

Ce processus de conception se positionne donc bien dans la démarche d'ingénierie concourante. En effet, lors de sa mise en oeuvre, tous les métiers intervenant dans le cycle de vie du produit sont intégrés d'emblée au sein d'une équipe projet chargée de définir le nouveau produit et process.

Face aux constats formulés au début de ce chapitre, soulevant la mauvaise prise en compte de l'ergonomie lors des projets de conception de produits, il s'agit maintenant de réfléchir sur comment intégrer l'ergonomie au processus coopératif et rétroactif de conception proposé. En effet, malgré la prise en compte d'une approche ergonomique qualifiée de normative, les produits développés et vendus sur le marché posent encore de gros problèmes d'utilisabilité. Comme nous l'avons déjà évoqué, il nous semble que l'origine de ces dysfonctionnements peut être attribuée à la non prise en compte d'une autre dimension fondamentale de l'ergonomie : **l'activité réellement effectuée** par l'utilisateur, l'opérateur de fabrication, le réparateur, etc., du produit. C'est l'objet de la réflexion que nous allons maintenant mener : tenter de comprendre l'origine des difficultés rencontrées par les concepteurs pour intégrer cette notion d'activité d'utilisation dans le processus de conception de produits nouveaux.

2.2 Ergonomie de conception de produits et activité d'utilisation

L'ergonomie constitue une discipline-clé dans la démarche de conception de produits nouveaux (DUCHAMP, 1988). Cette démarche, formalisée en particulier par AOUSSAT (1990), constitue une approche transdisciplinaire intégrant : l'ergonomie, le marketing, la créativité, les facteurs d'esthétique, la qualité, la fiabilité, etc., (Figure 4). Dans ce cadre, l'activité de conception peut être comparée à une activité de résolution de problème particulier, problème pour lequel il n'existe pas de solution unique mais des "solutions acceptables" que le concepteur doit s'efforcer d'analyser et de hiérarchiser (SAGOT, 1996).

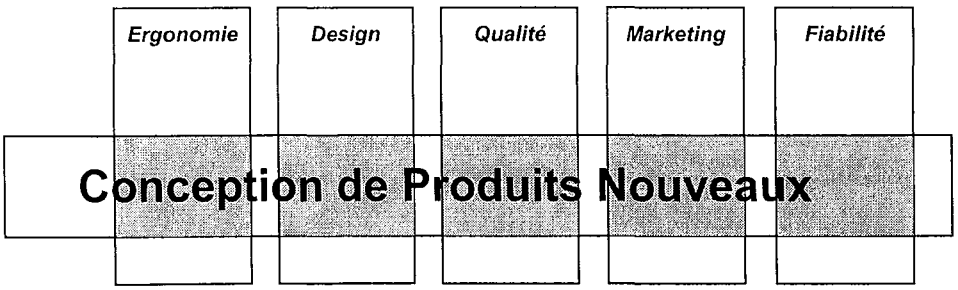


Figure 4 : La conception de produits nouveaux, une démarche transdisciplinaire (d'après AOUSSAT, 1990)

C'est en 1857 que le terme "Ergonomie" est utilisé pour la première fois. Son étymologie fait appel aux deux racines grecques "ergon" (travail) et "nomos" (distribuer,

administrer) désignant une science du travail : "l'étude scientifique des conditions psychophysiologiques et socio-économiques de travail". De part l'extension de ses domaines d'application, du système de travail, à la machine puis au produit, l'ergonomie peut être qualifiée de science de l'usage oeuvrant pour la "recherche d'une meilleure adaptation entre une fonction, un produit et son utilisateur" (LAROUSSE, 1999). L'ergonomie a été définie en 1988 par la Société d'Ergonomie et de Langue Française (SELF) comme "la mise en oeuvre des connaissances scientifiques relatives à l'homme, et nécessaires pour concevoir des outils, des machines et des dispositifs qui puissent être utilisés avec le maximum de confort, de sécurité et d'efficacité pour le plus grand nombre" (RABARDEL et al., 1998). LAVILLE (1976) propose une définition de l'ergonomie, qui nous semble bien cadrée dans notre problématique de recherche. Pour cet auteur, l'ergonomie est une discipline scientifique qui étudie le fonctionnement de l'homme en activité :

- elle est une technologie qui rassemble et organise les connaissances de manière à les rendre utilisables pour la conception,
- elle est un art lorsqu'il s'agit d'appliquer ces connaissances pour la transformation d'une réalité existante ou pour la conception d'une réalité future.

Cette discipline s'est d'abord développée en s'appuyant sur des disciplines fondamentales telles que la physiologie, la biomécanique et la psychologie. Présentée sous la forme de normes et de standards ergonomiques ("recettes de cuisine" à destination des concepteurs), la formalisation des connaissances issues de ces disciplines fondamentales a très vite donné naissance à un premier courant de l'ergonomie : **l'approche normative**, approche fortement implantée dans les pays anglo-saxons" (WOODSON et CONOVER, 1978 ; SANDERS et McCORMICK, 1992 ; DUL et WEERDMEESTER, 1993). L'ergonomie a ensuite pris une dimension complémentaire, en particulier dans les pays francophones, en utilisant certaines notions développées par la cybernétique (système, rétroaction, régulation, etc.). De telles notions ont permis aux ergonomes de mieux comprendre le comportement des utilisateurs et des opérateurs, dans le cadre particulier de **l'analyse de l'activité réelle, qu'elle soit d'utilisation ou de travail**, formant ainsi le courant francophone de l'ergonomie.

La pratique francophone de l'ergonomie est basée sur le principe fondamental de réalité qui, selon WISNER (1981), désigne et exige l'observation et l'analyse de l'activité réellement effectuée par les utilisateurs/opérateurs ceci dans un but général d'amélioration des

conditions d'utilisation/de travail. L'activité se définit en accord avec LEPLAT (1985), comme "ce que l'utilisateur/l'opérateur met en jeu pour exécuter la tâche". L'activité se finalise par le but que se fixe l'utilisateur/l'opérateur à partir du but défini par la tâche. Dans le cadre particulier d'une activité de travail, et à la différence d'une activité d'utilisation, il subsiste une dimension à la fois humaine et socio-économique articulée au sein d'une situation de travail. De manière générale, l'analyse de l'activité d'utilisation s'appuie sur des techniques d'observation et de verbalisation. Par exemple, en ce qui concerne les techniques d'observation, elles consistent à effectuer des films vidéographiques traduisant l'utilisation du produit en situation réelle en vue de pouvoir les analyser ultérieurement et de manière très fine. De même, pour les techniques de verbalisation, il s'agit par exemple de faire passer des questionnaires et des interviews à l'utilisateur en relation avec l'utilisabilité du produit, afin d'interpréter l'activité observée. En utilisant de telles techniques, il est possible de mieux connaître les interactions liant l'utilisateur et le produit placés dans un environnement donné, en s'appuyant sur la dimension gestuelle et sensorielle de l'activité d'utilisation, mais aussi sur les processus cognitifs mis en œuvre au cours de cette activité.

Le principe de réalité, décrit précédemment, a longtemps été appliqué pour l'évaluation de situations existantes d'utilisation, en particulier, lors d'interventions **d'ergonomie de correction** de systèmes Homme-Produit-Environnement. Aujourd'hui, nous assistons à une mutation de la nature des préoccupations industrielles qui, de plus en plus, tentent de cerner des systèmes Homme-Produit-Environnement complexes non seulement existants mais futurs (MALINE, 1997). Le principe de réalité reste nécessaire, mais demeure insuffisant en tant que tel pour une évaluation prédictive de l'activité future des utilisateurs. En effet, l'ergonomie semble intervenir de plus en plus tôt dans le processus de conception des situations d'utilisation, alors qu'auparavant elle consistait principalement à diagnostiquer des dysfonctionnements et à apporter des recommandations correctives (FILLIPI et al., 1995). Face à cette mutation posant le problème de **l'ergonomie de conception de produits nouveaux**, le rôle de l'intervenant en ergonomie ne peut plus se limiter à réaliser uniquement des analyses fines de l'activité d'utilisation des produits existants, mais doit impérativement évoluer pour lui permettre :

- ☞ de mieux identifier et structurer l'ensemble des déterminants du "champ des activités futures souhaitables" (SAGOT et al. 1997 ; SAGOT et al. 1998b),

- ☞ de déceler les incohérences et les risques potentiels et manifestes d'atteinte à la sécurité et à la santé, de dégradation de la performance du système Homme-Produit-Environnement, d'altération du confort d'utilisation,
- ☞ de s'impliquer davantage dans un groupe projet en tant que co-concepteur (BEGUIN et DARSES, 1998) et de passer de la position d'observateur dans l'analyse de l'activité d'utilisation ou de travail à celle d'acteur créatif dans le processus de conception (RAMACIOTTI, 1995).

Sur l'ensemble des recherches menées en ergonomie, seuls quelques travaux se sont penchés sur l'utilisation de connaissances, de méthodes et d'outils relatifs à l'interaction Homme-Produit-Environnement à des fins de conception de produits (RAMACIOTTI, 1991 ; PINSKY et THEUREAU, 1991 ; DANIELLOU, 1992 ; GUERIN et al., 1994 ; COFFIN, 1995 ; FILIPPI et al., 1995 ; DANIELLOU, 1998). Il semblerait, du point de vue de ces travaux, que l'ergonomie éprouve quelques difficultés à se positionner de manière concrète dans le processus de conception de produits. En effet, différents auteurs montrent qu'à l'issue de l'analyse des situations existantes d'utilisation ou de travail, des difficultés subsistent quant à la formulation de recommandations intelligibles et pertinentes pour les concepteurs (LUBRANO et al., 1994 ; ROUSSEL, 1994 ; ROUSSEL et LECOQ, 1997).

De notre point de vue, tout pousse à penser que certains problèmes rencontrés soulèvent la question des modalités de l'implication concrète de l'ensemble des recommandations, issues de l'analyse de l'activité d'utilisation des produits existants, dans la **recherche de "solutions acceptables" du point de vue ergonomique, technique, financier, etc.** La nature de ces difficultés peut être spécifiée à trois niveaux. Il semble subsister un **problème de coopération et de communication entre ergonomes et concepteurs**, ceux-ci n'ayant pas les mêmes objectifs, pas la même culture, pas le même langage, pas les mêmes connaissances, pas les mêmes méthodes et pas les mêmes outils. **L'approche normative en ergonomie**, approche anglo-saxonne très appréciée par les concepteurs, montre des limites, car elle tient moins compte de la spécificité et de la globalité du système Homme-Produit-Environnement étudié. Le **paradoxe de l'approche francophone de l'ergonomie de conception empêche le concepteur d'appliquer directement** la méthode clinique d'analyse de l'activité réelle lors des projets de conception de produits nouveaux. Ce paradoxe se

manifeste, rappelons-le, à travers le dilemme visant à aborder la "réalité des activités futures" : réalité des activités d'utilisation d'un système inexistant, car en cours de conception.

3. Vers une meilleure intégration de l'activité d'utilisation dans le processus de conception de produits

Face aux difficultés éprouvées par les concepteurs pour coopérer avec les ergonomes dans le cadre d'une réelle démarche d'ergonomie de conception, nous choisissons d'instaurer la notion **"d'activité gestuelle d'utilisation" comme support de coopération privilégié entre concepteurs et ergonomes**. Ce support de coopération, intelligible par tous les acteurs de la conception, limite la notion globale "d'activité d'utilisation" à la prise en compte de la gestuelle, des déplacements, des postures et des directions de regard (FAVERGE, 1966). La richesse des données issues d'un tel support de coopération pourra être utilisée en complément des normes et standards ergonomiques proposés par l'approche normative en ergonomie. En résumé, le support de coopération que constitue **"l'activité gestuelle" d'utilisation est retenu en vue de pallier aux difficultés fonctionnelles de coopération** entre les différents acteurs de la conception.

Confronté au paradoxe de l'ergonomie de conception à travers la notion de "réalité de l'activité future d'utilisation", il est nécessaire de **faire évoluer les méthodes et les outils de conception utilisés** et ceci, au fur et à mesure de la progression chronologique du projet. En effet, il conviendra de compléter les méthodes et les outils d'analyse de "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation par des **méthodes et des outils de modélisation et de simulation virtuelle** de "certaines activités gestuelles futures souhaitables". En d'autres termes, il s'agit de **compléter l'approche analytique** menée sur des produits existants en phase d'étude de faisabilité **par une approche systémique et globale** adoptée lors de la recherche de solutions de produits futurs, en phase d'études préliminaires. En s'appuyant sur de telles méthodes, il sera possible de fédérer les représentations des différents acteurs de la conception sur les caractéristiques du futur système, consolidant ainsi la coopération rétablie entre les différents acteurs de la conception. En résumé, **l'évolution des méthodes utilisées au cours des différentes phases du projet**, de méthodes expérimentales d'analyse vers des méthodes de modélisation et de simulation virtuelle de "l'activité gestuelle" d'utilisation, **est retenue en**

vue de pallier aux difficultés dynamiques de coopération entre les différents acteurs de la conception.

Face aux différents constats montrant les difficultés de dialogue entre les concepteurs et les utilisateurs lors de la conception de produits nouveaux, nous proposons d'adopter une autre vision du processus de conception : **un processus rétroactif et coopératif de conception de produits**. La particularité d'un tel processus de conception est d'allier les phases traditionnelles de conception, connues et appliquées aujourd'hui dans les projets industriels, à la nécessaire coopération de l'ensemble des acteurs de la conception, utilisateurs et opérateurs inclus. En résumé, l**e processus rétroactif et coopératif de conception de produits est proposé en vue de pallier aux difficultés structurelles de coopération** entre les différents acteurs de la conception.

En résumé, plusieurs moyens d'action peuvent être mis en oeuvre pour valider notre approche pour une meilleure intégration de l'activité d'utilisation dans le processus de conception de produits, à savoir : **l'instauration de "l'activité gestuelle" d'utilisation comme nouveau support de coopération entre concepteurs et ergonomes**. En guise de premier moyen d'action, il convient de mettre en place de nouvelles méthodes et de nouveaux outils centrés sur "l'activité gestuelle" d'utilisation. Ces méthodes et ces outils permettront de compléter l'approche analytique classique, menée lors de l'étude des produits existants, par une approche systémique et globale, basée sur la modélisation et la simulation virtuelle, lorsqu'il faudra rechercher des solutions adaptées aux futurs utilisateurs. Il s'agit enfin d'intégrer ces méthodes et ces outils dans un processus rétroactif et coopératif de conception, processus proposant un cadre structurel pour la coopération entre l'ensemble des acteurs de la conception.

CHAPITRE II

EN PHASE D'ETUDE DE FAISABILITE, APPORTS ET LIMITES DE L'ANALYSE DE L'ACTIVITE GESTUELLE REELLE D'UTILISATION DES PRODUITS EXISTANTS

1. Introduction

Les travaux décrits dans ce chapitre constituent le cadre pratique sur lequel s'est appuyé notre recherche. L'intérêt de ce chapitre est d'appliquer notre propre réflexion à un projet de conception d'un nouveau **système de contrôle-commande d'autoradio**. Nous désignerons désormais par la notion de "système de contrôle-commande" d'un produit donné, l'interface Homme-Machine comprenant les différentes **commandes** permettant d'accéder aux **fonctions** de ce produit (Figure 5). Dans certains cas, le système de contrôle-commande est équipé, d'un dispositif informationnel tel qu'un afficheur ou un écran. Par exemple, le système de contrôle-commande d'autoradio est constitué de différentes commandes (bouton poussoir, bouton rotatif, etc.) et d'un dispositif informationnel (afficheur). Ces différentes commandes permettent au conducteur d'utiliser les différentes fonctions de l'autoradio (mise en service/mise hors service de l'autoradio, réglage du volume, sélection/enregistrement d'une station préréglée, etc.). En ce qui concerne le dispositif informationnel, il propose un retour d'information sur l'état de l'autoradio.

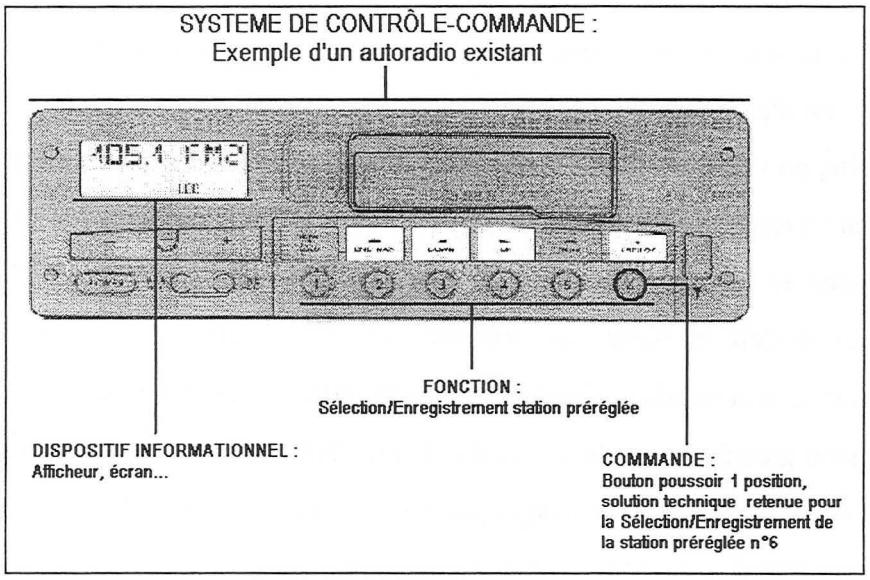


Figure 5 : Exemple formalisant la terminologie que nous utiliserons au cours de ce travail

Comme nous l'avons déjà évoqué, notre réflexion, qui vise à **mieux concevoir des produits adaptés aux futurs utilisateurs**, propose plusieurs moyens d'action pour y parvenir. Tout d'abord, il s'agit d'adopter un **processus rétroactif et coopératif de conception de produits**. Un tel processus propose un cadre structurel permettant de concilier les phases traditionnelles de la conception (étude de faisabilité, cahier des charges, etc.) à une approche

centrée sur la nécessaire coopération entre les différents acteurs du projet (concepteurs, ergonomes utilisateurs, décideurs, etc.). Il s'agit aussi d'instaurer la notion-clé "**d'activité gestuelle d'utilisation**" du produit comme un réel support de coopération sur le thème de l'utilisabilité du produit, en complément des normes et standards ergonomiques. Par exemple, en phase d'étude de faisabilité, ce support de coopération entre les acteurs du projet peut prendre différentes formes. C'est, par exemple, des documents multimédias (films vidéographiques, images fixes, etc.) ou des résultats analytiques (statistiques sur le nombre de manipulations, sur la durée de consultation, etc.) issus de l'analyse de "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation des produits existants. C'est ce que nous allons tenter d'établir à travers le projet de conception d'un nouveau système de contrôle-commande d'autoradio.

Le projet de conception d'un nouveau système de contrôle-commande d'autoradio s'intègre dans le cadre d'un projet, plus vaste, proposé par un équipementier automobile. Ce projet vise une meilleure prise en compte de cette notion "d'utilisabilité" lors de la conception des différents systèmes de contrôle-commande utilisés par le conducteur automobile (GOMES et SAGOT, 1996). Nous citons, à titre d'exemple, certains systèmes qui ne sont pas essentiels pour la tâche principale de conduite tels que la climatisation ou l'autoradio. L'objectif affiché par un tel projet est d'améliorer l'ergonomie des différents systèmes de contrôle-commande du poste de conduite, en vue d'améliorer l'efficacité, le confort et la sécurité de conduite.

Pour des raisons de confidentialité et pour faciliter la compréhension de nos résultats, **nous retiendrons le système de contrôle-commande d'autoradio pour illustrer notre travail**. Il est cependant important de préciser que la conception d'un nouveau système de contrôle-commande d'autoradio, adapté aux futurs utilisateurs, ne pourra être menée sans adopter une vision globale du poste de conduite. En d'autres termes, il nous paraît difficile de concevoir un tel système sans tenir compte de ses interactions avec les autres éléments de son environnement (poste de conduite : planche de bord, panneau de porte, siège, etc.) et plus particulièrement des autres systèmes de contrôle-commande (climatisation, signalisation lumineuse, allume-cigares, etc.).

Un tel projet de conception met en oeuvre des **situations complexes**, telles que celles rencontrées lors de **l'activité de conduite automobile**, et des **systèmes complexes** tels que les postes de conduite automobiles (Photo 1). Ce projet nous a donc semblé un terrain intéressant

pour appliquer notre propre vision de la conception de produits adaptés aux futurs utilisateurs. Cette vision, rappelons-le, propose d'articuler une approche analytique et une approche systémique de la conception, tout en se basant sur un nouveau support de coopération : la notion "d'activité gestuelle" d'utilisation.

En effet, à travers l'exemple proposé sur la Photo 1, il est possible de constater la variété et la complexité des différents systèmes de contrôle-commande proposés au conducteur.

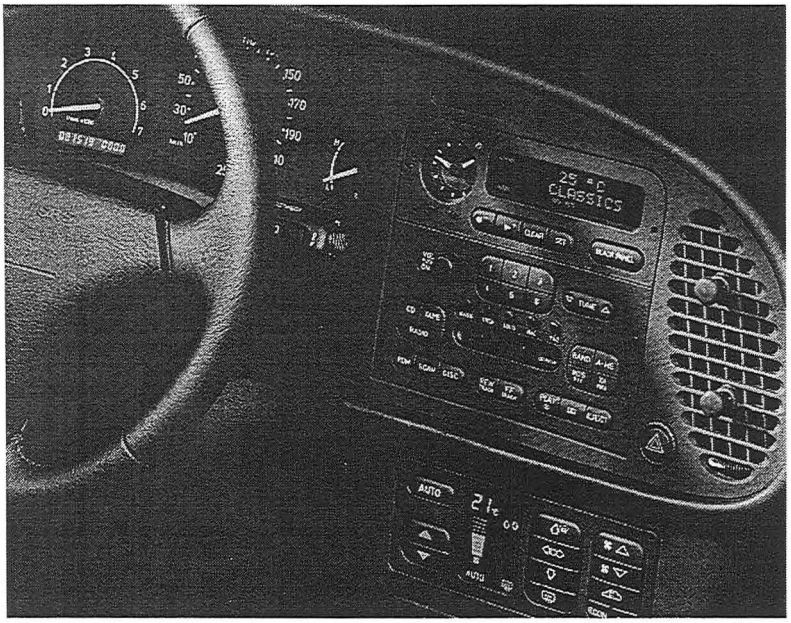


Photo 1 : Exemple de poste de conduite automobile étudié au cours du projet

Dans cet exemple, l'autoradio est intégré dans la planche de bord, entre l'ordinateur de bord et le système de contrôle-commande de climatisation. Ceci montre bien la nécessité de conserver une vision globale du poste de conduite, même si nous illustrons les méthodes et les outils préconisés uniquement à travers le système de contrôle-commande d'autoradio.

Au cours de ce chapitre, nous nous proposons d'abord de positionner la notion "d'activité de conduite automobile" dans le cadre du projet. En effet, il s'agit de replacer la notion "d'activité gestuelle d'utilisation" de l'autoradio dans le cadre plus vaste de **l'activité de conduite automobile**. Il s'agit aussi de mener une réflexion sur le choix de différents indicateurs de performance du point de vue du confort, de l'efficacité et de la sécurité de conduite, afin de mieux guider les étapes d'analyse menées en phase d'étude de faisabilité.

En effet, en phase **d'étude de faisabilité**, suite à une première étape visant à classifier les fonctions d'autoradio existantes, nous avons pu mener une analyse de "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation des systèmes de contrôle-commande d'autoradio existants. Il s'agit ici de déterminer les relations étroites liant les caractéristiques des commandes (choix de conception) aux observables liés à "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation de ces commandes. L'objectif recherché par une telle démarche est d'identifier l'impact d'une bonne ou mauvaise conception des systèmes de contrôle-commande d'autoradio sur le confort, l'efficacité et la sécurité de conduite, en vue de mieux orienter la recherche de solutions pour un nouveau concept d'autoradio.

2. L'activité de conduite automobile

Il s'agit au cours de ce paragraphe de réfléchir, d'un point de vue global, sur la tâche de conduite automobile, tâche complexe où coexistent différents niveaux de tâches principales et secondaires de conduite. Cette étape de formalisation préalable nous paraît nécessaire pour préparer le groupe projet à appréhender la réalité des activités gestuelles d'utilisation des autoradios existants. Rappelons, qu'une distinction est émise en ergonomie entre la notion de "tâche" (ce qui est prescrit) et la notion "d'activité" (ce qui est réellement effectué). Nous utiliserons donc la notion de tâche pour décrire les modèles inhérents à l'activité de conduite automobile.

La conduite automobile constitue une activité complexe qui consiste à réaliser un déplacement spatio-temporel finalisé, à l'aide d'un véhicule guidé, dans un environnement changeant, comportant des obstacles plus ou moins aléatoires pouvant entraver le bon déroulement des opérations (SANDERS et McCORMICK, 1992 ; FARBER, 1993 ; POTTIER 1993). La conduite automobile, dont la fonction principale consiste à se déplacer d'un point A vers un point B, est donc une activité placée au cœur du système tripartite Conducteur-Véhicule-Environnement. La prise en compte de la globalité du système Conducteur-Véhicule-Environnement est déterminante pour bien appréhender cette notion d'activité de conduite automobile (PEACOCK, 1993). Un tel système peut être qualifié de complexe de part sa composition : nombre et caractéristiques de ses éléments et de ses interactions. L'ensemble du système est soumis à l'incertitude et aux aléas propres de l'environnement routier.

La tâche de conduite automobile se caractérise par la mise en jeu d'une tâche principale et de tâches secondaires de conduite dont les composantes visuelles, auditives et motrices impliquent des processus élaborés de traitement de l'information (VERWEY, 1993). En ce qui concerne la prise d'information visuelle, elle semble être un facteur-clé de la conduite automobile (POTTIER et POTTIER, 1989 ; SCHRAAGEN, 1993). Elle nécessite une stratégie de sélection anticipée des indices visuels internes et externes à l'habitacle avec certitude et rapidité, afin d'assurer sécurité, efficacité et confort de conduite.

Plusieurs travaux se sont penchés sur la tâche de conduite automobile, tâche complexe mettant en jeu différentes interactions entre le conducteur, le véhicule automobile et l'environnement routier. La majorité de ces travaux se sont intéressés à la tâche principale de conduite du point de vue des modèles comportementaux mis en jeu. En effet, trois niveaux de contrôle peuvent être envisagés en se basant sur le modèle hiérarchique à 3 niveaux du comportement humain en situation de conduite (RASMUSSEN, 1983 ; ASHBY et PARKES, 1993). Il s'agit du niveau opérationnel ou "skill-based behaviour", du niveau tactique ou "rule-based behaviour" et du niveau stratégique ou "knowledge-based behaviour". Sur cette base, et en nous inspirant des nombreux autres travaux de la littérature sur le sujet (NEBOIT, 1974 ; CHICH, 1987 ; PLECZON, 1992 ; ONKEN, 1993 ; SCHLEGEL, 1993), nous proposons notre propre représentation de la tâche de conduite (Figure 6).

En ce qui concerne le niveau opérationnel, il traduit le niveau le plus bas du modèle comportemental : niveau pour lequel les actions sont relativement automatiques. La tâche principale de conduite, correspondant à ce niveau opérationnel, relève du contrôle de la trajectoire : ajuster la trajectoire du véhicule par rapport à la route, réguler la cinématique du véhicule et éviter les obstacles imprévus. La notion "d'activité gestuelle" relève de ce niveau opérationnel du modèle comportemental.

Concernant le niveau tactique, il traduit le niveau intermédiaire du modèle comportemental : niveau pour lequel les actions sont contrôlées en fonction des informations de l'environnement. La tâche principale de conduite correspondante est la tâche de pilotage. Cette tâche de pilotage, encore appelée par certains auteurs tâche de guidage ou de "guidance", consiste à gérer les tâches du niveau opérationnel décrites précédemment tout en intégrant les indications de l'environnement routier.

Enfin, pour ce qui est du niveau stratégique, il traduit le niveau le plus élevé du modèle comportemental : niveau pour lequel l'activité est décrite comme une série de processus

conscients lents, très exigeants en attention et concernant la planification globale. La tâche principale de conduite correspondant à ce niveau stratégique fait appel à la notion de navigation ou de préparation d'itinéraire. Elle consiste donc à gérer les tâches du niveau tactique précédent tout en intégrant l'orientation dans l'espace du point A au point B.

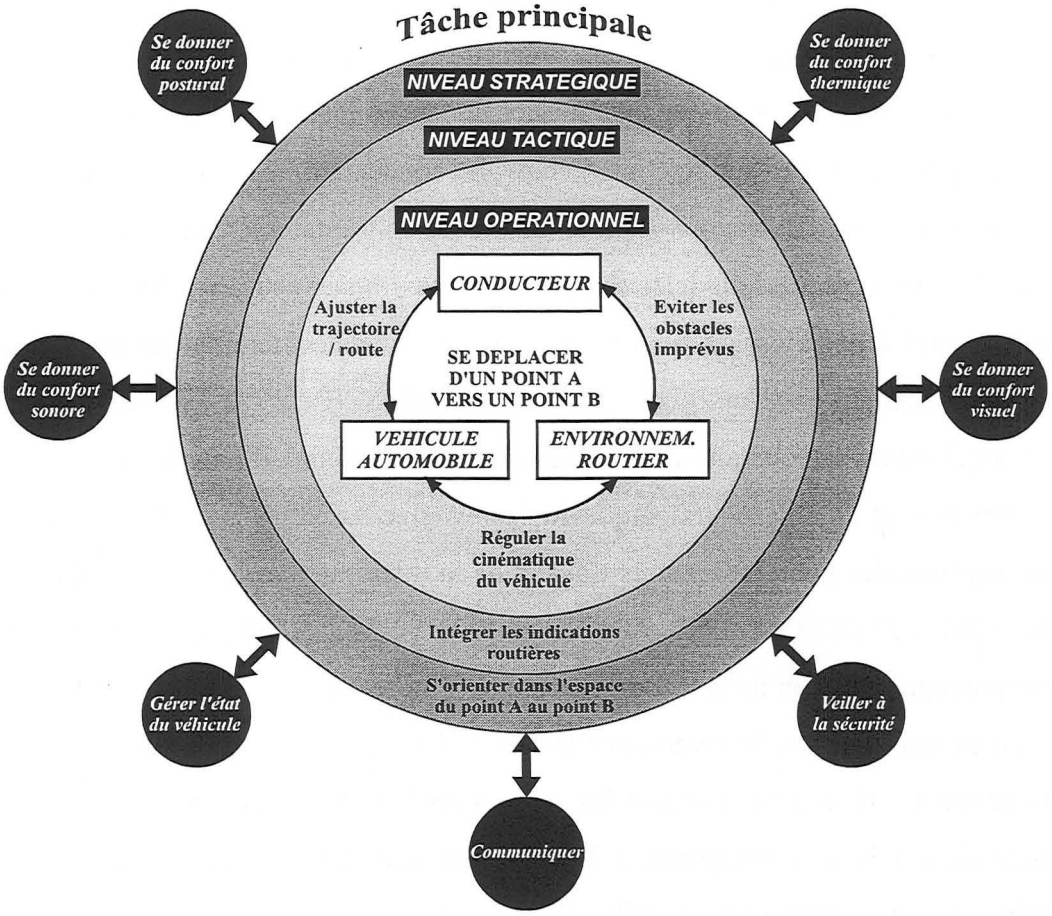


Figure 6 : Représentation des tâches secondaires interférant avec la tâche principale de conduite dans le cadre du système Conducteur-Véhicule-Environnement (inspiré de NEBOIT, 1974 ; RASMUSSEN, 1983 ; CHICH, 1987 ; PLECZON, 1992)

En ce qui concerne maintenant les tâches secondaires de conduite, elles sont mises en jeu lorsque le conducteur effectue des tâches visuelles et motrices autres que celles impliquées dans la tâche principale de conduite. Comme l'indique la Figure 6 précédente, ces tâches secondaires consistent à :

- ☞ veiller à la sécurité du conducteur, des passagers et des autres usagers de la route,
- ☞ gérer l'état du véhicule,
- ☞ se donner du confort postural, visuel, sonore et climatique,
- ☞ communiquer, etc.

Réalisées au cours de la conduite, ces tâches secondaires se superposent à la tâche principale de conduite décrite précédemment. Il s'établit alors un processus de temps partagé entre la tâche principale de conduite et les tâches secondaires conduisant à un échantillonnage des différentes tâches visuelles et motrices secondaires réalisées (WIERWILLE, 1993).

Lors du déclenchement d'une tâche secondaire, au cours de la tâche principale de conduite (vision sur la route et main au volant), de nouvelles tâches visuelles et motrices sont mises en oeuvre (Figure 7). En effet, le conducteur va effectuer plusieurs prises d'information à l'intérieur du véhicule jusqu'à l'obtention de l'information recherchée (vision intérieure). La durée observée de chacune de ces prises d'information à l'intérieur du véhicule dépasse rarement la valeur maximale de 1,5 seconde (HELLA, 1983 ; ROCKWELL, 1988 ; LABIALE, 1990), ce qui nécessite des allers et retours entre la vision routière et la vision intérieure (phénomène d'échantillonnage). En fonction des situations rencontrées au cours de la conduite et de la **bonne ou mauvaise conception des commandes**, une ou plusieurs séquences de prise d'information visuelle seront requises pour l'accomplissement de la tâche.

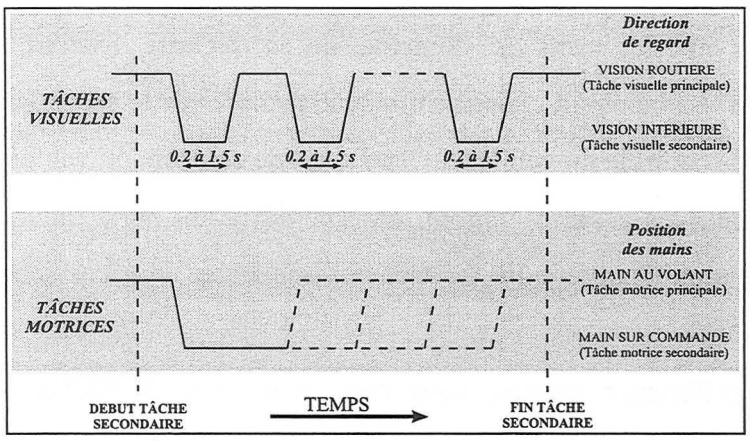


Figure 7 : Modèle d'échantillonnage, au cours de la conduite automobile, des tâches visuelles et motrices (WIERWILLE 1993)

Parallèlement, le conducteur est amené à quitter temporairement le volant pour actionner la commande en question (main sur commande), et ceci jusqu'à l'obtention du résultat escompté, à moins d'être interrompu par un aléa lié à la tâche principale de conduite. En effet, en ce qui concerne les tâches motrices secondaires, les conducteurs mettent peu ou pas en oeuvre le processus de temps partagé vis-à-vis de la tâche principale de conduite. En général, ceux-ci déplacent une de leurs mains du volant vers la commande, manipulent la commande jusqu'à la fin de la tâche puis ramènent la main au volant. Dans certaines situations

(situations d'urgence, virages serrés, etc.), les conducteurs peuvent être amenés à interrompre, voire à différer la tâche motrice secondaire en cours, au profit de la tâche principale de conduite.

En résumé, il apparaît deux facteurs prépondérants dans la tâche principale de conduite automobile. Le premier facteur traduit un état de vigilance du conducteur lié à la nécessité permanente d'une anticipation du comportement du véhicule et de l'état l'environnement. Le deuxième facteur met l'accent sur l'importance des activités visuelles et motrices du niveau opérationnel de la conduite ainsi que de la recherche organisée d'informations pour permettre une bonne régulation de l'activité de conduite.

En ce qui concerne les tâches secondaires de conduite, elles interviennent occasionnellement et de manière ponctuelle, lors de la tâche principale de conduite. Malgré un faible taux d'utilisation de certains systèmes de contrôle-commande tels que l'autoradio, des activités secondaires d'utilisation trop longues, inhérentes à de mauvais choix de conception, peuvent avoir de graves répercussions sur la sécurité de conduite. En effet, en référence aux différentes études menées dans le domaine de la sécurité routière (HELLA, 1983 ; ROCKWELL, 1988), il apparaît clairement qu'une tâche visuelle secondaire trop longue peut entraîner la perte de contrôle du véhicule. Cette perte de contrôle du véhicule, illustrée par une baisse de la vitesse mais aussi, et surtout, par une déviation de la trajectoire, est le résultat d'une interférence significative entre les tâches visuelles et motrices secondaires et la tâche principale de conduite.

Pour ces différentes raisons, nous nous proposons, dorénavant, de **centrer notre réflexion sur les activités gestuelles secondaires réelles d'utilisation de l'autoradio**.

Tout ceci nous amène maintenant à réfléchir sur comment concevoir un système de contrôle-commande d'autoradio, qui puisse être utilisé avec un maximum d'efficacité, de confort et de sécurité, lors de la conduite automobile. En effet, l'utilisation de l'autoradio consiste à réaliser des tâches secondaires qui visent à "se donner du confort sonore" au cours de la conduite (Figure 6). L'utilisation d'un tel système se positionne bien dans le registre des tâches secondaires qui viennent se superposer à la tâche principale de conduite selon le processus d'échantillonnage décrit précédemment (Figure 7). C'est ce que nous allons aborder à travers l'analyse de "l'activité gestuelle" d'utilisation de 12 fonctions automobiles existantes, dont 2 fonctions liées à l'autoradio. Cette analyse est menée en phase d'étude de faisabilité.

3. En phase d'étude de faisabilité : analyse de "l'activité gestuelle" d'utilisation de 12 fonctions existantes

3.1 Objectifs

En phase d'étude de faisabilité du projet de conception d'un nouvel autoradio, nous nous proposons d'analyser "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation des autoradios existants. La réflexion menée porte sur les relations à établir entre certains observables comportementaux liés à l'activité gestuelle et les paramètres de conception des autoradios utilisés. L'intérêt d'une telle approche est de permettre, à terme, de mieux orienter nos choix pour la conception d'un futur système de contrôle-commande d'autoradio adapté aux futurs utilisateurs.

Les critères de performance retenus pour qualifier l'amélioration de l'utilisabilité de ce produit sont :

- la prise en compte des **normes et standards ergonomiques** visant à améliorer les conditions d'accessibilité manuelle, de localisation visuelle, de compréhension et de manipulation du système de contrôle-commande d'autoradio (GOMES et SAGOT, 1996),
- la diminution du volume (nombre et durée) des **activités gestuelles secondaires** liées à l'utilisation de l'autoradio au cours de la conduite (GOMES et al., 1998a).

Dans cette optique, nous nous proposons d'engager, une expérimentation en conduite réelle visant à analyser "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation de 2 fonctions d'autoradio parmi 12 fonctions disponibles dans les postes de conduite existants. En ce qui concerne les 10 autres fonctions, nous pouvons citer des fonctions liées à la climatisation, à la signalisation lumineuse ou à l'essuyage des vitres. Ces autres fonctions ont été prises en compte pour conserver, comme nous l'avons déjà évoqué, une vision globale vis-à-vis du poste de conduite automobile. L'utilisation de ces 12 fonctions est déclenchée à partir de consignes données ponctuellement au conducteur, à des endroits déterminés du parcours. L'objectif d'une telle démarche est, rappelons le, d'identifier des relations analytiques entre certains observables liés aux activités gestuelles secondaires d'utilisation (durée de consultation, nombre de manipulations, etc.) et certains paramètres de conception (type de commande, implantation dans le poste de conduite, etc.).

3.2 Méthodes et techniques

3.2.1 Classification des fonctions existantes

Il s'agit ici d'identifier, de spécifier et de hiérarchiser les différentes fonctions rencontrées dans les postes de conduite automobile existants. La classification des fonctions existantes constitue une étape importante de la réflexion menée. Elle constitue, en effet, un préalable au déclenchement de l'expérimentation dans la mesure où elle permet de fédérer la terminologie utilisée, par les différents acteurs du projet, pour spécifier les différents systèmes de contrôle-commande rencontrés pour chaque fonction. Pour ce faire, après avoir consulté la littérature ainsi que différentes normes et standards ergonomiques, nous avons pu dégager, en coopération avec les différents acteurs du projet, les deux paramètres de conception suivants : les différentes zones d'implantation dans le poste de conduite, le type de commande utilisé.

Concernant les différentes **zones d'implantation des commandes** dans le poste de conduite, nous nous sommes proposés d'identifier les grandes tendances d'agencement des fonctions dans le poste de conduite automobile (Figure 8). Sur cette base, nous avons décidé de retenir les différentes zones d'implantation suivantes : sur Volant, Sous-volant, Combiné, Planche droite, Planche gauche, Sous - planche, Console et Portière.

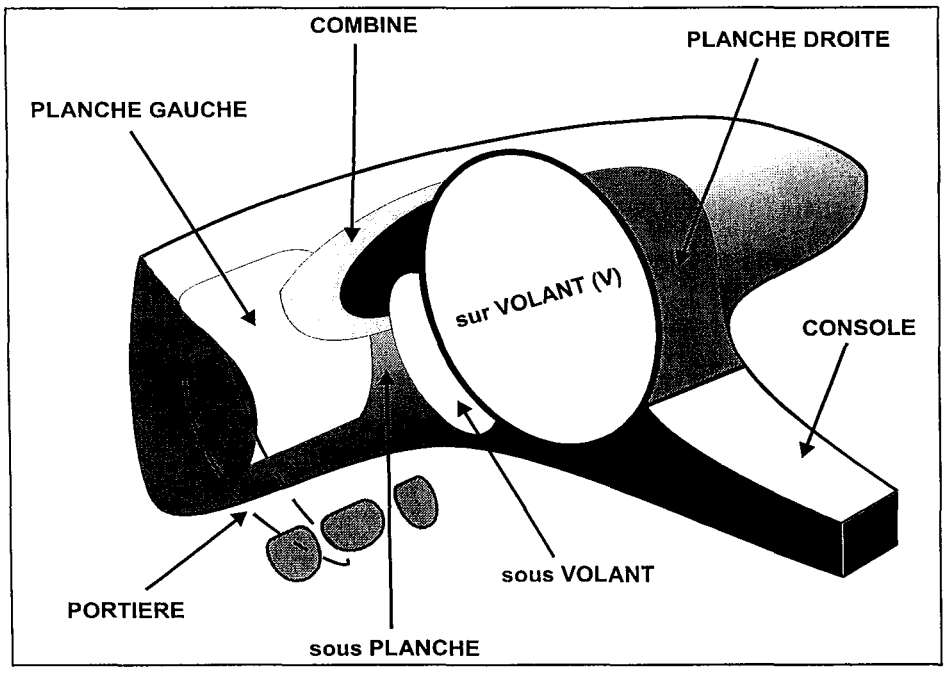


Figure 8 : Zones d'implantation des commandes retenues pour la suite du projet

En ce qui concerne la définition d'une terminologie pour spécifier le **type de commande**, nous nous sommes appuyés sur une analyse de normes et sur un recueil des commandes rencontrées dans les véhicules existants. En effet, pour établir notre typologie des commandes, nous nous sommes fortement inspirés de la terminologie proposée dans la norme X35-105 intitulée "Commandes - Organes de service" (AFNOR, 1995). Pour ce faire, 4 types de commande ont été retenus :

- ☞ les "**commandes manipulées à 1 ou 2 doigts" :** les boutons poussoirs à 1 position ou 2 positions, les boutons basculeurs, etc. (Figure 9),
- ☞ les "**commandes manipulées à 3 doigts sans position indexée" :** les boutons rotatifs, les boutons rotatifs crantés, les leviers oscillants dans un plan, etc., (Figure 9),
- ☞ les "**commandes manipulées à 3 doigts avec indexation des positions" :** les boutons rotatifs à méplat,
- ☞ les "**commandes manipulées à 4 doigts ou plus" :** les leviers oscillants dans plusieurs plans ("joysticks"), les molettes, etc.

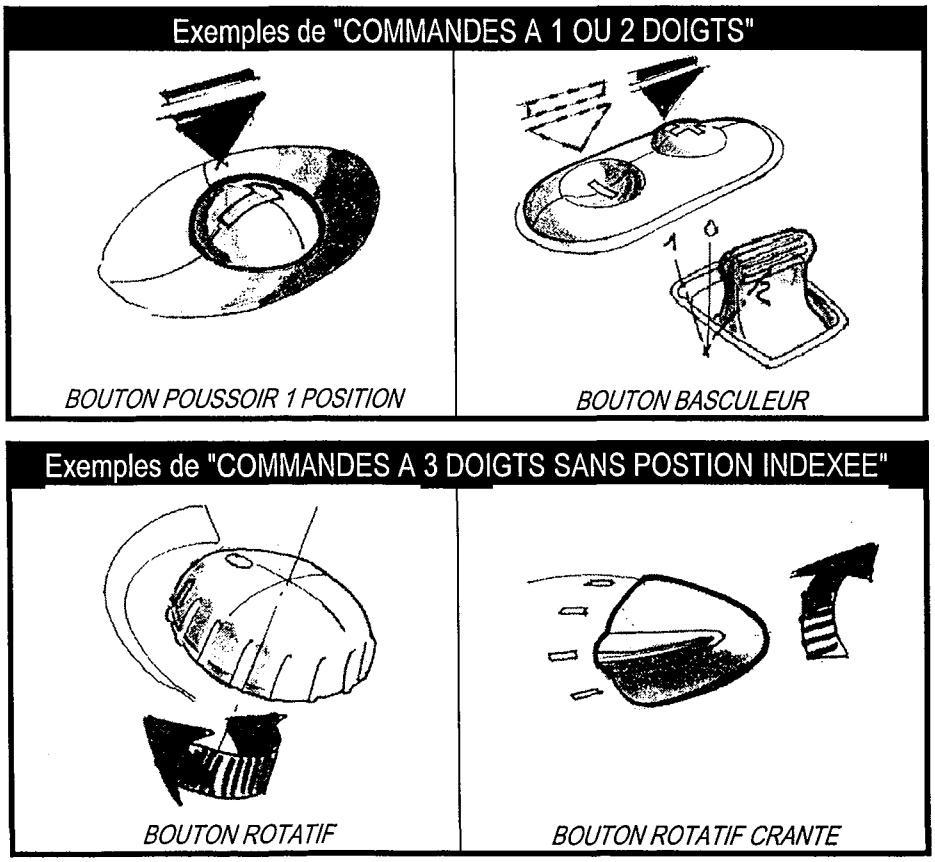


Figure 9 : Extrait de la typologie des commandes considérée pour le projet - Croquis réalisés par H. BAUME

Suite à la validation en groupe projet de la terminologie retenue pour spécifier les fonctions existantes, nous avons pu établir un récapitulatif des fonctions disponibles dans 14 véhicules automobiles de gamme moyenne. Ce récapitulatif a pu être établi en consultant différentes plaquettes commerciales et notices d'utilisation puis en visitant, en concession, les différents véhicules ciblés.

Fonctions recensées pour les autoradios	Types de commande utilisés	Zones d'implantation rencontrées
Marche / Arrêt	Commandes à 1 ou 2 doigts Commandes à 3 doigts sans position indexée	Planche droite
Sélection de mode	Commandes à 1 ou 2 doigts Commandes à 3 doigts sans position indexée	Sur Volant Sous Volant Planche droite
Recherche station / plage CD	Commandes à 1 ou 2 doigts Commandes à 3 doigts sans position indexée	Sur Volant Sous Volant Planche droite
Réglage fin / Recherche dans 1 plage	Commandes à 1 ou 2 doigts	Planche droite
Réglage volume	Commandes à 1 ou 2 doigts Commandes à 3 doigts sans position indexée	Sur Volant Sous Volant Planche droite
Mute	Commandes à 1 ou 2 doigts Commandes à 3 doigts sans position indexée	Sur Volant Sous Volant Planche droite
Sélection/Enregistrement station préréglée	Commandes à 1 ou 2 doigts Commandes à 3 doigts sans position indexée Commandes à 4 doigts ou plus	Sur Volant Sous Volant Planche droite
Changement de CD	Commandes à 1 ou 2 doigts Commandes à 3 doigts sans position indexée Commandes à 4 doigts ou plus	Sur Volant Sous Volant Planche droite
Réglage tonalité	Commandes à 1 ou 2 doigts Commandes à 3 doigts sans position indexée	Planche droite

Tableau 1 : Récapitulatif traduisant la spécification de 9 fonctions d'autoradio recensées dans les véhicules existants

Le Tableau 1 propose un récapitulatif de la classification des fonctions d'autoradio disponibles dans les 14 véhicules recensés. En prenant l'exemple de la fonction "Marche/Arrêt" de l'autoradio, nous avons pu identifier :

- ☞ des commandes de type "Commandes à 1 ou 2 doigts" (bouton poussoir à 2 positions) et des commandes de type "Commandes à 3 doigts sans position indexée" (bouton rotatif),
- ☞ une seule zone d'implantation : Planche droite.

Cette étape de classification des fonctions existantes constitue, pour ainsi dire, une étape préalable à la phase d'expérimentation, en situation de conduite réelle, visant à observer puis à analyser "l'activité gestuelle" d'utilisation de 12 fonctions automobiles existantes. Pour ce faire, un protocole expérimental est mis oeuvre.

3.2.2 *Protocole expérimental*

L'observation de "l'activité gestuelle" d'utilisation sur consigne des fonctions automobiles a été menée à l'aide de plusieurs enregistrements vidéographiques réalisés en situation de conduite réelle. Six conducteurs ont participé à cette campagne d'essais. Ces conducteurs ont été sélectionnés sur la base de différents critères biométriques, en adéquation avec les caractéristiques des conducteurs ciblés (Tableau 2). Vu le faible nombre de sujets impliqués, les critères de sélection retenus sont : la parité Homme-Femme, les statures des conducteurs correspondant, dans la mesure du possible, aux tailles extrêmes de la population française.

	Sexe du sujet	Taille du sujet	Age du sujet	Age du permis	Nbre km/an
Sujet 1	masculin	1.74 m	25 ans	6 ans	25000
Sujet 2	masculin	1.80 m	37 ans	19 ans	25000
Sujet 3	féminin	1.63 m	24 ans	5 ans	20000
Sujet 4	féminin	1.68 m	31 ans	12 ans	15000
Sujet 5	féminin	1.73 m	28 ans	10 ans	25000
Sujet 6	masculin	1.62 m	34 ans	16 ans	25000

Tableau 2 : Caractéristiques des sujets sélectionnés pour la deuxième série expérimentale

L'objectif recherché au cours de cette campagne d'essais est, rappelons-le, d'analyser les activités visuelles et motrices d'utilisation de 12 fonctions spécifiques, activités gestuelles secondaires réalisées parallèlement à l'activité principale de conduite. Il s'agit de la demande faite au conducteur d'activer, en des points précis du parcours, les fonctions suivantes :

1. les feux de croisement,
2. le recyclage d'air,
3. les feux antibrouillard arrière,
4. l'essuie-glace arrière,
5. le dégivrage électrique de la lunette arrière,

6. la descente de la vitre conducteur,
7. le plafonnier,
8. **la mise en marche de l'autoradio,**
9. les essuie-glaces avant, en vitesse 2,
10. l'allume-cigares,
11. l'ouverture des aérateurs centraux puis leur orientation vers le conducteur,
12. **la mise en marche de l'autoradio et la recherche de la station 96.6 MHz.**

Le choix de ces fonctions se justifie par le fait que celles-ci n'interviennent pas directement dans la tâche principale de conduite. L'utilisation de ces fonctions nécessite, en effet, la mise en oeuvre de tâches visuelles et motrices secondaires qui interviennent de manière occasionnelle et qui ne sont pas essentielles à l'activité principale de conduite (Figure 6 page 40). C'est, par exemple, le cas des fonctions d'autoradio et de climatisation. Enfin, nous nous sommes fixés une dernière contrainte : celle de cibler des fonctions qui garantissent la sécurité des conditions d'expérimentation. Par exemple, il n'était pas envisageable de demander au conducteur de régler son siège au cours de la conduite, ou de mettre ses feux de détresse en pleine zone urbaine.

Tout ceci explique, en partie, l'origine de notre protocole expérimental que nous allons maintenant détailler. Ce protocole est basé sur un déclenchement imposé de tâches secondaires d'utilisation de différentes fonctions, à partir de consignes données au conducteur.

Cinq véhicules différents sont utilisés pour la campagne d'observation de l'activité d'utilisation des fonctions existantes : Peugeot 306, Renault MEGANE, Volkswagen GOLF, Honda CIVIC et Fiat BRAVA. L'observation de l'utilisation des 12 fonctions précédentes, en conduite réelle, est menée sur un trajet d'environ 50 km comprenant 3 types de tronçons : tronçon départemental, tronçon urbain et tronçon autoroutier. Durant les 40 minutes de conduite, le conducteur est sollicité sur consigne pour manipuler chacune des 12 fonctions spécifiques, et ceci à des endroits déterminés du parcours (à l'entrée d'un village donné, à une sortie précise de l'autoroute, au passage sous un certain pont, etc.). Préalablement à cette campagne d'essai, les conducteurs sont soumis à une séance d'environ 3 heures de prise de contact et d'apprentissage avec chacun des véhicules. L'objectif de cette prise de contact est d'établir pour les différents sujets, un même référentiel en terme de niveau de connaissance,

voire d'apprentissage, sur les différents systèmes de contrôle-commande proposés, par fonction, dans les 5 véhicules testés.

L'équipement d'observation embarqué dans chaque véhicule est de 4 caméras vidéographiques permettant la visualisation de la gestuelle et de la direction du regard du conducteur lors de l'exécution des tâches imposées (Figure 10). Ce **banc d'observation** est mis en place en adoptant la même méthodologie élaborée et appliquée par SAGOT et al. (1995) dans le domaine ferroviaire. Les caméras utilisées permettent l'enregistrement simultané : de l'environnement extérieur (route, signalisation, trafic, etc.), du combiné vitesse et de sa zone proche, des activités motrices du conducteur en relation avec les commandes étudiées et enfin du visage du conducteur afin d'apprécier les directions de regard.

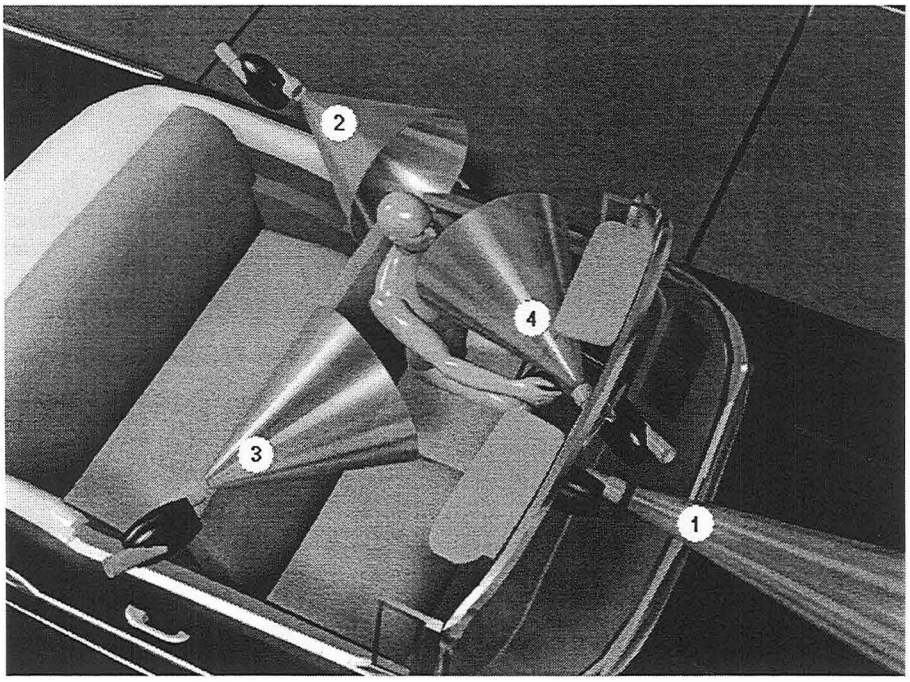


Figure 10 : Positions des caméras pour l'enregistrement synchronisé de l'environnement extérieur (1), du combiné vitesse et de sa zone proche (2), des activités motrices du conducteur (3) ainsi que des directions de regard (4)

Un **banc de dépouillement** utilisant le logiciel KRONOS est mis en oeuvre en vue de décomposer "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation des commandes lors du déclenchement de la consigne (KERGELEN, 1986 ; KERGELEN, 1995 ; KERGELEN, 1997). Ce banc de dépouillement est constitué de plusieurs équipements (Figure 11). Un magnétoscope et un téléviseur sont utilisés pour la visualisation des images compressées issues du banc

d'observation. Deux micro-ordinateurs, équipés de KRONOS, sont utilisés pour permettre aux expérimentateurs de décomposer respectivement les activités visuelles et les activités motrices secondaires d'utilisation des différents systèmes de contrôle-commande étudiés. L'opération de dépouillement d'un film vidéographique consiste à décomposer "à la main", en tapant sur des touches prédéfinies du clavier, les séquences d'activités visualisées sur le film. Ces séquences d'activité sont enregistrées sous KRONOS en respectant la base temps du film.

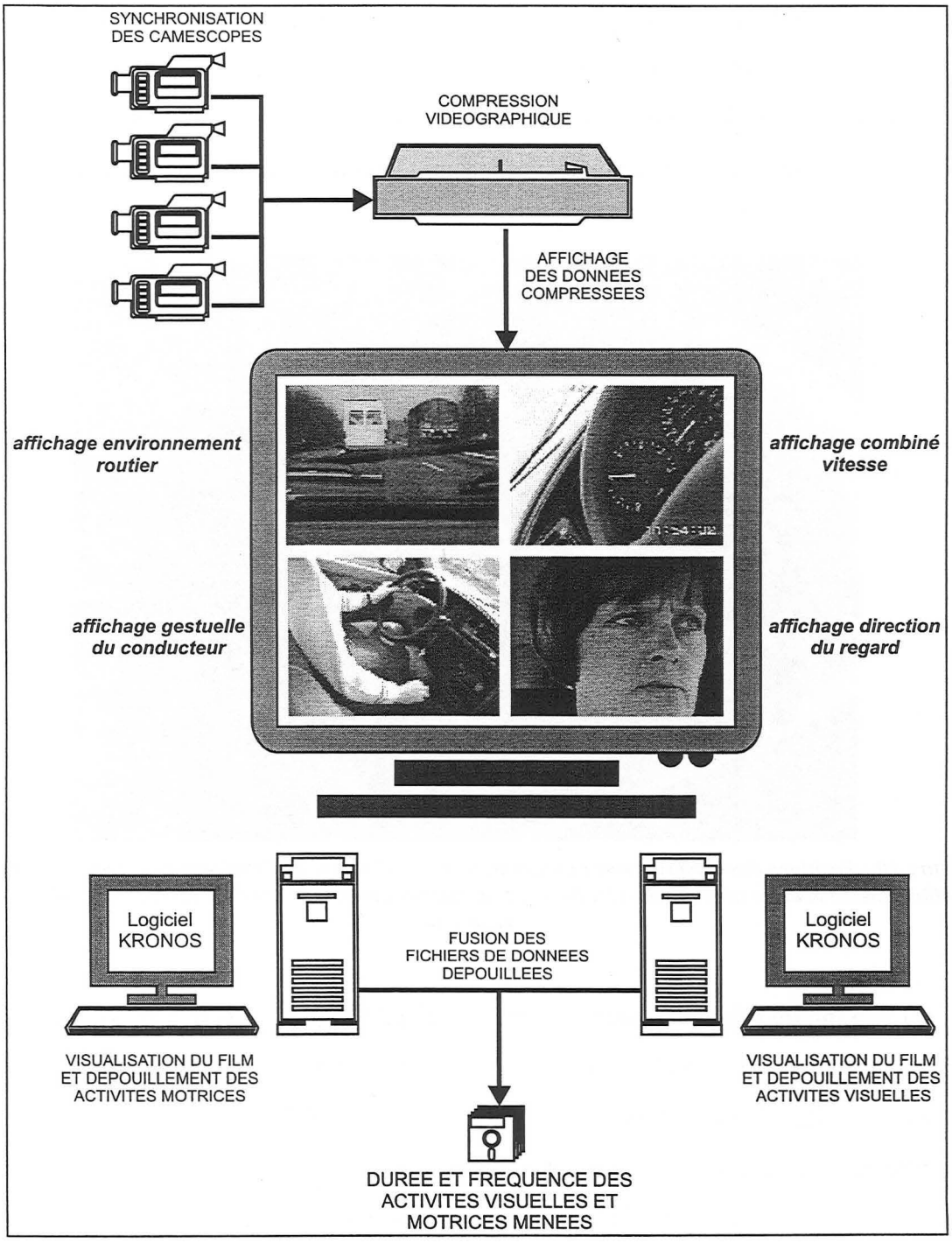


Figure 11 : Banc de dépouillement des données observées, utilisation du logiciel KRONOS

Quatre observables de l'activité gestuelle secondaire d'utilisation (activités visuelles et activités motrices) sont retenus pour l'analyse des résultats de cette expérimentation. Il s'agit, en particulier :

- ☞ de la **durée cumulée de regard sur le système de contrôle-commande :** somme des durées des différentes prises d'information visuelle dans le poste de conduite entre le début et la fin de la tâche secondaire imposée,
- ☞ du **nombre de regards sur le système de contrôle-commande** : nombre de trajets oculaires entre la route et l'intérieur du poste de conduite,
- ☞ de la **durée cumulée de manipulation des commandes** : somme des durées des différentes manipulations des commandes ciblées par la tâche secondaire imposée,
- ☞ du **nombre de manipulations des commandes** : nombre de trajets de la main entre le volant et le système de contrôle-commande utilisé.

Pour une meilleure exploitation des données, nous établissons un codage dont l'objectif est de rendre numérique certains paramètres alphanumériques de l'analyse. Il s'agit, par exemple des paramètres suivants :

- ☞ type de commande : 1 (commandes à 1 ou 2 doigts), 2 (commandes à 3 doigts sans position indexée), 3 (commandes à 3 doigts avec indexation des positions), 4 (commandes à 4 doigts ou plus),
- ☞ implantation du système de contrôle-commande : 1 (sur volant), 2 (sur plafonnier), 3 (sur planche droite), 4 (sur console).

Dans le cas du type de commande et de l'implantation du système de contrôle-commande dans le poste de conduite, la définition du codage des différents paramètres n'est pas fortuite. Elle est réalisée en préjugeant des résultats à venir, c'est-à-dire en effectuant un tri des paramètres en relation avec une amélioration de la performance de conduite. Par exemple, le codage de l'implantation est effectué par ordre croissant en terme d'excentricité par rapport à la direction de regard "sur la route" (HELLA, 1983 ; LABIALE, 1990). C'est le cas de l'implantation "sur volant" (codé : 1) qui est plus proche de la direction de regard "sur la route" qu'une implantation sur console (codé : 4).

En parallèle, nous choisissons de retenir un indice de complexité dans le but de prendre en compte l'environnement proche du système de contrôle-commande testé et de caractériser la complexité du contexte d'exécution de chacune des tâches secondaires. Cet

indice de complexité, divisé en 3 classes (**1** : inférieur à 10, **2** : compris entre 10 et 20, **3** : supérieur à 20), est calculé à partir de la somme :

- du nombre de fonctions concernées par la tâche secondaire,
- du nombre d'unités d'information présentes dans un rayon de 10 cm autour du système de contrôle-commande testé,
- du nombre d'états possibles sur les commandes concernées par la tâche secondaire.

Par exemple, considérons une tâche secondaire affectant les **2 fonctions** d'autoradio suivantes "allumer l'autoradio - rechercher la station 96.6 MHz". L'application de cette tâche secondaire à un système de contrôle-commande d'autoradio présentant **18 unités d'information** et **12 états possibles**, nous permet de déduire un indice de complexité de 3. En effet, 2+18+12=32, 32 est supérieur à 20, l'indice de complexité qui en découle est 3.

3.3 Résultats

Les résultats présentés au cours de ce paragraphe sont ceux obtenus à l'issue de la campagne d'observation des "activités gestuelles" secondaires réelles d'utilisation de 12 fonctions, dans différents postes de conduite automobile comprenant des autoradios. Ces résultats sont obtenus en appliquant le protocole d'expérimentation décrit précédemment. En vue d'avoir une vision globale sur la signification des données, il s'agit d'abord d'effectuer un pré-traitement de ces données à l'aide d'une Analyse en Composantes Principales. Ensuite, à l'aide d'analyses plus fines (régressions linéaires multiples, analyses de variance) nous nous proposons d'expliquer les données observées puis d'identifier des modèles statistiques prédictifs. De tels modèles permettront, en phase d'études préliminaires, d'orienter les choix de conception effectués, lors de la recherche coopérative de solutions.

3.3.1 Analyse des données en composantes principales

Une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été menée sur la base des résultats de l'utilisation sur consigne de 12 fonctions disponibles sur 5 véhicules et ceci pour 6 sujets différents. L'objectif d'une telle analyse est de faire émerger les premières tendances issues des observables mesurés. Pour ce faire, l'ensemble des données observées subissent un pré-traitement, sous la forme d'une Analyse en Composantes Principales. L'ACP nous permet

d'identifier les interactions entre les différents facteurs retenus pour qualifier les phénomènes observés. Les facteurs qui nous semblent introduire une source de variabilité dans notre expérimentation sont les suivants :

- les **données biométriques** : la taille, le sexe et l'âge du conducteur testé,
- les **observables liés à l'activité gestuelle secondaire d'utilisation** : la durée cumulée de regard, le nombre de regards, la durée cumulée de manipulation et le nombre de manipulations sur la commande,
- les **caractéristiques des systèmes de contrôle-commande** testés : le type de commande utilisé pour remplir la fonction demandée, l'implantation des commandes dans le poste de conduite et l'indice de complexité lié au contexte d'exécution de la tâche secondaire.

Certains autres facteurs semblent jouer un rôle moins important pour expliquer les résultats obtenus. Il s'agit, par exemple, du **type de fonction** utilisé (feux de détresse, recyclage d'air, etc.) ou de **l'expérience du conducteur** depuis l'obtention de son permis de conduire.

Les résultats issus de l'Analyse en Composantes Principales traduisent un phénomène multifactoriel. Ce phénomène s'illustre par une certaine diffusion des inerties qui l'expliquent. Néanmoins, **la première composante**, d'une inertie d'environ **36,4%**, semble se détacher des 10 autres et marquer la tendance forte des données observées. En considérant les 2 premières composantes de l'ACP, ce type de pré-traitement nous permet d'expliquer 54,3% du phénomène relationnel existant entre les données observées. En effet, la **deuxième composante** explique environ **17,9%** du phénomène observé (Figure 12).

Comme l'illustre le "GROUPE A" à la Figure 12, la première composante principale (36,4% de l'inertie totale) traduit des fortes liaisons entre :

- certaines caractéristiques des systèmes de contrôle-commande testés : le type de commande utilisé pour remplir la fonction demandée, l'implantation des commandes dans le poste de conduite et l'indice de complexité lié au contexte d'exécution de la tâche secondaire,
- et certains observables liés à "l'activité gestuelle" d'utilisation : la durée cumulée de regard, le nombre de regards, la durée cumulée de manipulation et le nombre de manipulations sur la commande.

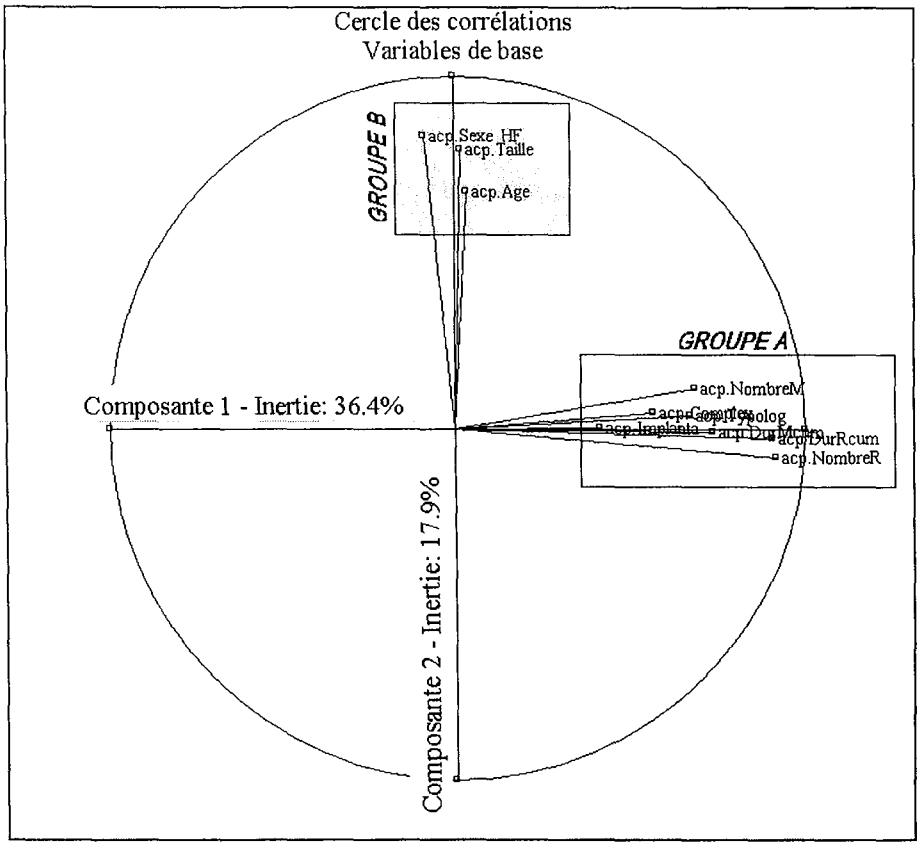


Figure 12 : Cercle factoriel montrant la répartition des paramètres selon les 2 premières composantes de l'ACP (Groupe A et B). Le Groupe A est composé de : type de commande, implantation des commandes, indice de complexité, durée cumulée et nombre de regards, durée cumulée et nombre de manipulations sur la commande. Le Groupe B est composé de la taille, du sexe et de l'âge du conducteur.

Il apparaît, en effet, au cours de l'exécution des tâches secondaires d'utilisation des commandes pendant la conduite, que les activités motrices liées à la manipulation des commandes sont étroitement corrélées aux activités visuelles liées aux explorations visuelles dans le poste de conduite. En d'autres termes, et en prenant l'exemple de l'autoradio, plus le conducteur manipule l'autoradio, plus il sera amené à le regarder et vice-versa.

De la même manière, les caractéristiques des commandes (type de commande, implantation de la commande et indice de complexité lié au contexte d'exécution de la tâche secondaire) semblent être en étroite corrélation avec l'augmentation de la durée et du nombre des activités visuelles et motrices secondaires. C'est-à-dire, plus l'implantation du système de contrôle-commande sera excentré par rapport à la vision routière et plus il sera noyé dans une multitude d'unités d'information, plus le conducteur passera son temps à le manipuler au détriment du volant et à quitter la route du regard.

Quant à la deuxième composante principale ("GROUPE B" sur la Figure 12), d'une valeur d'inertie d'environ 17,9% de l'inertie totale du phénomène, elle illustre l'effet sujet sur

les données observées par les liaisons entre les différents facteurs cités précédemment, en relation avec les données biométriques des sujets testés. Par conséquent, et compte tenu de l'orientation des données sur la Figure 12 (angle de 90° entre les deux groupes de données), tout pousse à penser que **le phénomène illustré par la première composante principale est indépendant de l'âge, du sexe et de la taille des sujets testés**.

Après avoir adopté une vision globale des résultats obtenus, nous nous proposons maintenant de centrer notre analyse sur les liens étroits entretenus entre les différents paramètres constituant la première composante principale de l'ACP. Cette première composante principale, rappelons-le, montre manifestement des interactions fortes entre caractéristiques des commandes et observables liés à "l'activité gestuelle" d'utilisation.

3.3.2 Répercussion de la complexité du contexte d'exécution de la tâche secondaire sur l'activité visuelle d'utilisation

Nous considérons ici une nouvelle variable qui est la **durée moyenne de regard dans le poste de conduite,** lors de l'exécution de la tâche secondaire. Cette variable est calculée à partir des deux observables définies précédemment que sont la durée cumulée de regard et le nombre de regards sur le système de contrôle-commande, selon la formule suivante :

$$Durée_moyenne_regard = \left(\frac{Durée_cumulée_regard}{Nombre_regard} \right)$$

La Figure 13 illustre l'évolution de la durée moyenne de chaque exploration visuelle du conducteur dans le poste de conduite, en fonction de l'indice de complexité de la tâche secondaire d'utilisation des systèmes de contrôle-commande testés. Cette figure traduit les résultats obtenus en considérant tous les autres paramètres de l'analyse confondus (tous sujets, toutes fonctions, tous véhicules confondus, etc.). En effet, il apparaît que quelque soit l'indice de complexité de la tâche secondaire réalisée, **le conducteur dépasse, en moyenne, rarement 1s par exploration visuelle dans l'habitacle**.

En parallèle, la Figure 14 montre une évolution statistiquement significative ($p<0,05$) du nombre de regards dans le poste de conduite en fonction de la complexité du contexte d'exécution de la tâche secondaire. Par exemple, lors de l'exécution des tâches secondaires, le

nombre de regards dans l'habitacle est en moyenne de 1,64±0,07 pour un indice de complexité de 1, alors qu'il est de 4,79±0,36 pour un indice de complexité de 3.

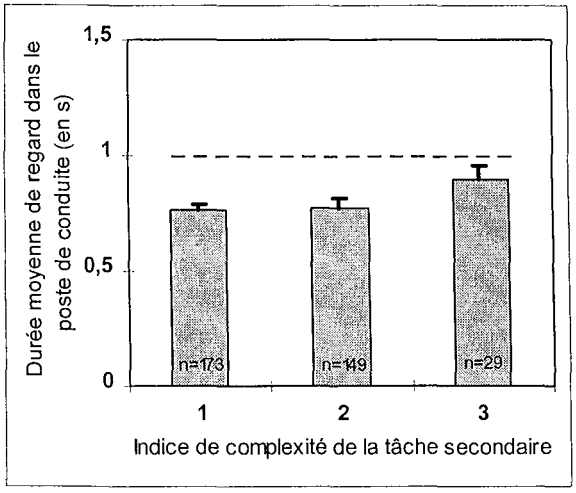


Figure 13 : Durée moyenne par exploration visuelle en fonction de la complexité de la tâche secondaire - $\overline{X} \pm SE$ (NS)

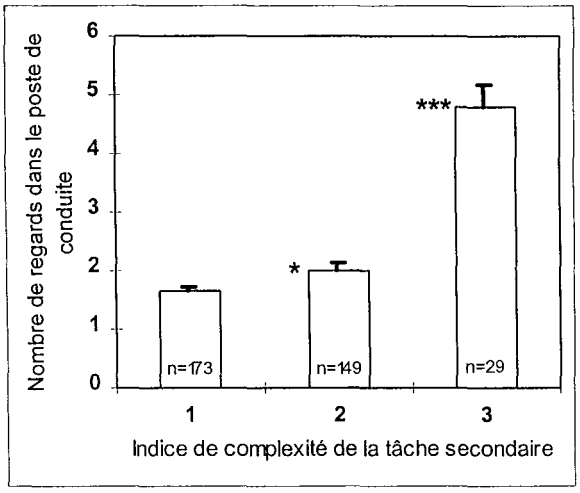


*Figure 14 : Nombre de regards dans le poste de conduite en fonction de la complexité de la tâche secondaire - $\overline{X} \pm SE$ (***: p<0,001 ; * : p<0,05)*

A travers une lecture combinée de ces 2 résultats, nous constatons une stabilité de la durée de chaque exploration visuelle dans l'habitacle, quelque soit le degré de complexité de la tâche secondaire effectuée (Figure 13). Cette stabilité de la durée de chaque exploration visuelle dans l'habitacle s'accompagne néanmoins d'une augmentation du nombre de ces explorations visuelles, proportionnellement à l'augmentation de la complexité du contexte d'exécution de la tâche secondaire (Figure 14). Par conséquent, tout se passe comme si le conducteur, placé en situation d'attention partagée "tâche principale - tâche secondaire imposée", choisissait une stratégie spécifique de prise d'information visuelle, visant à préserver sa sécurité. En effet, le conducteur échantillonne sa prise d'information dans le poste de conduite en maintenant la durée de chaque consultation visuelle en-dessous de 1 s. En parallèle, celui-ci augmente le nombre de ses explorations visuelles, en fonction du degré de complexité de la tâche, jusqu'à obtenir les informations recherchées.

3.3.3 Répercussion de l'implantation des commandes sur les activités visuelles secondaires d'utilisation

La Figure 15 traduit les résultats de la durée moyenne de chaque consultation visuelle dans le poste de conduite, en fonction de l'implantation du système de contrôle-commande

consulté. En effet, lors de l'exécution d'une tâche secondaire imposée, la durée moyenne de chaque consultation visuelle d'un système contrôle-commande ne semble dépendre que de son implantation dans le poste de conduite. Les autres paramètres (type de commande et complexité) sont apparus comme statistiquement non significatifs, à l'issue d'une analyse de variance à plusieurs niveaux. Il est donc possible de présenter les résultats en considérant tous les autres paramètres de l'expérimentation confondus (tous sujets, toutes fonctions, tous véhicules confondus, etc).

Lors de l'exécution d'une tâche secondaire d'utilisation d'un système de contrôle-commande, tout pousse à penser que son implantation dans le poste de conduite a un effet important sur la durée moyenne de chaque prise d'information visuelle. En effet, nos résultats montrent des différences statistiquement significatives de la durée moyenne de chaque consultation visuelle dans le poste de conduite en fonction de l'implantation du système de contrôle-commande consulté. Ces différences sont statistiquement significatives entre des implantations "sur console/planche droite" et en "bord pavillon" ($p<0,01$), mais aussi entre "sur console/planche droite" et "proche volant" ($p<0,001$).

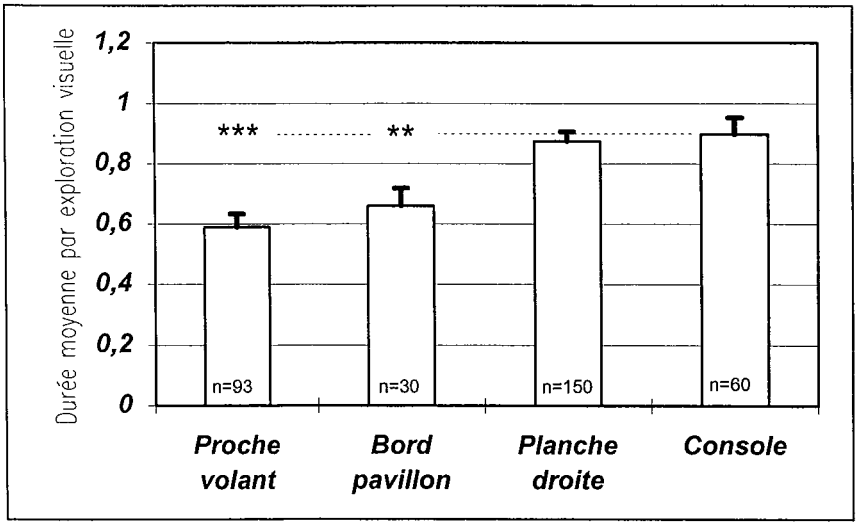


Figure 15 : Evolution statistiquement significative des durées moyennes par exploration visuelle sur les commandes en fonction de leur implantation - $\overline{X} \pm SE$ (: p<0,001 ; ** : p<0,01)***

Par exemple, sur l'ensemble des données traitées, la durée moyenne mesurée par exploration visuelle d'une commande placée sur le volant est 0,59 ± 0,04 s, alors qu'elle est de 0,90 ± 0,06 s lorsqu'il s'agit de commandes implantées sur la console centrale. Par conséquent, il semblerait que plus la commande consultée est excentrée par rapport à la direction normale

de regard (vision sur la route) et plus la durée de détournement du regard de la route est importante. De plus, cette augmentation de la durée de détournement de regard semble avoir des répercussions directes sur la sécurité de conduite, comme a pu le montrer HELLA (1983). En effet, d'après cet auteur, l'augmentation de la durée moyenne de détournement du regard de la route traduit une perturbation de l'activité principale de conduite qui se manifeste à travers des déviations de la trajectoire du véhicule. Ce résultat est intéressant dans la mesure où il va nous permettre d'identifier, du point de vue de l'activité gestuelle, des indicateurs permettant de mieux orienter nos choix de conception, lors de la phase d'études préliminaires. Sur cette base, et en reprenant l'exemple de l'autoradio, il apparaît qu'un système de contrôle-commande d'autoradio adapté aux conducteurs est un système dont l'utilisation nécessite, en particulier, des faibles volumes d'activités gestuelles secondaires, préservant ainsi l'efficacité et la sécurité de conduite.

Ainsi, après avoir analysé nos résultats en considérant les activités gestuelles secondaires du point de vue visuel, nous nous proposons d'étudier les répercussions des caractéristiques des systèmes de contrôle-commande sur les activités motrices secondaires d'utilisation.

3.3.4 Répercussion des caractéristiques des commandes sur les activités motrices secondaires d'utilisation

De la même manière que pour le regard, nous considérons une nouvelle variable qui est la **durée moyenne de manipulation des commandes** lors de l'exécution de la tâche secondaire. Cette variable est déduite de la durée cumulée de manipulation et du nombre de manipulations sur le système de contrôle-commande testé, selon la formule suivante :

$$Durée_moyenne_manipulation = \left(\frac{Durée_cumulée_manipulation}{Nombre_manipulations} \right)$$

La mise en oeuvre d'une analyse de variance à plusieurs niveaux montre des effets statistiquement significatifs du type de commande, de l'implantation et de la complexité du contexte d'exécution de la tâche secondaire, sur la durée moyenne de manipulation des commandes concernées. En effet, contrairement à la durée moyenne de regard, la source de variabilité de la durée moyenne de manipulation d'une commande, lors de l'exécution d'une tâche secondaire, semble être multifactorielle. Tout pousse donc à penser que la durée moyenne de manipulation d'un système de contrôle-commande est fonction, en particulier, du

type de commande utilisé, de son implantation dans le poste de conduite et de la complexité du contexte d'exécution de la tâche secondaire (voir Tableau 3).

Analyse de Variance à 3 niveaux de la durée moyenne de manipulation			
Origine	d.d.l	F	Valeur de p
Effet Type de commande	3	52,61	***
Effet Complexité	2	16,45	***
Effet Implantation	3	4,5	**
Résidu	342		
Total	350		

Tableau 3 : Récapitulatif de l'analyse de variance à plusieurs niveaux recherchant l'effet des paramètres de conception des systèmes de contrôle-commande sur la durée moyenne de manipulation sur ces commandes (: p<0,001 ; ** : p<0,01)***

En adoptant une vision plus globale et en nous appuyant sur une analyse en régression linéaire, il apparaît une forte corrélation (R^2=39,41% ; ddl=350 ; p<0,001) entre la durée cumulée de regard dans le poste de conduite et la durée cumulée de manipulation d'un système de contrôle-commande. Tout pousse donc à penser que : plus le conducteur passe du temps à manipuler un système de contrôle-commande donné, plus il sera amené à quitter la route du regard pour explorer le poste de conduite. Ceci semble préciser l'importance du rôle des activités motrices secondaires qui, lorsqu'elles dérivent dans le temps, entraînent une dérive des activités visuelles associées : recherche d'informations dans le poste de conduite, validation des activités gestuelles motrices effectuées, etc.

Sur la base de ces différents résultats, il serait intéressant d'aller un peu plus loin dans notre analyse, en élaborant des modèles analytiques prédictifs des activités gestuelles secondaires d'utilisation des commandes, en relation avec les paramètres de conception correspondants. De tels modèles vont nous permettre de mieux guider nos choix de conception, en phase d'études préliminaires.

3.3.5 Modèles analytiques prédictifs des activités gestuelles secondaires en relation avec les paramètres de conception

La démarche que nous proposons maintenant consiste à élaborer des modèles analytiques permettant de prédire la durée et le nombre des activités gestuelles secondaires d'utilisation, en fonction des caractéristiques du système de contrôle-commande testé. Cette

approche a nécessité, au préalable, l'identification de différentes caractéristiques des systèmes de contrôle-commande ayant des répercussions sur les observables visuels et moteurs secondaires liés à "l'activité gestuelle" d'utilisation (Tableau 4). Il s'agit, en particulier, du type de commande testé, de son implantation dans le poste de conduite et du degré de complexité du contexte d'exécution des tâches secondaires.

Effets liés à la conception des systèmes utilisés	Observables liés à l'activité gestuelle secondaire d'utilisation					
	Durée cumulée de regard	Nombre de regards	Durée moyenne de regard	Durée cumulée de manipulation	Nombre de manipulations	Durée moyenne de manipulation
Implantation	***	***	***	NS	***	**
Type	***	***	NS	***	***	***
Complexité	***	***	NS	***	***	***

Tableau 4 : Effets significatifs issus des analyses de variance à plusieurs niveaux menées sur la base des données mesurées (: p<0,00 ; ** : p<0,01 ; NS : Non Significatif)***

Sur la base des résultats des analyses de variance à plusieurs niveaux (Tableau 4), nous choisissons de retenir que 4 observables de "l'activité gestuelle" d'utilisation des commandes pour la constitution de modèles analytiques prédictifs exploitables lors de la recherche ultérieure de solutions, en phase d'études préliminaires. Les 4 observables retenus parmi les 6 proposés sont : la durée cumulée de regard, le nombre de regards, la durée cumulée de manipulation et le nombre de manipulations sur la commande. Ce choix se justifie aussi par la nature globale de ces observables qui nous permettront de reconstituer ultérieurement des scénarios de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation des futurs systèmes de contrôle-commande.

A l'issue de la construction de ces modèles prédictifs, il restera ensuite à se poser la question de leur validité tout en connaissant leur limites. En effet, la principale limite de tels modèles prédictifs est qu'ils découlent de données expérimentales ne portant que sur 6 conducteurs, 12 fonctions existantes et 5 véhicules différents.

Dans le cadre de ce paragraphe, nous mettrons davantage l'accent sur la **durée cumulée de regard** et la **durée cumulée de manipulation** de la commande. Ces deux observables constituent, de notre point de vue, les 2 principaux indicateurs d'une bonne (ou mauvaise) conception du système de contrôle-commande utilisé. Ces deux observables

présentent, en effet, un caractère global dans la mesure où ils fédèrent à la fois la durée moyenne et le nombre des activités gestuelles secondaires d'utilisation.

D'abord, nous avons mis en œuvre une analyse en régression multiple permettant d'exprimer la durée cumulée de regard sur la commande en fonction de l'ensemble des autres paramètres de l'expérimentation recensés (Tableau 5).

	Durée_cumulée_regard				
	Paramètres	Estimation	Erreur Standard	T	Valeur de p
Caractéristiques des commandes	Implantation	0,334751	0,041392	8,08732	***
	Type	0,517918	0,058709	8,82178	***
	Complexité	0,716484	0,0923234	7,76058	***
Données biométriques	Sexe	0,303515	0,133674	2,27057	*
	Sujet	-0,0510568	0,0449796	-1,13511	NS
	Age	0,0256414	0,0131591	1,94857	NS
	Taille	-0,553567	1,36558	-0,405371	NS
Conditions de conduite	Véhicule	-0,047641	0,0357084	-1,33417	NS
	Constante	-1,25455	2,39949	-0,522842	NS

Tableau 5 : Récapitulatif de la première analyse en régression multiple recherchant l'effet des différents paramètres de l'expérimentation sur la durée cumulée de regard sur la commande ***: p<0,001 ; * : p<0,05 ; NS : Non Significatif))

Il s'agit, à titre d'exemple, du sexe et de l'âge du conducteur, du véhicule utilisé, du type de commande testé, de l'implantation de cette commande, etc. L'analyse statistique montre que les paramètres : implantation de la commande, type de commande et complexité du contexte d'exécution de la tâche secondaire ressortent comme étant statistiquement différents de zéro ($p<0,001$). Cependant, hormis le paramètre "sexe du conducteur" ($p<0,05$), les autres paramètres sont statistiquement non significativement différents de zéro (NS).

Sur la base de ces résultats, nous pouvons conclure que dans nos conditions expérimentales, la durée cumulée de regard sur une commande semble dépendre des seules caractéristiques des commandes utilisées et dans une moindre mesure du sexe du sujet. Cette relation semble être indépendante des autres données biométriques du conducteur (sujet, âge, taille) et des conditions de conduite. En négligeant les paramètres qui ne sont pas statistiquement hautement significatifs, il est possible de simplifier le modèle prédictif obtenu. C'est l'objet d'une deuxième analyse en régression multiple, limitée aux 3 seuls paramètres apparus précédemment comme statistiquement hautement significatifs (Tableau 6). Il s'agit du

type de commande, de l'implantation du système de contrôle-commande dans le poste de conduite et de la complexité du contexte d'exécution de la tâche secondaire.

	Durée_cumulée_regard				
	Paramètres	Estimation	Erreur Standard	T	Valeur de p
Caractéristiques des commandes	Implantation	0,342838	0,0377268	9,08738	***
	Type	0,508969	0,0556797	9,14102	***
	Complexité	0,680938	0,0807116	8,43668	***
	Constante	-1,35554	0,175077	9,14102	***

Tableau 6 : Récapitulatif de la deuxième analyse en régression multiple recherchant l'effet des caractéristiques des commandes sur la durée cumulée de regard sur la commande

Dès lors, il devient possible d'établir un modèle prédictif sur la base d'une relation linéaire entre la durée cumulée de regard sur un système de contrôle-commande et ses caractéristiques de conception. Cette relation linéaire est obtenue sur la base des différents coefficients décrits dans le Tableau 6 précédent. Elle peut être exprimée sous la forme suivante :

$$Durée_cumulée_Regard = (0,34 \pm 0,03)\ Implantation + (0,51 \pm 0,06)\ Type + (0,68 \pm 0,08)\ Complexité - 1,36 \pm 0,18$$

A l'issue de la définition de ce modèle analytique prédictif de la durée cumulée de regard en fonction des caractéristiques du système de contrôle-commande utilisé, nous orientons maintenant la réflexion sur la validité d'un telle relation linéaire. Pour ce faire, nous appliquons une analyse de variance entre les valeurs observées sur le terrain et les valeurs prédites par le modèle. Cette analyse de variance met en évidence que le modèle ainsi constitué explique 48,5% de la variabilité de la durée cumulée de regard sur la commande (R^2=48,5% ; ddl=350 ; $p<0,001$).

La Figure 16 permet d'apprécier graphiquement la validité du modèle élaboré. En effet, il est possible de visualiser la distribution du nuage de points lié à l'expression, selon la droite $y = x$, de la durée de regard observée en conduite réelle en fonction de celle prédite par le modèle linéaire précédent.

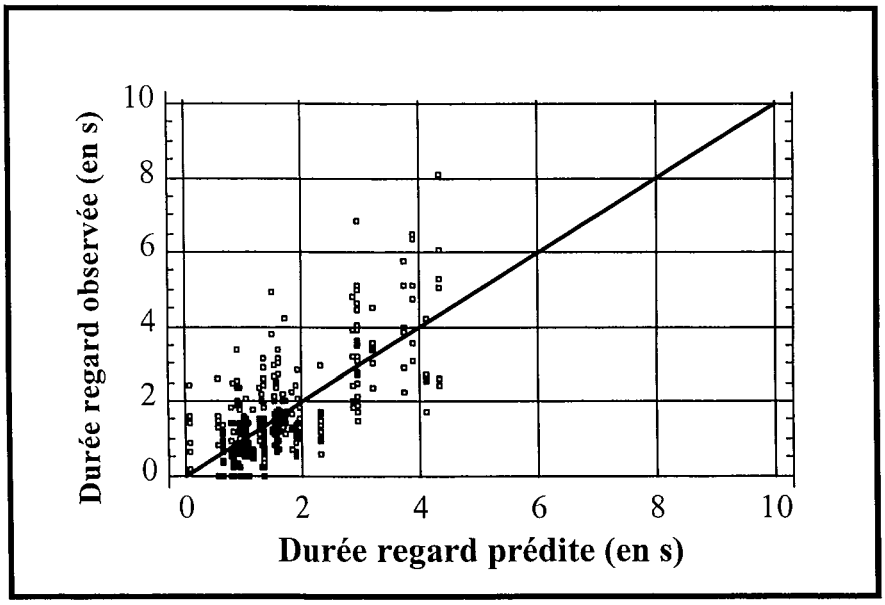


Figure 16 : Répartition du nuage de points exprimant la durée cumulée de regard prédite par le modèle comparée à celle observée en conduite réelle (R^2=48,5% ; ddl=350 ; p<0,001)

La même démarche a été adoptée pour la durée cumulée de manipulation sur les différentes commandes, lors de l'exécution de la tâche secondaire imposée au conducteur. En effet, une première analyse en régression multiple a été menée. Cette première analyse permet d'exprimer la durée cumulée de manipulation sur les commandes en fonction de l'ensemble des paramètres de l'expérimentation recensés. Il ressort que seuls le type de commande et la complexité du contexte d'exécution de la tâche sont statistiquement différents de zéro (p<0,001). Les autres paramètres apparaissent comme étant statistiquement non significativement différents de zéro.

Dès lors, il devient également possible d'établir un modèle prédictif pour la durée cumulée de manipulation de la commande, relation linéaire obtenue sur la base des différents coefficients de l'analyse en régression multiple. Cette relation s'exprime par :

$$Durée_cumulée_manipulation = (0,86 \pm 0,11)\ Type + (0,77 \pm 0,16)\ Complexité + 0,42 \pm 0,29$$

Nous nous sommes également posés la question de la validité d'un tel modèle analytique prédictif de la durée cumulé de manipulation des commandes. De même que pour la durée cumulée de regard, nous appliquons une analyse de variance, entre les valeurs observées sur le terrain et les valeurs prédites par le modèle ainsi constitué. . Cette analyse de

variance met en évidence que le modèle ainsi constitué explique 24.7% de la variabilité de la durée cumulée de regard sur la commande (R^2=24,7% ; ddl=350 ; p<0,001).

Des modèles prédictifs similaires ont été établis pour le nombre de regards et le nombre de manipulations sur la commande utilisée. Nous ne reviendrons pas dans le détail des analyses statistiques réalisées pour élaborer et pour valider ces modèles prédictifs statistiquement significatifs (p<0,001). Les deux relations linéaires obtenues par régression linéaire multiple, peuvent être exprimées sous la forme suivante :

Nombre_regards = (0,38±0,05) Implantation + (0,82±0,07) Type + (0,67±0,11) Complexité - 1,54±0,23

Nombre_manipulations = (0,11±0,03) Implantation + (0,29±0,04) Type + (0,28±0,06) Complexité

A partir de tels modèles, obtenus selon nos conditions expérimentales, il est maintenant possible de prédire certains observables liés à "l'activité gestuelle" d'utilisation en se basant sur les caractéristiques de conception du système de contrôle-commande utilisé. Par exemple, pour une fonction "Marche/Arrêt d'autoradio", utilisée en situation réelle (commandes de type "commande à 1 ou 2 doigts", implantées en "planche droite" et indice de complexité 3), nous avons mesuré en moyenne une durée cumulée de regard de 2,2±0,2s. Ainsi, en appliquant les modèles prédictifs précédents à cette même fonction "Marche/Arrêt" d'autoradio, qui serait maintenant implantée sur le volant, il devient possible d'estimer une durée cumulée de regard dans le poste de conduite d'environ 0,85±0,07s. Cette estimation est effectuée en considérant une commande de type "commande à 1 ou 2 doigts", implantée "sur le volant" avec un indice de complexité 2.

De tels modèles prédictifs, issus de l'analyse de "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation des systèmes de contrôle-commande existants, sont retenus pour les phases suivantes de recherche coopérative de solution, en phase d'études préliminaires.

3.4 Discussion

Il s'agit d'abord de discuter des résultats relatifs à l'identification de relations liant caractéristiques des systèmes de contrôle-commande existants (type de commandes, implantation des commandes, etc.) et observables comportementaux (durée moyenne de regard sur la commande, nombre de manipulations de la commande, etc.).

En effet, une analyse globale de nos résultats, sous la forme d'une ACP, montre une forte imbrication des différents facteurs de notre expérimentation en conduite réelle, approche analytique portant sur 12 fonctions, 6 conducteurs et 5 véhicules. La diffusion des données autour de plusieurs axes principaux illustre bien la complexité et la dimension multifactorielle du phénomène que constitue les activités gestuelles secondaires d'utilisation des systèmes de contrôle-commande existants. Néanmoins, il ressort de ce premier traitement des données, des interactions fortes entre certains observables liés à "l'activité gestuelle" d'utilisation et certaines caractéristiques des systèmes de contrôle-commande utilisés. Ces interactions semblent être indépendantes des données biométriques des conducteurs et même du type de fonction utilisée ou du véhicule testé. Ceci nous a amené à nous interroger sur l'opportunité de construire des modèles analytiques prédictifs génériques nous permettant de mieux orienter nos choix de conception, lors de la recherche de solutions, en phase d'études préliminaires.

Au préalable, il est nécessaire de rechercher des indicateurs de performance du point de vue de la sécurité de conduite en relation avec certains paramètres de conception des systèmes de contrôle-commande. La recherche de ces indicateurs de performance s'effectue à travers différents observables de "l'activité gestuelle" d'utilisation. Il apparaît, par exemple, que la durée moyenne de chaque consultation visuelle dans l'habitacle constitue l'un de ces indicateurs de performance, en tant que facteur de risque pour la sécurité de conduite (HELLA, 1983).

Dans ce cadre, nos résultats montrent des différences statistiquement significatives de la durée moyenne de chaque consultation visuelle dans le poste de conduite en fonction de l'implantation du système de contrôle-commande consulté. En d'autres termes, plus le système de contrôle-commande consulté est excentré par rapport à la direction normale de regard (vision sur la route), et plus la durée de chaque détournement du regard est importante, portant ainsi atteinte à la sécurité de la conduite.

De même, nous montrons que plus le conducteur passe du temps à manipuler un système de contrôle-commande donné, plus il sera amené à quitter la route du regard pour

explorer le poste de conduite, perturbant ainsi l'activité principale de conduite. A la différence de la durée moyenne par consultation visuelle qui ne dépend, que de l'implantation du système consulté, la durée moyenne de manipulation semble dépendre à la fois :

- du type de commande utilisé,
- de l'implantation du système de contrôle-commande dans le poste de conduite,
- de la complexité du contexte d'exécution de la tâche secondaire.

Globalement, nous pouvons en déduire qu'un système de contrôle-commande adapté aux conducteurs est un système dont l'utilisation nécessite des faibles volumes d'activités gestuelles secondaires (durée et fréquence). La limitation du volume des activités gestuelles secondaires permet de réduire la perturbation de l'activité principale de conduite, préservant ainsi l'efficacité et la sécurité de conduite. Nos résultats montrent qu'il est possible de préserver cette efficacité et cette sécurité de conduite en agissant directement sur la conception des systèmes de contrôle-commande, dont sont équipés les véhicules. Pour y parvenir, nous avons proposé des modèles analytiques prédictifs qui vont nous permettre de mieux orienter les futurs choix de conception. Ces modèles vont permettre de prédire le volume des activités gestuelles secondaires d'utilisation des systèmes de contrôle-commande automobiles, en fonction de leurs caractéristiques propres (type de commande, implantation dans le poste de conduite et complexité du contexte d'exécution de la tâche secondaire).

Il s'agit maintenant de discuter nos résultats en les positionnant vis-à-vis des travaux de la littérature. En effet, différents auteurs se sont penchés sur la répercussion des choix de conception sur les activités gestuelles de conduite automobile (LABIALE, 1990 ; GRAESSER et MARKS, 1993 ; POTTIER, 1993 ; WIERWILLE, 1993 ; LABIALE, 1995). Même si quelques travaux se sont penchés sur l'étude des activités motrices d'utilisation des commandes automobiles (GRAESSER et MARKS, 1993), la majorité de ces travaux se sont centrés sur la dimension visuelle de l'activité de conduite. Il s'agit, en particulier, d'études menées sur le terrain et en laboratoire, sur simulateur, afin :

- d'acquérir des connaissances sur les comportements de conduite en général et sur les stratégies visuelles adoptées lors de la consultation de dispositifs informationnels (afficheurs ou écrans embarqués),
- d'identifier les paramètres, liés à la prise d'information visuelle, venant influer sur la perturbation de l'activité principale de conduite, au détriment de la sécurité routière.

D'un point de vue global, en ce qui concerne l'acquisition de connaissances sur les comportements de conduite, POTTIER (1993) souligne l'importance d'une bonne disponibilité de la perception visuelle des conducteurs sur l'environnement, perception compatible avec la tâche principale de conduite. Cet auteur suggère qu'une limitation en nombre et une bonne ergonomie des systèmes de contrôle-commande, autres que ceux impliqués dans la tâche principale de conduite, peut être bénéfique à la sécurité routière.

De manière plus précise, en ce qui concerne les dispositifs informationnels, HELLA (1983) et ROCKWELL (1988) ont mis en évidence que les conducteurs ne s'autorisent que très rarement un traitement informatif visuel dans l'habitacle supérieur ou égal à 2 secondes. Cette durée, par consultation visuelle dans le poste de conduite, traduit la "limite psychologique de sécurité", limite temporelle qui ne peut être franchie sans répercussions sur la sécurité de conduite. En effet, comme nous l'avons déjà évoqué, les travaux de HELLA (1987) mettent en évidence une relation entre la déviation de la trajectoire du véhicule, le type d'implantation et la durée moyenne par exploration visuelle d'un écran numérique. Ces travaux illustrent parfaitement les répercussions des choix de conception (implantation d'un afficheur dans le poste de conduite) sur la sécurité routière (déviation de la trajectoire du véhicule), en relation avec la perturbation de l'activité visuelle principale de conduite par une tâche secondaire. De plus, si on reprend en détail les résultats des expériences d'autres auteurs (WIERWILLE et al., 1988 ; LABIALE, 1989 ; LABIALE, 1994), on constate que la surcharge attentionnelle, due au dispositif informationnel, s'exprime par une augmentation du nombre d'explorations visuelles, alors que les durées de chaque regard restent relativement stables. C'est la stratégie de prise d'information adoptée par l'ensemble des conducteurs : l'échantillonnage des tâches secondaires au cours de la conduite.

Nos résultats, même s'ils ne se limitent pas aux seuls dispositifs informationnels, confirment bien ces différents travaux de la littérature. En effet, nous avons pu montrer une stabilité de la durée de chaque exploration visuelle dans l'habitacle, quelque soit le degré de complexité de la tâche secondaire effectuée (Durée moyenne de regard < 1 s). De plus, cette stabilité de la durée de chaque exploration visuelle dans l'habitacle s'accompagne d'une augmentation du nombre d'explorations visuelles montrant manifestement une stratégie spécifique de prise d'information.

Par ailleurs, nous avons pu également vérifier que la durée de chaque prise d'information visuelle dans le poste de conduite varie en fonction de l'excentricité, par rapport à la vision sur la route, de l'implantation du système de contrôle-commande consulté. Ces résultats semblent confirmer les travaux de HELLA (1987) et de LABIALE (1990) relatifs à la variation des durées moyennes par prise d'information visuelle en fonction de l'emplacement de l'afficheur consulté.

Cependant, la démarche expérimentale, que nous avons adoptée, se démarque de certains travaux qui proposent d'aborder la conception ergonomique de systèmes embarqués en relation avec les déficiences sur le plan sensoriel, cognitif et moteur de la population de conducteurs âgés (MOURANT et LANGOLF, 1976 ; IMBEAU et al., 1993, SMITH et al., 1993 ; WARNES et al., 1993 ; PAUZIE, 1995). Ce choix est motivé, d'une part, par le ratio sans cesse croissant de ce groupe de population, et d'autre part, par le fait que toute amélioration des systèmes de contrôle-commande, conçue pour ce groupe, pourrait bénéficier au reste de la population de conducteurs. La plupart de ces travaux s'effectuent sur simulateur de conduite automobile et permettent de faire mieux apparaître les dysfonctionnements rencontrés dans l'interaction Homme-Produit-Environnement. En ce qui nous concerne, et compte tenu des moyens mis en oeuvre, nous avons préféré mener des expérimentations, avec un échantillon donné de conducteurs, en situation réelle de conduite.

Notre approche se démarque également d'autres orientations de recherche prises par d'autres auteurs (ABED, 1990 ; GRAESSER et MARKS, 1993). En effet, en utilisant des modèles de type "Methods-Time-Measurement" (MTM), SADT ou les Réseaux de Pétri, couplés à des modèles de type "modèle du processeur humain" (CARD et al., 1983), certains travaux proposent une vision "automaticienne" du comportement humain, pour expliquer les phénomènes observés.

En résumé, la particularité de notre travail et des résultats obtenus réside dans l'analyse des activités motrices mises en oeuvre lors de l'exécution d'une tâche secondaire en conduite réelle. Cette approche permet de compléter l'analyse des seules activités visuelles par une analyse des activités motrices et permet d'étudier des systèmes de contrôle-commande incluant dispositifs informationnels et commandes. En complément des différents travaux de la littérature sur les activités visuelles, nous montrons à travers l'analyse des activités motrices secondaires, l'impact d'une bonne (ou mauvaise) conception des commandes sur la sécurité de

conduite. Par exemple, les résultats que nous avons présentés montrent qu'une mauvaise conception des commandes implique :

- une augmentation des activités motrices secondaires d'utilisation,
- donc une augmentation des activités visuelles secondaires associées,
- par conséquent, une perturbation de l'activité principale de conduite avec des répercussions sur la sécurité de conduite.

La spécificité de ces résultats expérimentaux consiste à établir des **liens entre activités gestuelles secondaires d'utilisation et efficacité-sécurité de conduite, dans un objectif d'amélioration de la conception des systèmes de contrôle-commande automobile.**

4. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons appliqué les premières bases de notre réflexion à cas concret : un projet industriel visant à concevoir un nouveau **système de contrôle-commande d'autoradio, mieux adapté aux futurs conducteurs automobiles.** Dès le début de ce projet, nous avons pu mettre en place une analyse de "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation des autoradios existants, lors de la phase d'étude de faisabilité. L'étude de faisabilité constitue, comme nous l'avons déjà évoqué, la première phase d'analyse du processus de conception de produits que nous proposons. Au cours de cette phase du projet, nous avons tenté d'établir "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation des produits existants comme support de coopération entre l'ensemble des acteurs du projet. Les différents acteurs impliqués dans ce projet sont au nombre de 14. Parmi ceux-ci nous comptons 6 conducteurs automobiles (utilisateurs) ainsi que de 8 personnes ayant, respectivement, des compétences en marketing, en design industriel, en ergonomie, en psychologie cognitive et en ingénierie (4 ingénieurs).

Dans un premier temps, il était nécessaire de replacer "l'activité gestuelle" d'utilisation de l'autoradio dans le cadre plus vaste de **l'activité de conduite automobile.** Nous avons ainsi pu constater que l'utilisation d'un système de contrôle-commande, tel que l'autoradio, faisait appel à des stratégies opératoires particulières. Ces stratégies impliquent la mise en oeuvre d'activités gestuelles secondaires, dans le poste de conduite, qui viennent se superposer à l'activité principale de conduite automobile. Dans ce contexte, une réflexion a été menée

montrant l'impact de certaines activités gestuelles secondaires sur l'efficacité et la sécurité de la conduite automobile. Dès lors, nous avons pu définir de nouveaux critères de performance, basés sur "l'activité gestuelle" d'utilisation d'autoradios existants, en conduite réelle. Il s'agit, en particulier, de la réduction du volume des **activités gestuelles secondaires** d'utilisation de ces autoradios au cours de la conduite, facteur de préservation de la sécurité routière.

L'étape suivante de notre réflexion a consisté à identifier, outre les problèmes d'utilisabilité exprimés par les conducteurs, les répercussions des caractéristiques des systèmes de contrôle-commande d'autoradio sur les activités gestuelles liées à leur utilisation. Pour ce faire, nous avons mis en place une expérimentation visant à étudier les activités gestuelles secondaires mises en oeuvre lors de l'utilisation de 12 fonctions automobiles différentes dont 2 fonctions d'autoradio, en conduite réelle. Nous avons ainsi pu déterminer des relations étroites liant l'implantation du système de contrôle-commande dans le poste de conduite, le type de commande utilisé et le degré de complexité du contexte d'exécution de la tâche secondaire, aux observables liés à "l'activité gestuelle" d'utilisation de ces systèmes de contrôle-commande. Les observables retenus sont la durée cumulée et le nombre des activités visuelles et motrices secondaires d'utilisation.

Malgré la taille de notre échantillon de conducteurs (6 sujets) et même si nous n'avons pu prendre en considération l'ensemble des facteurs venant influer sur "l'activité gestuelle" d'utilisation des autoradios (complexité de l'environnement routier, conditions météorologiques, etc.), les résultats obtenus constituent néanmoins une première avancée. Ces résultats nous ont permis de construire, à partir d'analyses en régression linéaire multiple, des modèles analytiques permettant de prédire certains observables de l'activité gestuelle secondaire, en fonction des caractéristiques des commandes utilisées lors de la conduite. A l'issue de l'élaboration de tels modèles, une étape de validation a été entamée en comparant les résultats issus des équations statistiques de régression linéaire multiple aux résultats observés, lors de la passation de tâches imposées en conduite réelle. De ce point de vue, et étant donné la dispersion des points sur le graphique comparatif entre données prédites et données observées (voir Figure 16 à la page 63), il apparaît clairement que d'autres paramètres, intervenant dans la variabilité du phénomène, doivent encore être identifiés. Dans cette optique, des observations complémentaires doivent être effectuées sur le terrain. Ces

observations permettront, par ailleurs, d'accroître l'échantillon des observables recueillis tout en élargissant l'échantillon de conducteurs testés.

Néanmoins, en étant basés sur "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation des autoradios existants, de tels modèles vont nous permettre, lors de la recherche de solutions en phase d'études préliminaires, d'orienter les premiers choix de conception pour le futur autoradio. Ces choix de conception seront effectués tout en déterminant, en parallèle, leurs probables répercussions sur l'efficacité et la sécurité de conduite, et ceci par le biais des activités gestuelles secondaires d'utilisation.

Après avoir abordé les apports analytiques de la notion "**d'activité gestuelle d'utilisation**" des autoradios existants, il est important d'évoquer le support de coopération que cette notion a pu représenter, au cours des différentes réunions de revue de projet. En effet, présenté sous la forme de séquences vidéographiques ou d'images fixes, l'ergonome a pu très facilement montrer **la réalité des situations d'utilisation** et **la réalité des problèmes rencontrés** par les conducteurs. Face à l'évidence de ces problèmes d'utilisabilité, ainsi présentés, les concepteurs ont confirmé la nécessité d'une amélioration de la conception du système de contrôle-commande d'autoradio. A partir de ces mêmes supports, les différents acteurs du projet ont pu donner, assez aisément, leur point de vue sur chaque situation visualisée. Dans ce contexte, et en s'appuyant sur les résultats analytiques obtenus, différentes discussions ont pu être menées sur l'origine des dysfonctionnements constatés. L'ensemble de ces résultats, oeuvrant dans le domaine de la coopération entre les différents acteurs du projet, ont été obtenus en s'appuyant, en particulier, sur "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation des autoradios existants.

Cette notion "d'activité gestuelle réelle d'utilisation" nous semble donc nécessaire, mais pas suffisante pour une analyse globale des autoradios existants, étape préalable à la rédaction du cahier des charges fonctionnel. Conscients de ces limites, nous avons fait intervenir, dans le projet, nos résultats issus de "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation, en complément des normes et standards ergonomiques ainsi que des données issues des autres dimensions de l'activité (dimensions cognitive, sociale, etc.).

En effet, bien que n'étant pas abordés au cours de ce chapitre, d'autres aspects ont été étudiés en parallèle, en vue de spécifier une bonne (ou mauvaise) utilisabilité des autoradios existants. Il s'agit de critères, basés sur les **normes et standards ergonomiques** en vigueur dans le domaine étudié. Nous pouvons, par exemple, citer des recommandations liées à l'accessibilité manuelle des systèmes de contrôle-commande :

- zones maximales d'atteinte des conducteurs en relation avec la variabilité de leurs caractéristiques anthropométriques, telles que la stature ou la longueur du bras (REBIFFE et GUILLIEN, 1991 ; AFNOR, 1995),
- angles de confort liés à la posture assise adoptée lors de la conduite (SCHERRER, 1981 ; VERRIEST, 1986 ; SANDERS et McCORMICK, 1992).

De même, nous pouvons citer des recommandations liées à la compréhension des systèmes de contrôle-commande automobiles et au respect des stéréotypes (GRANDJEAN, 1985 ; WIERWILLE et McFARLANE, 1993 ; COURTNEY, 1994). Il s'agit, par exemple, de recommandations portant sur les pictogrammes recommandés par les normes en vigueur (ISO 2575, 1982 ; ISO 7000, 1989 ; US DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 1990). Il s'agit aussi de recommandations portant sur les méthodes de conception de nouveaux pictogrammes, identifiables par le plus grand nombre de conducteurs (JACK et al., 1970 ; JACK, 1972 ; SAUNBY et al., 1988 ; LABIALE, 1988 ; GREEN, 1993).

L'ensemble des analyses effectuées sont complétées par une analyse fonctionnelle du besoin (AFNOR, 1991 ; DELAFOLLIE, 1991 ; AFNOR, 1997). L'analyse fonctionnelle consiste à définir les fonctions du produit étudié (l'autoradio) dans ses différentes situations de vie en considérant ses interactions avec les éléments déterminants du milieu extérieur identifié (conducteur, poste de conduite, environnement routier, etc.). La définition des différentes fonctions de l'autoradio, enrichie de recommandations ergonomiques issues de l'évaluation des autoradio existants, va permettre l'élaboration du cahier des charges fonctionnel.

Cette phase d'élaboration du cahier des charges fonctionnel constitue une phase de synthèse des données issues de la phase d'étude de faisabilité (phase d'analyse). Elle constitue néanmoins une phase préalable aux études préliminaires, même si de nombreux allers et retours sont possibles entre les différentes phases du processus de conception, conformément à la démarche d'ingénierie concourante (Figure 3 page 25).

A l'issue de ce chapitre et au vu des résultats obtenus en phase d'étude de faisabilité, il apparaît que la notion "d'activité gestuelle réelle d'utilisation" des autoradios existants a contribué à établir un certain dialogue entre les différents acteurs de ce projet de conception. De manière plus précise, les différents films vidéographiques effectués, appuyés par les résultats analytiques obtenus, ont servi de support de coopération communs entre l'ergonome et les concepteurs impliqués (designers, ingénieurs, etc.). Il apparaît également que cette notion "d'activité gestuelle réelle d'utilisation" reste une notion partielle lorsqu'il s'agit d'aborder l'utilisabilité des produits existants. Par conséquent, elle est intervenue, lors de la rédaction du cahier des charges, en complément d'autres dimensions de l'activité d'utilisation mais aussi et surtout, en complément de recommandations issues de normes et de standards ergonomiques en vigueur dans le domaine étudié.

Il reste maintenant à établir comment cette notion "d'activité gestuelle d'utilisation" peut demeurer un support de coopération entre l'ensemble des acteurs du projet, en particulier, lors de la recherche de solutions, en phase d'études préliminaires. C'est l'objet du prochain chapitre.

CHAPITRE III

EN PHASE D'ETUDES PRELIMINAIRES, METHODES ET OUTILS POUR UNE RECHERCHE COOPERATIVE DE SOLUTIONS BASEE SUR L'ACTIVITE GESTUELLE D'UTILISATION

1. Introduction

A travers le chapitre précédent, nous avons pu montrer les apports et les limites de l'analyse de "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation des produits existants, en phase d'étude de faisabilité d'un projet de conception d'un nouveau système de contrôle-commande d'autoradio. Il s'agit maintenant d'établir comment cette notion "d'activité gestuelle d'utilisation" peut demeurer un support de coopération entre l'ensemble des acteurs de ce projet, en phase d'études préliminaires. C'est l'objet du présent chapitre qui s'intéresse aux modalités de la prise en compte de cette notion "d'activité gestuelle d'utilisation" lors de la recherche coopérative de solutions.

En nous appuyant sur les conditions initiales du déroulement du projet de conception présenté au chapitre précédent, il apparaît effectivement que la dimension orientée sur **l'analyse de l'activité réelle d'utilisation** est peu connue et peu utilisée par les concepteurs. Comme nous avons pu le montrer, à travers la phase d'étude de faisabilité du projet de conception d'un nouvel autoradio, cette dimension, d'une grande richesse, est indispensable pour la prise en compte de toute la spécificité des situations réelles d'utilisation. Cependant, bien qu'étant particulièrement bien adaptée aux problèmes d'ergonomie de correction de produits existants, cette dimension se heurte au "paradoxe de l'ergonomie de conception" lorsqu'il s'agit de rechercher de nouvelles solutions, adaptées aux futurs utilisateurs.

Ces difficultés, nous les avons rencontré en phase d'études préliminaires du projet de conception du nouvel autoradio. En effet, lors de la recherche de solutions, les résultats issus de l'analyse de "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation des autoradios existants ne nous ont permis, au mieux, qu'une "recomposition" optimisée des autoradios existants dans les postes de conduite existants. Cette recomposition optimisée est effectuée en exploitant les zones d'implantation existantes (sur volant, sur console, etc.) et en utilisant les types de commandes déjà existants. De plus, les étapes de recherche de solutions étant traditionnellement réservées aux seuls concepteurs (ingénieurs et designers), les autres acteurs du projet (conducteurs, ergonomes et spécialistes du marketing) ont été peu impliqués à ce moment du projet. En effet, ces derniers ont été consultés uniquement pour valider les orientations retenues par les ingénieurs ainsi que les préconcepts d'autoradio qui en découlaient. Tout pousse donc à penser, qu'appliqués directement lors de la recherche de solutions, les résultats issus de l'analyse l'activité réelle d'utilisation des autoradios existants ne permettent qu'une simple amélioration de l'existant, pas une réelle innovation.

Bien que fondamentale pour "reconcevoir" ou "corriger" des produits existants, la notion globale "d'activité réelle d'utilisation" nous apparaît insuffisante, en tant que telle, pour engager un réel processus d'innovation. Elle demeure néanmoins un point de départ indispensable à la définition de "l'espace des formes possibles d'activité future" évoqué par DANIELLOU (1992), reformulé "champ des activités futures souhaitables" en terme de sécurité, de confort et d'efficacité (SAGOT et al., 1997 ; SAGOT et al., 1998b). Cette notion de "champ des activités futures souhaitables" permet d'insister sur la nécessité d'introduire, en phase d'études préliminaires, une réflexion sur l'activité des futurs utilisateurs en relation avec le futur produit.

En effet, c'est sur la base de ce "champ des activités futures souhaitables" que nous nous proposons de définir des préconcepts de solution adaptés aux futurs utilisateurs, constituant ainsi une source d'innovation. Pour ce faire, nous proposons une démarche de recherche coopérative de solutions centrée sur "l'activité gestuelle" d'utilisation en relation avec ce "champ des activités futures souhaitables". Cette démarche de recherche de solutions sera alimentée par des données analytiques issues de l'analyse de "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation, par des données normatives issues de standards ergonomiques, ainsi que par des idées innovantes formulées lors de séances de créativité. Une telle démarche nécessite, de notre point vue, de faire appel à de nouvelles méthodes et de nouveaux outils, basés, en particulier, sur la modélisation et la simulation. En effet, la spécificité de notre approche repose sur la mise en oeuvre d'une succession d'étapes de modélisation graphique et numérique des nouveaux préconcepts de solution retenus, et de simulation virtuelle de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation associées.

A travers ces méthodes, nous pensons préserver le support de coopération que représente la notion "d'activité gestuelle d'utilisation". La forme de présentation de ce support de coopération doit néanmoins évoluer au fur et à mesure de la progression du projet. Nous passons alors d'une forme de présentation en "images réelles" (films vidéographiques), en phase d'étude de faisabilité, vers une forme de présentation en images virtuelles (animations en images de synthèse), lors des études préliminaires. Dans ce cadre, il ne sera plus question "d'activité gestuelle réelle d'utilisation" des produits existants, mais plutôt de "**certaines activités gestuelles futures souhaitables**" d'utilisation du futur produit. L'objectif étant de fournir, à l'ensemble des acteurs de la conception, une vision plus large, car projetée dans le

futur, des conséquences de leurs choix de conception (MALINE, 1997). De cette manière, nous tentons de passer concrètement de la position d'observateur et d'éditeur de recommandations, lors de l'analyse des produits existants, à celle d'acteur créatif lors de la recherche de préconcepts de produits nouveaux (CHAPANIS, 1995 ; RAMACIOTTI, 1995). Pour ce faire, cette recherche de préconcepts de solution pourra, de notre point de vue, être basée sur la construction coopérative du futur produit autour de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation.

En résumé, confrontés au paradoxe de l'ergonomie de conception lors de notre projet de conception d'autoradio, nous proposons en phase d'études préliminaires, une évolution des méthodes et des outils de conception utilisés. Face aux difficultés reconnues de coopération entre ergonomes et concepteurs lors de la recherche de solutions, cette évolution nous est apparue plus que nécessaire. De ce fait, la démarche de recherche coopérative de solutions que nous proposons est centrée sur le même support de coopération que constitue "l'activité gestuelle" d'utilisation, tout en intégrant l'ensemble des recommandations ergonomiques du cahier des charges fonctionnel. Dans ce cadre, la notion d'analyse de "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation des produits existants, utilisée en phase d'étude de faisabilité, sera remplacée ici par la notion de simulation virtuelle de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation du futur produit.

Au cours de ce chapitre, nous nous proposons d'abord de positionner dans le cadre de notre travail, les méthodes et les outils liés à la modélisation et à la simulation. En effet, il s'agit d'abord d'expliquer les orientations que nous avons prises dans le domaine des modèles utilisables en ergonomie de conception. En parallèle, nous introduisons brièvement l'outil logiciel que nous avons développé : MANERCOS. Cet outil, qui sera présenté de manière plus détaillée au cours du prochain chapitre (Chapitre IV), est dédié :

- à l'analyse de "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation des autoradios existants, en phase d'étude de faisabilité,
- en phase d'études préliminaires, à la modélisation numérique du système Conducteur-Autoradio-Environnement et à la simulation virtuelle de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation du futur autoradio.

Reste ensuite, en phase d'études préliminaires, à appliquer notre réflexion au projet de conception d'un nouveau système de contrôle-commande d'autoradio, adapté aux futurs utilisateurs. C'est l'étape de recherche coopérative de solutions d'autoradios centrée sur la notion "d'activité gestuelle d'utilisation".

2. Vers de nouvelles méthodes et de nouveaux outils basés sur la modélisation et la simulation

Face à la complexité des situations liées à la conduite automobile, il apparaît que la modélisation et la simulation du système Conducteur-Autoradio-Environnement semblent constituer une démarche intéressante pour notre travail. Par "Environnement", nous entendrons désormais tous les éléments du système autres que le conducteur et l'autoradio. Il s'agit, par exemple : des autres systèmes de contrôle-commande (climatisation, signalisation lumineuse, etc.), de la planche de bord, des sièges, du poste de conduite du véhicule, de l'environnement routier, etc. En effet, les méthodes et les outils liés à la modélisation et à la simulation vont, de notre point de vue, permettre de préserver la notion "d'activité gestuelle d'utilisation" en tant que support de coopération entre les différents acteurs de notre projet de conception d'un nouvel autoradio. Au préalable, il est nécessaire d'identifier les différentes formes existantes de modèles et de préciser pourquoi nous nous sommes orientés vers les modèles graphique et numérique.

Préconisée par la pensée systémique, la démarche de modélisation peut assurer plusieurs fonctions. Cette démarche de construction de modèles peut simplement viser à une bonne compréhension d'un système existant et clarifier les discussions entre les différents acteurs du projet (HORWAT, 1993). Elle peut aussi contribuer à la conception de nouveaux systèmes en offrant l'appui de formalismes graphiques pour la construction de représentations communes au sein du groupe projet. Quelle que soit sa finalité, le modèle n'est pas l'hypothèse ou la théorie, il en est une représentation datée : une version à un instant précis de la dite théorie ou hypothèse (AMALBERTI, 1991). D'après SPERANDIO (1995), un modèle n'est qu'une représentation partielle d'un "monde" particulier plus ou moins nettement circonscrit. En effet, pour cet auteur, un modèle n'est qu'un outil, certes réducteur et non exhaustif, mais dont l'utilité et la validité dépendent de la finalité recherchée. La notion de modèle s'applique

à toute représentation ou transcription abstraite d'une réalité concrète, quelle qu'en soit la forme ou le langage utilisé : physique, graphique, numérique, etc. En accord avec les travaux de DURAND (1994), il semble ressortir quatre formes de modèles : le modèle physique, le modèle graphique, le modèle cybernétique et le modèle numérique.

Le modèle physique constitue généralement une maquette volumique représentant, à échelle réduite, les caractéristiques spatiales du produit que l'on veut construire ou étudier. Cette maquette peut ainsi être soumise à des tests et à des mesures permettant d'améliorer les performances du produit ou du projet correspondant.

Le modèle graphique se présente souvent sous la forme d'un simple dessin, schéma plus ou moins détaillé représentant le système existant ou le produit à créer. En général, ces schémas ou dessins sont complétés par un code qui permet de les interpréter.

Concernant le modèle cybernétique, il a connu un grand développement depuis les années 50. Comme son nom l'indique, il est basé sur la cybernétique, science de la machine et de l'organisation. Le modèle cybernétique permet d'étudier ou de prévoir les conditions de régulation d'un système. Ce modèle est fréquemment utilisé dans les sciences de l'ingénieur, du vivant, de l'économique et du social.

Le modèle numérique a connu un développement plus récent et une croissance exponentielle liée à l'expansion de l'informatique. Aujourd'hui presque tous les domaines d'activité sont concernés, depuis la prévision météorologique jusqu'à la science du chaos en passant par "la maquette virtuelle du produit" basée sur des outils de Conception Assistée par Ordinateur (CAO).

Dans le cadre de l'ergonomie de conception, le modèle graphique et le modèle physique ont constitué jusqu'à présent des supports de prédilection pour mener à bien les phases de simulation de certaines conditions d'exercice de l'activité future (MALINE, 1994a ; ZWOLINSKI, 1998). Les limites du modèle graphique, en tant que support de la simulation de l'activité, peuvent être placées à 2 niveaux. En effet, par sa nature, par la symbolique et par le codage associé, la lecture du modèle graphique n'est pas forcément accessible à tous les acteurs du projet, et en particulier, aux futurs utilisateurs du système. Par ailleurs, l'utilisation du modèle graphique, lors de phases de simulation, traduit manifestement un manque de souplesse et de dynamique, ce qui tend à freiner la construction des représentations collectives sur la structure, les fonctions et la dynamique du futur système. Pour ce qui est du modèle

physique, en tant que support de la simulation de l'activité, ses limites peuvent être placées à différents niveaux. Tout d'abord, l'utilisation d'un modèle physique ne facilite pas la mémorisation des situations d'utilisation qui viennent d'être simulées par le groupe de travail, car ne disposant pas de moyens propres pour figer les traces d'une simulation effectuée. De la même manière que pour le modèle graphique, l'utilisation de la maquette volumétrique, en phase de simulation, traduit aussi un manque de souplesse et de dynamique. Cependant, le manque de souplesse, inhérent à la structure même de la maquette, est contourné par certains intervenants en ergonomie, en proposant un nouveau concept de maquette modelable utilisant des matériaux souples (pâte à modeler, plastiline, etc.). La maquette, ainsi proposée, sera façonnée jusqu'à approbation unanime par l'ensemble des acteurs du projet (BOURDENET, 1997). Enfin, il apparaît que le principal frein à l'utilisation du modèle physique est le coût non négligeable de sa fabrication en relation avec le coût des matériaux et de la main d'oeuvre nécessaire.

En ce qui concerne le modèle numérique et son application à la notion "d'activité", il apparaît que les modèles qui en découlent ne constituent pas une révolution en tant que telle pour l'analyse ergonomique (SPERANDIO, 1995). Néanmoins, ils ont le mérite d'exister et sont parfois utilisés au cours des projets (FADIER, 1990 ; PLECZON, 1992 ; CHAUVIN, 1996a ; CHAUVIN, 1996b ; ZACKLAD, 1996 ; ALAUZET, 1998). En effet, en étant programmables, ils facilitent une évaluation assez rigoureuse des phénomènes par la confrontation entre les données issues de la simulation des modèles d'activité et les données empiriques. Dans ce cadre et conscient qu'il ne faille les utiliser qu'à bon escient, les modèles informatiques sont aujourd'hui utilisés en ergonomie, pour la modélisation des activités humaines dans un contexte donné (RASMUSSEN, 1980 ; CARD et al., 1983 ; CARD et al., 1986 ; NORMANN, 1986 ; MILLOT, 1987 ; MILLOT, 1988 ; MEINADIER, 1991).

Face aux apports et aux limites des différents modèles évoqués précédemment nous avons choisi d'orienter notre réflexion sur une articulation entre la modélisation graphique et la modélisation numérique pour des raisons de souplesse d'utilisation dans le cadre du projet. En ce qui concerne la modélisation graphique, nous adoptons une méthode "orientée objet", la méthode OMT : Object Modeling Technique (RUMBAUGH, 1995 ; FOWLER et SCOTT, 1997). Pour la modélisation numérique nous faisons appel à un nouveau logiciel, développé

dans le cadre de ce travail : le logiciel MANERCOS (LEROY et LAMBERT, 1998). Ce logiciel, dont l'architecture et l'utilisation respectent les principes de "l'objet", sera décrit plus en détail au cours du prochain chapitre. Nous avons choisi de nous orienter sur le modèle "orienté objet", présenté sous une forme graphique (OMT) puis sous une forme numérique (MANERCOS), dans la mesure où ce modèle permet de décrire les systèmes, aussi complexes soient-ils, par un ensemble de classes d'objets, entités abstraites ou concrètes composant le monde réel étudié (KOUKAM et al., 1996, GOMES et al. 1998c). A la différence des formalismes qui permettent de décrire la dimension fonctionnelle du système (SADT : LISSANDRE, 1990), ou sa dimension dynamique (Réseaux de Pétri : ABED, 1990), la modélisation orientée objet permet de caractériser simultanément les dimensions structurelle, fonctionnelle et dynamique du système étudié.

Le choix de la méthode OMT, nous permet de définir un premier outil-clé de notre démarche de recherche coopérative de solutions, basée sur "l'activité gestuelle" d'utilisation. En effet, ce type d'outil de modélisation graphique peut être facilement mis en oeuvre au cours des réunions projet pour préparer l'étape suivante de modélisation numérique du système étudié. Un tel outil de modélisation graphique peut servir de support papier, certes à la conception du système étudié, mais aussi et surtout à la formalisation de certaines activités gestuelles associées. De ce fait, une telle méthode de modélisation structurelle, fonctionnelle et dynamique des systèmes, peut intervenir, dès l'étude de faisabilité, pour modéliser le système Conducteur-Autoradio existant-Environnement et ensuite, en phase d'études préliminaires, pour modéliser le futur système en cours de définition.

Reste maintenant à définir un autre outil permettant de convertir le modèle graphique OMT en modèle numérique, afin de pouvoir engager les étapes de simulation virtuelle du futur système Conducteur-Autoradio-Environnement. En effet, en accord avec de nombreux auteurs (MALINE, 1994a ; WILSON, 1997) les méthodes ayant recours à des environnements virtuels semblent constituer des terrains prometteurs pour le développement de l'ergonomie de conception.

C'est dans une telle optique, afin de fédérer les représentations des différents acteurs du projet autour d'une autre forme de réalité que constitue la réalité "virtuelle", que nous avons décidé de mettre en oeuvre un nouvel outil logiciel. Cet outil, que nous avons baptisé "MANERCOS" (Module d'ANalyse pour l'ERgonomie et la COnception des Systèmes), a été développé, en tant que module additionnel à un logiciel existant, dédié à la synthèse d'images

: le logiciel 3D Studio MAX (KINETIX, 1997). Développé en langage orienté objet C++, le logiciel MANERCOS permet d'effectuer une analyse de "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation des autoradios existants, à partir de films vidéographiques. Ensuite, il est possible de modéliser, en numérique, le futur système Conducteur-Autoradio-Environnement, en respectant des principes orientés objet et ceci à l'issue d'une première étape de modélisation graphique utilisant OMT. Enfin, MANERCOS permet la simulation virtuelle de ce système en générant, à partir de scénarios, différentes séquences de films virtuels traduisant "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation du futur autoradio.

De cette manière, et en nous appuyant sur de telles méthodes et de tels outils, nous pensons rétablir un certain dialogue entre les différents acteurs de la conception autour du support de coopération que constitue "l'activité gestuelle" d'utilisation. C'est ce que nous allons voir, à travers la démarche de recherche coopérative de solutions d'autoradio, autour de "l'activité gestuelle" d'utilisation, en phase d'études préliminaires.

3. En phase d'études préliminaires : recherche coopérative de solutions autour de "l'activité gestuelle" d'utilisation

3.1 Objectifs

A l'issue de l'étude de faisabilité et de la rédaction du cahier des charges fonctionnel, il s'agit ici d'appliquer notre démarche de recherche coopérative de solutions, centrée sur "l'activité gestuelle" d'utilisation, au projet de conception d'un nouvel autoradio. A travers ce projet, il est possible, en phase d'études préliminaires, d'appliquer les méthodes de modélisation et de simulation préconisés(OMT), ainsi que les outils associés (MANERCOS). A travers ces méthodes et ces outils, il est possible de montrer la contribution de la notion "d'activité gestuelle d'utilisation" au processus de conception de produits adaptés aux futurs utilisateurs.

Dans ce contexte, la spécificité de notre travail réside d'abord dans la mise en oeuvre de séances de recherche de principes de solution en groupe de travail, en s'appuyant sur le cahier des charges fonctionnel. Il ressort de ces séances de recherche coopérative de principes de solution différents préconcepts d'autoradio (croquis, commentaires, etc.). Sur cette base, une étape de modélisation graphique et numérique du futur système Conducteur-Préconcept

d'autoradio-Environnement est engagée. Les résultats que nous obtenons (modèles numériques 3D) permettent ensuite, à partir de scénarios, de lancer l'étape suivante de simulation virtuelle de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation du futur préconcept d'autoradio. Il ressort de cette étape différents films en images virtuelles illustrant le "champ des activités futures souhaitables" d'utilisation du préconcept du futur produit. Sur la base de tels supports de communication, il est possible de lancer des premières discussions entre l'ensemble des acteurs de la conception, lors de séances de créativité sur maquette virtuelle (CETIM, 1997 ; TICHKIEWITCH, 1998). L'objectif d'une telle démarche est de construire, faire évoluer puis valider, en commun, différents préconcepts de solution.

3.2 Méthodes et techniques

3.2.1 Recherche coopérative de principes de solution pour l'autoradio

La recherche coopérative de principes de solution, répondant au cahier des charges fonctionnel, est effectuée en groupe de travail, avec l'ensemble des acteurs du projet. Cette étape matérialise la dimension coopérative de la démarche. Cette étape de recherche coopérative de principes de solution est d'abord effectuée sur la base du cahier des charges fonctionnel qui regroupe, outre le descriptif des différentes fonctions du produit, des données normatives et des données analytiques (Figure 17).

En ce qui concerne les données normatives, elles sont issues de normes et standards ergonomiques. Il s'agit plus particulièrement de faire état de certaines données normatives en relation avec la conception des organes de commande (AFNOR, 1995 ; WOODSON et CONOVER, 1978 ; RENAULT, 1992).

Pour ce qui est des données analytiques, il s'agit des données subjectives et objectives issues de l'analyse de l'activité réelle d'utilisation des autoradios existants. En effet, il est nécessaire de tenir compte des différents avis subjectifs (positifs et négatifs) formulés par les conducteurs à propos des systèmes de contrôle-commande d'autoradio testés. Il s'agit aussi d'intégrer nos résultats issus des différentes analyses menées à partir de l'observation des activités gestuelles d'utilisation des autoradios existants.

Comme l'illustre la Figure 17, différentes idées innovantes sont formulées, en parallèle, en relation directe avec les recommandations ergonomiques du cahier des charges fonctionnel, lors de séances de créativité. Les techniques appliquées se rapprochent de

techniques classiques de créativité telles le brainstorming, les analogies, ainsi que les verbalisations menées sur la base d'un support intelligible par tous les acteurs du projet. Il s'agit, en particulier, de films vidéographiques réels présentant les produits existants et leurs conditions existantes d'utilisation. Il s'agit aussi, comme nous allons le voir plus loin, à l'issue de la première itération, des résultats des premières étapes de modélisation numérique et de simulation virtuelle. C'est, par exemple, les images traduisant la maquette virtuelle du futur produit et les films en images virtuelles traduisant "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation de ce futur produit.

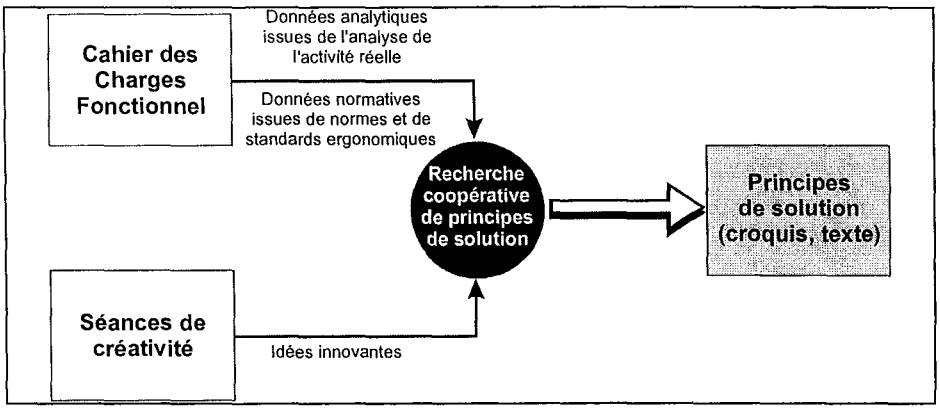


Figure 17 : Données d'entrées et résultats issus de l'étape de recherche coopérative de principes de solution en groupe de créativité sur maquette virtuelle (CETIM, 1997 ; TICHKIEWITCH, 1998)

A l'issue de cette étape de recherche coopérative de principes de solution, il ressort un ensemble de préconcepts de solution sous la forme de croquis et/ou de commentaires décrivant les caractéristiques structurelles, fonctionnelles et dynamiques du futur autoradio. Ces résultats serviront de support pour l'étape suivante de modélisation graphique et numérique du système Conducteur-Préconcept d'autoradio-Environnement.

3.2.2 Modélisation graphique et numérique du système Conducteur-Préconcept d'autoradio-Environnement

Il s'agit maintenant de modéliser les préconcepts d'autoradio élaborés précédemment, d'abord de manière graphique sous OMT puis de manière numérique sous MANERCOS, en vue de les intégrer dans le système global Conducteur-Préconcept d'autoradio-Environnement. En effet, à l'issue de la séance de recherche coopérative de principes de solution, il devient possible sur la base des différents préconcepts et spécifications (croquis, schémas fonctionnels, commentaires, etc.) d'entamer une première étape de modélisation structurelle

du premier préconcept d'autoradio (Figure 18). Pour ce faire, un modèle graphique est d'abord réalisé sous OMT. En effet, cette étape de modélisation graphique est adoptée pour formaliser les résultats obtenus, en faisant appel à des outils très simples de type papier-crayon. C'est là tout l'intérêt d'avoir opté pour un formalisme graphique, de surcroît orienté objet, qui va nous servir de transition entre l'étape de recherche coopérative de principes de solution et l'étape de modélisation numérique du futur système, sous MANERCOS.

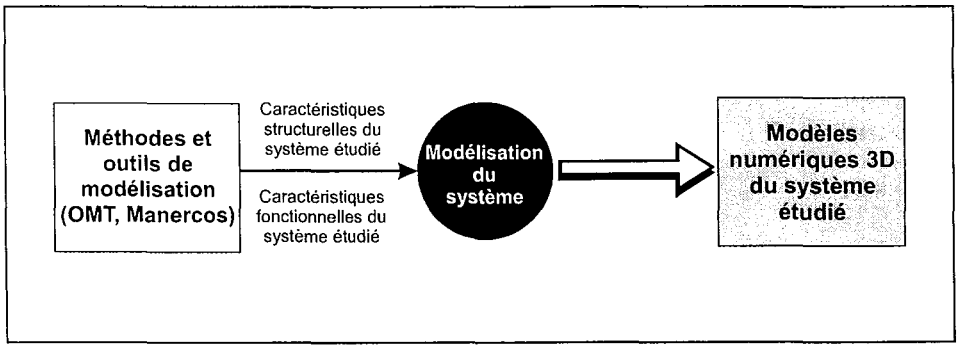


Figure 18 : Données d'entrées et résultats issus de l'étape de modélisation du système Conducteur-Préconcept d'autoradio-Environnement

En s'appuyant sur le modèle graphique OMT du préconcept innovant d'autoradio, il est possible de construire le modèle numérique correspondant, en utilisant les primitives géométriques standards de 3D Studio MAX, ainsi que les fonctionnalités propres du module MANERCOS. Ainsi, après avoir modélisé en 3 dimensions (3D) les différents objets et liens hiérarchiques composant le préconcept d'autoradio, il sera possible de définir ses différents comportements élémentaires. Ces comportements élémentaires correspondent aux différents états identifiés sur les Statecharts : modèles graphiques OMT traduisant le comportement dynamique du préconcept d'autoradio.

Le modèle numérique du préconcept d'autoradio, ainsi obtenu, est ensuite intégré dans le modèle numérique global du système Conducteur-Préconcept d'autoradio-Environnement en vue de préparer l'étape suivante de simulation virtuelle. En effet, il ressort de l'étape de modélisation un ensemble de modèles graphiques et numériques statiques qui vont être exploités et animés en dynamique au cours de l'étape de simulation virtuelle. Cette troisième et dernière étape de notre démarche représente, en quelque sorte, la fin de la boucle de validation sur l'étape de recherche coopérative de principes de solution (rétroaction), en groupe de créativité.

3.2.3 Simulation virtuelle du système Conducteur-Préconcept d'autoradio-Environnement

Il s'agit maintenant au cours de cette 3ème étape de notre démarche de recherche coopérative de solutions, menée en phase d'études préliminaires, de valider notre principale piste de réponse à la problématique posée. Cette piste de réponse, rappelons-le, propose de rétablir le dialogue entre les différents acteurs de la conception à travers la notion charnière "d'activité gestuelle d'utilisation". En effet, cette étape de simulation virtuelle du système global Conducteur-Préconcept d'autoradio-Environnement permet :

- non seulement de vérifier la faisabilité de la solution retenue au regard des autres contraintes de conception,
- mais surtout de générer des séquences de films virtuels décrivant le futur produit ainsi que "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation qui lui sont associés.

Cette étape de simulation virtuelle intervient à l'issue de la recherche coopérative de principes de solution et de la modélisation graphique et numérique de ces solutions. Elle nécessite l'intégration des caractéristiques dynamiques du comportement du système étudié. Ces caractéristiques sont issues :

- des séquences d'actions observées en situation réelle (situations de référence) et décomposées sous forme de comportements élémentaires et de scénarios, à l'aide de l'analyse des films vidéographiques réalisée sous MANERCOS,
- des modèles analytiques prédictifs élaborés, lors de l'étude de faisabilité, reliant observables comportementaux (durée cumulée de regard sur la commande, nombre de manipulations de la commande, etc.) et caractéristiques des commandes (type, implantation dans le poste de conduite, etc.),
- de scénarios futurs souhaitables formulés par le groupe projet et intégrés dans le Module d'analyse de l'activité du logiciel MANERCOS. Il s'agit, par exemple, de scénarios traduisant une tâche secondaire d'utilisation du préconcept l'autoradio que l'on vient superposer aux scénarios traduisant la tâche principale de conduite observée sur le terrain. La tâche secondaire, en question, est définie à partir des modèles analytiques prédictifs précédents, basés sur "l'activité gestuelle" d'utilisation, et des différentes discussions menées en groupe projet sur la base du "champ des activités futures souhaitables" d'utilisation.

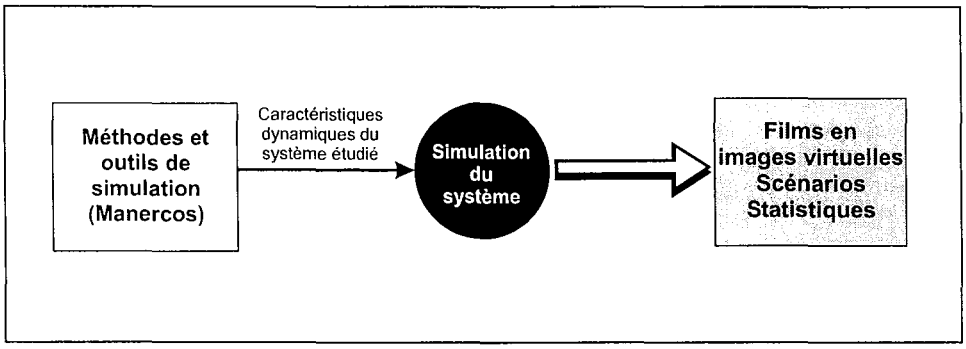


Figure 19 : Données d'entrées et résultats issus de l'étape de simulation du système Conducteur-Préconcept d'autoradio-Environnement

Il en ressort, un ensemble de séquences de films en images virtuelles, traduisant différents niveaux de comportement dynamique du système Conducteur-Préconcept d'autoradio-Environnement dans certaines "situations d'action caractéristiques". Ces séquences de film, en images virtuelles, constituent le reflet du "champ des activités futures souhaitables" d'utilisation du futur produit, évoqué précédemment (Figure 19).

A ce stade, il est important de préciser que la démarche proposée est fondée sur des itérations successives sur les étapes de recherche coopérative de principes de solution, de modélisation et de simulation virtuelle du système étudié. L'objectif affiché est d'évoluer, par itérations successives, de différents préconcepts de solution à un concept final optimisé intégrant les données quantitatives et qualitatives issues de la démarche.

L'application de cette démarche de recherche coopérative de solutions, lors du projet de conception d'un système de contrôle-commande d'autoradio, a fait émerger différents résultats que nous allons maintenant présenter.

3.3 Résultats

L'objet de ce paragraphe est de traduire les différents résultats que nous avons pu obtenir à l'issue de l'application de notre démarche de recherche coopérative de solutions, en phase d'études préliminaires. Cette démarche, rappelons-le, est basée sur la modélisation numérique de la globalité du système Conducteur-Préconcept d'autoradio-Environnement étudié et sur la simulation virtuelle de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation associées. Cette démarche est aussi basée sur la nécessaire participation de l'ensemble des acteurs de la conception, à des groupes de créativité sur maquette virtuelle

permettant la recherche de solutions "acceptables" au regard des différentes contraintes du projet.

Après avoir initialisé la démarche préconisée, en modélisant le système Conducteur-Autoradio existant-Environnement, il est possible de traduire les différents résultats obtenus, à chacune des étapes de cette démarche de recherche de solutions, pour le futur autoradio.

3.3.1 En condition initiale de la démarche proposée : modélisation du système Conducteur-Autoradio existant-Environnement

Il s'agit ici de traduire les résultats obtenus lors de la modélisation graphique sous OMT du système Conducteur-Autoradio existant-Environnement. La Figure 20 traduit un extrait du modèle structurel de ce système tel que nous avons pu l'observer au cours de notre campagne d'expérimentation. Ce modèle est décrit avec un gros plan sur "l'objet" Conducteur, tout en conservant un très haut niveau d'abstraction.

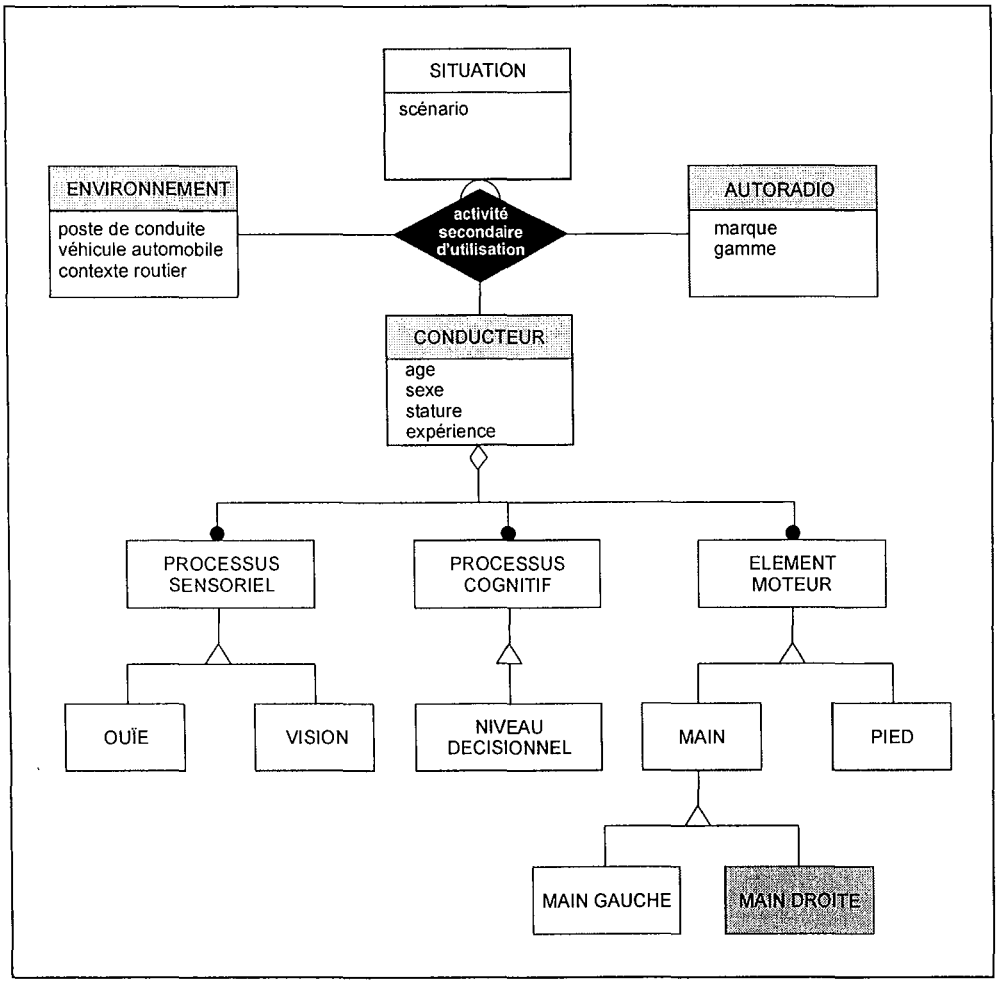


Figure 20 : Extrait du modèle structurel du système Conducteur-Autoradio existant-Environnement présenté avec un très haut niveau d'abstraction et utilisant le formalisme orienté objet OMT

En effet, selon le formalisme orienté objet OMT, les différentes boîtes du modèle structurel représentent des classes d'objet (par exemple : Autoradio, Conducteur, Main droite, etc.), tandis que les lignes qui les relient représentent les relations qu'elles entretiennent. Nous citons, à titre d'exemple, les relations d'agrégation entre objets qui sont signalées par la présence d'un losange sur une ligne et qui traduisent des liens de type "est composé de". Par exemple, l'élément Conducteur "est composé de" Processus sensoriels, de Processus cognitifs et d'Eléments moteurs (objet de notre travail). Nous pouvons également citer les relations d'héritage. Elles sont symbolisées par la présence d'un triangle sur la ligne correspondante et traduisent des liens de type "est un(e)". Par exemple, l'élément Main droite "est une" Main.

Il s'agit maintenant de construire le modèle dynamique du système Conducteur-Autoradio existant-Environnement étudié qui va décrire le comportement dynamique des différents objets spécifiés dans le modèle structurel précédent. Ce modèle est proposé en adoptant la notation de type Statecharts, formalisme basé sur le principe des automates à états finis. La Figure 21 illustre le modèle dynamique de la "classe d'objet Main Droite" décrite précédemment (Figure 20), en adoptant le formalisme proposé par les Statecharts.

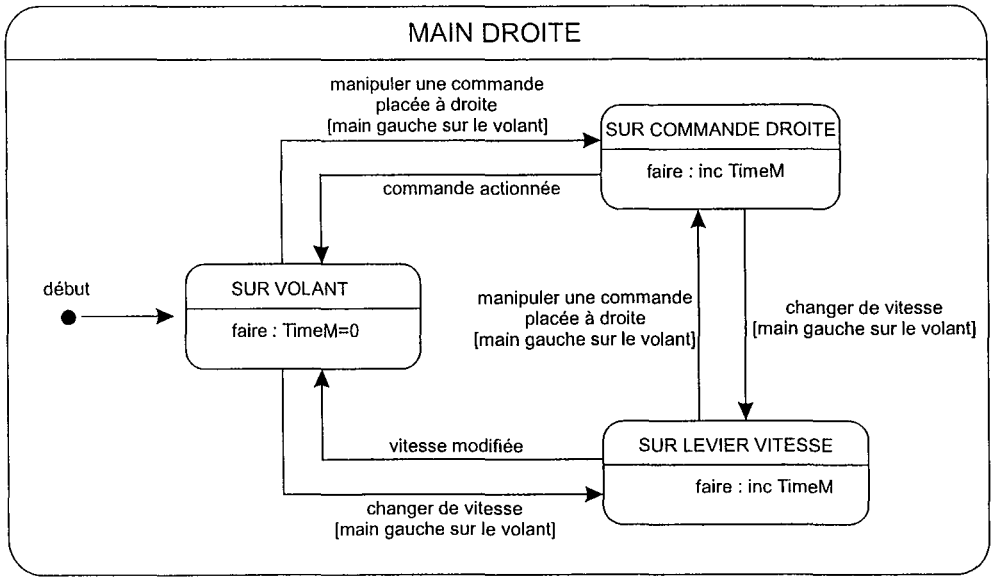


Figure 21 : Statechart traduisant un extrait du modèle dynamique de la "classe d'objet Main Droite"

Selon ce formalisme, les différents états de la classe d'objet sont représentés par des boîtes. Les transitions entre les différents états sont déclenchées par des événements et symbolisées par des flèches. Il est possible d'établir des conditions pour déclencher les transitions entre les différents états, ces conditions se traduisent par une expression placée à la

suite d'un événement et mise "entre crochets". En reprenant l'exemple de la main droite, la transition de l'état *SUR VOLANT* à l'état *SUR COMMANDE DROITE* est assurée lorsque l'événement *manipuler une commande placée à droite* apparaît et lorsque la condition *[main gauche sur le volant]* est vérifiée. Nous avons retenu ce formalisme pour décrire le comportement dynamique du système dans la mesure où il permet d'identifier clairement les différents états de ce système. Ces états décrits dans les Statecharts seront, par la suite, directement intégrés dans le logiciel MANERCOS.

Reste maintenant à implémenter ces modèles graphiques précédents en des modèles numériques traduisant le système Conducteur-Autoradio existant-Environnement (Figure 22).

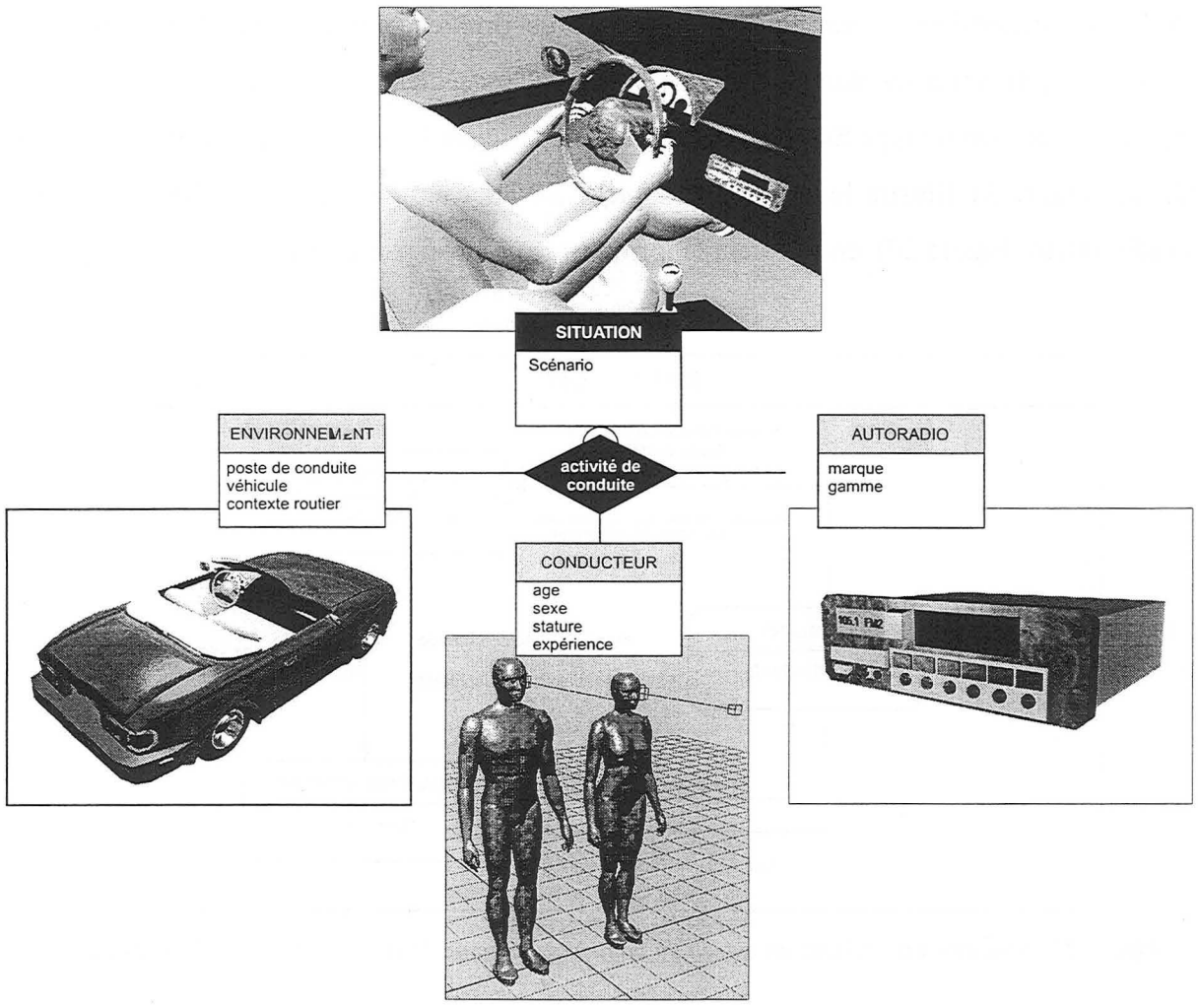


Figure 22 : Aperçu global de la correspondance établie entre le modèle structurel OMT et le modèle numérique 3D réalisé sous MANERCOS du système Conducteur-Autoradio existant-Environnement

En effet, pour implémenter les modèles graphiques précédents en des modèles numériques, nous utilisons d'abord les primitives géométriques standard de 3D Studio MAX :

création d'objets 3D correspondants aux classes d'objets sous OMT, définition d'une structure hiérarchisée de ces objets, etc. Nous utilisons ensuite les fonctionnalités spécifiques que nous avons développées à travers le nouveau logiciel MANERCOS :

- ☞ création de mannequins 3D correspondant à la classe d'objet Conducteur,
- ☞ création de comportements élémentaires correspondants aux différents états des Statecharts,
- ☞ création de scénarios (liste des instances de comportements élémentaires) correspondants à la classe d'objet "Situation" qualifiant l'activité de conduite, etc.

La Figure 22 illustre la correspondance que nous avons établie entre les modèles graphiques réalisés sous OMT et les modèles numériques 3D construits sous MANERCOS. Sur cette base, il est possible de rendre dynamique ce système en utilisant les scénarios, issus des séquences de films vidéographiques, traduisant "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation de l'autoradio existant. En effet, c'est l'une des principales fonctionnalités du logiciel MANERCOS : permettre d'animer des modèles 3D, en images virtuelles, à partir de scénarios observés en situation réelle.

Comme l'illustre la Figure 23, l'ensemble des comportements observés en situation réelle de conduite sont transposés au modèle numérique du système Conducteur-Autoradio existant-Environnement. Sur la moitié supérieure de cette figure, deux scénarios traduisant les activités visuelles (regard) et motrices (main droite) réellement observées sont proposés. Par exemple, il est possible de distinguer les différents états de la main droite, au fil du déroulement de la tâche secondaire, et plus particulièrement lorsque la main droite manipule un des autoradios existants. Les différents états ainsi définis sont issus des différents Statecharts élaborés (Figure 21). Il est aussi possible de constater la stratégie spécifique mise en oeuvre par le conducteur, lors de sa prise d'informations dans le poste de conduite (regard sur autoradio). Cette stratégie, évoquée dans le chapitre précédent, se manifeste par un échantillonnage de cette prise d'informations : courtes durées mais fréquence élevée de regard sur l'autoradio.

En parallèle, il est proposé quatre images symbolisant l'affectation synchronisée des comportements, observés en situation réelle (films vidéographiques), au modèle numérique du système étudié (films en images virtuelles).

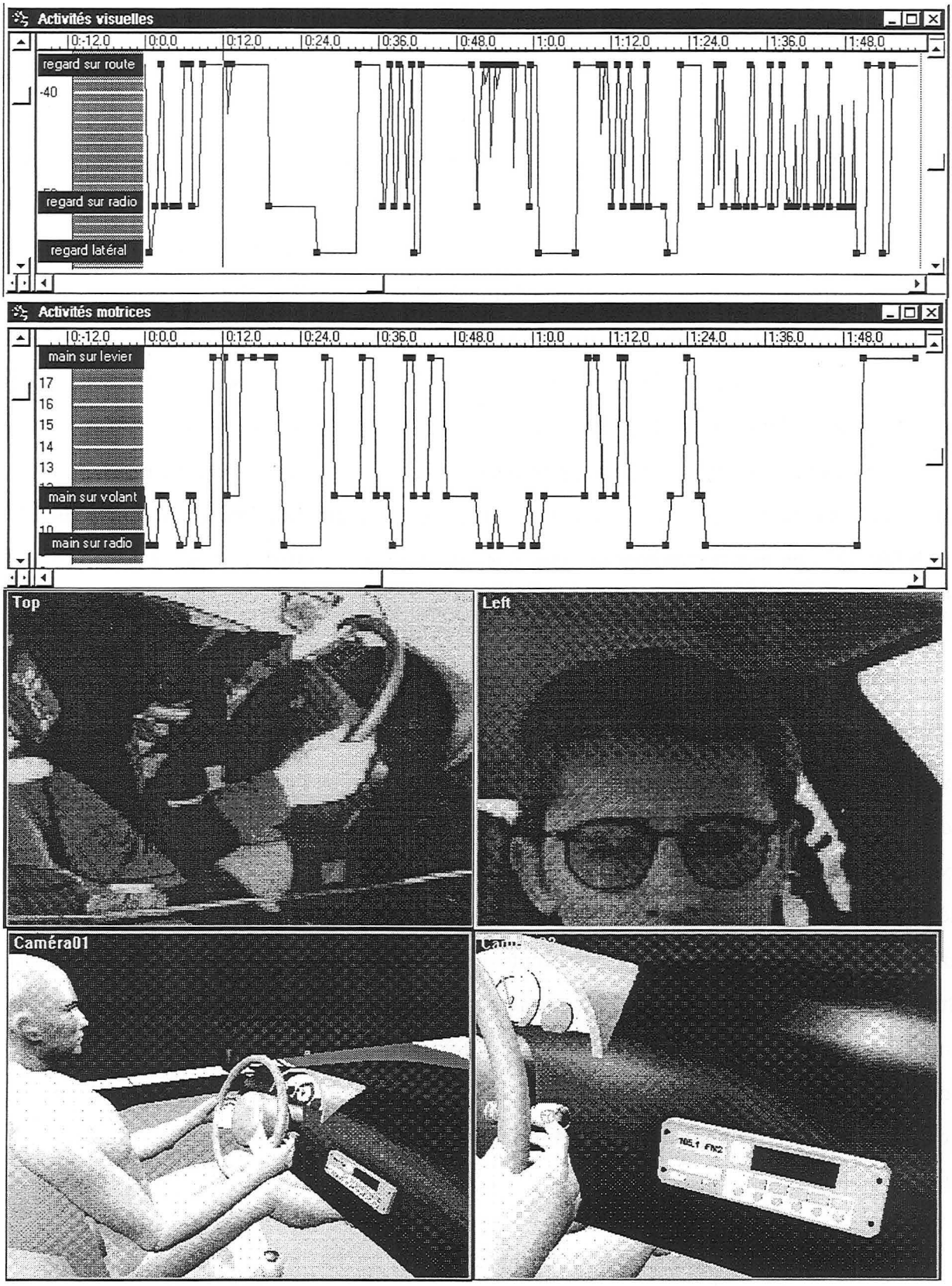


Figure 23 : Transposition sous MANERCOS des activités réellement observées au modèle numérique du système Conducteur-Autoradio existant-Environnement. Cette étape permet de préparer les étapes suivantes de recherche coopérative de solutions basée sur la simulation virtuelle du futur système et de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation associées

Suite à la présentation des conditions initiales de notre démarche, il est possible de faire état des résultats obtenus, à l'issue d'une première étape de recherche coopérative de principes de solution pour un nouveau concept d'autoradio.

3.3.2 *Résultats de la recherche coopérative de principes de solution pour l'autoradio*

Les résultats présentés ici sont ceux obtenus lors de la première étape de notre démarche de recherche coopérative de solutions pour un nouveau concept d'autoradio. Comme nous l'avons déjà évoqué précédemment, cette étape intègre différentes données :

- ☞ données analytiques objectives et subjectives issues de l'analyse de l'activité réelle, mettant en évidence les problèmes rencontrés par les conducteurs sur les autoradios existants,
- ☞ données normatives issues de normes et standards ergonomiques,
- ☞ idées innovantes formulées lors de séances de créativité, en relation directe avec les recommandations ergonomiques du cahier des charges fonctionnel.

L'intégration des données analytiques objectives s'illustre, en particulier, par l'exploitation des relations analytiques, précédemment obtenues, entre les caractéristiques des organes de commande d'autoradios existants et leur degré d'utilisabilité en conduite réelle. En effet, conformément aux résultats du chapitre II (voir paragraphe 3.3.5, page 59), la mise en œuvre d'analyses en régression linéaire multiple a fait état de relations statistiquement significatives entre :

- ☞ les observables de l'activité gestuelle secondaire d'utilisation des systèmes de contrôle-commande (durée cumulée de regard sur la commande, nombre de manipulations, etc.)
- ☞ les paramètres de conception liés à ces systèmes de contrôle-commande (type de commande, implantation dans le poste de conduite, etc.).

En ce qui concerne les données analytiques subjectives, elles sont issues des résultats des verbalisations effectuées lors de l'analyse de l'activité réelle d'utilisation des autoradios existants. A titre d'exemple, le Tableau 7 traduit un extrait des avis subjectifs (positifs et négatifs) formulés par les conducteurs à propos des systèmes de contrôle-commande d'autoradio testés. Ces différents commentaires, couplés aux recommandations issues des normes et standards ergonomiques, ont servi de point de départ à la définition du "champ des

activités futures souhaitables", étape préalable à la recherche de principes de solution pour un nouveau concept d'autoradio.

COMMENTAIRES NEGATIFS	COMMENTAIRES POSITIFS
☹ La manipulation serait plus aisée en aveugle si les commandes étaient isolées (repérage par la forme ou par la position)	☺ Commandes simples et aisément manipulables
☹ Certaines fonctions sont difficilement accessibles	☺ Grande trappe agréable mais un peu gênante pour accéder aux commandes de ventilation
☹ Les commandes sont trop éloignées. Ceci est gênant pour de fortes fréquences d'utilisation	
☹ Les boutons volume et Marche/Arrêt devraient être regroupés	

Tableau 7 : Extrait des commentaires subjectifs formulés par les conducteurs

En effet, un recueil de différentes données normatives a été constitué. Elaboré sur la base de normes et de standards ergonomiques, ce recueil traduit, par exemple, différentes recommandations en terme :

- ☞ de dimension des caractères à respecter au niveau des afficheurs (hauteur, largeur, épaisseurs des caractères, etc.), en fonction de la distance oeil-tâche lors de la lecture des informations (norme X 35-101 intitulée : "Principes ergonomiques de signalisation applicables aux postes de travail" - AFNOR, 1995),
- ☞ de type de commande, de dimensions et d'efforts recommandés en relation avec les exigences fonctionnelles de la tâche d'utilisation (norme X35-105 intitulée : "Commandes et organes de service" - AFNOR, 1995),
- ☞ d'espacement à respecter entre les différentes commandes (RENAULT, 1992), etc.

Le Tableau 8 ci-après traduit un exemple de données normatives considérées lors de la recherche de solutions. Il s'agit de l'espacement recommandé entre les commandes en fonction du type de commande utilisé.

BOUTONS POUSSOIRS	TOUCHES DE CLAVIER

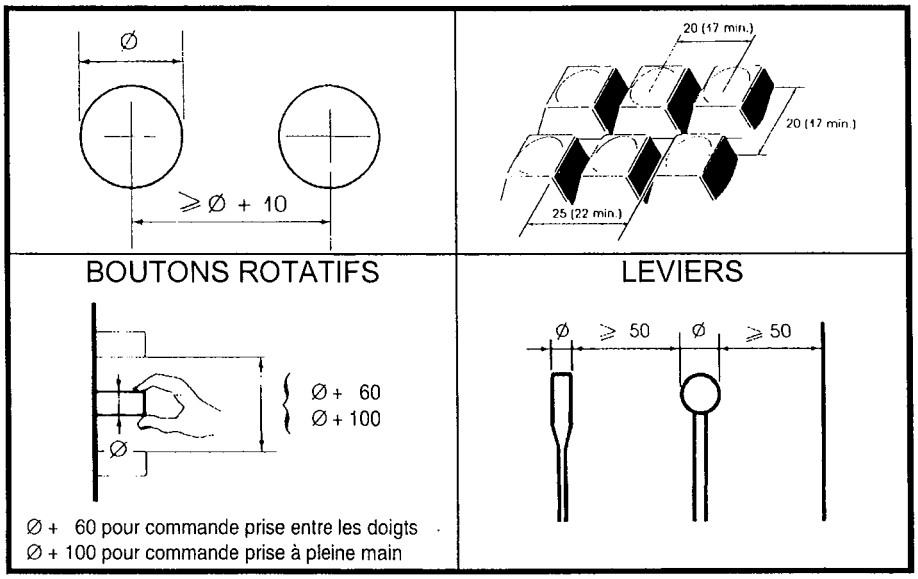


Tableau 8 : Exemple de données normatives intégrées lors de la recherche de préconcepts innovants d'autoradio (RENAULT, 1992)

Reste maintenant à faire état de quelques résultats issus des différentes séances de créativité que nous avons menées pour rechercher des préconcepts de solution d'autoradio adaptés aux futurs utilisateurs. La Figure 24 traduit des croquis illustrant certaines idées formulées lors des séances de créativité en s'appuyant sur les différentes données évoquées précédemment (données objectives et subjectives issues de l'analyse de l'activité réelle, normes et standards ergonomiques, etc.). Ces séances de créativité ont impliqué les différents acteurs du projet : utilisateurs, ergonomes, designers, ingénieurs, etc.

Au fur et à mesure des discussions, le groupe projet s'est, plus particulièrement, orienté vers un préconcept inspiré de la troisième idée, illustrée dans la Figure 24. Ce préconcept est constitué d'un module principal implanté sur la planche de bord, et d'un module secondaire placé sur le volant. Le principe de fonctionnement proposé par ce préconcept consiste à adopter une approche "anthropocentrique" (RABARDEL, 1995), car centrée sur les besoins de l'utilisateur. Par exemple, plutôt que de proposer des choix de fréquences hertziennes (105 MHz, 96 MHz, etc.), voire même des choix de bandes de fréquences (AM, FM3, etc.), ou de mémoriser des stations radio sur les 6 touches de présélection classiques, ce préconcept d'autoradio propose un regroupement des stations radio par thèmes. Trois thèmes sont proposés et affectés à 3 boutons différents : présélection de stations radio diffusant essentiellement de la musique moderne, présélection de stations radio diffusant des

informations, présélection de stations radio diffusant essentiellement de la musique classique ou des programmes culturels.

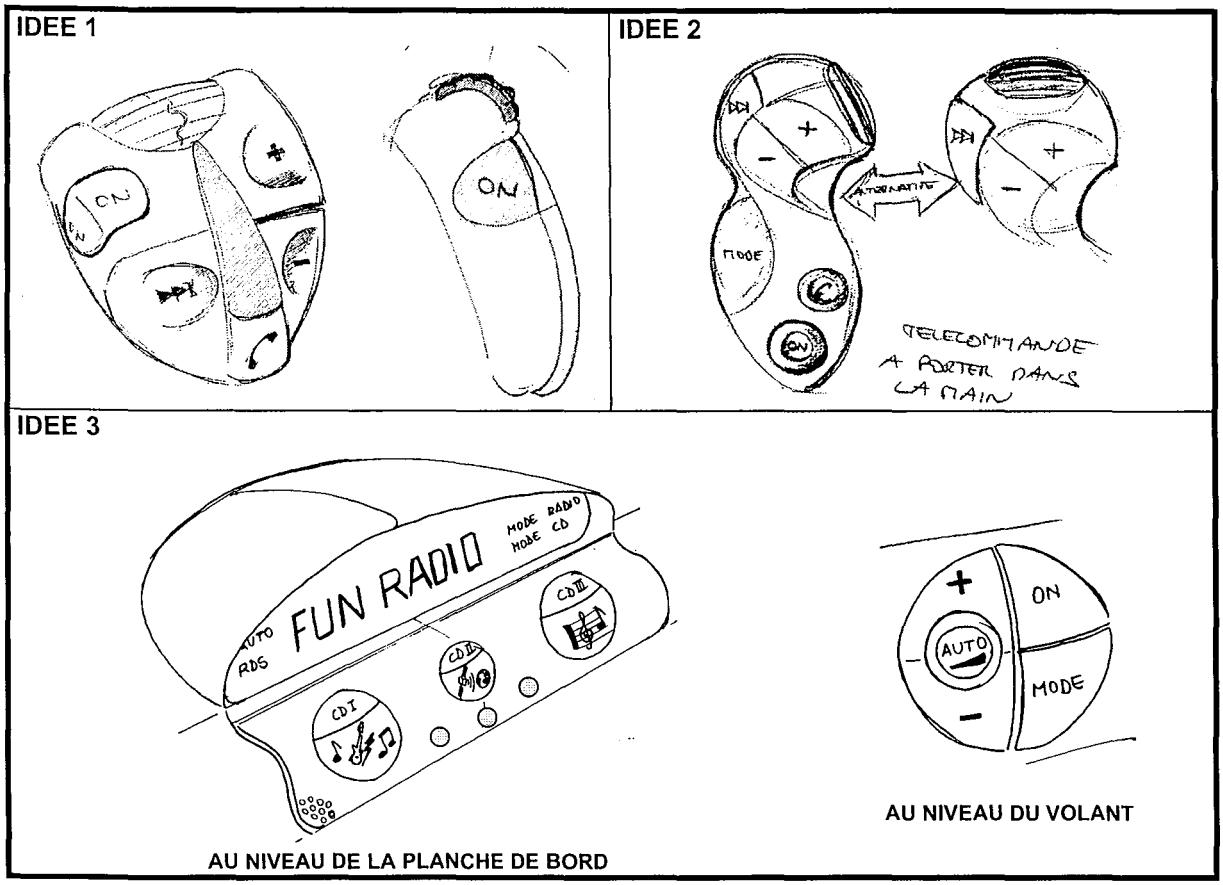


Figure 24 : Esquisses élaborées lors des séances de créativité en relation avec les critères du cahier des charges - Croquis réalisés avec le concours de H. BAUME

L'architecture de ce préconcept intègre les principaux résultats de l'analyse de l'activité montrant l'incidence d'une mauvaise ergonomie des commandes sur les performances de conduite. En effet, pour limiter la perturbation de l'activité principale de conduite, nous tentons de limiter le volume des activités gestuelles secondaires du conducteur sur les commandes d'autoradio :

- en favorisant l'utilisation de commandes de type **commandes manipulées à 1 ou 2 doigts** (boutons poussoirs), commandes représentant des courtes durées de manipulation et de consultation visuelle,
- en limitant le nombre de commandes, donc le nombre d'unités d'information sur l'interface, limitant ainsi le **degré de complexité** du contexte d'exécution de la tâche secondaire d'utilisation de l'autoradio en conduite réelle,

- en déplaçant certaines fonctions fréquemment utilisées, au niveau des branches du volant (**Sur volant**), favorisant ainsi une bonne localisation visuelle,
- en proposant un bouton de mise "en service"-"hors service", légèrement rétroéclairé de nuit, ceci même lorsque l'autoradio est éteint.

Certaines de ces orientations ont été prises, conformément aux résultats du chapitre précédent montrant les répercussions des choix de conception des systèmes de contrôle-commande sur la sécurité de conduite. Ces résultats ont montré, rappelons-le, que plus un système de contrôle-commande était excentré par rapport à la vision normale sur la route, que le type de commande utilisé nécessitait plusieurs doigts pour le manipuler et que l'indice de complexité du contexte d'exécution de la tâche secondaire était élevé, alors plus le volume des activités gestuelles secondaires d'utilisation augmentait. Cette augmentation de ces activités gestuelles secondaires est source de perturbation de l'activité principale de conduite donc de dégradation de la sécurité routière. Par exemple, pour réduire le degré de complexité du contexte d'exécution de la tâche secondaire d'utilisation de l'autoradio, nous nous sommes efforcés de réduire :

- le nombre d'unités d'information présentes dans un rayon de 10 cm autour du préconcept d'autoradio,
- le nombre d'états possibles sur les commandes concernées par la tâche secondaire.

C'est dans cet esprit que nous avons mené la recherche de solutions en choisissant dans la mesure du possible, des commandes de type commandes à 1 ou 2 doigts, implantées le plus près possible du volant, et une interface la plus simple et la plus dépouillée que possible. Ce préconcept est proposé en respectant les normes et les standards ergonomiques évoqués précédemment.

De plus, toujours dans un souci de réduction du volume des activités gestuelles secondaires d'utilisation de l'autoradio, un principe innovant est proposé pour le réglage du volume. Cette nouvelle fonctionnalité justifie l'apparition d'une nouvelle commande de réglage du volume : la commande "auto". Cette nouvelle fonction, lorsqu'elle est activée, permet un mode de réglage basé sur l'écart entre le bruit sonore ambiant généré par le véhicule (bruits du moteur, bruits de roulement, bruits aérodynamiques) et le niveau sonore de l'autoradio. L'objectif d'une telle approche est de laisser le système ajuster automatiquement, le niveau sonore de l'autoradio lors d'une modification du niveau de bruit généré par le véhicule (réduction de la vitesse du véhicule, changement du type de revêtement routier, etc.).

Cet ajustement nécessite un certain délai de réponse, pour identifier un régime stable, et ainsi éviter des réajustements intempestifs du niveau sonore de l'autoradio. Ainsi, avec un tel principe le système propose au conducteur de régler : soit le niveau sonore de l'autoradio (mode "auto" désactivé), soit l'émergence du niveau sonore de l'autoradio par rapport au niveau sonore inhérent au bruit ambiant (mode "auto" activé). De cette manière, nous espérons réduire le nombre de réajustements du niveau sonore en fonction des aléas routiers, donc le volume des activités gestuelles secondaires d'utilisation de l'autoradio, activités secondaires préjudiciables à la sécurité de conduite. En parallèle, il est nécessaire d'initier une réflexion sur la faisabilité et la fiabilité technique d'un tel système, tout en restant vigilant sur l'éventuel surcoût supporté par le futur acheteur du produit.

3.3.3 Résultats de la modélisation puis de la simulation virtuelle du système Conducteur-Préconcept1 d'autoradio-Environnement

A l'issue de l'étape de recherche coopérative de principes de solution, il devient possible sur la base des différentes spécifications (croquis, schémas fonctionnels, commentaires, etc.) d'entamer une première étape de modélisation structurelle et fonctionnelle du premier préconcept d'autoradio. Un modèle graphique est élaboré en utilisant le formalisme orienté objet OMT (Figure 25).

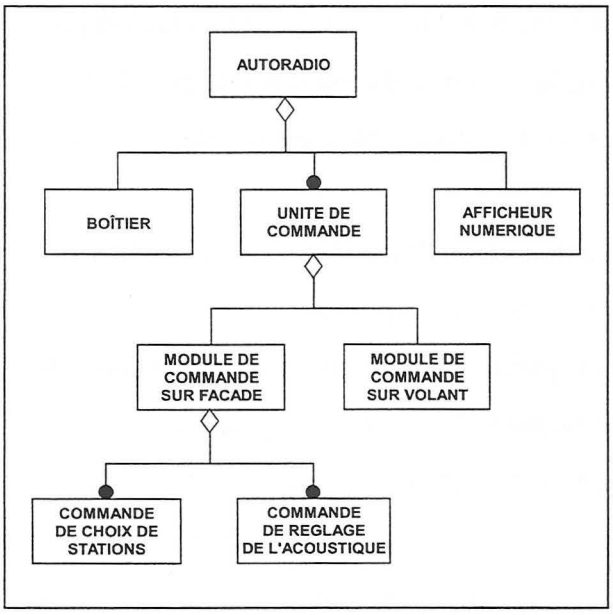


Figure 25 : Extrait du modèle structurel issu de la modélisation graphique sous OMT du premier préconcept d'autoradio

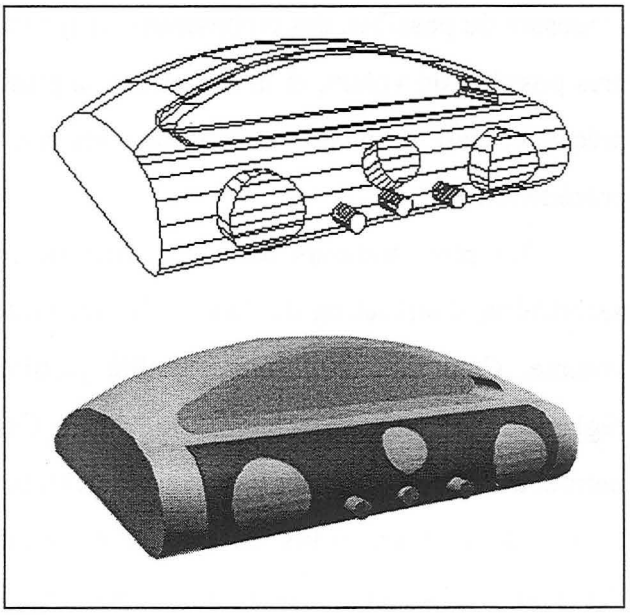


Figure 26 : Extrait du modèle numérique réalisé sous 3D Studio MAX traduisant le préconcept d'autoradio retenu lors de la première itération

A partir de ce modèle graphique, un modèle numérique est construit en utilisant les primitives standards de 3D Studio MAX (Figure 26). La boucle de rétroaction sur l'étape de recherche de solution, consiste ici, à vérifier la faisabilité de la solution retenue à partir du modèle numérique 3D du produit. Le modèle numérique de ce premier préconcept d'autoradio est ensuite intégré dans le modèle global Conducteur-Préconcept d'autoradio-Environnement afin de préparer, à l'aide des fonctionnalités proposées par le nouveau logiciel MANERCOS, l'étape suivante de simulation virtuelle de certaines conditions d'exercice de l'activité.

Cette étape de simulation virtuelle consiste donc à rendre dynamique ce premier préconcept d'autoradio et à construire, dans différentes situations d'action caractéristiques, "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation associées. Cette étape de simulation virtuelle est appliquée en s'appuyant sur :

- les scénarios d'utilisation des produits existants : séquences d'action observées lors de l'utilisation des organes de commandes d'autoradio existants, en conduite réelle,
- les modèles statistiques permettant de prédire les futurs observables comportementaux sur la base des caractéristiques des commandes testées,
- les nouveaux scénarios matérialisant le "champ des activités futures souhaitables" d'utilisation du nouveau produit, activités souhaitées par les différents acteurs du groupe projet (concepteurs, utilisateurs, décideurs, etc.).

La Figure 27 traduit un extrait des données issues de la simulation du comportement dynamique du futur système Conducteur-Préconcept d'autoradio-Environnement intégrant le premier préconcept d'autoradio proposé. Ces données sont calculées en considérant la même tâche secondaire d'utilisation visant à "allumer le préconcept d'autoradio et à rechercher la station 96,6 MHz".

Il apparaît, à la lecture de la Figure 27 (situation "future souhaitable" simulée) comparée à celle de la Figure 23 à la page 94 (situation existante observée) que ce premier préconcept d'autoradio contribuerait à réduire les activités gestuelles secondaires liées à son utilisation. En effet, il apparaît clairement à la lecture des courbes traduisant les scénarios d'activités gestuelles (tâches motrices et visuelles), une réduction du volume des activités gestuelles secondaires d'utilisation de ce préconcept d'autoradio. En ce qui concerne ces tâches secondaires d'utilisation de l'autoradio, les scénarios d'activités gestuelles sont déterminés à partir des observables prédits par les modèles analytiques élaborés au chapitre II (voir

paragraphe 3.3.5 page 59). Ces observables sont calculés à partir des caractéristiques de conception du préconcept d'autoradio retenu. Compte tenu de l'utilisation de boutons poussoirs, le type de commande est égal à 1 (code 1). En ce qui concerne l'implantation, la valeur que nous retenons est 2, moyenne de l'implantation du bouton Marche-Arrêt "sur volant" (code 1) et des commandes de recherche de station "sur planche droite" (code 3). L'indice de complexité du contexte d'exécution de la tâche secondaire est de 3 (2 fonctions d'autoradio "allumer l'autoradio - rechercher la station 96.6 MHz", présentant 12 unités d'information et 8 états possibles).

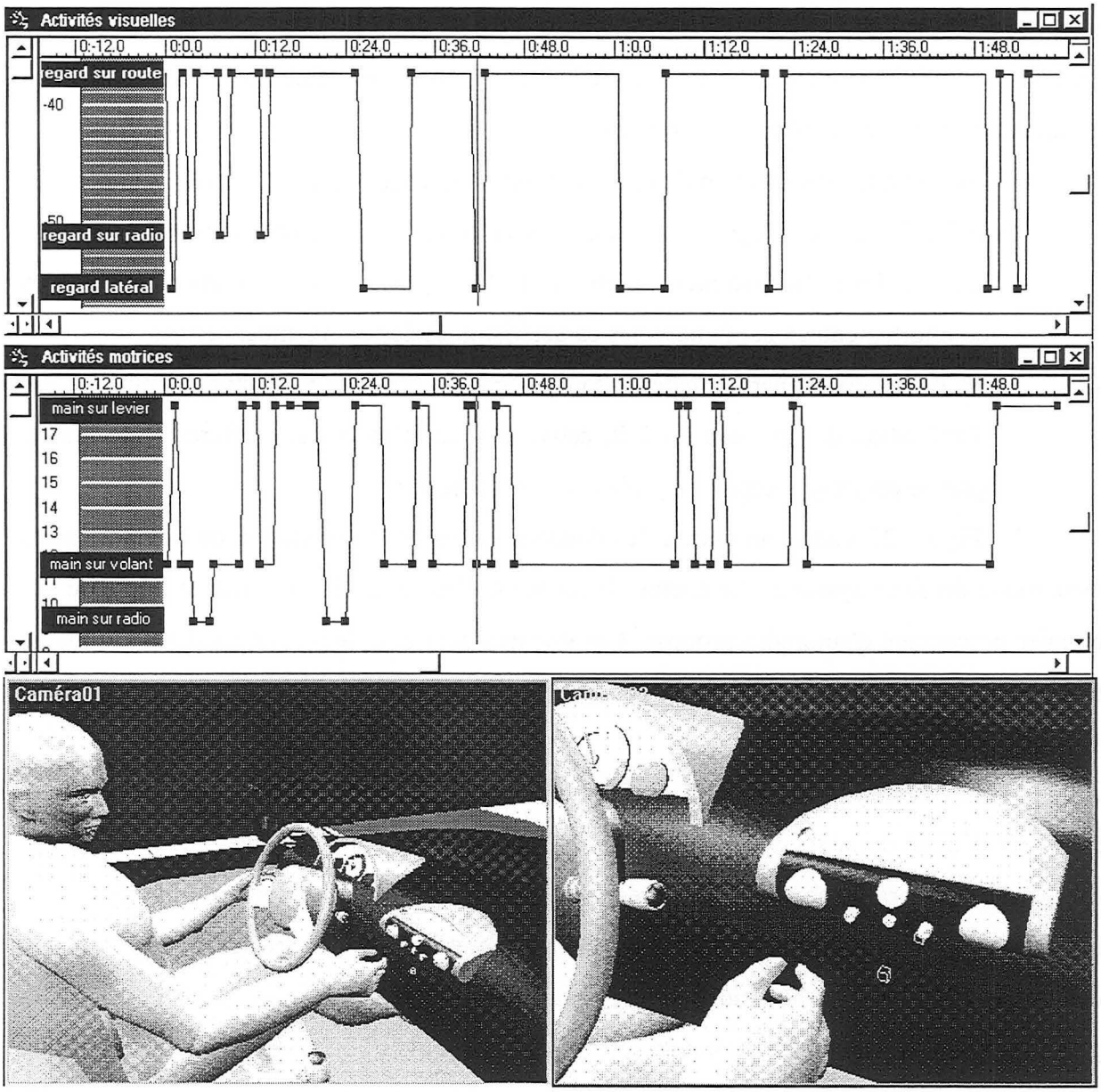


Figure 27 : Simulation virtuelle sous MANERCOS des activités visuelles et motrices d'utilisation du préconcept 1 d'autoradio

Ce scénario est ensuite introduit dans le logiciel MANERCOS en vue de générer des films en images virtuelles du système global obtenu. Il est ensuite possible de visualiser, en groupe de créativité sur maquette virtuelle, "certaines activités gestuelles futures souhaitables" secondaires d'utilisation du préconcept d'autoradio, au cours de la conduite.

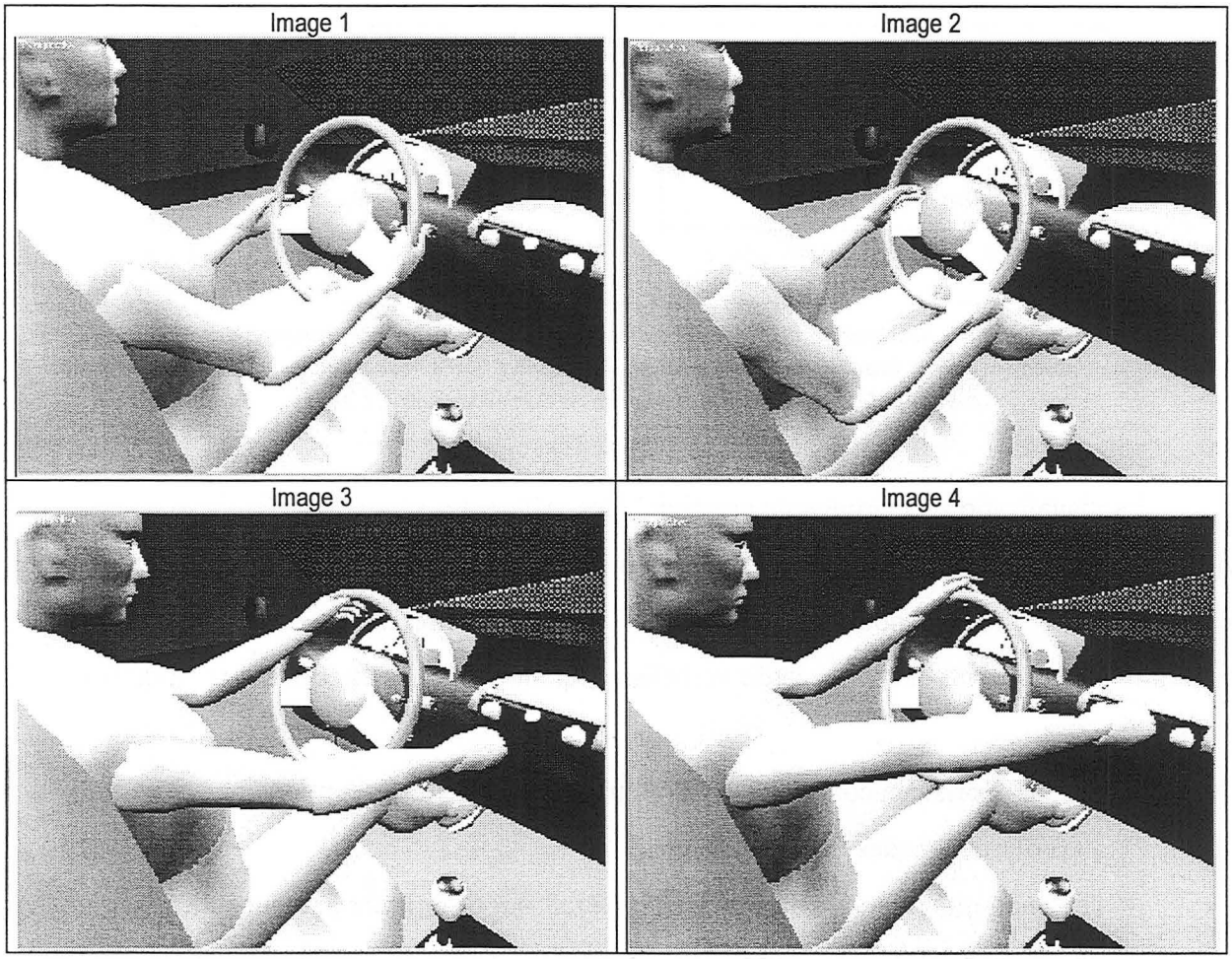


Figure 28 : Extrait de l'un des films en images virtuelles montrant dimension dynamique des supports de coopération utilisés et basés sur "l'activité gestuelle" d'utilisation d'un préconcept d'autoradio

Ainsi, comme le montre la Figure 28, il est possible d'apprécier certaines activités motrices, et en particulier, le mouvement progressif de la main droite de la position "sur volant" (image 1) à la position "sur radio" (image 4). De même, il est possible de visualiser certaines activités visuelles : c'est le mouvement progressif du regard de la position "sur route" (image 1) à la position "sur radio" (image 4).

Les résultats quantitatifs, issus de la démarche de simulation virtuelle des activités motrices inhérentes à l'utilisation future souhaitable du premier préconcept d'autoradio, sont résumés dans la Figure 29 ci-dessous.

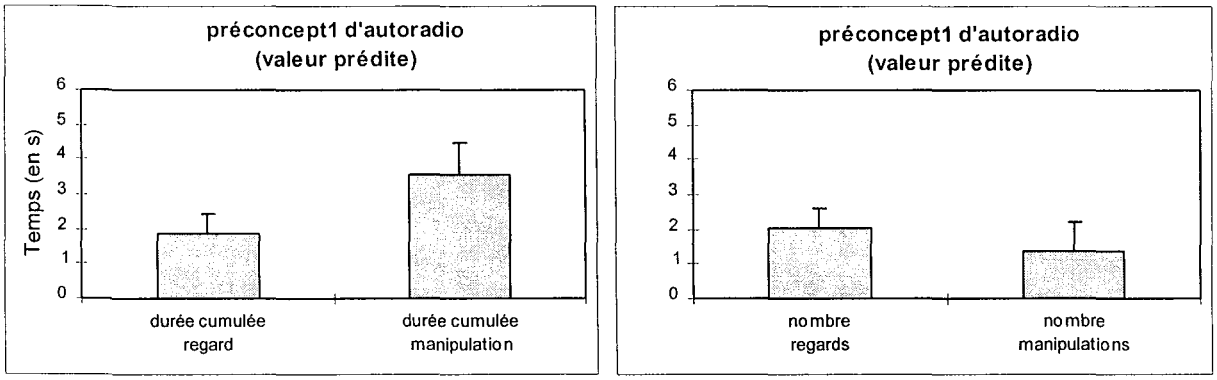


Figure 29 : Valeurs des observables de l'activité calculées pour le premier préconcept d'autoradio. Ces valeurs sont obtenues sur la base des modèles analytiques prédictifs des observables comportementaux en fonction des paramètres de conception du préconcept ($\overline{X} \pm SD$)

La visualisation, en groupe de créativité, des différentes séquences d'activité en images virtuelles, traduisant le comportement global du système Conducteur-Préconcept d'autoradio-Environnement étudié, nous a permis de formuler différentes remarques (données qualitatives). Ces remarques, issues de verbalisations individuelles et collectives, font état, en particulier :

- de la non prise en compte, dans le premier préconcept, de l'option "cassettes audio", au profit des modes : radio, CD, etc.,
- de la non intégration de la fonction "antivol" sur ce premier préconcept,
- de la possibilité de simplifier davantage l'interface proposée, en proposant d'implanter sur un deuxième niveau les sous-fonctions moins fréquemment utilisées (exemple des boutons rotatifs de réglage des balances, de la tonalité, etc.). L'objectif recherché est de diminuer davantage la perturbation de l'activité principale de conduite et donc d'améliorer la sécurité de conduite.

Dans ce contexte, une deuxième itération sur la démarche de recherche coopérative de solutions est engagée, en vue de pallier aux problèmes soulevés sur ce premier préconcept d'autoradio. En effet, il paraît nécessaire de lancer une deuxième étape de recherche de principes de solution, sur la base des problèmes formulés, lors des séances de visualisation et des verbalisations sur les films en images virtuelles. Cette étape permettra d'aboutir à un

deuxième préconcept d'autoradio, version optimisée tenant compte des différentes remarques formulées. Les étapes de modélisation graphique et numérique puis de simulation virtuelle de ce deuxième préconcept d'autoradio seront ensuite menées en vue d'obtenir la validation finale du groupe projet, avant de lancer les études détaillées.

3.3.4 Résultats obtenus à l'issue d'une deuxième itération sur la démarche

Sur la base des résultats obtenus précédemment, il nous est possible de lancer une nouvelle étape de recherche de principes de solution, en vue d'optimiser le premier préconcept d'autoradio proposé. L'optimisation de ce premier préconcept est effectuée en proposant de nouveaux principes de solution palliatifs aux problèmes soulevés lors de la visualisation, en groupe de créativité, des films virtuels traduisant "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation de ce préconcept. Un deuxième préconcept est élaboré sur cette base et à partir des différentes remarques formulées par le groupe projet. Ce deuxième préconcept présente donc les caractéristiques complémentaires suivantes :

- ☞ proposition d'une façade détachable, faisant office d'antivol et de télécommande pour les passagers. En effet, la solution technique proposée pour la liaison entre cette "façade détachable - télécommande" et le reste de l'autoradio pourrait être, par exemple, de type liaison infrarouge,
- ☞ proposition de faire migrer les sous-fonctions moins fréquemment utilisées sur le plan placé derrière la façade détachable de l'autoradio : boutons rotatifs de réglage des balances, de la tonalité, etc. Ceci a pour effet de réduire le degré de complexité du contexte d'exécution des tâches secondaires d'utilisation (réduction du nombre d'unités d'information présentes dans un rayon de 10 cm autour des commandes),
- ☞ une autre proposition formulée, proposition intéressante mais non explorée dans le cadre de notre travail, consiste à intégrer, sur l'autre côté de la façade détachable de l'autoradio, un système de téléphonie mobile couplé à un dispositif de type main libre (activation de la téléphonie mobile en mode "véhicule stationné" et activation de la téléphonie en main libre en mode conduite).

Traiter les problèmes complexes posés par la téléphonie embarquée constitue une question à part entière faisant l'objet de nombreux travaux (PACHIAUDI et al., 1987 ; PACHIAUDI et VERNET, 1990). Nous n'aborderons donc pas davantage ce point dans le cadre du présent travail.

Sur la base de nouvelles spécifications formulées pour le deuxième préconcept d'autoradio, une deuxième étape de modélisation de ce préconcept est engagée. Le modèle graphique et le modèle numérique du deuxième préconcept est redéfini sur la base des nouvelles spécifications (Figure 30 et Figure 31).

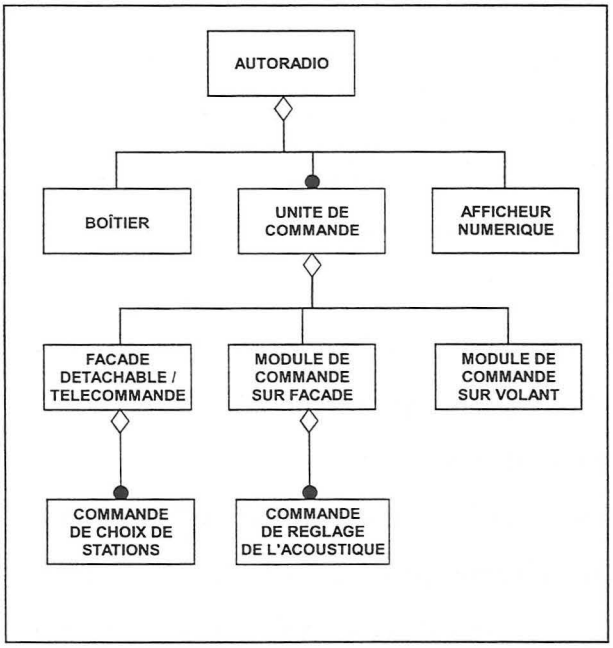


Figure 30 : Extrait du modèle structurel issu de la modélisation graphique sous OMT du deuxième préconcept d'autoradio

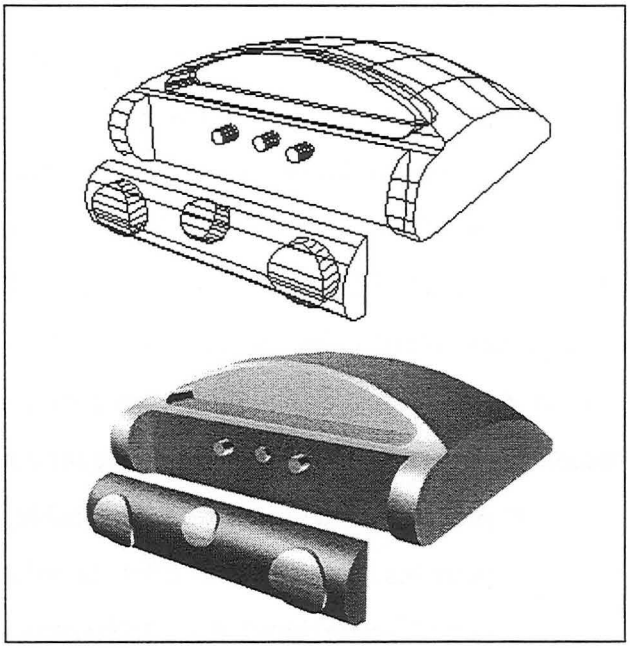


Figure 31 : Extrait du modèle numérique réalisé sous 3D Studio MAX traduisant le préconcept d'autoradio défini lors de la deuxième itération

Ce préconcept dispose désormais d'une télécommande détachable, servant aussi d'antivol, et d'une façade de deuxième niveau sur laquelle sont implantées les fonctions moins fréquemment utilisées.

A l'issue de la modélisation de ce deuxième préconcept d'autoradio, nous avons entamé une deuxième série de simulation virtuelle du comportement dynamique du système Conducteur-Véhicule-Environnement, incluant le futur système. Cette étape de simulation virtuelle, en groupe de créativité, a projeté les acteurs du projet dans certaines situations futures souhaitables d'utilisation du futur autoradio. Cette étape de simulation virtuelle s'appuie principalement sur :

- ☞ les observables comportementaux, issus des modèles statistiques prédictifs, et tenant compte des nouvelles caractéristiques de ce deuxième préconcept d'autoradio,

- les scénarios d'utilisation futurs souhaitables, compte tenu des nouvelles fonctionnalités et des nouvelles caractéristiques du produit,
- des séquences de films en images virtuelles, générées par le logiciel MANERCOS.

De la même manière que pour le premier préconcept, il apparaît différentes données issues de cette étape de simulation virtuelle du comportement du futur système :

- données qualitatives : commentaires sur la faisabilité technique, séquences de films virtuels, résultats de verbalisation des conducteurs sur la base des films, etc.,
- données quantitatives : observables issus de la décomposition sous MANERCOS des activités gestuelles inhérentes à l'utilisation future souhaitable du deuxième préconcept d'autoradio (Figure 32). Ces données sont prédites en considérant une réduction de l'indice de complexité du degré d'exécution de la tâche secondaire.

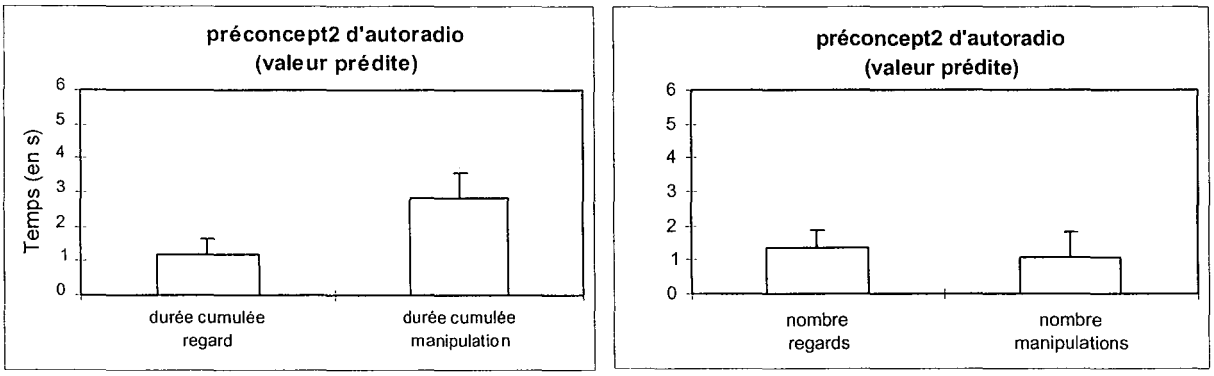


Figure 32 : Valeurs des observables de l'activité calculées pour le deuxième préconcept d'autoradio sur la base des modèles analytiques prédictifs et des nouvelles caractéristiques de ce préconcept ($\overline{X} \pm SD$)

En résumé, il est possible d'établir un comparatif entre les différents préconcepts d'autoradio à travers deux des indicateurs de performance retenus, car liés à "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation : la durée cumulée de regard et la durée cumulée de manipulation. En effet, la Figure 33 traduit l'évolution des durées cumulées de regard et de manipulation prédites pour la même tâche secondaire, en relation avec l'évolution des préconcepts de solution d'autoradio issus des différentes itérations sur la démarche proposée.

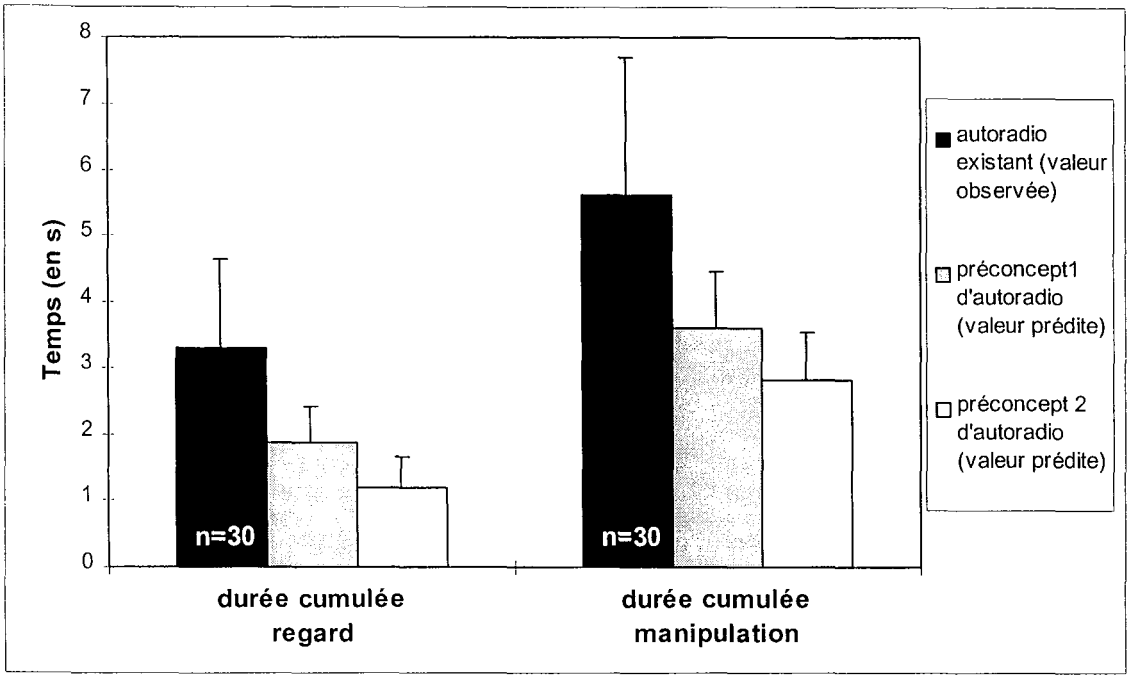


Figure 33 : Evolution des durées cumulées de regard et de manipulation de l'autoradio, pour la même tâche secondaire, au fur et à mesure des itérations et de l'optimisation des préconcepts de solution ($\overline{X} \pm SD$)

A travers la Figure 33, nous notons une diminution des observables comportementaux, liés à l'activité gestuelle secondaire d'utilisation, depuis l'autoradio existant jusqu'au deuxième préconcept élaboré. Cette diminution traduit le résultat de nos efforts dans le sens de l'amélioration de la sécurité de conduite à travers la réduction du volume des activités gestuelles secondaires d'utilisation des systèmes de contrôle-commande d'autoradio, et ce pour préserver l'activité principale de conduite.

Sur cette base, il est maintenant possible d'aborder la discussion des résultats obtenus, à l'issue de l'application de notre démarche de recherche de solutions en 3 étapes : recherche coopérative de principes de solution, modélisation numérique et simulation virtuelle du système étudié comprenant la solution retenue. Cette démarche a été appliquée, en phase d'études préliminaires du projet de conception d'un nouveau système de contrôle-commande d'autoradio, adapté aux futurs utilisateurs.

3.4 Discussion

Suite à l'analyse des différents résultats obtenus, lors des études préliminaires, il est possible de dresser un bilan de notre action basée sur la contribution de la notion "d'activité

gestuelle" d'utilisation au rétablissement d'un certain dialogue entre les différents acteurs de la conception.

L'application, en phase d'études préliminaires, de notre démarche de recherche coopérative de solutions a nécessité deux itérations pour passer d'un autoradio existant à un concept final innovant, et ce en explorant différents préconcepts de solution. Rappelons qu'à certaines étapes de cette démarche, des boucles de rétroaction ont été engagées pour valider les résultats obtenus au regard des spécifications de l'étape précédente. Il ressort de l'application de cette démarche de recherche de solutions différentes données objectives et subjectives sous forme de :

- ☞ schémas fonctionnels, croquis, commentaires sur le principe de fonctionnement des différentes solutions proposées,
- ☞ modèles graphiques basé sur les formalismes orientés objet et modèles numériques reproduisant le système Conducteur-Autoradio-Environnement,
- ☞ séquences de films vidéographiques traduisant les "activités gestuelles" réelles d'utilisation des autoradios existants, séquences de films en images virtuelles traduisant le fonctionnement du futur autoradio ainsi que "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation associées.

Parmi toutes ces données générées, nous avons retenu différents documents en vue de les insérer dans le dossier de spécification du produit, dossier faisant office de référence pour la suite du projet, en complément du cahier des charges fonctionnel. Il s'agit, à titre d'exemple, des modèles graphiques (classes d'objets sous OMT) et numériques (modèles géométriques CAO) traduisant la **dimension structurelle du concept**. Il s'agit aussi de modèles graphiques (Statecharts) et numériques (comportements élémentaires, scénarios, séquences de films virtuels) traduisant le **comportement dynamique du concept** ainsi que des activités gestuelles futures souhaitables d'utilisation associées.

Il est maintenant possible de résumer la démarche de recherche coopérative de solutions que nous avons mise en oeuvre lors du projet de conception d'un nouvel autoradio. Destinée à être appliquée en phase d'études préliminaires, cette démarche s'appuie sur des étapes de modélisation graphique et numérique ainsi que sur des étapes de simulation virtuelle du futur système. Elle est alimentée par les données analytiques issues du cahier des charges fonctionnel (recommandations ergonomiques générales et spécifiques) et par les idées

innovantes formulées lors de séances de créativité. Cette démarche de recherche coopérative de solution, proche des travaux de RAUCENT et al. (1997), est illustrée à la Figure 34.

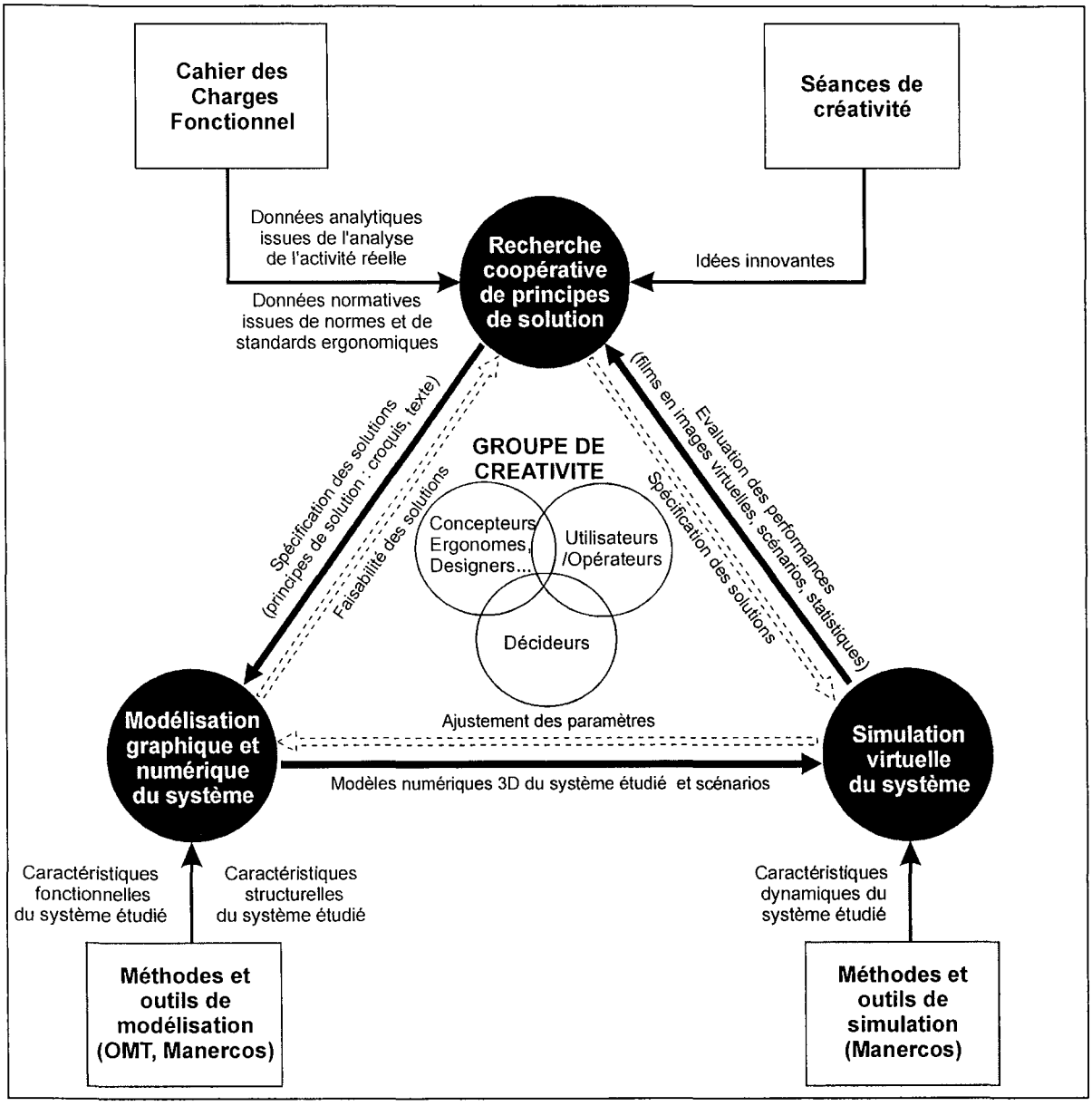


Figure 34 : Démarche de recherche coopérative de solutions basée sur la modélisation graphique et numérique du système et la simulation virtuelle de certaines activités futures souhaitables d'utilisation - Démarche proche des travaux de RAUCENT et al. (1997)

Cette démarche, dont l'objectif est d'aboutir à des préconcepts de produits nouveaux, intégrant les résultats issus de l'analyse de "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation des commandes existantes, est articulée autour de 3 différentes étapes. Elle comporte une étape de recherche coopérative de principes de solution innovants intégrant : résultats analytiques issus de l'analyse de l'activité réelle, données normatives issues de normes et de standards

ergonomiques (WOODSON et al., 1978 ; AFNOR, 1995), idées innovantes formulées en adoptant une vision systémique et globale (DURAND, 1994).

Par la suite, une étape de modélisation graphique, sous OMT, puis de modélisation numérique des solutions retenues est engagée, sous MANERCOS. Basée sur des principes de orientés objet, cette étape de modélisation est adoptée en appliquant des modèles issus de l'informatique (SPERANDIO, 1995).

Il est ensuite possible d'entamer l'étape de simulation virtuelle du comportement dynamique du futur système Homme-Produit-Environnement dans les différentes situations d'action caractéristiques, identifiées en phase d'étude de faisabilité.

Initialisée à partir du système Homme-Produit-Environnement existant, cette démarche débute par l'étape de recherche coopérative de principes de solution, puis se termine, après plusieurs itérations, par l'étape de simulation du système Homme-Produit-Environnement incluant le nouveau concept de produit retenu. A chaque étape, il est possible d'effectuer un retour arrière sur les étapes précédentes, c'est la boucle de rétroaction sur la démarche proposée. Une telle démarche se veut coopérative de part la nécessaire collaboration qu'elle implique entre les différents acteurs de la conception et ceci grâce à de nouveaux "objets intermédiaires de la conception" constituant des supports de coopération intelligibles par tous. Il s'agit, en particulier, de **la maquette virtuelle du produit dans ses différentes situations d'utilisation**, situations matérialisées par des films en images virtuelles traduisant "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation associées au futur produit.

A travers les différents résultats quantitatifs et qualitatifs issus d'une telle démarche de recherche coopérative de solutions, il devient possible d'appréhender de manière plus concrète cette notion de "champ des activités futures souhaitables" (SAGOT et al., 1997). D'un point de vue pragmatique, et ceci grâce à l'utilisation de l'outil MANERCOS, nous avons pu appliquer, dans le cadre du projet de conception d'un nouveau système de contrôle-commande d'autoradio, les principales propositions formulées au début de ce travail. Ces propositions visent, rappelons-le, à rétablir le dialogue entre les différents acteurs de la conception via la notion charnière "d'activité gestuelle d'utilisation". En effet, les fonctionnalités du logiciel MANERCOS nous ont largement facilité les étapes de dépouillement des films vidéographiques réels ainsi que les étapes de modélisation numérique et de simulation virtuelle du futur système.

D'un point de vue plus méthodologique, il est important de souligner que les étapes **d'analyse de "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation** des produits existants et de **simulation virtuelle de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation** ont effectivement été le principal support de coopération lors de notre projet de conception. Les scénarios mis en oeuvre, lors de la recherche coopérative de solutions d'autoradio, ont été déterminants dans la mesure où ils ont été construits sur la base d'une analyse de "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation des autoradios existants (VILLAME, 1994). La démarche adopté au cours du projet a permis d'établir, de notre point de vue, un certain niveau de coopération entre ergonomes et ingénieurs sur le terrain de l'utilisabilité du produit, à travers la notion "d'activité gestuelle d'utilisation".

A travers l'exemple du projet de conception d'un nouveau système de contrôle-commande d'autoradio nous montrons **la nécessité de faire évoluer les méthodes et les outils utilisés pour pallier aux difficultés dynamiques de coopération entre les différents acteurs de la conception**. Comme nous l'avons évoqué au début de ce chapitre, la démarche "clinique" d'analyse de "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation, particulièrement bien adaptée à l'étude des autoradios existants, en phase d'étude de faisabilité, s'est avérée insuffisante lors de la recherche de solutions, en phase d'études préliminaires. Confrontés au paradoxe de l'ergonomie de conception, nous avons dû changer de perspective en nous plaçant, grâce aux outils de modélisation numérique et de simulation virtuelle, dans le registre du "projectif" évoqué par MALINE (MALINE, 1994a ; MALINE, 1994b ; MALINE, 1997). Par contre, à la différence des supports utilisés par cet auteur : modèles physiques sous forme de maquettes et modèles graphiques sous forme de croquis, nous avons pu aborder **les apports d'un autre support de coopération : le modèle numérique.** A travers de tels supports de coopération, il est possible, pour l'ergonome, de dépasser le rôle traditionnel d'observateur des situations existantes et d'accompagnateur du projet de conception (GUERIN et al., 1994). En effet, en participant à la recherche coopérative de solutions en groupe de créativité sur maquette virtuelle, chaque métier, impliqué dans le projet, devient un acteur à part entière du processus de conception de produits (RAMACIOTTI, 1995).

4. Conclusion

Les résultats issus de ce chapitre représentent le point central de notre travail, dans la mesure où nous avons pu appliquer les méthodes préconisées et les outils développés dans le cadre d'un projet concret de conception : la définition d'un nouveau système de contrôle-commande d'autoradio. En effet, c'est en nous appuyant sur des méthodes et des outils de modélisation numérique et de simulation virtuelle du système Conducteur-Autoradio-Environnement que nous avons pu dépasser "le paradoxe de l'ergonomie de conception". A travers de telles méthodes et de tels outils nous avons pu montrer une contribution de "l'activité gestuelle" d'utilisation, qu'elle soit réelle ou virtuelle, au processus de conception de produits nouveaux. A travers la nouvelle approche mise en oeuvre, les concepteurs peuvent accéder à la richesse des données qualitatives et quantitatives issues de "l'activité gestuelle" d'utilisation, et ceci en complément de leur approche de prédilection, basée sur les normes et standards ergonomiques.

En effet, c'est en proposant une démarche spécifique de recherche coopérative de solutions, au cours de la phase d'études préliminaires, que nous nous proposons de fédérer les efforts du groupe projet autour de la construction collective de solutions autour de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation associées.

Prenons l'exemple du système de contrôle-commande d'autoradio traité dans ce chapitre. L'application de la démarche de recherche coopérative de solutions en 3 temps (recherche coopérative de principes de solution, modélisation numérique et simulation virtuelle du système) a nécessité deux itérations pour aboutir à un concept final, validé par le groupe projet. La philosophie générale guidant le groupe projet lors de la recherche de principes de solution est d'adopter une approche "anthropocentrique" (approche centrée sur l'utilisateur), au lieu des approches "technocentriques" (approches centrées sur la technique) traditionnellement appliquées par les concepteurs (RABARDEL, 1995). En effet, dans la plupart des cas, les choix de conception relatifs à l'interface Homme-Produit sont le plus souvent dictés par les contraintes techniques imposés par la spirale "Qualité-Coûts-Délais", au lieu de considérations propres à l'utilisabilité du produit. Le concept final d'autoradio retenu à l'issue de l'application de la démarche se caractérise par :

- un module principal comportant un afficheur et implanté sur la planche de bord. La particularité de ce concept est de disposer de 2 niveaux de commandes. Le niveau

de commandes apparent est simplifié à l'extrême (trois boutons poussoirs) pour des raisons de moindre perturbation de l'activité principale de conduite,

- un module secondaire implanté sur le volant, dont l'innovation principale est de disposer d'une fonction de réglage automatique du niveau du volume de l'autoradio. Cette fonction est proposée pour éviter les réajustements fréquents du volume de l'autoradio, en fonction du niveau sonore ambiant.

Au vu de l'adhésion des différents acteurs du projet à la démarche, il semblerait que les résultats obtenus démontrent la pertinence des méthodes et des outils préconisés pour la conception de nouveaux systèmes de contrôle-commande d'autoradio. En effet, l'utilisation de méthodes de modélisation numérique et de simulation virtuelle du futur système et des activités gestuelles futures souhaitables associées, constituent l'apport central de notre travail visant à passer de la position d'observateur à celle d'acteur créatif dans le processus de conception de produits innovants (RAMACIOTTI, 1995 ; GOMES et al., 1998a ; GOMES et al., 1998b)

La spécificité de notre approche réside également dans l'utilisation de principes orientés objet (abstraction, hiérarchie, encapsulation des données et modularité) qui se prêtent particulièrement bien à l'analyse et à la conception des systèmes complexes (KOLSKI, 1997 ; PARROCHIA, 1998). Ces principes ont été appliqués à travers l'utilisation de la méthode de modélisation graphique OMT. Ce formalisme orienté objet a été utilisé pour la spécification des solutions, spécification sous la forme d'un document graphique papier, support d'échange privilégié entre les acteurs de la conception (BEGUIN, 1994 ; BEGUIN et WEILL-FASSINA, 1997). L'utilisation du formalisme OMT, pour créer un modèle graphique du système, permet d'assurer une transition objective entre les principes formulés en réunion de travail, lors de la recherche de solutions, et la modélisation numérique du système Conducteur- Autoradio-Environnement, sous MANERCOS.

L'architecture du logiciel de modélisation numérique et de simulation virtuelle, baptisé MANERCOS, respecte également les principes de l'objet, évoqués précédemment. En étant développé à l'aide du langage Orienté Objet C++ (BADOUEL et KHALED, 1993), ce logiciel permet d'assurer la pérennité du format des données manipulées entre le modèle graphique et le modèle numérique du système Conducteur-Autoradio-Environnement.

Le logiciel MANERCOS fait l'objet du prochain chapitre. En effet, c'est au cours du chapitre IV, que nous nous proposons de décrire de manière plus détaillée l'architecture et les

fonctionnalités de MANERCOS. Ce logiciel a été développé et appliqué, en phase d'études préliminaires du projet de conception d'un nouvel autoradio, pour supporter la méthode proposée et ainsi faire face aux différents problèmes méthodologiques déjà évoqués.

CHAPITRE IV

MANERCOS, UN OUTIL DEDIE A LA CONCEPTION DE PRODUITS ADAPTES AUX FUTURS UTILISATEURS

1. Introduction

Il s'agit au cours de ce chapitre, de présenter l'outil que nous avons élaboré dans le cadre de ce travail : le logiciel MANERCOS (Module d'ANalyse pour l'ERgonomie et la COnception des Systèmes). Cet outil a été développé afin d'allier l'analyse de "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation des autoradios existants à la modélisation numérique du futur système Conducteur-Préconcept d'autoradio-Environnement dans un but de simulation virtuelle de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation. Face à ce nouveau besoin et suite à un état de l'art sur les outils informatiques existants, il s'agit d'analyser la faisabilité de ce nouvel outil d'analyse, de modélisation numérique et de simulation virtuelle basé sur "l'activité gestuelle" d'utilisation.

Le principal objectif de ce nouvel outil est de s'intégrer dans la démarche de recherche coopérative de solutions mise en oeuvre au cours du précédent chapitre. Basé sur des principes orientés objet et destiné à la modélisation numérique et à la simulation virtuelle, ce nouvel outil génère des "objets intermédiaires de la conception" centrés sur "l'activité gestuelle" d'utilisation. De tels objets, en tant que support de coopération, ont permis à chacun des participants du projet de conception de se construire progressivement une représentation pertinente des caractéristiques structurelles, fonctionnelles et dynamiques du futur système en cours de définition.

En effet, les différents problèmes rencontrés en phase d'études préliminaires ont montré la nécessité de faire évoluer les méthodes et les outils utilisés, en particulier, lorsqu'il s'agit de préserver la notion "d'activité gestuelle" d'utilisation, en tant que support de coopération, lors de la recherche de solutions. A travers un logiciel d'aide à la conception de produits adaptés aux futurs utilisateurs, car centré sur "l'activité gestuelle" d'utilisation, nous pensons pouvoir apporter des premières réponses aux problèmes rencontrés. Dès lors, il est possible d'aborder les principales fonctionnalités attendues pour le nouvel outil MANERCOS en généralisant le cadre d'étude du système Conducteur-Autoradio-Environnement, au système Homme-Produit-Environnement.

Le logiciel doit permettre une analyse des activités gestuelles réelles d'utilisation à partir de l'observation vidéographique des situations d'utilisation existantes ou de référence.

Cet outil disposera d'un modeleur géométrique tridimensionnel suffisamment développé permettant la modélisation structurelle du système Homme-Produit-Environnement. Dans ce cadre, MANERCOS devra proposer un Module de modélisation

anthropométrique permettant la réalisation des évaluations classiques en ergonomie, selon les critères suivants : mannequin virtuel totalement articulé et précontraint, gestion des mouvements en 3D temps réel par cinématique directe ou inverse, gestion de postures prédéfinies, banque de données anthropométrique couplée à une échelle anthropométrique paramétrée, zones de préhension, champs visuels, etc.

Le logiciel MANERCOS devra également disposer de fonctions d'animation suffisamment développées permettant la simulation du comportement dynamique du système étudié et, en particulier, de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation associées. L'objectif affiché est pouvoir générer des "objets intermédiaires", constituant de véritables supports de coopération car facilitant la construction de représentations, communes à l'ensemble des acteurs du projet, sur le fonctionnement du futur système. Ceci se traduit, en particulier, par l'élaboration de films en images virtuelles en relation avec "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation du produit en cours de conception.

Afin de bénéficier de toute la souplesse du modèle numérique, MANERCOS permettra de sauvegarder et de visualiser, a posteriori, les différentes séquences d'activités issues de la simulation virtuelle. Ceci sera possible au fur et à mesure des modifications successives apportées sur le système Homme-Produit-Environnement à concevoir. Il s'agit, par ce biais, de contribuer à visualiser et à construire collectivement le "champ des activités futures souhaitables" d'utilisation du nouveau concept de produit.

A l'ensemble de ces fonctionnalités souhaitées pour le logiciel MANERCOS, s'ajoute un certain nombre de contraintes supplémentaires qui concernent, plus particulièrement, l'architecture générale du logiciel. Cette architecture doit être ouverte, compatible et évolutive. En d'autres termes, l'architecture proposée doit permettre les échanges de données entre systèmes de différente nature, ce qui pose la question de la compatibilité des formats des fichiers (modèles géométriques, fichiers d'animation, etc.). Elle doit également autoriser des développements supplémentaires pour améliorer les fonctions existantes et des développements spécifiques en fonction du terrain d'application.

Enfin, il s'agit également de veiller à ce que l'interface logicielle proposée pour le logiciel MANERCOS soit une interface ergonomique : interface qui tienne compte de l'efficacité et du confort d'utilisation (présentation, intelligibilité, cohérence, etc., des informations).

Suite à l'énoncé des différentes méthodes et techniques appliquées pour le développement du logiciel MANERCOS, nous ferons état des premiers résultats obtenus sous la forme d'une description des fonctionnalités, de l'architecture et des modalités d'utilisation de la première version de ce logiciel. Rappelons qu'une première phase de validation de cette version de MANERCOS a déjà été menée, au chapitre précédent, par son application au projet de conception d'un nouveau système de contrôle-commande d'autoradio.

2. Méthodes et techniques

Face au besoin formulé précédemment nous avons d'abord effectué un état de l'art sur les logiciels, issus de grands distributeurs, disponibles sur le marché et répondant au besoin identifié. Cependant, suite à quelques explorations dans le domaine de ces grands distributeurs de logiciels, nous avons très rapidement pris conscience de la nécessité de développer un nouveau logiciel pour disposer des fonctionnalités requises pour mener à bien les objectifs fixés.

Comme l'illustre la Figure 35, certains travaux ont déjà été menés au sein de L'Equipe d'Ergonomie et de Conception de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard (L'ERCO-UTBM). En effet, différents modèles anthropométriques numériques ont été créés et utilisés dans le cadre de différents travaux de recherche (SAGOT et al., 1995 ; SAGOT, 1996 ; GOMES et SAGOT, 1996a ; GOMES et SAGOT, 1996b ; SAGOT et ZWOLINSKI, 1996).

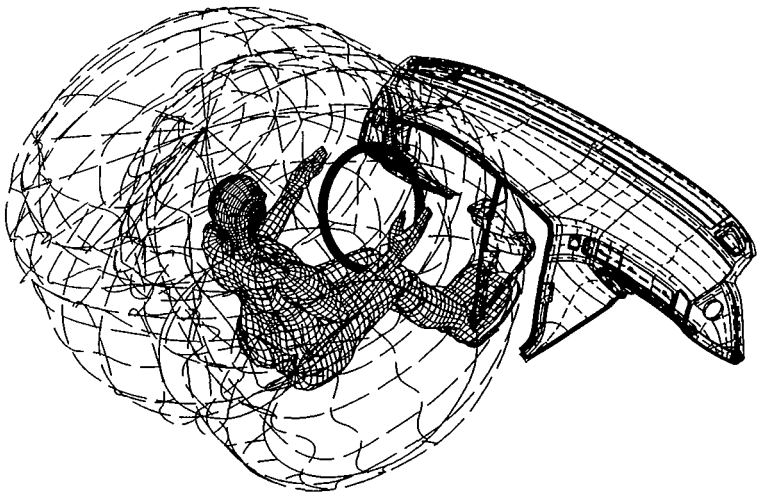


Figure 35 : Illustration du premier mannequin développé par L'ERCO sur CATIA. Exemple de représentation de la limite d'atteinte digitale du 5ème centile masculin prévisionnel en station assise de confort de conduite automobile (GOMES et SAGOT, 1996)

Ces différents modèles anthropométriques, proposés dans l'environnement d'un logiciel de CAO disponible sur le marché (CATIA - Dassault Systèmes), ont pu faire leurs preuves, en particulier, lors du projet de conception du poste de conduite du TGV Nouvelle Génération. Ce projet a été mené dans le cadre d'une collaboration IPSE-SNCF-ALSTOM, sous l'impulsion du programme national PREDIT 1996 (ZWOLINSKI, 1998).

L'orientation que nous avons choisie, consiste à effectuer des développements spécifiques s'appuyant sur une architecture logicielle existante : celle d'un logiciel de CAO ou d'infographie disponible sur le marché. Ce logiciel devra nécessairement présenter des prédispositions en terme :

- de performance du modeleur tridimensionnel, pour la modélisation numérique du système étudié (modélisation géométrique en 3 dimensions),
- de performance de l'animateur et de possibilités de synchronisation des événements avec une bande vidéographique, pour réaliser l'analyse de l'activité réelle observée et pour ensuite générer des séquences de films virtuels,
- de possibilités de manipulation des éléments du système modélisé, en cinématique directe ou inverse, pour permettre une bonne interaction de l'utilisateur du logiciel avec les différents objets géométriques, composant le système,
- de compatibilité et d'évolutivité de l'architecture du logiciel de CAO hôte, permettant ainsi de pouvoir communiquer avec d'autres logiciels du marché.

Notre choix s'est finalement arrêté sur le logiciel 3D Studio MAX de la société KINETIX (1997), fonctionnant sur Micro-ordinateur PC. Outre la disponibilité de l'ensemble des fonctionnalités requises pour répondre au besoin formulé précédemment, ce choix se justifie par l'exceptionnel rapport "performances générées / ressources requises" du logiciel 3D Studio MAX. Basée sur une technique de programmation "orientée objet", l'architecture hautement extensible de ce logiciel encourage le développement, en langage C++, de nouveaux modules d'extension, partageant les mêmes interfaces utilisateur et tous les outils de base de 3D Studio MAX.

Dans ce contexte, le développement de notre outil d'évaluation et de conception des systèmes Homme-Produit-Environnement a donc consisté en une délicate conjugaison entre :

- les fonctionnalités proposées en standard par le logiciel 3D Studio MAX, logiciel disponible dans le commerce,

☞ les fonctionnalités spécifiques que nous avons développées en C++, en utilisant les modèles géométriques de mannequins 3D proposés par HUMANOÏD (1994).

Dans le cadre de la conception du logiciel MANERCOS, nous avons tenu à appliquer notre démarche de conception de produits (voir Figure 3 à la page 25). Cette démarche, rappelons-le, se traduit sous la forme d'un processus de conception rétroactif et coopératif constitué d'une succession de phases d'analyse (expansion), de phases de synthèse (réduction) et de phases de validation (rétroaction). L'ensemble de cette démarche de conception est centrée sur une approche coopérative de la conception, de part la contribution active des utilisateurs du produit aux différents choix de conception effectués traditionnellement par les seuls concepteurs et décideurs. De cette manière, et en s'appuyant sur la dimension fondamentale que constitue l'analyse de l'activité, objet de coopération entre les acteurs de la conception (FILIPPI et al., 1995), les utilisateurs deviennent co-concepteurs, constituant ainsi un gage de qualité, de sécurité et de confort d'utilisation du futur produit (SAGOT et GOMES, 1997).

Traditionnellement, la création d'un tel logiciel passe par des étapes rigoureusement définies de spécification, de conception, de programmation et de test de l'application. Ces étapes de conception, très répandues dans le domaine du génie logiciel, traduisent un processus de conception séquentiel et rétroactif. A titre d'exemple, nous évoquons le cycle séquentiel de développement en V traduit par CALVEZ (1990) et illustré à la Figure 36.

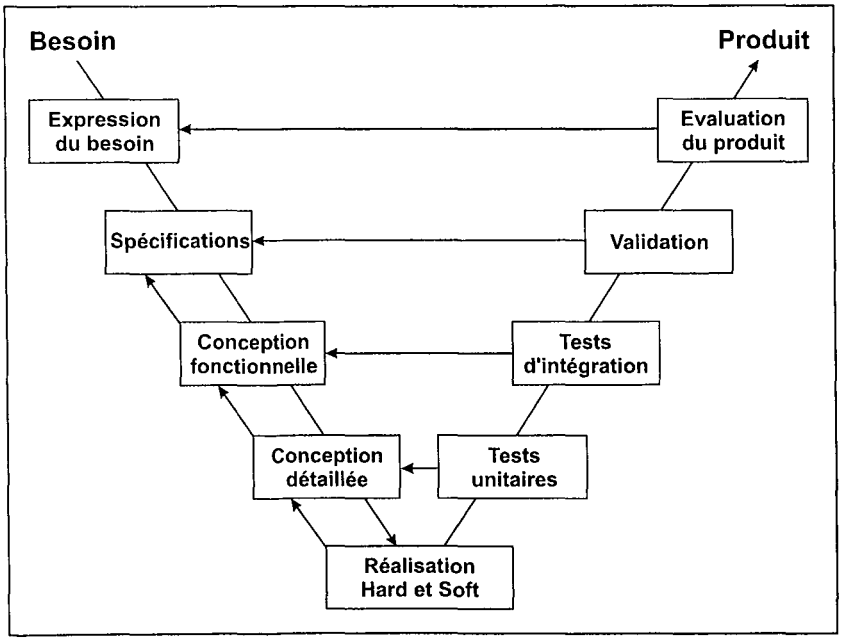


Figure 36 : Le cycle de développement en V utilisé pour la conception de logiciels informatiques (d'après CALVEZ, 1990)

Ce processus de conception séquentiel et rétroactif, déjà évoqué au premier chapitre, se caractérise par : une phase descendante de spécification allant de l'expression du besoin à la réalisation "hard" et "soft" de l'application informatique, une phase ascendante de qualification allant de la réalisation "hard" et "soft" à l'évaluation du produit.

Dans le domaine du génie logiciel, avec l'avènement des technologies orientées objet, de nouvelles méthodes de programmation apparaissent. Ces nouvelles méthodes favorisent la création de composants autonomes et génériques qui pourront être intégrés dans des applications diverses. Le concept de "logiciel d'assemblage", constitué de différents "composants" autonomes, est de plus en plus appliqué. L'intérêt d'une telle démarche, basée en particulier sur la constitution de "banques de composants" à partir de développement de composants en interne, voire même de l'achat de composants sur le marché, est de représenter des gains de temps considérables et de pouvoir faire évoluer facilement les logiciels. Ainsi, avec la notion de "réutilisation", notion clé de la nouvelle informatique utilisant des techniques orientées objet, il devient inutile de tout réinventer pour chaque projet. Dans cette optique, tout nouveau projet informatique se doit d'utiliser le maximum de composants existants et de produire lui-même, des composants réutilisables dans d'autres applications.

En effet, dans un logiciel réalisé en technologie orientée objet, données et procédures de traitement ne sont plus séparées comme dans un programme classique. Un logiciel devient un assemblage "d'objets" autonomes contenant chacun des données et des traitements. Ces objets sont regroupés en classes, lorsqu'ils ont des propriétés identiques, et communiquent par des messages. Des langages spécialisés tels que le C++ ont été créés pour faciliter ce type de programmation (BADOUEL et KHALED, 1993). L'avènement de la technologie orientée objet ne correspond pas seulement à une simple évolution des langages informatiques. La conception par objet modifie en profondeur l'activité des concepteurs de logiciels dans la mesure où, au-delà des compétences individuelles, elle brouille la définition des fonctions dans l'équipe de conception. En effet, les phases d'analyse, de conception et de programmation étant moins nettement séparées, il en résulte une nouvelle répartition des tâches, ouvrant plus facilement la voie à la nécessaire coopération entre utilisateurs, concepteurs et décideurs. Ainsi, au processus de conception séquentiel traditionnel, tel que celui illustré à la Figure 36

page 123, se substitue une approche coopérative qui, à partir d'une maquette, aboutira progressivement au logiciel final répondant aux besoins des utilisateurs.

C'est en appliquant cette philosophie de conception de logiciels, intégrant la technologie orientée objet et notre vision de la démarche de conception, que nous avons développé l'outil logiciel MANERCOS (Figure 37).

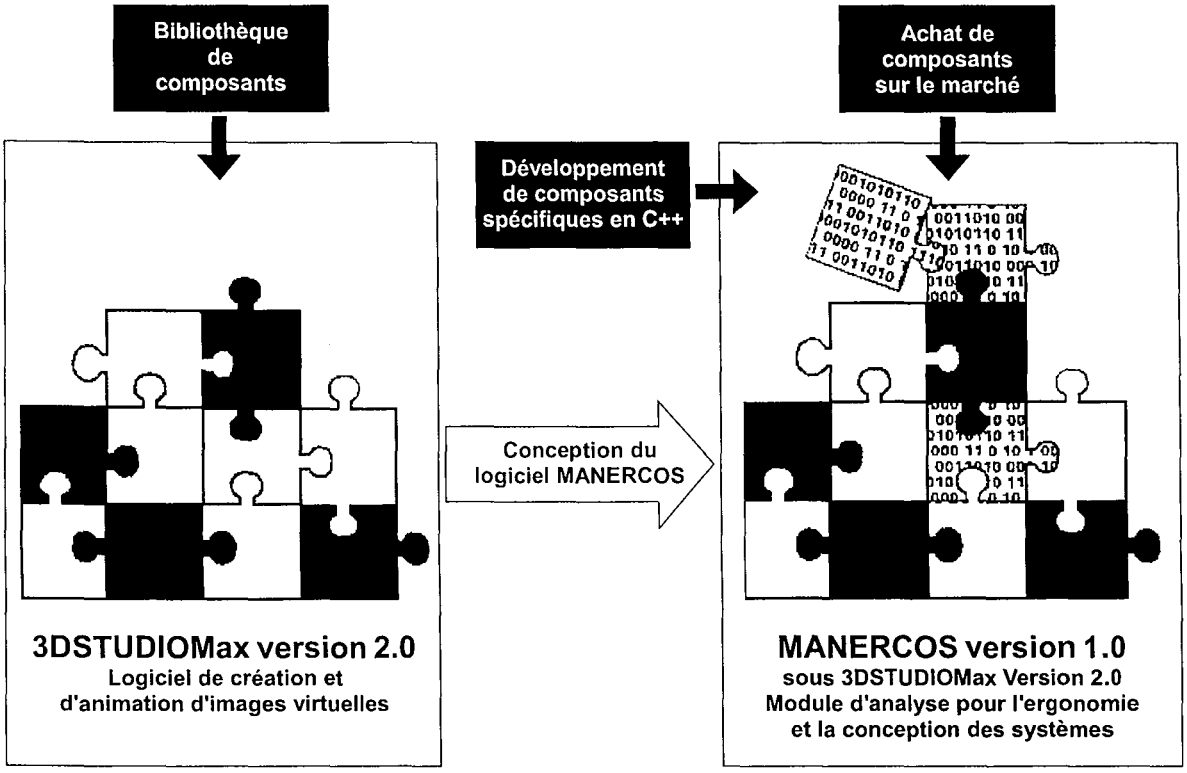


Figure 37 : Contexte mis en oeuvre pour le développement du logiciel MANERCOS - Construction du logiciel MANERCOS par l'assemblage de composants autonomes et génériques puisés dans une bibliothèque, directement développés en C++ ou achetés sur le marché

Pour ce faire, nous avons mis en place un groupe projet au sein duquel plusieurs spécialités sont représentées :

- ingénieurs en informatique spécialistes du langage orienté objet C++, de la programmation sous 3D Studio MAX et de l'ergonomie des Interfaces Homme-Machine,
- futurs utilisateurs du logiciel MANERCOS. Ce sont des concepteurs de produits sensibilisés aux problèmes d'ergonomie de conception.

En effet, le développement du logiciel MANERCOS a été le fruit d'une coopération entre concepteurs en informatique produisant différents niveaux de prototype du logiciel et

futurs utilisateurs du logiciel appliquant simultanément ces différents prototypes à différents projets de conception de produits en cours. De cette manière, et au vu des résultats obtenus, nous avons pu montrer l'importance de la prise en compte de l'activité des utilisateurs, lors de la conception d'un logiciel répondant au besoin identifié. En effet, c'est en appliquant un processus rétroactif et coopératif de conception de logiciels, basé en particulier sur la technologie de l'orienté objet, que nous avons pu expérimenter, dans le domaine de la conception de logiciels, notre vision de la conception de produits préconisée dans le cadre de ce travail.

Reste maintenant à présenter la première version du logiciel MANERCOS : notre réponse au besoin identifié, à l'issue des trois premiers chapitres. Ce logiciel, décrit au paragraphe suivant, représente le résultat de notre démarche de conception appliquée à la conception coopérative d'applications informatiques.

3. Résultats

3.1 Etat de l'art sur les outils logiciels existants

De nombreux outils de CAO 3D, permettant la modélisation numérique d'équipements ou de locaux, couplée à la définition de modèles anthropométriques numériques, ont fait leur apparition sur le marché. L'augmentation sans cesse croissante de la puissance de calcul des systèmes informatiques a conduit à une explosion des performances de tels logiciels. Ceux-ci permettent désormais d'analyser : l'encombrement spatial du système Homme-Produit-Environnement étudié, les postures adoptées l'utilisateur (l'opérateur) en tenant compte de la variabilité anthropométrique, les champs visuels, les contraintes biomécaniques, etc.

La plupart de ces logiciels disposent de vastes banques de données relatives aux segments corporels entrant dans la construction des différents mannequins proposés : dimensions anthropométriques, distribution des masses, propriétés inertielles, etc.

BOEMAN, le premier logiciel de gestion de modèles anthropométriques numériques, a été utilisé par BOEING à la fin des années 60 pour mettre en adéquation : données anthropométriques des pilotes et dimensions du cockpit. D'après DOOLEY (1982),

l'utilisation de ce logiciel était assez fastidieuse du fait de son manque d'interactivité lié à l'absence de connexion à un terminal écran, voire même à un clavier. L'entrée des données s'effectuait à l'aide de cartes perforées, la mise en œuvre du programme et les calculs associés étaient réalisés en "mode batch". Ce mode consiste à réaliser des tâches de traitement, de manière non interactive.

DAS et al. (1995), ont réalisé un état de l'art sur 6 différents outils parmi les 21 récemment évoqués dans la littérature. Ces auteurs se sont particulièrement intéressés aux 6 outils suivants : COMBIMAN, CREWCHIEF, CYBERMAN, JACK, SAMMIE et MQPRO. Ils ont réalisé des analyses comparatives en terme de type de plate-forme informatique requise ou de type de génération des modèles utilisé, pour représenter le système Homme-Produit-Environnement analysé. Ces auteurs se sont aussi intéressés à la nature des banques de données anthropométriques utilisées, aux possibilités d'analyse selon les méthodes multivariées, à la structure du modèle anthropométrique utilisé, à l'analyse de son atteinte manuelle, aux capacités d'analyse de sa perception visuelle, etc.

Dans ce cadre, nous proposons un tableau récapitulatif de l'état de l'art des outils existants, en réactualisant certains travaux de la littérature (PORTER et al., 1993 ; DAS et al., 1995), par la prise en compte des développements récents de SAFEWORK et de l'apparition récente du logiciel RAMSIS. Le Tableau 9 traduit un récapitulatif des caractéristiques des différents outils de modélisation anthropométriques suivants : MQPRO, JACK, SAFEWORK et RAMSIS. Ce tableau propose une comparaison entre ces quatre logiciels, sur la base des critères listés au paragraphe précédent, en mettant en valeur leurs points faibles et leurs points forts. Nous avons choisi d'évoquer, à titre indicatif, ces quatre outils pour montrer la diversité de l'offre logicielle présente actuellement sur le marché.

La lecture du Tableau 9 fait apparaître certaines différences entre ces outils du point de vue de la plate-forme informatique, des banques de données anthropométriques utilisées, de la structure des mannequins, des possibilités d'animation et des fonctions d'évaluation proposées : atteinte, vision, détection de collision, etc. Un aperçu de l'environnement proposé par chacun de ces quatre outils est illustré de la Figure 38 à la Figure 41.

Attributs du logiciel	MQPRO	JACK	SAFEWORK	RAMSIS
plate-forme informatique requise	Micro-ordinateur PC	Station IRIS 4D, Indigo, Indy	Station R4400, Indigo2 R4400	Station HP9000, Indy, Indigo2, Onyx, IBM RS6000
mode de génération des modèles d'espace de travail	primitives géométriques 3D inclues	en général, importation des modèles à évaluer	primitives géométriques 2D inclues	primitives géométriques 3D inclues
banque de données anthropométrique	2.5ème, 5ème, 50ème, 95ème, 97.5ème centiles de 11 nationalités, données Natick US Army, données NASA-STD 3000	Données NASA, données issues de mesures par scanner biostéréométrique	Données Natick US ARMY	Données population allemande, éditeur anthropométrique
méthodes multivariées	non disponible	possible	possible	possible
structure du modèle anthropométrique	46 segments corporels+paramètres de mouvement précontraints	88 segments corporels+paramètres de mouvement précontraints	103 variables anthropométriques 7 morphologies différentes	38 segments corporels+paramètres de mouvement précontraints
manipulation du modèle, analyse de l'atteinte	mode interactif à la souris, atteinte point ou zone	mode interactif à la souris, module dynamique	mode interactif à la souris, module cinématique inverse	mode interactif à la souris, module dynamique
analyse de la perception visuelle	vision graphique à partir de l'œil du mannequin, cône visuel, limites centrale et périphérique	vision graphique à partir de l'œil du mannequin, cône visuel, limites centrale et périphérique	vision graphique à partir de l'œil du mannequin, 4 types de visions, 6 cônes visuels différents	vision graphique à partir de l'œil du mannequin, 3 cônes visuels : œil droit, gauche et cyclope.
autres outils d'analyse disponibles	Module d'animation, Module de calcul des contraintes biomécaniques lombaires (NIOSH), Module de gestion de la marche	Module d'importation de modèles CAO, Module d'animation, Module de gestion de la marche, Calcul de couples de préhension manuelle, Module de calcul des contraintes biomécaniques lombaires NIOSH, Module de détection de collision, Générateur d'effets visuels : rendu ombré temps réel, miroirs temps réel, etc., Modules externes de programmation : LISP, C API.	Module d'importation de modèles CAO, Module d'animation, Module d'analyse posturale, Module de gestion posturale, Module de détection de collision, En cours de développement : Module de gestion des tâches en cinématique inverse, Modélisation affinée des mannequins, Module de calcul des contraintes biomécaniques lombaires, etc.	Module d'importation de modèles CAO, Module d'animation, Module d'analyse posturale, Module de détection de collision, Module de gestion des tâches, Modules de contrôle de RAMSIS par macros, Module dynamique (masses, équilibre, etc.)

Tableau 9 : Présentation, à titre indicatif, des caractéristiques de certains outils logiciel de modélisation anthropométrique disponibles sur le marché

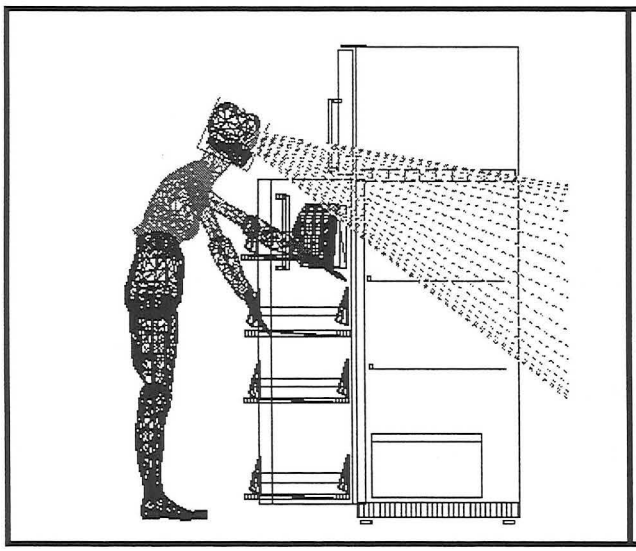


Figure 38 : Analyse de l'atteinte manuelle et visuelle sur MANNEQUIN/MQPRO

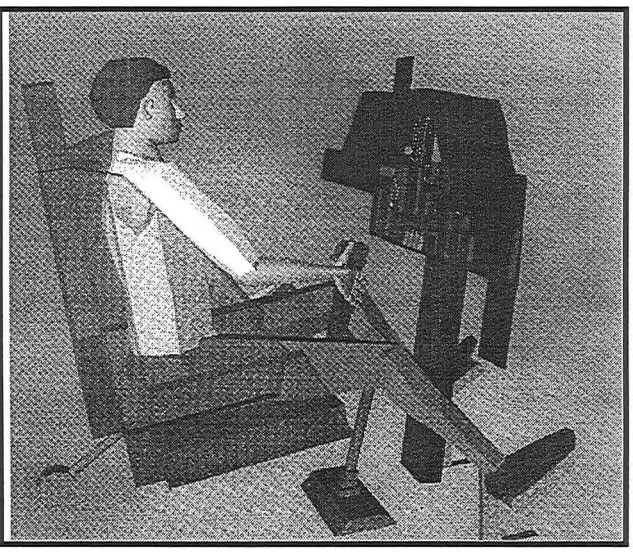


Figure 39 : Analyse par JACK de l'utilisabilité d'un poste de pilotage

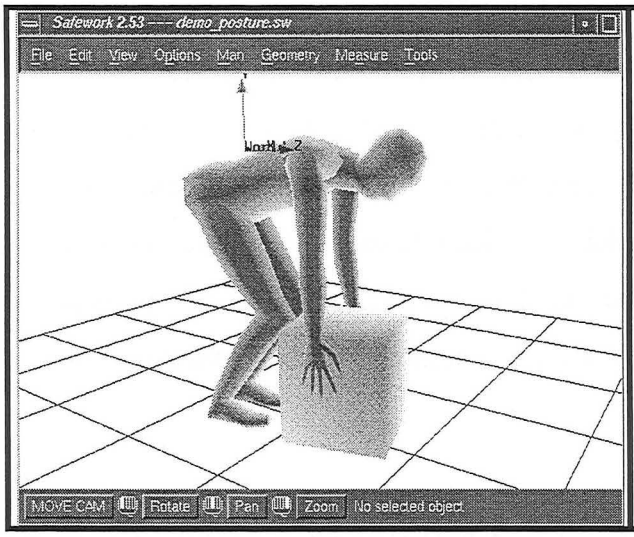


Figure 40 : Analyse posturale par SAFEWORK lors d'une manutention

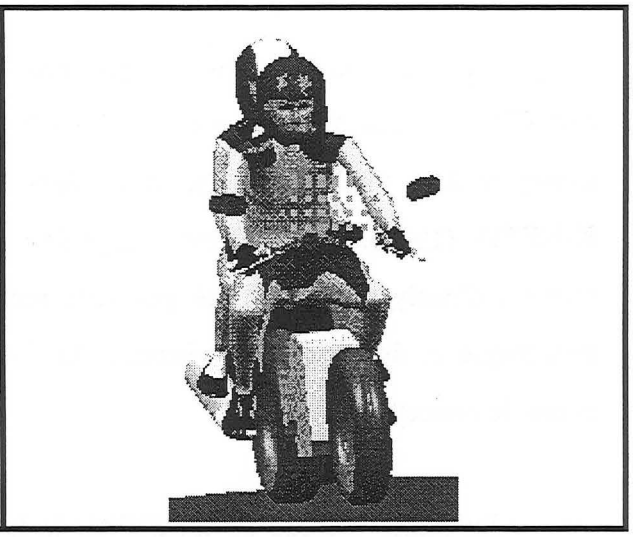


Figure 41 : Analyse dynamique sous RAMSIS du pilotage motocycliste

Il est important de constater une récente évolution de ces différents logiciels, qui tentent, désormais, d'intégrer une dimension temporelle permettant ainsi de compléter les analyses statiques classiques par des animations virtuelles permettant de simuler l'activité. Mais force est de constater que de tels outils n'ont pas été conçus pour s'intégrer dans une démarche globale de conception des systèmes Homme-Produit-Environnement dans la mesure où ils considèrent peu ou pas les aspects fondamentaux que représentent :

- ☞ l'analyse de "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation, dans des situations existantes ou ayant une grande parenté avec la situation envisagée (situation de référence),

- la modélisation et la simulation de certaines activités gestuelles futures souhaitables d'utilisation, intégrées dans une démarche coopérative de conception des systèmes Homme-Produit-Environnement,
- la modélisation et la simulation de la composante "Produit" et de la composante "Environnement", au sein du système Homme-Produit-Environnement étudié.

C'est pour ces différentes raisons que nous avons décidé de développer un nouvel outil logiciel, dédié à l'ergonomie de conception des systèmes Homme-Produit-Environnement en étant basé sur la notion "d'activité gestuelle" existante et future d'utilisation du produit.

3.2 Description de l'outil logiciel développé : MANERCOS

3.2.1 Fonctionnalités proposées par le logiciel MANERCOS

Comme nous l'avons évoqué précédemment, nous avons choisi de développer MANERCOS comme un module dédié à l'ergonomie et à la conception de produits venant s'intégrer dans un logiciel disponible dans le commerce : le logiciel 3D Studio MAX de KINETIX (1997). D'un tel assemblage de logiciels, il découle différentes fonctionnalités en terme : d'analyse de l'activité gestuelle réelle sur des produits existants, de modélisation numérique et de simulation virtuelle du futur système Homme-Produit-Environnement, en cours de conception.

En phase d'étude de faisabilité, **le logiciel MANERCOS nous permet d'analyser l'activité gestuelle réelle** menée dans des situations d'utilisation existantes. Reprenons le cas du projet de conception d'un nouveau système de contrôle-commande d'autoradio. De manière similaire au logiciel KRONOS (KERGELEN, 1986 ; KERGELEN, 1995 ; KERGELEN, 1997), il s'agit plus particulièrement d'effectuer des analyses quantitatives des activités gestuelles d'utilisation des commandes existantes à partir d'enregistrements vidéographiques effectués en situation de conduite réelle. Ce logiciel offre la possibilité d'effectuer la visualisation et le dépouillement de films vidéographiques numérisés en s'appuyant, et c'est là sa particularité, sur la souplesse de la technologie numérique. A l'issue du dépouillement des films vidéographiques, le logiciel génère des fichiers résultats en vue de la réalisation de traitements statistiques : pourcentages en durée et en fréquence liés aux différents comportements dépouillés, séquences d'action, scénarios, etc.

MANERCOS permet la modélisation numérique du futur système Conducteur-Autoradio-Environnement par la constitution de modèles géométriques tridimensionnels intégrant les propriétés structurelles et fonctionnelles du système étudié. Pour ce faire, le logiciel s'appuie sur :

- les primitives géométriques 2D et 3D standards proposées par le modeleur tridimensionnel de 3D Studio MAX,
- le nouveau Module de modélisation anthropométrique développé de manière spécifique. Ce module permet de générer des mannequins anthropométriques articulés et précontraints, reproduisant ainsi différents types d'utilisateurs, tout en intégrant leur variabilité en terme de taille et de sexe.

Ensuite, **le logiciel MANERCOS permet la simulation virtuelle du futur système** Conducteur-Autoradio-Environnement par l'implémentation et la visualisation des comportements dynamiques du futur système autour de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation. La simulation virtuelle est possible à partir des comportements élémentaires du système étudié et à partir des scénarios observés en situation réelle, traduisant "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation (situations de référence). Le logiciel offre la possibilité de modifier, a posteriori, les comportements élémentaires observés en réel ainsi que leur ordre d'apparition dans les scénarios. L'objectif recherché est de pouvoir **faire évoluer les situations d'utilisation existantes vers des situations futures souhaitables** en relation avec nouvelles caractéristiques du système Conducteur-Préconcept d'autoradio-Environnement. De cette manière, et en s'appuyant sur les performances de l'animateur de 3D Studio MAX ainsi que sur ses possibilités dans le domaine du rendu, en images de synthèse, MANERCOS permet de générer différentes séquences de films virtuels. Ces films virtuels traduisent le "champ des activités futures souhaitables" d'utilisation du futur autoradio, en cours de conception.

A ces différentes fonctionnalités de base s'ajoutent un certain nombre de contraintes de compatibilité et d'évolutivité qui sont respectées. En effet, la compatibilité du logiciel MANERCOS est garantie par l'utilisation de formats de fichiers standardisés. La compatibilité des modèles numériques obtenus est assurée par le format d'exportation DXF™ (KINETIX,

1997). Les fichiers scénarios issus du dépouillement sont proposés dans le format hypertexte HTML (Hyper Text Mark-up Language), format de fichier standard pour l'Internet.

Concernant l'évolutivité de MANERCOS, elle fait référence aux propriétés mêmes de la programmation orientée objet ainsi qu'à l'architecture qui a été retenue. En effet, la structure adoptée pour le logiciel MANERCOS repose sur le concept de "logiciel d'assemblage" constitué de différents "composants" autonomes et réutilisables. C'est l'objet du prochain paragraphe.

3.2.2 Description de la structure du logiciel MANERCOS

La structure que nous avons retenue, pour le logiciel MANERCOS, traduit une architecture en deux modules distincts, chacun adoptant le standard d'interface Homme-Machine (IHM) du logiciel hôte, à savoir 3D Studio MAX de KINETIX. Les deux modules développés sont : le Module de modélisation anthropométrique et le Module d'analyse de l'activité.

Le Module de modélisation anthropométrique propose, en s'inspirant des modèles anthropométriques numériques fournis par HUMANOÏD™ (1994), de générer des mannequins virtuels totalement articulés et précontraints selon des limites articulaires imposées. Ces mannequins représentent le modèle numérique de la composante "Conducteur" du système global étudié. La modélisation numérique des autres éléments du système (Préconcept d'autoradio-Environnement) est rendue possible en utilisant les primitives standard ainsi que les fonctionnalités proposées par 3D Studio MAX. Nous nous intéressons ici à la **dimension structurelle du modèle étudié**.

Dans notre cas nous avons choisi d'inclure en mémoire uniquement deux modèles numériques de base : un mannequin de base masculin et un mannequin de base féminin (Figure 42). La variabilité anthropométrique est obtenue en paramétrant chacun des segments corporels du mannequin en relation avec les données anthropométriques propres à chaque population. En effet, les mannequins virtuels de base, ainsi élaborés, sont couplés à une échelle anthropométrique paramétrée. Celle-ci permet de définir différentes dimensions de segments corporels, donc différentes populations en utilisant les normes et standards anthropométriques en vigueur.

Il s'agit de dimensions issues de la norme française X35-002 (AFNOR, 1995), de dimensions issues d'une enquête anthropométrique sur les conducteurs français (REBIFFE et al., 1982) et de dimensions issues de différentes banques de données anthropométriques (NASA, 1978 ; ERGOBASE, 1989 ; PHEASANT, 1996) (Figure 43).

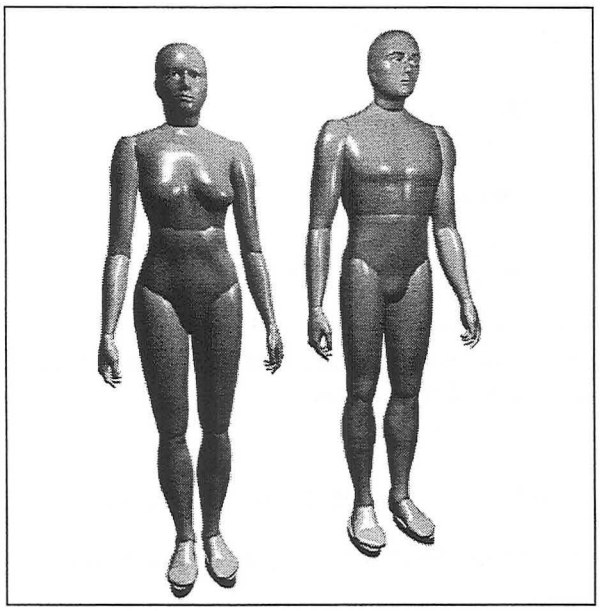


Figure 42 : Modèles anthropométriques numériques 3D proposés par HUMANOÏD™ retenus pour le projet

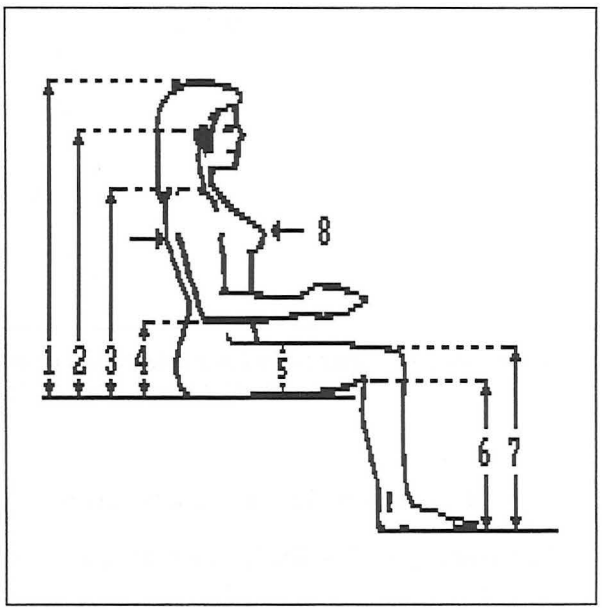


Figure 43 : Données anthropométriques issues de banques de données ou de normes

La structure mise en oeuvre pour définir les mannequins de base traduit un assemblage de 15 segments corporels dont les liens hiérarchiques instaurent le bassin comme l'objet maître de toute l'arborescence du mannequin (Figure 44). En relation avec la dimension structurelle des objets, chacun des sous-objets constitutifs (segments corporels) de l'objet mannequin intègre les variables propres suivantes :

- **limitation en translation et en rotation** selon X, Y et Z par rapport au point d'articulation entre les différents objets,
- dimensions propres à chacun des segments corporels en relation avec les **dimensions anthropométriques** de la population retenue,
- position relative du segment corporel dans l'espace lors de la génération de l'objet mannequin. Cette position relative prédétermine la configuration de la posture du mannequin, c'est-à-dire soit une posture debout, soit une posture assise tenant compte des **angles de confort** entre segments corporels.

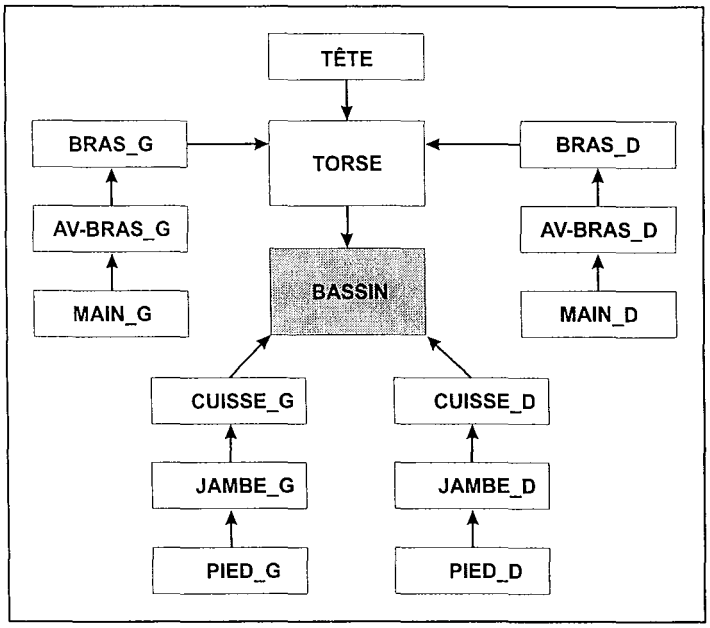


Figure 44 : Architecture et liens hiérarchiques mis en oeuvre pour construire la structure des mannequins, l'objet bassin étant l'objet maître de toute l'arborescence

Concernant les limitations en rotation des objets-enfants vis à vis des objets-parents, elles traduisent les limitations articulaires des différents segments corporels selon les axes locaux aux points articulaires en X, Y et Z. Nous avons retenu, comme l'illustre le Tableau 10 ci-dessous, différentes limitations articulaires au regard des différents travaux disponibles dans la littérature (DECOSTER, 1982 ; NASA, 1985 ; PHEASANT, 1989 ; REESE, 1996). Par exemple, l'articulation entre la jambe et la cuisse au niveau du genou n'autorise qu'une rotation selon l'axe des X selon la plage angulaire suivante : de 0° (jambe tendue dans le prolongement de la cuisse) à 120° (jambe pliée au maximum).

	Limitations angulaires		
Segments corporels	en X	en Y	en Z
Bassin	0 à 0	0 à 0	0 à 0
Torse	-15 à 15	-15 à 15	-15 à 15
Cuisse	-120 à 0	0 à 0	0 à 0
Jambe	0 à 120	0 à 0	0 à 0
Pied	-20 à 20	-40 à 10	0 à 0
Tête	-20 à 50	30 à -30	75 à -75
Bras	-140 à 40	0 à 160	-40 à 40
Avant-bras	-120 à 0	0 à 0	0 à 0
Main	-15 à 45	-85 à 85	0 à 0

Tableau 10 : Limitations en rotation des objets constitutifs du mannequin en relation avec les limitations articulaires des segments corporels

En ce qui concerne les dimensions anthropométriques, elles sont définies pour permettre de spécifier la longueur de chaque segment corporel constituant le mannequin, en fonction des données disponibles par population. En effet, le mode de construction du mannequin, met en oeuvre une structure hiérarchisée et articulée, qui nécessite le paramétrage des distances inter-articulaires. Cependant, ces distances n'étant pas toujours disponibles dans les banques de données anthropométriques, nous nous sommes proposés de les retrouver à partir de dimensions anthropométriques normalisées et disponibles. Par exemple, pour retrouver la distance inter-articulaire hanche-genou, nous calculons la différence entre la hauteur illiospinale et la hauteur tibiale. Un extrait des dimensions anthropométriques retenues pour le logiciel MANERCOS figurent dans le Tableau 11 ci-dessous.

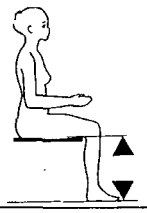
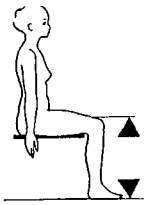
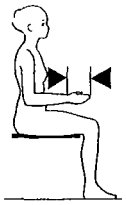
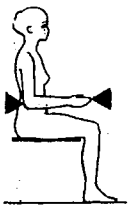
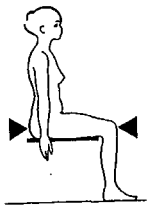
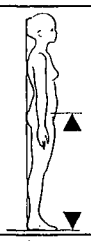
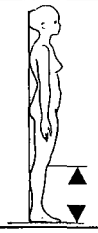
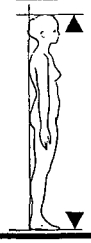
HAUTEUR DU CREUX POPLITE, SUJET ASSIS Distance creux poplité-sol Distance verticale du creux poplité au sol		HAUTEUR GENOUX, SUJET ASSIS Distance genou-sol Distance verticale de la face supérieure du genou au sol	
LONGUEUR DE LA MAIN Distance entre le poignet et l'extrémité du majeur		LONGUEUR DU BRAS Distance entre le bord supérieur externe de l'épaule à la pointe du coude	
LONGUEUR DE L'AVANT-BRAS Distance entre le bord supérieur externe de l'épaule à la pointe du coude, sujet assis		LONGUEUR DE LA CUISSE Distance maximale entre la face postérieure du massif fessier et la face antérieure du genou	
HAUTEUR ILIOSPINALE Hauteur de l'épine iliaque antéro-supérieure Distance verticale du point iliospinal au sol		HAUTEUR TIBIALE Hauteur de l'interligne articulaire du genou Distance verticale du point tibial au sol	
STATURE Distance vertex-sol, taille, hauteur du corps Distance verticale du vertex au sol		HAUTEUR ACROMIALE Distance point acromial-sol Distance verticale du point acromial au sol	

Tableau 11 : Extrait des données anthropométriques , utilisées pour dimensionner les segments corporels des mannequins utilisés dans MANERCOS

Concernant les angles de confort entre segments corporels, ceux-ci interviennent au cours de la définition des postures assises lors de la génération de l'objet mannequin dans MANERCOS. Ces angles de confort, encore appelés "limites optimales des angles inter-segmentaires", correspondent aux angles pour lesquels la contrainte musculaire et articulaire est minimale (Figure 45). Ces angles dépendent de la nature des tâches effectuées : exigences visuelles de la tâche, efforts à exercer, etc., (VERRIEST, 1986 ; BOUCHARD, 1993 ; GOMES et al., 1996). C'est ce qui explique leur variabilité (Tableau 12).

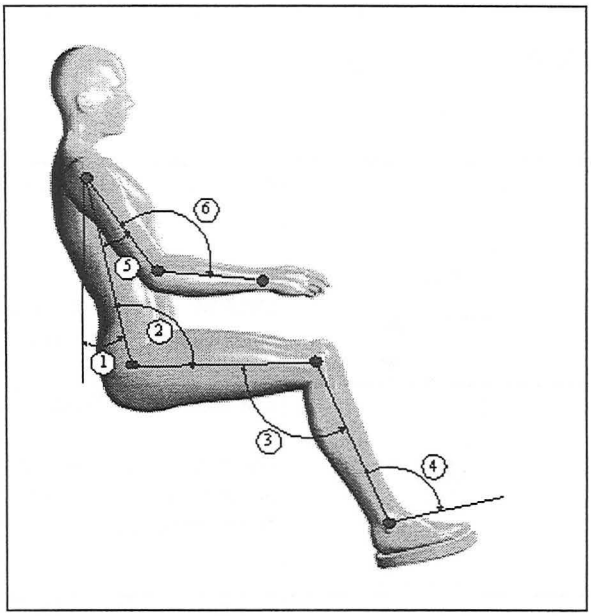


Figure 45 : Localisation des angles de confort entre segments corporels

Angle	VERRIEST (1986) Automobile	GOMES et al. (1996) Ferroviaire	BOUCHARD (1993) Automobile
1	20 à 30°	5 à 20°	5° à 30°
2	95 à 120°	85 à 105°	95° à 120°
3	95 à 135°	100 à 125°	90° à 135°
4	105 à 117°	85 à 105°	85° à 110°
5	16 à 54°	5 à 40°	-5° à 40°
6	98 à 146°	80 à 120°	80° à 180°

Tableau 12 : Extrait des angles de confort proposés par la littérature dans le domaine des postes de conduite

En résumé, et selon les données disponibles par population, différents standards anthropométriques sont proposés dans le logiciel MANERCOS : 5ème, 50ème et 95ème centile masculin et féminin. Il est admis en ergonomie de répondre aux besoins de 90% de la population d'utilisateurs. Il serait, en effet, trop onéreux de concevoir des produits adaptés aux

utilisateurs des deux extrêmes, en terme de taille. La majorité des utilisateurs, ainsi définie, exclut les 5% plus petits ($5^{ème}$ centile) et les 5% plus grands ($95^{ème}$ centile). Le $50^{ème}$ centile correspond à la taille moyenne de la population retenue.

De plus, à chaque "objet" mannequin est associé des outils d'évaluation de l'accessibilité manuelle (zone maximale de préhension) et de la localisation visuelle (champ visuel central et périphérique). En effet, sur la base du champ visuel proposé et grâce à la mise en place d'une caméra au niveau de l'œil cyclope, il est possible de visualiser de manière interactive l'environnement tel que le percevrait l'utilisateur ou l'opérateur.

En guise de synthèse, toutes ces fonctionnalités, couplées à une manipulation interactive du mannequin en cinématique directe ou inverse, sont intégrées dans le Module de modélisation anthropométrique de MANERCOS. L'intégration de ces fonctionnalités a, bien entendu, nécessité le développement de nouvelles interfaces logicielles réalisées en C++ sous 3D Studio MAX.

Le deuxième module développé (Module d'analyse de l'activité) propose une interface qui permet d'abord d'analyser les activités gestuelles réelles d'utilisation observées sur le terrain à l'aide de films vidéographiques. Il s'agit ici de générer des scénarios qui traduisent la décomposition, en fonction du temps, des activités gestuelles réelles d'utilisation des produits existants : directions de regard, activités motrices, déplacements, etc. Par la suite, ce même Module d'analyse de l'activité permet d'engager des étapes de simulation virtuelle de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation du futur produit. Ces étapes de simulation virtuelle sont menées en s'appuyant sur les scénarios obtenus précédemment ainsi que sur les modèles numériques du futur système Homme-Produit-Environnement.

Le Module d'analyse de l'activité de MANERCOS est donc basé sur plusieurs notions fondamentales développées au cours de ce travail. En effet, ce Module d'analyse de l'activité permet une analyse des activités gestuelles réelles d'utilisation des produits existants, en phase d'étude de faisabilité. En faisant évoluer la conception du produit et en générant les films virtuels traduisant "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation du futur produit, ce module permet ensuite la construction coopérative du "champ des activités futures souhaitables" d'utilisation du futur produit, en phase d'études préliminaires.

A travers ce Module d'analyse de l'activité de MANERCOS, nous nous intéressons à la **dimension dynamique du modèle numérique du système Homme-Produit-Environnement étudié**. Ce Module est structuré en trois niveaux, afin de répondre aux objectifs fixés (Figure 46).

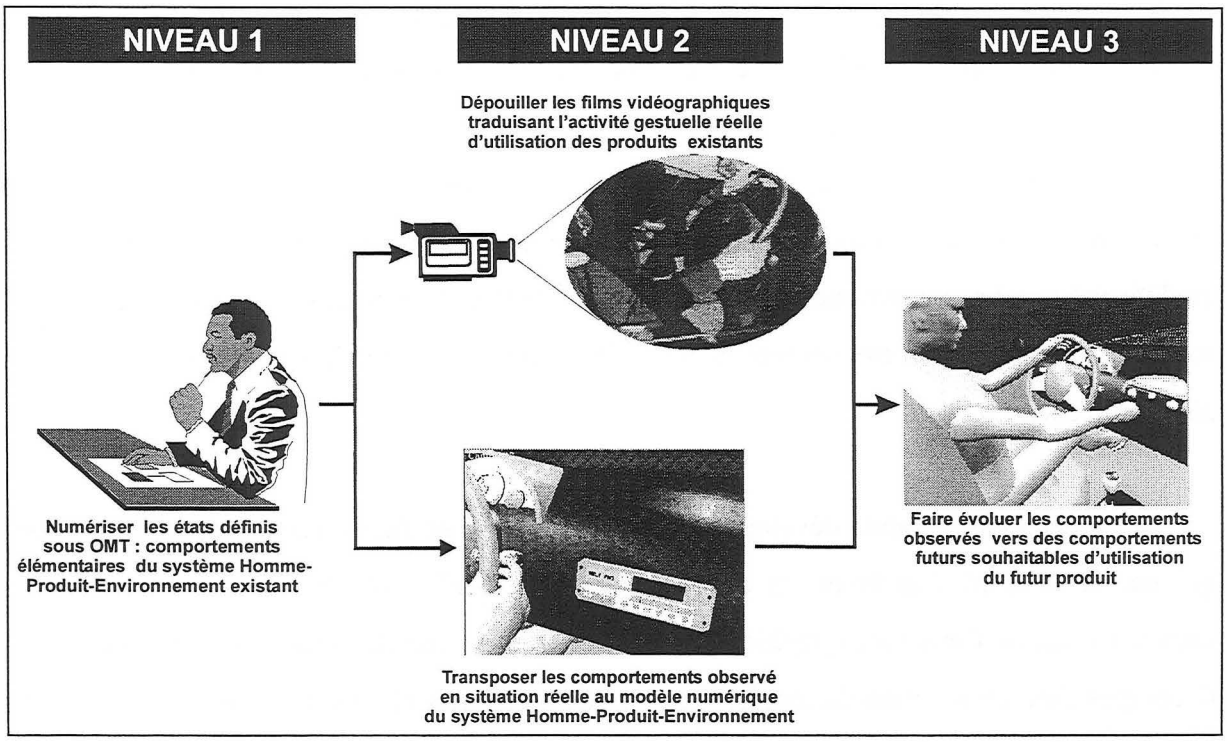


Figure 46 : Description des différentes fonctionnalités du Module d'analyse de l'activité sous MANERCOS

Le premier niveau du Module d'analyse de l'activité de MANERCOS permet de **décrire les comportements élémentaires** dynamiques du système Conduteur-Véhicule-Environnement étudié. En effectuant le parallèle avec les formalismes orientés objet, il s'agit de décrire de manière numérique les différents "**états**" du modèle dynamique du système étudié (Statecharts), et ceci en adoptant le niveau de détail "juste nécessaire" pour l'analyse. En reprenant l'exemple de l'autoradio, il s'agit de décrire les 2 états que peut prendre l'objet "bouton poussoir ON/OFF de l'autoradio" : l'état enfoncé (autoradio allumé), l'état relâché (autoradio éteint).

Le deuxième niveau du Module d'analyse de l'activité de MANERCOS permet de **dépouiller des films vidéographiques issus de l'observation des "activités gestuelles" réelles d'utilisation** des produits existants. Il s'agit ici de reconstituer, sous forme de scénarios, l'organisation temporelle de certaines activités gestuelles et ceci au fur et à mesure

de la visualisation des séquences synchronisées de films vidéographiques. L'objectif recherché est de proposer des statistiques descriptives sur les pourcentages en durée et en fréquence d'apparition des différentes activités gestuelles d'utilisation observées. Le scénario recense ainsi, sur la base des films vidéographiques dépouillés, le nombre, l'ordre d'apparition ainsi que la durée des différents comportements élémentaires du système observé. Il s'agit ensuite de **transposer ces activités gestuelles d'utilisation observées, en situation réelle, au modèle numérique du système Homme-Produit-Environnement correspondant**. L'objectif d'une telle démarche est de reconstituer des séquences de films virtuels qui reproduisent des comportements élémentaires similaires à ceux observés en situation réelle (films vidéographiques). Par la suite, il devient possible de travailler directement sur le modèle numérique du système Homme-Produit-Environnement existant étudié. De cette manière, il est possible de recueillir certains indicateurs tels que : les distances parcourues par les mains de l'utilisateur, les postures adoptées par l'utilisateur lorsqu'il effectue certaines activités gestuelles identifiées sur les films, etc.

Le troisième niveau du Module d'analyse de l'activité permet de **faire évoluer rapidement les séquences de films virtuels** vers certaines situations futures souhaitables, en modifiant les comportements élémentaires et les scénarios d'activité. Il s'agit, par exemple, de l'ajout et de la suppression de certaines séquences d'action, de l'inversion de l'ordre d'apparition des séquences, de l'augmentation ou de la réduction de la durée de certains comportements, etc. Au-delà de la modification des scénarios d'activité, il est aussi possible de modifier, a posteriori, le contenu même de chaque comportement élémentaire et ensuite de répercuter automatiquement ces modifications sur le comportement global du système. Il est bien entendu possible de combiner "modifications sur les scénarios" et "modifications sur les comportements élémentaires". L'objectif ainsi recherché est de proposer une architecture logicielle permettant de faire évoluer rapidement les séquences d'activités gestuelles, analysées en situation réelle sur des produits existants, vers des séquences de films virtuels, traduisant le "champ des activités futures souhaitables" d'utilisation du futur produit, en cours de définition.

Suite à la description de l'architecture du Module d'analyse de l'activité, tout pousse à penser que ce module de MANERCOS est cohérent vis à vis des principes orientés objet : comportement dynamique des objets (états), instances du comportement des objets,

événements, etc. Reste maintenant à formaliser les modalités d'utilisation du logiciel MANERCOS dans le cadre du processus de conception de produits préconisé.

3.2.3 *Description des modalités d'utilisation du logiciel MANERCOS*

Il s'agit maintenant d'évoquer les modalités d'utilisation du nouveau logiciel MANERCOS, en nous positionnant dans le cadre du processus de conception de produits que nous préconisons.

En phase **d'étude de faisabilité**, le logiciel MANERCOS peut être utilisé dans le cadre de la démarche d'analyse de "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation des produits existants. Comme l'indique la Figure 47, il est nécessaire de modéliser graphiquement sous OMT les caractéristiques structurelles, fonctionnelles et dynamiques du système Homme-Produit-Environnement existant, placé dans un contexte clairement précisé car correspondant à une situation de vie du produit. Sur cette base, il est possible d'engager l'étape de modélisation numérique de ce système sous MANERCOS :

- ☞ création de modèles géométriques 3D reproduisant les caractéristiques structurelles et fonctionnelles du système testé, dans la situation de vie retenue. La génération de mannequins anthropométriques 3D, traduisant la population d'utilisateurs ciblée, est effectuée en utilisant **le Module de modélisation anthropométrique,**
- ☞ intégration des caractéristiques dynamiques du système par la création des comportements élémentaires correspondants aux différents états des Statecharts sous OMT (diagrammes d'états). En effectuant le parallèle à l'utilisation du logiciel KRONOS (KERGELEN, 1986 ; KERGELEN, 1995 ; KERGELEN, 1997), cette étape équivaut à celle de définition du protocole de dépouillement par le choix des comportements élémentaires et par l'affectation de ces comportements élémentaires aux touches du clavier du micro-ordinateur.

Il s'agit ensuite de numériser et d'intégrer les différentes séquences de films vidéographiques issus de l'observation des activités gestuelles réelles d'utilisation des commandes existantes. Suite à la synchronisation de ces différents films vidéographiques par l'expérimentateur, il est possible d'engager les étapes d'analyse des "activités gestuelles" réelles d'utilisation des produits existants par la décomposition des activités motrices, des directions de regard, des déplacements, etc. Comparativement à l'utilisation du logiciel

KRONOS, ceci équivaut à l'étape de dépouillement de l'activité par l'action sur les touches du clavier de l'ordinateur et ceci, parallèlement à la visualisation du film vidéographique.

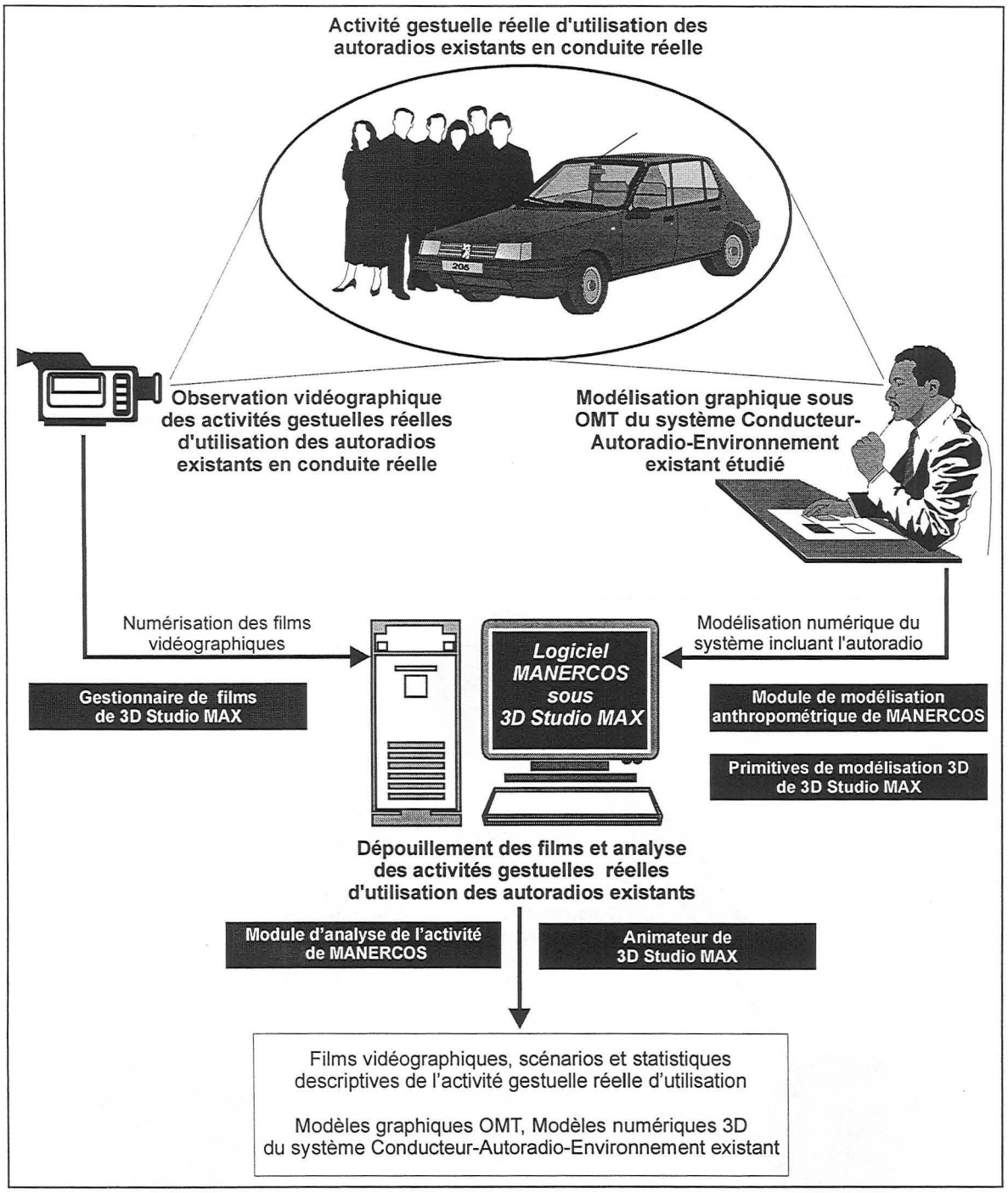


Figure 47 : Description des modalités d'utilisation des différentes fonctionnalités du logiciel MANERCOS couplées à celles de 3D Studio MAX, lors de l'analyse de "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation des autoradios existants, en phase d'étude de faisabilité

A l'issue des séances de dépouillement utilisant **le Module d'analyse de l'activité**, il ressort des scénarios reflétant les séquences d'activité gestuelles décomposées. Sur la base de

ces scénarios, il est ensuite possible de dégager des statistiques descriptives sous forme de pourcentages en durée et en fréquence caractérisant, de manière objective, certaines activités gestuelles d'utilisation observées.

Enfin, sur la base des comportements élémentaires ainsi que des scénarios issus des dépouillements effectués, **le Module d'analyse de l'activité** permet de transposer l'activité réelle dépouillée, à partir de films vidéographiques, au modèle numérique du système Homme-Produit-Environnement existant. A l'issue de cette opération, le modèle numérique ainsi piloté par le scénario reproduit, en virtuel et en dynamique, des instances de comportements élémentaires conformes aux situations réelles.

En phase **d'études préliminaires**, en s'appuyant sur les données issues de l'analyse de l'activité réelle, en situation de référence (modèles géométriques 3D, comportements élémentaires, différents scénarios, etc.), le logiciel MANERCOS constitue le support logiciel de notre démarche de recherche coopérative de solutions (Figure 48).

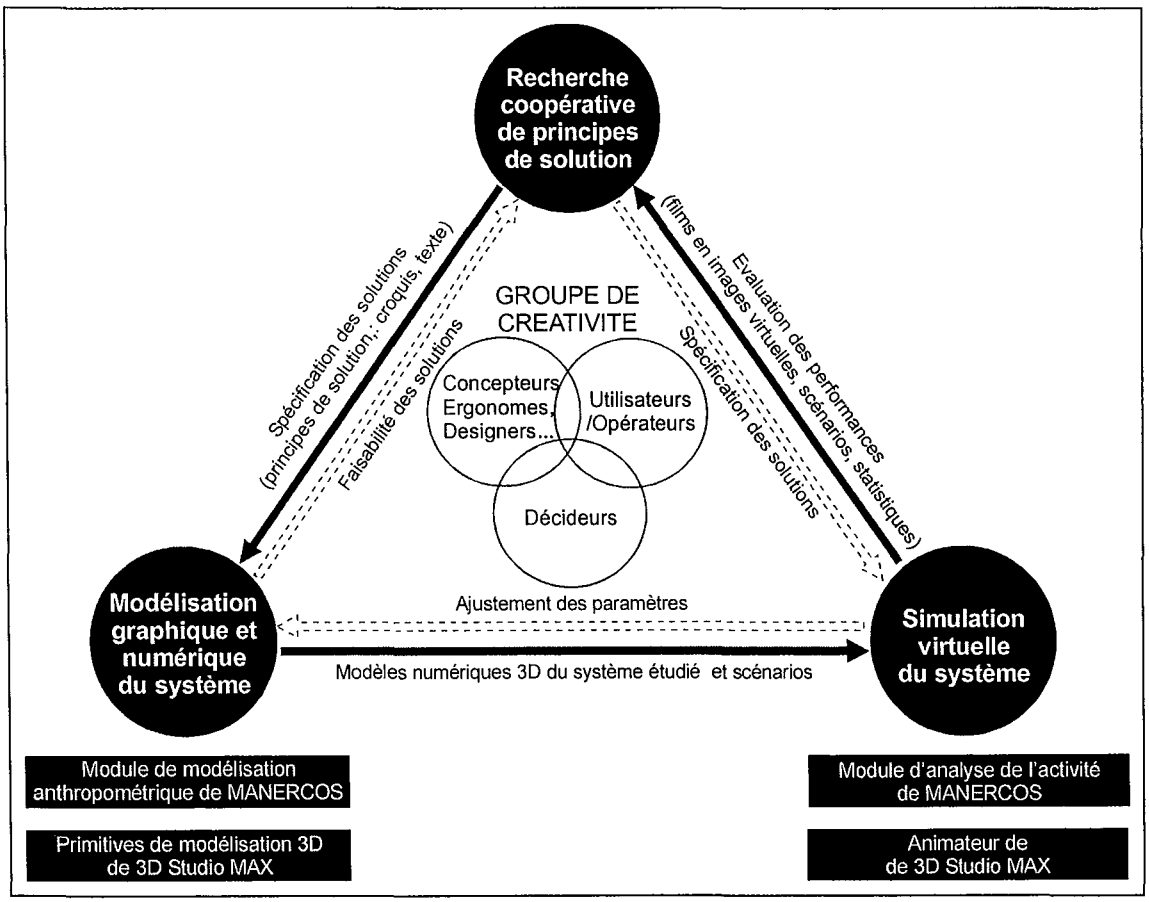


Figure 48 : Description des modalités d'utilisation des différentes fonctionnalités du logiciel MANERCOS couplées à celles de 3D Studio MAX, lors de la démarche de recherche coopérative de solutions, en phase d'études préliminaires

En effet, placé dans le cadre de la construction coopérative du "champ des activités futures souhaitables", **le Module d'analyse de l'activité** permet de faire évoluer les comportements élémentaires et les scénarios issus de l'observation du système existant, en y intégrant les caractéristiques du futur système. De la même manière qu'en phase d'étude de faisabilité, les différents scénarios d'activité obtenus permettent ensuite de dégager des statistiques descriptives de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation du futur produit.

Ce même **Module d'analyse de l'activité** permet ensuite de générer des séquences de film en images virtuelles traduisant le "champ des activités futures souhaitables" d'utilisation du futur produit. Utilisées en tant que support de coopération lors de séances de créativité sur maquette virtuelle, ces séquences de film en images virtuelles représentent les éléments clés de notre démarche de recherche coopérative de solutions, en phase d'études préliminaires.

4. Conclusion

A travers le développement de MANERCOS, nous proposons un premier outil logiciel permettant de mettre en oeuvre notre démarche de conception de produits, centrée sur la coopération entre les différents acteurs du projet, autour de la notion "d'activité gestuelle d'utilisation". Suite à un état de l'art sur les outils informatiques existants, nous avons pris conscience de la nécessité de développer un outil logiciel spécifique, qui puisse nous permettre de répondre précisément aux besoins soulevés, lors des chapitres précédents. Même si différents auteurs se sont intéressés aux modalités de l'implication de l'ergonomie lors des phases traditionnelles du cycle de conception de logiciels (BERNARDI et al., 1994 ; FANCHINI, 1994 ; PATESSON et PAVONI, 1994 ; VALLERY et VALENTIN, 1994), le développement de MANERCOS a été effectué en appliquant notre propre vision du processus de conception de produits. Cette vision est basée, rappelons-le, sur la nécessaire coopération entre l'ensemble des acteurs de la conception, et plus particulièrement entre ingénieurs, ergonomes et utilisateurs du logiciel, et ceci dès les premières phases de conception de ce logiciel.

A la différence de certains outils tels que LAST, Logiciel d'Aide à la Simulation du Travail (MALINE, 1994a ; MALINE et BOURGEOIS, 1994), cette première version du

logiciel MANERCOS dispose de plusieurs fonctionnalités dans le domaine de l'analyse de films vidéographiques, de la modélisation numérique en 3D et de la simulation virtuelle des activités gestuelles d'utilisation. Ces activités gestuelles d'utilisation sont considérées sous leur forme réelle, lorsqu'elles sont observées sur le terrain, ou sous une forme virtuelle, lorsqu'elles sont simulées sur la base du "champ des activités futures souhaitables" d'utilisation.

En effet, en phase d'étude de faisabilité, le logiciel MANERCOS permet de dépouiller des films vidéographiques, traduisant "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation des produits existants, en appliquant la même philosophie que le logiciel KRONOS. Cependant, en comparant globalement les deux outils, et même si leurs objectifs diffèrent, le principal point fort du logiciel MANERCOS est d'être basé sur une technologie numérique : numérisation des films vidéographiques avant de lancer les phases de dépouillement. L'intérêt d'une telle approche se situe à plusieurs niveaux, à la différence du support analogique classique (cassette vidéographique visualisée à l'aide d'un téléviseur et d'un magnétoscope lors du dépouillement).

D'abord, l'utilisation de la technologie numérique permet d'apporter davantage de souplesse lors du dépouillement des films numérisés. Il s'agit, par exemple, de la possibilité de modifier la vitesse de défilement du film en fonction du niveau de précision recherché (nombre d'images par secondes). Il s'agit aussi des possibilités d'arrêter, d'avancer ou de reculer le film numérique, de manière instantanée, et de reprendre le dépouillement à n'importe quel endroit de la séquence.

Ensuite, la technologie numérique permet d'améliorer la précision du dépouillement. Elle permet aussi de réduire les différences inter ou intra-individuelle concernant l'expérimentateur effectuant l'opération d'analyse du film vidéographique.

Enfin, grâce aux fonctionnalités propres de 3D Studio MAX, il est possible de synchroniser plusieurs films de la même séquence d'utilisation, filmée sous différents angles de vue, avec différentes caméras :

- ☞ visualisation simultanée de 4 séquences différentes de films,
- ☞ affichage, à tout moment et au format plein écran, de n'importe lequel des films visualisés.

Les points faibles de cette première version de MANERCOS résident principalement au niveau de la taille des espaces de stockage nécessaires pour gérer les films numérisés. D'autres points faibles subsistent mais sont en passe d'être corrigés. Il s'agit, par exemple :

- de l'absence, dans MANERCOS, d'un module de gestion des statistiques issues des scénarios. Ces derniers sont actuellement exportés vers d'autres logiciels d'analyse, tels que des tableurs, en vue de générer des graphiques récapitulatifs des observables comportementaux (camemberts, histogrammes, etc.),
- de la nécessité de créer une interface conviviale pour la gestion interactive des scénarios.

La spécificité du logiciel MANERCOS est de se servir de l'analyse des activités gestuelles réelles d'utilisation menée sur des produits existants, comme d'un tremplin pour définir le "champ des activités futures souhaitables". En effet, en s'appuyant sur les résultats de l'analyse des activités gestuelles réelles, sur des principes de modélisation numérique et de simulation virtuelle, cet outil logiciel a été conçu pour servir de support à notre démarche coopérative de conception de produits. Dès lors, en transposant les activités gestuelles réelles d'utilisation vers le modèle numérique du système Homme-Produit-Environnement étudié, il devient possible de les faire évoluer, en virtuel, vers certaines activités gestuelles futures souhaitables d'utilisation.

En effet, le logiciel MANERCOS constitue, en phase d'études préliminaires, le pilier de notre démarche de recherche coopérative de solutions présentée précédemment. Cette démarche en trois temps débute, rappelons-le, par une recherche de principes de solution intégrant : les données normatives, les idées innovantes formulées lors de séances de créativité, les données analytiques objectives et subjectives issues de l'analyse de "l'activité gestuelle" réelle d'utilisation. Cette recherche coopérative de solutions nécessite la constitution d'un groupe de créativité sur maquette virtuelle comprenant l'ensemble des acteurs du projet.

La démarche se poursuit par la modélisation des caractéristiques structurelles et fonctionnelles du système Homme-Préconcept-Environnement. La modélisation de ce système est d'abord abordée de manière graphique en utilisant le formalisme orienté objet

OMT, puis de manière numérique en utilisant le modeleur 3D proposé par 3D Studio MAX et le Module de modélisation anthropométrique de MANERCOS.

La démarche se termine par une étape de simulation virtuelle de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" avant de reboucler à nouveau sur l'étape de recherche coopérative de principes de solution. Cette étape de simulation virtuelle est abordée, à l'aide du Module d'analyse de l'activité de MANERCOS, en modifiant les comportements élémentaires du système Homme-Préconcept-Environnement ainsi que les scénarios d'action, sur la base des nouvelles orientations de conception.

A l'issue de cette démarche de recherche coopérative de solutions, il ressort une grande variété "d'objets intermédiaires de la conception", en relation avec la notion "d'activité gestuelle d'utilisation". Il s'agit :

- de séquences de films vidéographiques issus de l'observation des activités gestuelles réelles d'utilisation des produits existants,
- des modèles graphiques et numériques du système Homme-Produit-Environnement étudié,
- des séquences de films en images virtuelles traduisant "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation du futur produit,

Ces "objets intermédiaires" s'accompagnent de différents critères et données complémentaires. Il s'agit, en particulier, de données statistiques mais aussi de résultats de verbalisations, en relation avec les séquences d'activités gestuelles réelles et/ou virtuelles d'utilisation étudiées.

Au cours du prochain chapitre, nous nous proposons d'élargir le champ d'application des concepts des méthodes et des outils proposés, et en particulier le logiciel MANERCOS, à l'ensemble du cycle de vie du produit faisant ainsi entrer la notion "d'activité gestuelle" dans la démarche d'ingénierie concourante. En effet, sur la base des résultats obtenus il nous a semblé intéressant d'élargir notre réflexion aux systèmes Homme-Produit-Environnement "en général". C'est ce que nous avons fait, en nous intéressant non seulement à "l'activité gestuelle" d'utilisation, mais aussi à l'activité gestuelle de fabrication, de distribution, de maintenance, de recyclage, etc., du produit.

De plus, la profusion des données issues de l'application de notre démarche nous a montré la nécessité de réfléchir sur un outil complémentaire à MANERCOS. Destiné à servir de support logiciel au processus rétroactif et coopératif de conception préconisé, ce nouvel outil a été baptisé ACSP, comme Atelier Coopératif de Suivi de Projet. Pour ce faire, nous avons orienté notre réflexion vers un véritable Système de Gestion des Données de Conception (SGDC), basé sur une technologie Intranet. Un tel outil permettra, d'une part, d'organiser la coopération entre les différents acteurs du projet et, d'autre part, de structurer la variété des données générées lors de l'application de notre démarche de conception centrée sur la notion "d'activité gestuelle".

CHAPITRE V

CONTRIBUTION DE L'ACTIVITE GESTUELLE A LA DEMARCHE D'INGENIERIE CONCOURANTE

1. Introduction

Il s'agit, au cours de ce chapitre, d'étendre notre réflexion à l'ensemble du cycle de vie du produit, en s'interrogeant sur la possible généralisation des concepts, des méthodes et des outils développés précédemment. En effet, il nous semble opportun d'approfondir ces résultats en considérant le système Homme-Produit-Environnement de manière évolutive. Ce système pourra prendre différentes formes au fur et à mesure de la progression chronologique du processus de conception du produit. Sous le terme "Homme", peut être associé le statut : d'utilisateur, d'opérateur de fabrication, de maintenance, de recyclage, etc. Sous la dénomination "Produit", il est possible d'entrevoir les notions de : produit existant, préconcept, concept, prototype, produit de pré-série, etc. A travers le terme "Environnement", il est possible d'envisager : l'environnement d'utilisation du produit, l'environnement de fabrication du produit (ligne de fabrication, postes de travail, etc.), l'environnement de maintenance du produit, etc.

De la même manière, et selon les différentes étapes du cycle de vie du produit, nous nous proposons de faire évoluer la notion "d'activité gestuelle d'utilisation du produit" vers des notions "d'activité gestuelle de fabrication du produit", "d'activité gestuelle de maintenance du produit", etc. Pour ce faire, nous nous proposons d'abord de compléter le logiciel MANERCOS en lui apportant de nouvelles fonctionnalités destinées à évaluer des situations de travail, en relation avec les activités gestuelles de fabrication, de maintenance, de recyclage, etc., du produit. Ces nouvelles fonctionnalités sont destinées à l'évaluation des situations de travail existantes et à la conception des futures situations de travail. Il s'agit, par exemple, du calcul de la contrainte lombaire liée au port de charge et du calcul de la dépense énergétique inhérente à l'activité gestuelle de travail.

A travers ces différents aménagements, nous pensons promouvoir, sur l'ensemble du cycle de vie du produit, les concepts, les méthodes et outils déjà développés, montrant ainsi la contribution de "l'activité gestuelle" d'utilisation, de fabrication, de maintenance, etc., au processus de conception de produits. En effet, à travers la coopération établie entre les différents acteurs de la conception autour du concept de "maquette virtuelle du produit dans ses différentes situations de vie" (situations d'utilisation, de fabrication, de maintenance, etc.), la notion "d'activité gestuelle" s'intègre directement dans l'approche d'ingénierie concourante.

Cette notion d'ingénierie concourante vise, rappelons-le, à une conception coopérative du nouveau produit et du process associé, en prenant en compte, dès le début du projet, l'ensemble des métiers impliqués dans les différentes étapes du cycle de vie de ce produit. Dans ce cadre d'ingénierie concourante, notre objectif est de promouvoir l'ergonomie, à travers la notion "d'activité gestuelle", sur l'ensemble du processus de conception du produit, tout en préservant les impératifs de "Qualité-Coûts-Délais". Face à un environnement économique à faible croissance et à forte concurrence, ces impératifs se manifestent par la nécessité d'améliorer la qualité du produit tout en réduisant les coûts et les délais de conception, de réalisation, de recyclage, etc., de ce produit.

Par la suite, et en guise de perpectives de développement de nouveaux outils, nous orientons notre réflexion vers la nécessité de mettre en oeuvre un véritable Système de Gestion de Données de Conception (SGDC), afin de supporter le processus de conception et les concepts préconisés. Ce nouvel outil logiciel, baptisé ACSP comme Atelier Coopératif de Suivi de Projet, est destiné à gérer les nombreuses données manipulées au cours du projet de conception de produits, et en particulier les données liées à la notion "d'activité gestuelle". Cette notion sera maintenant considérée en terme d'utilisation, de fabrication, de maintenance, de recyclage, etc., du produit. Un outil tel que l'ACSP, aura pour vocation de centraliser et de fédérer les différentes actions du projet favorisant la coopération entre les différents acteurs de la conception impliqués (ingénieurs, utilisateurs, ergonomes, designers, opérateurs, décideurs, etc.).

Nous traiterons d'abord de la nécessaire extension du logiciel MANERCOS pour permettre l'évaluation et la conception de situations de travail mises en jeu lors de la fabrication, de la maintenance, du recyclage, etc., du produit. Ensuite, en terme de perspectives de développement de nouveaux outils, nous nous proposons de réfléchir la généralisation des concepts proposés et sur la nécessité de définir un outil logiciel venant supporter le processus de conception préconisé : l'Atelier Coopératif de Suivi de Projet.

2. Extension du logiciel MANERCOS pour l'évaluation et la conception des situations de travail

2.1 Objectifs

Il s'agit ici d'élargir les fonctionnalités de MANERCOS dans un but d'évaluation des situations existantes de travail et de conception des situations futures souhaitables de fabrication, de maintenance, de recyclage, etc., du futur produit. En effet, les mêmes méthodes et outils, qui nous ont servi à promouvoir l'ergonomie lors des phases de conception du produit, vont nous permettre d'appréhender, à travers la même notion "d'activité gestuelle", la conception des futurs moyens de fabrication, de maintenance, de recyclage, etc., du futur produit. Ceci illustre bien la contribution de notre approche à la démarche d'ingénierie concourante.

C'est dans cette optique que nous nous sommes proposés d'élargir le champ d'application du logiciel MANERCOS à l'ensemble des différentes situations rencontrées, tout au long du cycle de vie du produit. Pour ce faire, nous avons d'abord développé un nouveau module appelé "Module d'évaluation ergonomique". Ce module permet d'évaluer, par exemple, la dépense énergétique liée à une activité de travail donnée ou de calculer la contrainte lombaire inhérente à certaines opérations de manutention. Ces opérations de manutention correspondent au port de charges souvent effectué par les opérateurs au cours de leur journée de travail. Ensuite, nous avons engagé une recherche de fonctionnalités propres à 3D Studio MAX et permettant d'analyser des situations existantes de travail puis de concevoir les futures situations de fabrication, de maintenance, etc., du futur produit.

2.2 Méthodes et techniques

En ce qui concerne les méthodes et les outils utilisés pour effectuer ces développements complémentaires, ils s'inscrivent dans le même cadre que ceux adoptés lors du développement de MANERCOS (voir chapitre IV). Dans ce contexte, nous avons développé un troisième module, module complémentaire venant s'intégrer dans l'architecture existante du logiciel MANERCOS, comme pourrait le faire le composant d'un grand puzzle (Figure 37 à la page 125). En effet, cette dimension évolutive, que possède désormais le logiciel MANERCOS, justifie notre choix initial de faire appel à un langage de programmation orienté objet tel que le C++ (BADOUEL et KHALED, 1993). Face aux

nombreux avantages découlant des principes même qui font, selon KOLSKI (1997), la puissance de l'orienté objet (abstraction, hiérarchie, encapsulation des données et héritage), nous avons pu développer ce troisième module de MANERCOS, dans des délais très courts. Ainsi, le gain de productivité que nous avons pu obtenir est inhérent certes, à la réutilisation du code existant, mais aussi et surtout au test de composants séparés rendant le "déverminage" plus aisé ainsi qu'à la plus grande "maintenabilité" du logiciel ainsi assemblé.

Fort de notre expérience précédente acquise lors du développement des deux premiers modules de MANERCOS, nous avons appliqué la même philosophie de conception de logiciels, intégrant la technologie orientée objet et nos propres principes de conception qui font, en particulier, l'objet de ce travail. Pour ce faire, et à partir de différentes maquettes du logiciel, affinés progressivement pour aboutir au logiciel final sensé répondre aux besoins des utilisateurs, nous avons remis en place le même groupe projet constitué de concepteurs en informatique et de futurs utilisateurs du logiciel.

Il s'agit maintenant de faire état des différents résultats obtenus, lors de l'extension du logiciel MANERCOS, à l'évaluation des situations de travail existantes et à la conception des futurs moyens de production, de maintenance, de recyclage, etc., du futur produit.

2.3 Résultats

Dans un premier temps, nous présentons le nouveau Module d'évaluation ergonomique de MANERCOS, module destiné à l'évaluation de la dépense énergétique liée à une activité de travail et à l'évaluation de la contrainte lombaire inhérente à certaines opérations de manutention.

Ensuite nous examinons les résultats de la recherche de fonctionnalités, propres à 3D Studio MAX, mais néanmoins applicables à l'évaluation et à la conception des différentes situations de vie du produit.

2.3.1 Description du troisième module de MANERCOS : le Module d'évaluation ergonomique

Sur la base des besoins formulés par les premiers utilisateurs de MANERCOS, et plus particulièrement, ceux impliqués dans des projets d'évaluation et de conception de situations de fabrication des produits (LOUYOT et PERNIN, 1998 ; BECK et al., 1998), nous avons

décidé d'intégrer de nouvelles fonctionnalités au logiciel. Il s'agit, d'abord, de l'évaluation des risques dorso-lombaires inhérents à une activité gestuelle de lever et de dépose de charge en appliquant la méthode du NIOSH (WATERS et al., 1993 ; APTEL et al., 1995). Il s'agit aussi de l'évaluation de la pénibilité physique, à travers l'évaluation de la dépense énergétique en relation avec la nature des activités gestuelles menées, selon le modèle de SPITZER-HETTINGER (SPITZER et al., 1965).

Le Module d'évaluation ergonomique de MANERCOS propose une évaluation des risques dorso-lombaires inhérents à la manutention d'objets au cours de l'activité gestuelle de travail lors, par exemple, de la fabrication du produit. Cette évaluation des risques dorso-lombaires est réalisée sur la base de l'équation révisée du NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). Cette équation constitue un modèle d'analyse du lever de charges à deux mains considéré comme un facteur de risque lombaire (WATERS et al., 1993 ; APTEL et al., 1995). Comme l'illustre le Tableau 13, trois critères ont été retenus pour élaborer l'équation du NIOSH : un critère biomécanique, un critère physiologique et un critère psychophysiologique.

Discipline	Critère retenu	Valeur limite
Biomécanique	Compression discale maximale admissible	3,4 kN
Physiologique	Dépense énergétique maximale admissible	2,2 à 4,7 kcal/min 85 à 183 W/m²
Psychophysiologique	Charge maximale admissible (CMA)	Acceptable pour 75% et 99% des hommes

Tableau 13 : Critères retenus par le NIOSH pour élaborer l'équation de lever de charge d'après APTEL et al. (1995)

Cette équation du NIOSH s'emploie pour déterminer la Charge Maximale Admissible (CMA) lors de tâches de manutention bimanuelle de lever ou de dépose de charge sans déplacement de l'opérateur. En effet, pour toute charge dont le poids est inférieur ou égal à la CMA, la probabilité de survenue d'une lombalgie n'est pas significativement augmentée.

La CMA est calculée à l'aide d'une équation intégrant différents facteurs à prendre en compte, lors de la manutention d'un objet.

Cette équation se présente sous la forme suivante :

$$CMA\ (en\ kg) = FP \times FH \times FV \times FD \times FF \times FA \times FI$$

FP : Facteur Poids = 23 kg ; FP correspond à une constante de poids admissible pour 75% des femmes et 99% des hommes
FH : Facteur Horizontal = 25 / H ; H est la distance (en cm) qui sépare le milieu du segment virtuel qui relie les chevilles à la projection des mains sur le sol au début du geste
FV : Facteur Vertical = (1 - 0.003 |V - 75|) ; V est la distance (en cm) qui sépare le sol des mains au début de la prise de la charge
FD : Facteur Déplacement = 0.82 + (4.5 / D) ; D représente le déplacement vertical (en cm) d'un objet entre le début et la fin du soulèvement de la charge
FA : Facteur Asymétrie = 1 - (0.0032 A) ; A est l'angle entre le plan sagittal et le plan d'asymétrie en degré
FF : Facteur Fréquence ; ce facteur est obtenu sur la base de : la fréquence de soulèvement, de la posture adoptée et de la durée continue de manutention
FI : Facteur Interface ; FI permet d'évaluer l'interface entre la main et l'objet soulevé, interface influant sur les efforts de préhension

A partir de la CMA, les auteurs de l'équation révisée du NIOSH proposent de calculer l'Indice de Lever de Charge (ILC). Cet indice permet l'interprétation des résultats en terme de risques de lombalgie. L'ILC est déduit de la CMA par la formule décrite ci-après :

$$ILC = Poids\ de\ l'objet\ (en\ kg) / CMA\ (en\ kg)$$

En effet, si l'ILC est inférieur à 1, la tâche de manutention manuelle doit être considérée comme à faible risque lombaire. Pour un ILC supérieur à 1, la tâche de manutention doit être considérée comme potentiellement à risque. Si l'ILC dépasse 3, une modification du poste de travail est absolument nécessaire.

L'intégration de l'équation révisée du NIOSH dans un environnement de simulation virtuelle, utilisant des modèles anthropométriques humains, semble représenter une fonctionnalité intéressante pour l'évaluation de situations de travail existantes et la conception de futures situations de travail intégrant des opérations de lever de charge (HAIJANEN J. et al., 1996 ; LESKINEN T. et al., 1996). En effet, dans le cadre de la simulation virtuelle de "certaines activités gestuelles futures souhaitables", l'utilisation de l'équation révisée du NIOSH est facilitée par la mesure et le calcul automatique de plusieurs paramètres : distance séparant le milieu du segment virtuel qui lie les chevilles à la projection des mains sur le sol

au début du geste, distance des mains au sol au début de la prise de charge, déplacement vertical de la charge, angle entre le plan sagittal et le plan d'asymétrie, etc. C'est dans cette optique que nous avons mis en oeuvre cette fonctionnalité dans le logiciel MANERCOS.

Le Module d'évaluation ergonomique de MANERCOS propose, en parallèle, une évaluation de la pénibilité physique, inhérente aux activités gestuelles réalisées, par une évaluation du métabolisme énergétique. Le métabolisme énergétique, transformation d'énergie chimique potentielle en énergie thermique et mécanique, mesure le coût énergétique de la dépense musculaire et constitue un indice quantitatif de la pénibilité physique de l'activité (ISO 8996 - AFNOR, 1995). En accord avec MONOD (1981), la consommation d'oxygène constitue le principal indicateur de la dépense énergétique. En effet, toute activité musculaire s'accompagne d'une augmentation plus ou moins importante de la consommation d'oxygène. Face aux difficultés rencontrées pour la mesure sur le terrain de la consommation d'oxygène, différentes méthodes indirectes ont été définies pour estimer le métabolisme énergétique M (MEYER et al., 1989). Ces méthodes d'estimation de la dépense énergétique s'appuient, en particulier, sur la mesure de la fréquence cardiaque de travail (NIELSEN et al., 1987), sur la mesure de la ventilation pulmonaire (DATTA et al., 1969 cité par MEYER et al., 1989), sur l'observation du travail et sur sa décomposition en activités élémentaires dont le coût énergétique est connu (SPITZER et al., 1965 ; HORWAT et al., 1988).

Dans notre cas, nous nous sommes proposés d'utiliser le modèle de SPITZER-HETTINGER (SPITZER et al., 1965). Ce modèle de calcul est basé sur une évaluation de la dépense énergétique (exprimée en Watt/m²) en fonction des typologies d'activités gestuelles menées et de la connaissance du coût énergétique de chacune des activités gestuelles élémentaires. Ce modèle s'exprime sous la forme décrite ci-après :

$$M \text{ (en W/m}^2\text{)} = MB + MP + MA + MD$$

MB : Métabolisme de Base
MP : Métabolisme de Posture
MA : Métabolisme d'Activité
MD : Métabolisme de déplacement

En ce qui concerne le métabolisme de base, il s'exprime en fonction du sexe, de la stature, de l'âge et du poids du sujet, et ceci selon les deux équations suivantes :

$$MB\,\text{hom}me = \frac{0.04833}{0.202Wt^{0.425} \times Ht^{0.725}}(66.473 + 13.7516Wt + 500.33Ht - 6.7550A)$$

$$MBfemme = \frac{0.04833}{0.202Wt^{0.425} \times Ht^{0.725}}(655.0955 - 9.5634Wt + 184.96Ht - 4.6756A)$$

Wt : Poids (en kg)
Ht : Stature (en m)
A : Age (en années)

Il s'agit maintenant de décrire les modalités d'obtention du métabolisme de posture, du métabolisme d'activité et du métabolisme de déplacement en vue de pouvoir estimer le métabolisme énergétique global. Pour ce faire, la norme ISO 8996 (AFNOR, 1995) propose différents tableaux récapitulatifs qui permettent de déduire les métabolismes de posture, d'activité et de déplacement liés à différents comportements élémentaires.

Par exemple, en ce qui concerne le métabolisme d'activité, il est estimé selon le type d'activité menée. En effet, le métabolisme d'activité varie selon l'intensité du travail effectué en relation avec les segments corporels impliqués au cours de l'exécution de la gestuelle : travail avec les mains, un bras, deux bras et le tronc. Le Tableau 14 traduit différentes valeurs de métabolisme d'activité à considérer pour le calcul du métabolisme énergétique total.

De la même manière, le métabolisme de posture (MP) est déterminé en fonction du type de posture adoptée par l'opérateur (assis, agenouillé, accroupi, debout, debout penché). Pour chacune de ces postures adoptée lors d'un comportement élémentaire de l'opérateur (comportement élémentaire déjà décrit dans le Module d'analyse de l'activité de MANERCOS), une valeur de dépense énergétique est proposée en vue de pouvoir estimer le métabolisme énergétique global.

De même, en ce qui concerne le métabolisme de déplacement (MD), bien que pouvant varier avec la vitesse de déplacement, il a une valeur constante pour une activité définie à l'intérieur d'un intervalle de vitesse spécifié. De ce fait, il est possible de calculer le métabolisme de déplacement à partir des valeurs relatives pour les activités gestuelles considérées.

Type d'activité	Métabolisme d'activité - MA (en W/m²)	
	Moyenne	Intervalle
Travail avec les mains		
• léger	15	< 20
• moyen	30	20-35
• intense	40	>35
Travail avec un bras		
• léger	35	<45
• moyen	55	45-65
• intense	75	>65
Travail avec deux bras		
• léger	65	<75
• moyen	85	75-95
• intense	105	>95
Travail avec le corps		
• léger	125	<155
• moyen	190	155-230
• intense	280	230-330
• très intense	390	>330

Tableau 14 : Métabolisme pour différents types d'activités, valeurs excluant le métabolisme de base (d'après ISO 8996 - AFNOR, 1995)

C'est dans ce contexte que nous avons proposé, à travers le logiciel MANERCOS, la possibilité d'évaluer rapidement la dépense énergétique inhérente à une activité donnée à partir des scénarios et des comportements élémentaires générés par le Module d'analyse de l'activité. Tout ceci a nécessité d'enrichir les modules précédemment développés, dans la mesure où il était possible de réutiliser certaines de leurs fonctionnalités. Ces fonctionnalités sont utilisées pour qualifier, non seulement le mannequin évalué (sexe, stature, âge, poids), mais aussi, les niveaux de métabolisme correspondants aux comportements élémentaires associés (MB, MA, MP, MD).

Regardons maintenant les premiers résultats issus de la recherche d'autres fonctionnalités proposées en standard dans 3D Studio MAX et permettant de faciliter l'analyse ou la conception de situations d'utilisation, de fabrication, de maintenance, etc., du produit.

2.3.2 *Autres fonctionnalités de 3D Studio MAX utilisables pour l'évaluation et la conception de systèmes Homme-Produit-Environnement*

Au cours de ce paragraphe, nous aborderons les résultats de la recherche de fonctionnalités complémentaires proposées par 3D Studio MAX et susceptibles de promouvoir l'évaluation et la conception de systèmes Homme-Produit-Environnement existants et futurs. Pour l'instant, deux modules semblent intéressants, au regard des fonctionnalités qu'ils proposent. Comme, nous allons le voir maintenant, il s'agit du Module Héliodon qui permet de simuler l'éclairement du soleil en tout point du globe, et du Module Dynamique qui permet de gérer les collisions entre différents objets du système modélisé.

Le Module Héliodon proposé sous 3D Studio MAX permet de créer et d'animer une lumière directionnelle qui suit les angles et mouvements corrects du soleil autour de la Terre, dans un lieu géographique donné (KINETIX, 1997). Ainsi, sur la base du choix du lieu géographique d'implantation d'un atelier, de l'orientation des bâtiments par rapport aux points cardinaux, de la date et de l'heure, il est possible de simuler avec exactitude les variations d'exposition des bâtiments à la lumière solaire (évolution de l'éclairement naturel ainsi que des ombres portées).

L'intérêt d'une telle fonctionnalité est de pouvoir travailler très tôt sur l'ergonomie de l'éclairage des espaces de travail, lors de la conception des environnements de fabrication, de maintenance du produit. Par exemple, lors de la conception d'un nouvel atelier de production, il sera possible de mener très rapidement une réflexion sur l'orientation optimale des bâtiments ainsi que sur le type (fenêtres, baies vitrées, etc.), l'emplacement et le nombre d'ouvertures à mettre en oeuvre pour optimiser l'ambiance lumineuse au sein des espaces de travail.

Le terme dynamique, tel qu'il est utilisé dans 3D Studio MAX dans le **Module dynamique**, fait référence à une technique destinée à produire une animation simulant des propriétés physiques du monde réel (KINETIX, 1997).

L'utilisation de techniques d'animation classiques pour animer, par exemple, une balle qui rebondit, nécessite la création par l'utilisateur de toute une série de positions clés d'animation pour représenter la balle tombant sur le sol, la balle heurtant le sol et enfin le

rebond de la balle, etc. Le logiciel se charge d'extrapoler le mouvement de la balle entre ces différentes positions clés.

L'utilisation du **module dynamique** consiste à affecter des propriétés physiques à la balle et au sol (frottement, hauteur du rebond, etc.), à spécifier quels objets doivent rentrer en collision (la balle et le sol) et à ajouter certains effets, tels que la gravité. Sur cette base, le module dynamique se charge de calculer une solution possible sur la base des paramètres fixés en calculant une série d'images virtuelles animées. Le module dynamique génère alors plusieurs positions clés pour la balle, reproduisant ainsi une animation au cours de laquelle la balle tombe du fait de l'effet de gravité, heurte le sol et réagit de manière naturelle en fonction des propriétés de son matériau (densité, élasticité, etc.).

Notre intérêt pour le module dynamique se situe au niveau des perspectives intéressantes proposées pour gérer les collisions entre les différents objets du système et plus particulièrement entre les mannequins et les autres objets de l'environnement.

3. Perspectives de développement de nouveaux outils

La reproductibilité de notre approche, en ce qui concerne la conception des moyens de production, de maintenance, de recyclage, etc., du futur produit, nous amène à réfléchir sur une possible généralisation des méthodes et des outils mis en oeuvre, lors des précédents chapitres.

En effet, l'ensemble des concepts, des méthodes et des outils proposés peuvent être appliqués, en phase d'études détaillées, à la conception des moyens de production du produit, en cours de conception, en s'inscrivant dans la continuité du processus de conception proposé (Figure 49).

De la même manière que pour le produit, la conception des futurs moyens de production du futur produit peut être engagée en utilisant les mêmes concepts, méthodes et outils qui visent à analyser, en phase d'études détaillées, l'activité gestuelle réelle de travail des opérateurs sur les moyens de production existants :

- ☞ analyse des activités gestuelles de travail couplée à la mesure des facteurs de charge environnementale (luminosité, bruit, etc.) et des facteurs de charge psychophysiologiques (dépense énergétique, contrainte lombaire, etc.),

☞ analyse des aspects organisationnels (flux de produits, flux de personnes, etc.).

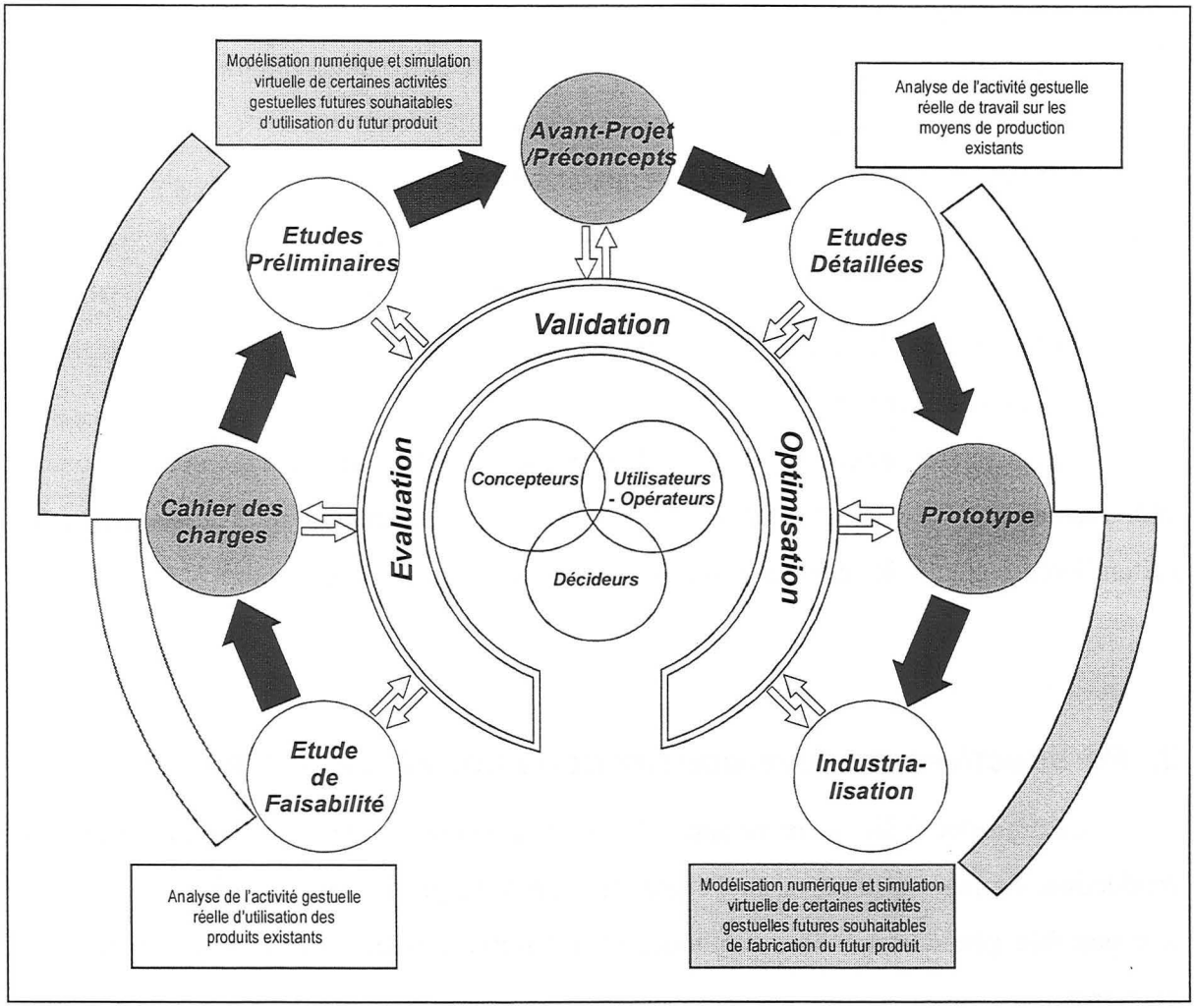


Figure 49 : Extension de la méthode préconisée à l'ensemble du cycle de vie du produit

En phase d'industrialisation du produit, la conception des futurs moyens de production du futur produit est engagée en appliquant la même démarche de recherche coopérative de solutions en trois temps :

- ☞ recherche coopérative de principes de solution pour les futurs moyens de production,
- ☞ modélisation graphique et numérique du système "Opérateur-Prototype du produit-Environnement de travail" incluant les futures machines et les futurs postes de travail,
- ☞ simulation virtuelle de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" de travail.

A travers une telle approche, regroupant des méthodes et des outils applicables à différentes étapes du processus de conception, nous pensons montrer la contribution de l'ergonomie, en général, et de "l'activité gestuelle", en particulier, à la démarche d'ingénierie concourante. Par souci de clarté, les différentes contributions de la notion "d'activité gestuelle" ont été reliées aux différentes phases du processus de conception préconisé. Ceci ne reflète évidemment pas la chronologie réelle du projet qui est structuré en tâches. En effet, bien qu'étant rattachées à la phase d'études détaillées, les tâches liées à l'étude des moyens de production existant doivent être engagées dès le début du projet de conception du nouveau produit, et ceci avant même la rédaction du cahier des charges fonctionnel. La distinction fondamentale faite entre les tâches chronologiques du projet et les phases du processus de conception confirme bien le positionnement de ce processus dans la démarche d'ingénierie concourante.

La contribution que nous apportons à cette approche d'ingénierie concourante se place dans le cadre de la nécessaire coopération entre tous les acteurs du projet (concepteurs, utilisateurs, opérateurs, décideurs, etc.) au fur et à mesure de la progression chronologique du projet. Cette réflexion s'appuie, en particulier, sur deux nouvelles notions que nous allons développer :

- la "maquette virtuelle du produit dans ses différentes situations de vie",
- l'Atelier Coopératif de Suivi de Projet basé sur une articulation entre les données liées à la gestion du projet (ressources humaines, matérielles, financières, etc.) et les données en relation avec la maquette virtuelle du produit dans ses situations de vie.

Ces différentes notions traitent, non seulement des aspects structurels, fonctionnels et dynamiques du produit, mais aussi et surtout, des aspects liés à "l'activité gestuelle" d'utilisation, de fabrication, de maintenance, etc., de ce produit, facteur de coopération entre les différents acteurs de la conception.

3.1 La "maquette virtuelle du produit dans ses différentes situations de vie"

A travers la notion de "maquette virtuelle du produit dans ses différentes situations de vie", nous pensons concrétiser la notion plus théorique de "champ des activités futures souhaitables", qu'elles soient d'utilisation, de fabrication, de maintenance, etc., qui de notre point de vue, constitue un des facteurs clés de la démarche d'ingénierie concourante. En

s'appuyant sur les nouvelles technologies de l'information (Internet, Intranet, Extranet) pour le partage des données et le travail collectif, une telle notion va pouvoir servir de moteur à la coopération entre les différents acteurs de la conception.

En effet, la notion de "maquette virtuelle du produit" consiste à créer, dès la phase d'avants-projets/préconcepts, une maquette numérique approximative en utilisant des logiciels de Conception Assistée par Ordinateur (CAO). A travers la maquette virtuelle du produit, les préconcepts peuvent vivre, évoluer et se préciser tout au long du projet (CHAMOUTON, 1998). Aujourd'hui, dans de nombreuses entreprises, le concept de maquette virtuelle du produit se met en place. En servant de référence pour tous les membres du groupe projet, la maquette virtuelle du produit permet de bien partager les données, en respectant les différentes "vues" métier. Ainsi, en s'appuyant traditionnellement sur un Système de Gestion de Données Techniques (SGDT), la maquette virtuelle du produit sert de vecteur à la démarche d'ingénierie concourante dans la mesure où :

- elle facilite la coopération entre les **intervenants techniques** d'un projet,
- elle accélère les étapes de validation par la visualisation des caractéristiques structurelles du futur produit,
- elle optimise les coûts grâce notamment à la limitation du nombre de maquettes physiques élaborées, etc.

La spécificité de notre travail consiste donc à **compléter la notion de "maquette virtuelle du produit" par "les situations de vie de ce produit"** et, en particulier, des situations de vie où interviennent l'homme (situations d'utilisation, de fabrication, de maintenance, etc., du produit dans un environnement donné). Cette nouvelle dimension, appuyée non plus sur un SGDT mais plutôt sur un **SGDC (Système de Gestion de Données de Conception),** nous semble fondamentale dans la mesure où :

- elle inclut des données autres que les seules données techniques liées au produit (données ergonomiques, marketing, financières, etc.),
- elle élargit la communication et le partage des données à véritablement tous les intervenants d'un projet (techniciens, ergonomes, designers, utilisateurs, opérateurs, décideurs, etc.),

☞ elle accélère les étapes de validation et de simulation non seulement du produit mais aussi du "champ des activités futures souhaitables" d'utilisation, de fabrication, de maintenance, etc., associées à ce produit.

Cette notion de "maquette virtuelle du produit dans ses différentes situations de vie", nous l'avons matérialisée à travers les fonctionnalités proposées par le logiciel MANERCOS. En effet, celui-ci nous permet de générer des modèles numériques du système Homme-Produit-Environnement, modèles numériques 3D traduisant les aspects structurels, fonctionnels et dynamiques du système étudié. Sur la base de ces modèles et de différents scénarios, il est possible de créer différentes séquences de films virtuels traduisant certaines activités futures souhaitables d'utilisation, de fabrication, de maintenance, etc., du produit.

De cette manière, et en utilisant les différents films virtuels traduisant "certaines activités gestuelles futures souhaitables", l'ergonome pourra véritablement participer aux différentes séances de recherche de solutions, et ceci au même titre que les ingénieurs. Ainsi, le "champ des activités futures souhaitables" lié à l'utilisation, à la fabrication, à la maintenance, etc., du futur produit, concrétisé par différents films virtuels, contribuera à la construction de représentations collectives sur les caractéristiques du futur système Homme-Produit-Environnement.

Reste maintenant à définir l'outil logiciel destiné à supporter le processus de conception préconisé : l'Atelier Coopératif de Suivi de Projet (ACSP). Un tel outil se propose de structurer les aspects "multimétiers" liés à la gestion du projet ainsi que les différentes données inhérentes à la "maquette virtuelle du produit dans ses différentes situations de vie".

3.2 L'Atelier Coopératif de Suivi de Projet (ACSP)

La notion de "maquette virtuelle du produit et de ses situations de vie", basée sur un Système de Gestion de Données de Conception (SGDC), peut être appliquée dans l'entreprise au travers d'un forum INTRANET servant **d'Atelier Coopératif de Suivi de Projet** (ACSP).

En servant d'environnement de conception coopérative distribuée (ERCEAU et BOURGINE, 1994 ; GARRO et coll., 1995 ; BRISSAUD et GARRO, 1996 ; GARRO, 1997) et de support logiciel au processus de conception préconisé (Figure 3 page 25), l'objectif d'un tel outil sera double. Basé sur la "maquette virtuelle du produit dans ses différentes situations de vie", il permettra, dans un premier temps, de partager une vision commune des données traitées et de mieux faire communiquer les différents acteurs du projet. Cette coopération

pourra être menée sur des versions, constamment mises à jour, du futur produit et de ses futures situations de vie (situations futures souhaitables d'utilisation, de fabrication, de maintenance, etc.). L'ACSP permettra, dans un deuxième temps, de gérer les apports des différents métiers participant au projet de conception (ingénierie, marketing, design, ergonomie, etc.), en structurant les données issues de l'application des différentes connaissances, méthodes et outils propres à chaque métier (Figure 50).

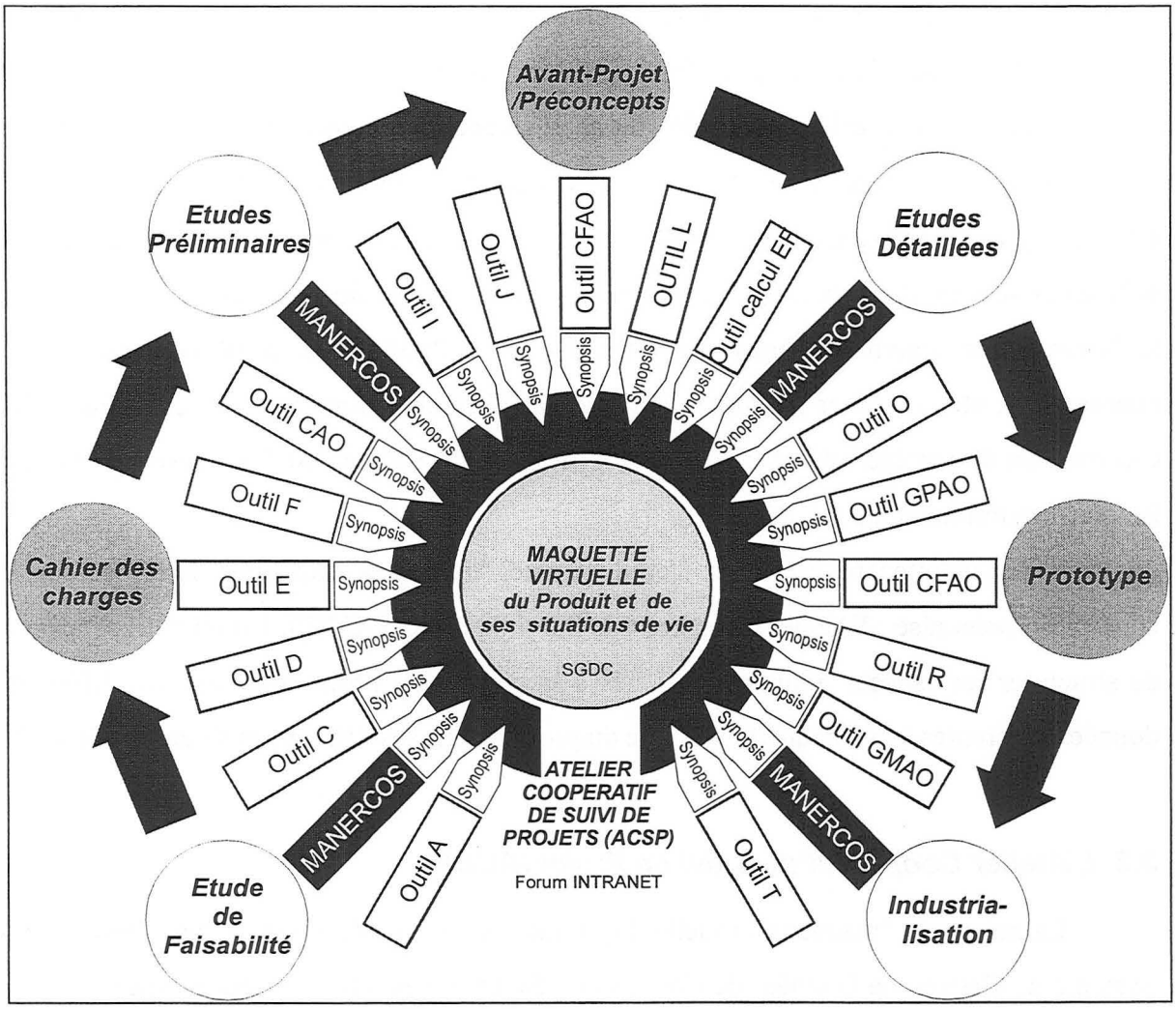


Figure 50 : Architecture des différents outils XAO gravitant autour de l'ACSP et montrant le positionnement du processus de conception préconisé dans la démarche d'ingénierie concourante

En effet, compte tenu de la quantité et de la variété des données générées au cours des différentes phases du processus de conception, il nous est paru impératif de proposer des standards de présentation des documents liés au projet. Ces standards visent à structurer puis à archiver les données traitées afin d'optimiser les actions de conception menées et de capitaliser l'expérience acquise au profit d'autres interlocuteurs de l'entreprise. A cet effet, nous

proposons un standard de document présenté sous la forme de documents multimédias récapitulatifs : les Synopsis.

L'optimisation de la démarche de conception proposée nous semble possible en structurant et en archivant, sous forme de Synopsis, les différentes données manipulées tout au long du projet. En reprenant l'exemple du projet de conception d'un nouveau système de contrôle-commande d'autoradio, il est ressorti différentes données lors de la recherche coopérative de solutions, en phase d'études préliminaires. Il s'agit, en particulier :

- d'esquisses, de croquis, de commentaires, etc., sur les principes de solution proposés par le groupe projet,
- des modèles graphiques et numériques issus de la modélisation du futur système Conducteur-Préconcept d'autoradio-Environnement,
- de séquences de films réels et virtuels issus de l'évaluation et de la simulation virtuelle de certaines activités gestuelles existantes et futures d'utilisation.

La structuration de ces données, sous la forme de documents multimédias, facilitera leur accessibilité pour les différents acteurs de la conception impliqués dans le projet. Ainsi, l'ACSP servira de support logiciel favorisant la conception du futur produit ainsi que la construction collective du "champ des activités futures souhaitables" d'utilisation, de fabrication, de maintenance, etc., de ce futur produit. De manière plus concrète, l'utilisation de l'ACSP par chaque acteur du projet pourra être envisagée sous la forme :

- de modifications effectuées directement sur les modèles numériques relatifs à "la maquette virtuelle du produit et de ses situations de vie" en cours de construction,
- de mises à jour des Synopsis traduisant une synthèse des actions projet menées à l'issue de l'application de connaissances de méthodes et d'outils spécifiques, selon le plan d'action défini par le chef de projet. Ces Synopsis se présentent sous forme de fiches de synthèse rappelant les objectifs visés par chaque intervention (phase, tâche, action, etc.), les moyens et les délais mis en oeuvre, les résultats obtenus ainsi que les problèmes rencontrés.

L'architecture logicielle développée pour l'ACSP est un système d'information permettant à une entreprise innovante de rationaliser l'échange des documents produits lors d'un projet de conception de produits, tout en incluant la dimension temporelle de la gestion de projet. Ce système d'information est structuré de manière à pouvoir englober les

différentes ressources qui composent un projet de conception de produits. Il s'agit, d'abord, des **ressources liées à la gestion de projet** en terme :

- ☞ d'organisation du projet : les différentes phases du projet (étude de faisabilité, cahier des charges, etc.), les tâches liées aux phases du projet (durée d'une tâche, personnes impliquées, etc.), les connaissances, méthodes et outils utilisés dans le projet (AFNOR, 1997),
- ☞ de ressources humaines impliquées dans le projet : les acteurs du projet, les métiers représentés dans le groupe projet,
- ☞ de ressources matérielles et financières nécessaires au bon déroulement du projet.

Il s'agit, ensuite, des **ressources liées au produit.** C'est, par exemple : les objectifs du projet en terme de produit (produit visé, produits concurrents...), les aspects structurels, fonctionnels et dynamiques du produit, la maquette virtuelle du produit.

Il s'agit, enfin, des **ressources liées à la mise en situation du produit** :

- ☞ les situations de vie des produits existants (films vidéographiques numérisés traduisant les activités gestuelles réelles d'utilisation, de fabrication, de maintenance, etc.),
- ☞ certaines situations de vie futures souhaitables du futur produit en relation avec la "maquette virtuelle du produit dans ses différentes situations de vie" (films virtuels traduisant les activités gestuelles futures souhaitables d'utilisation, de fabrication, de maintenance, etc.),
- ☞ les caractéristiques des différentes populations impliquées dans la mise en situation du produit (utilisateurs, opérateurs de fabrication, etc.).

L'ACSP, en tant qu'environnement logiciel de conception coopérative distribuée supportant le processus de conception préconisé, doit être un système d'information ouvert dans la mesure où il doit gérer les données produites à partir de différents logiciels externes. Comme nous l'avons illustré à la Figure 50, plusieurs outils logiciels pourraient être amenés à graviter autour de l'ACSP. A ce jour, une première maquette de l'ACSP a pu être développée en s'appuyant sur les différents outils suivants (LEROY, 1999) :

- ☞ Kinetix 3D Studio MAX 2.0, logiciel de modélisation 3D, de rendu, d'animation 3D et de post-production,

- MANERCOS 1.0, qui en tant qu'extension à 3D Studio MAX, permet à l'ergonome d'évaluer le système Homme-Produit-Environnement existant et futur autour de la notion "d'activité gestuelle",
- Microsoft OFFICE 95, qui permet de produire différents documents bureautiques,
- Microsoft PROJECT 98, logiciel dédié à la gestion de projet.

L'architecture logicielle proposée pour cette première maquette de l'ACSP est illustrée dans la Figure 51.

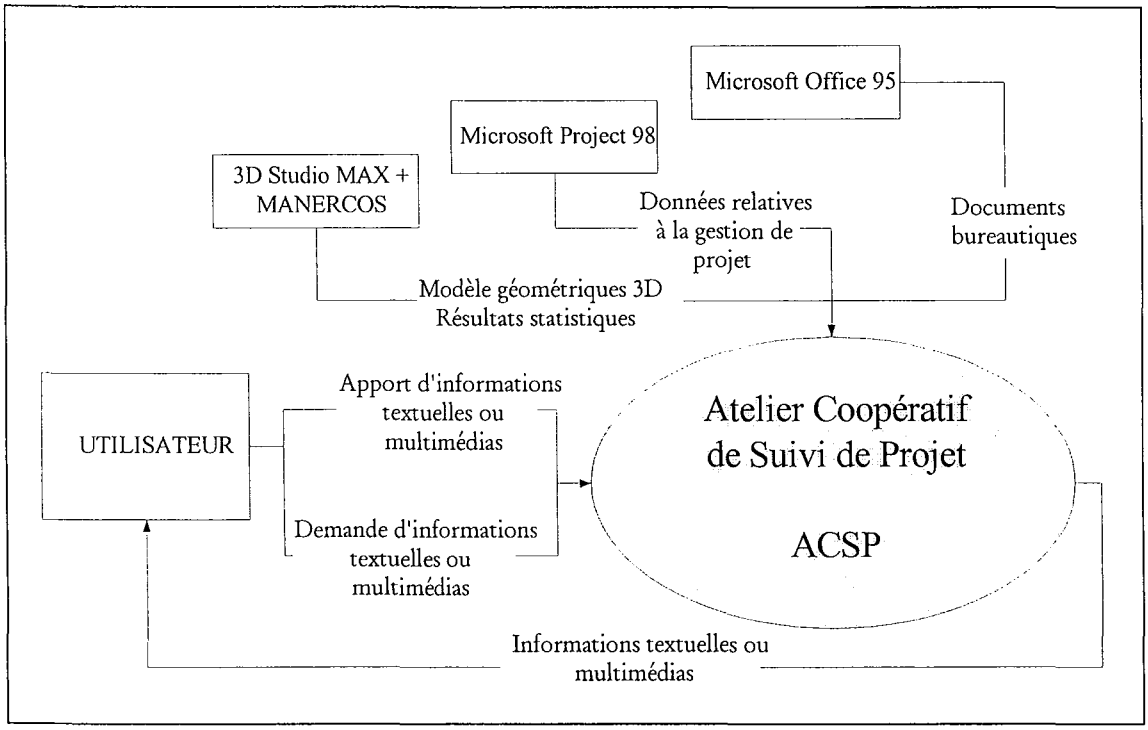


Figure 51 : Flot des données traitées et environnement logiciel mis en oeuvre autour de la première maquette développée pour l'ACSP (LEROY, 1999)

Cette première maquette de l'ACSP permet à chaque acteur du projet, en fonction de ses droits d'accès, d'ajouter, de modifier et de consulter différentes données traitées au cours du projet (Synopsis, planning projet, modèles CAO, etc.). Les étapes de validation des données modifiées s'effectuent en groupe projet, avec la nécessaire signature du chef de projet. Les données ainsi validées passeront de l'état de "données en cours de modification" en "données de référence" accessibles aux autres membres de l'équipe projet. Par l'intermédiaire de l'ACSP, les acteurs d'un projet pourront accéder aux différentes données et informations relatives à leur projet de conception de produits. A chaque phase clé du projet (phase de synthèse du processus de conception préconisé), l'ACSP pourra générer, à la demande du chef

de projet, un ensemble de documents de synthèse tels que le cahier des charges fonctionnel, le dossier produit ou le dossier de fabrication. Conformément à l'approche d'ingénierie concourante et en nous inspirant de la méthode QFD (Quality Function Deployment), nous nous sommes proposés d'intégrer dans l'ACSP différentes données intervenant dans le cycle de vie du produit. Outre les données liées à la gestion des coûts, des délais et des ressources du projet, il s'agit, en particulier, des données en relation avec :

- le besoin des utilisateurs et/ou des clients,
- les aspects fonctionnels, structurels et dynamique du système Homme-Produit-Environnement,
- les aspects liés à la fabrication, à la maintenance, au recyclage, etc., du produit.

Il s'agit maintenant, dans le cadre de nos futurs travaux de recherche, de poursuivre et de finaliser les développements ainsi engagés, puis d'étudier les modalités d'application des outils ACSP et MANERCOS à des secteurs d'activité autres que l'automobile. L'objectif recherché est de valider les concepts, les méthodes et les outils développés tout en analysant, sur différents projets de conception, les modalités d'application de notre vision du processus de conception de produits, processus placé dans une démarche d'ingénierie concourante.

4. Conclusion

Au cours de ce chapitre, et à travers les différents outils proposés, nous nous sommes intéressés à la contribution de la notion "d'activité gestuelle" à la démarche d'ingénierie concourante. En effet, nous avons pu montrer qu'il était possible d'étendre les concepts, les méthodes et les outils développés à l'ensemble du processus de conception préconisé, depuis l'identification du besoin jusqu'à la phase d'industrialisation (Figure 49 et Figure 50), sans oublier les phases de fabrication, de distribution, de maintenance, de recyclage, etc.

A travers l'outil logiciel MANERCOS, il est possible de matérialiser la contribution de la notion "d'activité gestuelle" d'utilisation, de fabrication, de maintenance, etc., au processus de conception de produits préconisé. Pour ce faire, le logiciel MANERCOS présente différentes fonctionnalités qui permettent, rappelons-le :

- d'analyser l'activité gestuelle réelle menée lors des situations existantes d'utilisation, de fabrication, de maintenance, etc., des produits existants,

- de modéliser en numérique le futur système Homme-Produit-Environnement (reconstitution en 3D de mannequins anthropométriques, du produit et de ses différents environnements d'utilisation, de fabrication, de maintenance, etc.),
- de simuler, en virtuel, le comportement dynamique du futur système et de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation, de fabrication, de maintenance, etc., associées.

En s'appuyant sur ces différentes fonctionnalités, l'utilisation de l'outil MANERCOS est possible dès la première phase du processus de conception préconisé (Figure 52).

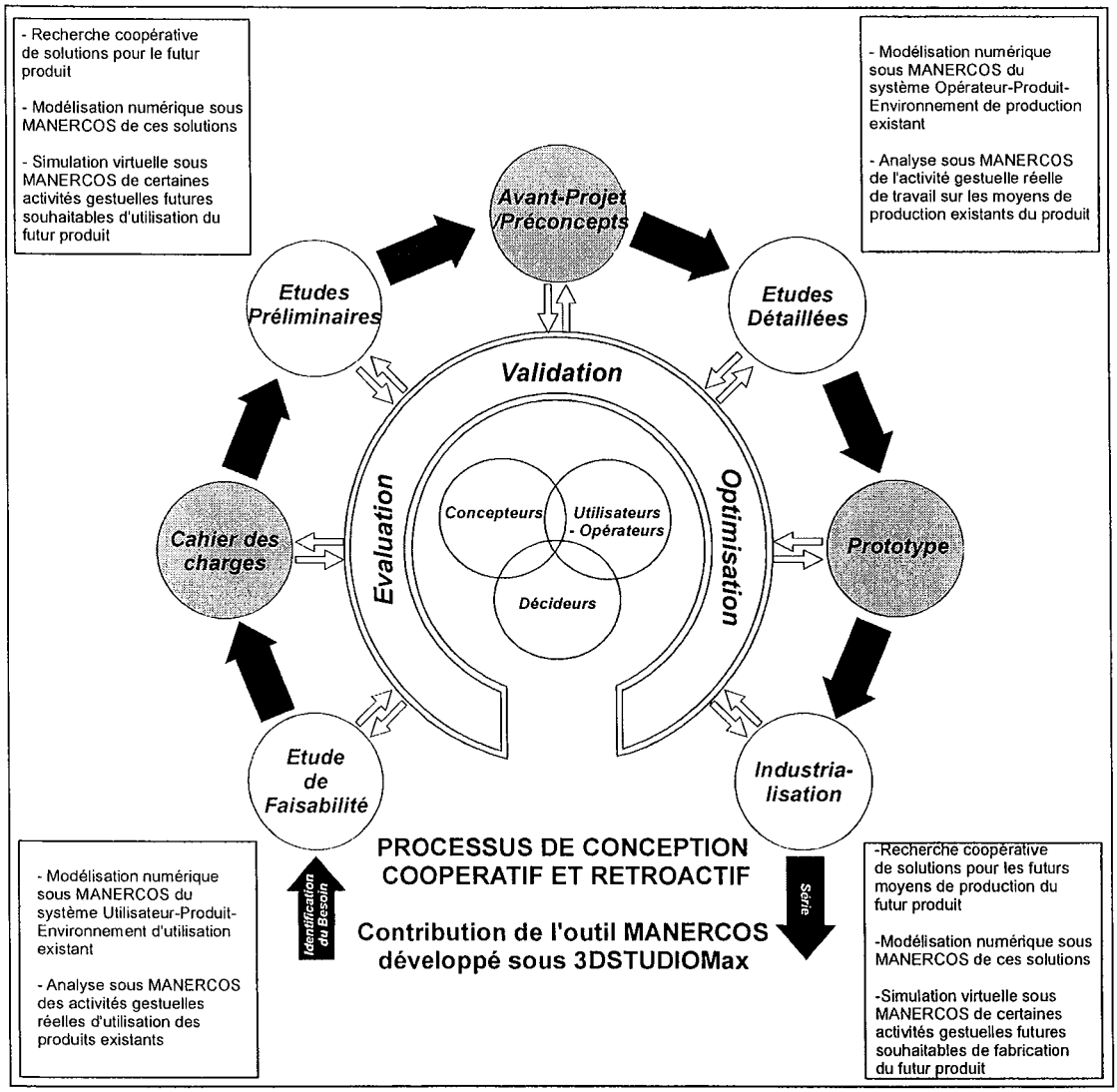


Figure 52 : Positionnement de l'outil MANERCOS dans notre démarche de conception des systèmes Homme-Produit-Environnement basée sur "l'activité gestuelle" d'utilisation, de fabrication, etc., du produit

En effet, au cours de la phase d'étude de faisabilité, MANERCOS permet d'analyser les activités gestuelles réelles d'utilisation des produits existants. Lors de la phase d'études

préliminaires, ce logiciel va servir de support à la démarche de recherche coopérative de solutions à travers la simulation virtuelle de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation du futur produit. En phase d'études détaillées, pendant que les ingénieurs finalisent le produit en vue d'élaborer un prototype, il sera possible, à l'aide de MANERCOS, d'étudier les moyens de production existants du produit autour des activités gestuelles réelles de travail des opérateurs de fabrication. L'objectif d'une telle approche est de pouvoir, en phase d'industrialisation, concevoir et mettre en place les futurs moyens de production du futur produit en se basant, en particulier, sur la simulation virtuelle de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" de fabrication.

Conformément à notre hypothèse de base qui tente de rétablir le dialogue entre les différents acteurs de la conception autour de la notion "d'activité gestuelle", l'outil MANERCOS s'intègre dans un environnement logiciel plus vaste : l'Atelier Coopératif de Suivi de Projet (ACSP). Basé sur le concept de "maquette virtuelle du produit dans ses différentes situations de vie", l'ACSP constitue un véritable Système de Gestion des Données de Conception (SGDC) destiné à supporter le processus rétroactif et coopératif de conception de produits proposé. Positionné au coeur de nos futures perspectives de recherche en tant qu'environnement de conception coopérative distribuée, l'ACSP nous permettra d'intégrer, dans la démarche d'ingénierie concourante, l'ensemble des méthodes et des outils proposés, afin de mieux concevoir des produits adaptés aux futurs utilisateurs. En effet, les concepts, méthodes et outils proposés semblent être bien cadrés avec les technologies identifiées comme prioritaires en ingénierie concourante et prototypage rapide. Il s'agit, conformément à l'inventaire effectué sur les technologies clé pour l'industrie, à l'horizon 2000 (CETIM, 1997 ; TICHKIEWITCH, 1998) :

- de la simulation d'un équipement dans son environnment,
- du design des produits comprenant l'intégration de l'ergonomie dans la conception des produits,
- de la simulation du poste de travail en usine,
- des groupe de créativité menés sur maquette virtuelle,
- des systèmes de gestion de bases de données réparties avec conception simultanée en réseau.

CHAPITRE VI

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

1. Introduction

Ce travail de recherche a été impulsé par une prise de conscience, à l'occasion d'un projet de conception d'un nouvel autoradio, des difficultés rencontrées par les acteurs du groupe projet (ingénieurs, ergonomes, utilisateurs, décideurs, etc.) pour intégrer la notion "d'utilisabilité" dans le processus de conception de produits. En effet, en phase d'études préliminaires de ce projet, hormis les ingénieurs qui eux sont allés directement aux solutions techniques, tout s'est passé comme s'il existait un "blocage généralisé" du groupe projet lors de la recherche de solutions adaptées aux futurs utilisateurs. Dans un tel contexte, le rôle des ergonomes et des utilisateurs s'est réduit à tenter de négocier, a posteriori, avec les ingénieurs, le degré de conformité du concept retenu, au regard de l'ensemble des critères du cahier des charges. En généralisant ce constat, on s'aperçoit que dans la plupart des cas, le niveau de prise en compte de l'ergonomie dans les "solutions d'ingénieur" retenues est bien souvent en dessous du niveau escompté. A cette occasion, différentes "bonnes raisons", justifiant les solutions "technocentrées" proposées, sont affichées : contraintes de faisabilité technique, de qualité, de coût, de délais, etc.

Conscient des difficultés de coopération constatées entre les ingénieurs et les ergonomes, notre travail de recherche a d'abord consisté à montrer la contribution de la notion-clé "d'activité gestuelle réelle" d'utilisation, en tant que support de coopération, dans le processus de conception de produits nouveaux. Par la suite, confronté en phase d'études préliminaires au "paradoxe de l'ergonomie de conception", lors de la recherche de solutions, nous avons montré la nécessité d'appliquer des méthodes de modélisation numérique et de simulation virtuelle pour engager un réel dialogue au sein du groupe projet. Enfin, en adoptant notre propre vision du processus de conception de produits, nous avons proposé un cadre structurel pour rétablir la coopération entre les différents acteurs de la conception, ceux-ci n'ayant pas les mêmes métiers, le même langage, la même culture, etc.

Il s'agit, au cours de ce chapitre, d'effectuer un bilan global, d'un point de vue méthodologique et théorique, sur les apports et les limites de notre travail. Ensuite, nous préciserons nos perspectives de recherche, à travers les différentes orientations que nous pensons poursuivre.

2. Conclusion sur les apports et les limites de notre travail

Au cours de ce travail, nous avons montré, à travers un projet de conception d'un nouveau système de contrôle-commande d'autoradio, la contribution concrète de la notion "d'activité gestuelle" dans le processus de conception de produits adaptés aux futurs utilisateurs. Cette contribution se matérialise, au cours des différentes phases d'analyse du processus de conception proposé, par le support de coopération que cette notion "d'activité gestuelle" a pu constituer entre les différents acteurs de la conception. En phase d'étude de faisabilité et d'études préliminaires, nous avons centré la conception autour des "activités gestuelles" existantes et futures d'utilisation du produit. En ce qui concerne les phases d'études détaillées et d'industrialisation nous avons pu montrer qu'il était possible d'utiliser la même notion "d'activité gestuelle" pour l'évaluation et la conception des situations existantes et futures de fabrication du produit.

2.1 Apports méthodologiques de notre travail

D'un point de vue méthodologique, la mise en oeuvre, au cours de l'étude de faisabilité, d'une analyse de "l'activité gestuelle" d'utilisation consiste à étudier, en situation réelle, "l'activité gestuelle" d'utilisation des produits existants, en situation de référence (JEFFROY, 1987 ; QUEINNEC et al. 1992 ; DANIELLOU, 1992). Il s'agit ici de replacer la problématique posée, sur un produit donné, dans un cadre plus global prenant en compte la diversité des situations d'action caractéristiques liées à l'utilisation de ce produit (RABARDEL, 1991). L'objectif recherché est de permettre une première prise de conscience, au sein du groupe projet, de la réalité des situations d'utilisation des produits existants ainsi que des problèmes d'utilisabilité rencontrés par les utilisateurs.

Dans le cas de notre projet de conception d'un nouvel autoradio, l'approche analytique que nous avons menée, en phase d'étude de faisabilité, s'est centrée sur l'analyse des activités gestuelles secondaires d'utilisation des systèmes de contrôle-commande existants. Cette approche analytique a d'abord consisté à classifier les fonctions automobiles existantes, du point de vue des caractéristiques de conception des systèmes de contrôle-commande disponibles dans les véhicules : type de commande, implantation dans le poste de conduite, etc.

Ensuite, nous avons pu identifier différents indicateurs de performance, en relation avec l'utilisabilité de ces systèmes. Dans notre cas, nous avons retenu des indicateurs de performance liés à "l'activité gestuelle" d'utilisation, en terme d'efficacité et de sécurité de conduite. Il s'agit, par exemple, de la durée cumulée de regard dans le poste de conduite ou du nombre de manipulations du système de contrôle-commande testé.

Enfin, toutes ces étapes ont conduit à une expérimentation, en situation réelle, afin d'établir des modèles statistiques prédictifs liant les indicateurs de performance décrits précédemment et les caractéristiques de conception des systèmes de contrôle-commande testés. L'objectif recherché a été de comprendre, puis de prédire, l'influence de tel ou tel paramètre de conception du produit sur une bonne ou une mauvaise performance, lors de son utilisation en situation réelle.

Sur la base des résultats obtenus, l'ergonome impliqué dans le projet a pu compléter cette démarche, basée sur l'analyse des activités gestuelles réelles d'utilisation, par d'autres dimensions s'intéressant toujours à l'analyse des activités d'utilisation, mais cette fois-ci en terme d'information, de régulation et de processus de pensée (FAVERGE, 1972 ; SPERANDIO, 1988).

Bien qu'étant nécessaire, la connaissance de l'activité d'utilisation des produits existants nous est apparue insuffisante, en tant que telle, pour poursuivre une véritable coopération entre les ergonomes et les ingénieurs, lors de la recherche de solutions (MALINE, 1994a ; MALINE, 1994b). Cette coopération, indispensable tout au long du projet, a donc nécessité une évolution des méthodes et des outils utilisés, de manière classique, en ergonomie. Il s'agit, non seulement, de savoir traduire les différentes contributions de l'ergonomie, en phase d'étude de faisabilité, afin de les rendre exploitables pour les ingénieurs à travers un cahier des charges intelligible pour tous (LUBRANO et al., 1994 ; ROUSSEL et al., 1994 ; ROUSSEL et LE COQ, 1997). Il s'agit, aussi et surtout, de s'engager dans la voie de méthodes et d'outils projectifs confrontant deux types de modèles : ceux relatifs à "l'Homme en activité" et ceux relatifs au produit et à son mode de fonctionnement. C'est résolument sur cette dernière voie que nous avons orienté nos différentes propositions.

En effet, la spécificité de ce travail de recherche se traduit par la mise en oeuvre, au cours des études préliminaires, pour le produit, et au cours de la phase d'industrialisation, pour

les moyens de production du produit, d'une démarche spécifique de recherche coopérative de solutions. Cette démarche en trois temps est basée, en particulier, sur :

- une recherche coopérative en groupe projet de principes de solution,
- la modélisation graphique et numérique de la globalité du système Homme-Produit-Environnement, le produit étant considéré au stade de préconcept, voire de prototype,
- la simulation virtuelle de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation, de fabrication, de maintenance, etc., du futur produit.

L'intérêt d'une telle démarche de recherche coopérative de solutions se situe à plusieurs niveaux. Elle permet dans un premier temps, au cours de l'étape de recherche coopérative de principes de solution, de faire coexister différents types de données. Il s'agit, en particulier, des recommandations issues du cahier des charges fonctionnel, intégrant les données normatives et les données analytiques issues de l'analyse de l'activité gestuelle réelle. Il s'agit aussi des idées innovantes formulées lors de séances de créativité sur film vidéographique puis sur "maquette virtuelle du produit dans ses différentes situations de vie". L'objectif affiché est de rechercher, en groupe projet, non pas une solution unique, voire optimale, mais un ensemble de solutions "acceptables", préconcepts tenant compte des différentes contraintes marketing, techniques, ergonomiques, financières, etc.

Ensuite, au cours de l'étape de modélisation graphique puis numérique du système Homme-Produit-Environnement, nous nous proposons de formaliser les caractéristiques structurelles et fonctionnelles du préconcept de produit proposé, en le positionnant dans un cadre plus global tenant compte des autres éléments du système. Il s'agit, par exemple, des utilisateurs, de l'environnement d'utilisation, de l'environnement de fabrication, etc., de ce préconcept du produit.

Cette étape de modélisation numérique du système Homme-Produit-Environnement s'appuie donc sur un nouveau concept : celui de "maquette virtuelle du produit dans ses différentes situations de vie". Cette notion, en demeurant complémentaire au maquettage numérique traditionnel, propose de nouvelles perspectives pour la démarche d'ingénierie concourante. En effet, en étant basée sur les outils XAO, cette notion propose de nouveaux "objets intermédiaires de la conception", constituant des supports de coopération pour les groupes de créativité sur maquette virtuelle et ouvrant ainsi la voie à une véritable conception

coopérative distribuée, assistée par ordinateur (ERCEAU et BOURGINE, 1994 ; YOUNAN et al., 1995 ; FALZON, 1995 ; GARRO, 1997). En effet, par XAO, il faut comprendre l'ensemble des outils "Assistés par Ordinateur" intervenant dans le cycle de vie du produit en terme de Conception (CAO), de Conception-Fabrication (CFAO), de Gestion de Production (GPAO), de Gestion de Maintenance (GMAO), etc. L'utilisation de tels outils, couplés aux outils d'ingénierie à base de connaissance, aux Systèmes de Gestion de Données Techniques voire de Conception (SGDT, SGDC) et aux technologies de l'information (Internet, Intranet et Extranet), sert de support à la démarche émergeante d'ingénierie concourante.

Enfin, c'est au cours des étapes de simulation virtuelle de certaines activités gestuelles d'utilisation, de fabrication, de maintenance, etc., au sein du système Homme-Produit-Environnement, que nous montrons toute la particularité de notre travail. En effet, c'est à travers la notion de "maquette virtuelle du produit dans ses différentes situations de vie" centrée sur la notion "d'activité gestuelle", que nous proposons de construire, en groupe projet, le "champ des activités futures souhaitables" d'utilisation, de fabrication, de maintenance, etc. du futur produit. La construction collective de ce "champ des activités futures souhaitables" nécessite de reconstituer des séquences de films virtuels traduisant certaines activités gestuelles futures souhaitables, en relation avec le futur produit. Ces séquences de films virtuels sont utilisés en tant que de support de coopération entre les différents acteurs de la conception, et plus particulièrement entre les ingénieurs et les ergonomes, lors de groupe de créativité sur maquette virtuelle.

En résumé, et de notre point de vue, la conception d'un nouveau produit adapté au futurs utilisateurs, posant la question d'une véritable ergonomie de conception, passe par une nécessaire prise en compte de la notion "d'activité gestuelle" lors du processus de conception du produit. La prise en compte de cette notion "d'activité gestuelle" doit être menée selon une approche coopérative de la conception impliquant l'ensemble des acteurs du projet, en relation avec les différentes situations de vie du produit (utilisation, fabrication, maintenance, recyclage, etc.). En effet, et en accord avec MALINE (1997), le travail de conception "à plusieurs" passe par la connaissance préalable et partagée (donc organisée) de ce que chacun des acteurs de la conception (ingénieurs, utilisateurs, ergonomes, opérateurs, décideurs, etc.) pense de la situation existante et de ce chacun imagine de la situation future.

L'application de cette démarche, centrée sur la notion "d'activité gestuelle" et de "maquette virtuelle du produit dans ses différentes situations de vie", à un projet de conception d'un nouveau concept d'autoradio, a nécessité le développement d'un nouvel outil informatique. Il s'agit de l'outil logiciel MANERCOS : Module d'ANalyse pour l'ERgonomie et la COnception des Systèmes. Basé sur les principes de l'orienté objet, cet outil est destiné à l'analyse des activités gestuelles réelles, à la modélisation numérique et à la simulation virtuelle de certaines activités gestuelles futures souhaitables, au sein du système Homme-Produit-Environnement.

Il s'agit aussi des perspectives de recherche intéressantes sur l'activité des concepteurs lors de projets de conception en ingénierie concourante, à travers l'environnement logiciel que constitue l'Atelier Coopératif de Suivi de Projet (ACSP).

Actuellement en phase de développement, ce Système de Gestion de Données de Conception (SGDC) aura pour objectif :

- ☞ d'accompagner la démarche de conception par la structuration des données liées au projet (Besoin, Ressources et Produit dans ses différentes situations de vie),
- ☞ de guider les concepteurs vers différentes connaissances, méthodes et outils de conception en relation avec le type de projet traité,
- ☞ de capitaliser les expériences acquises au sein de l'entreprise, par la centralisation, l'archivage et la possible réutilisation des données générées.

Du point de vue de la recherche, un tel outil nous permettra, en adoptant une approche expérimentale, d'étudier les modalités d'une véritable démarche d'ingénierie concourante, centrée sur l'approche coopérative de la conception, autour de la notion "d'activité gestuelle". On s'intéressera ici à l'activité des concepteurs, domaine ayant déjà fait l'objet de nombreux travaux dans la littérature (BEGUIN, 1994 ; GARRIGOU, 1995 ; FALZON, 1995 ; BEGUIN et DARSES, 1998), et qui de notre point de vue, nous permettra d'affiner le processus de conception préconisé.

2.2 *Positionnement théorique de notre travail*

En ce qui concerne les apports plus théoriques de notre travail, il se positionnent dans le domaine des **sciences de l'innovation**, qui selon la définition proposée par GUIDAT et al. (1995), traduit une "science de l'action à l'interface des sciences de l'ingénieur et des sciences de l'homme, permettant de piloter l'ensemble des interactions qui gouvernent les systèmes

industriels au niveau de leur conception, leur mise en place et leur conduite". Au cours du projet de conception d'un nouvel autoradio, nous avons pris conscience des difficultés rencontrées par les ergonomes, lorsqu'il a fallu mettre en oeuvre une démarche d'ergonomie de conception centrée sur l'activité d'utilisation. En effet, en nous appuyant uniquement sur la méthode clinique d'analyse de l'activité réelle d'utilisation, le groupe projet a été très vite confronté au "paradoxe de l'ergonomie de conception". Les résultats que nous avons pu obtenir à l'issue de l'application de nouvelles méthodes et de nouveaux outils basés, en particulier, sur la modélisation numérique et la simulation virtuelle, traduisent manifestement la nécessité d'un changement de paradigme.

En effet, il s'agit de passer du paradigme positiviste, lors de l'analyse des situations existantes d'utilisation, à un paradigme constructiviste, lorsqu'il s'agit de construire collectivement des préconcepts de solution, adaptés aux futurs utilisateurs.

Le positivisme, cadre rationaliste et traditionnel de la science positive, s'inspire du paradigme cartésien : vision mécaniste du monde, prônant l'indépendance entre le réel et l'observateur (KREMER-MARIETTI, 1982). Il s'agit ici de la tradition dominante lorsque l'on traite de "tendances à l'oeuvre en matière de conception des projets industriels", tradition basée sur le calcul analytique (BOSSARD et al., 1997). Une telle tradition postule l'existence d'une bonne solution à tout problème correctement posé. En ce qui nous concerne, cette tradition s'est matérialisée par le caractère universel des normes et standards ergonomiques appliqués, mais aussi par la proposition de modèles analytiques prédictifs des activités gestuelles secondaires d'utilisation, en relation avec les paramètres de conception des commandes utilisées.

En ce qui concerne le constructivisme, les perceptions de la réalité sont tenues pour construites par le modélisateur, sujet actif et connaissant. Le constructivisme s'avère être une véritable école de tolérance. En effet, personne ne détient une vérité universelle, car bien qu'elle soit recherchée en commun, chacun se construit sa propre vérité, car "le chemin se construit en marchant" (MORIN cité par LEMOIGNE, 1991).

Conscient de la complexité du système Homme-Produit-Environnement analysé (LEMOIGNE, 1990), l'approche constructiviste et systémique, que nous avons voulu insuffler à notre réflexion, se manifeste à différents niveaux. Il s'agit, d'abord du positionnement de nos travaux dans le cadre de la démarche d'ingénierie concourante, tradition minoritaire et

alternative à la tradition analytique dominante de la conception (BOSSARD et al., 1997). Il s'agit aussi de notre démarche de recherche coopérative de solutions "acceptables", plutôt qu'optimales. De plus, et en accord avec la pensée systémique (DE ROSNAY, 1975 ; DURAND, 1994), cette approche est basée sur des principes orientés objet et sur des méthodes de modélisation et de simulation de la globalité du système Homme-Produit-Environnement. En effet, la force de l'analyse orientée objet repose sur ses capacités à procurer une vision globale tout en préservant la complexité du système modélisé. Ceci est possible, en particulier, grâce à certains principes fondamentaux que sont : l'abstraction, l'encapsulation, l'héritage et l'association (KOLSKI, 1997 ; PARROCHIA, 1998). Il s'agit enfin, des orientations prises pour proposer de nouveaux "objets intermédiaires de la conception" basés sur l'activité gestuelle réelle et future d'utilisation, de fabrication, de maintenance, etc., du produit. De tels "objets intermédiaires", en tant que supports de coopération, permettent de construire des représentation collectives, au sein du groupe projet, sur les caractéristiques du futur système Homme-Produit-Environnement en relation avec le "champ des activités futures souhaitables".

Placés dans un paradigme constructiviste, les méthodes et les outils préconisés nous permettent de dépasser le "paradoxe de l'ergonomie de conception" dans la mesure où ils autorisent les "non-ingénieurs" (ergonomes, utilisateurs, opérateurs, etc.) à participer à la recherche coopérative de solutions. De cette manière, il conviendra de passer d'une vision positiviste lors des phases d'analyse de l'existant et d'élaboration de recommandations du cahier des charges, vers une approche constructiviste lors de la recherche coopérative de solutions "acceptables", tenant compte des différents critères ergonomiques, techniques, économiques, etc.

Dans cette perspective, l'objectif de l'analyse de l'activité ne serait plus de décrire la réalité des situations de référence, mais de servir de support à la construction de représentations communes aux différents acteurs du projet, en s'appuyant sur des techniques de modélisation numérique et de simulation virtuelle de "certaines activités gestuelles futures souhaitables". Les représentations ainsi construites contribueront à la constitution d'une nouvelle réalité qui sera, elle, conforme au modèle (SIMON cité par RAMACIOTTI, 1995). En effet, lorsque les situations d'utilisation du produit et les situations de travail sur les moyens de fabrication du produit seront réellement établies à la fin d'un projet de conception,

les représentations de "l'activité" pourront continuer à diverger, mais la réalité sera là pour "trancher" (MALINE, 1997).

2.3 Limites de notre travail

Il s'agit au cours de ce paragraphe d'exposer les limites de notre travail, qui rappelons-le, se positionne dans le domaine du génie des systèmes industriel en adoptant une logique "anthropocentrique" (RABARDEL, 1995 ; LOMBARD, 1997 ; ROUSSEL et LE COQ, 1997).

Tout d'abord, il est important de souligner que la démarche, préconisée dans le cadre de cette recherche, n'a pu être appliquée que partiellement, à travers le projet de conception d'un nouveau concept d'autoradio. En effet, il serait intéressant de poursuivre les développements sur les préconcepts d'autoradio proposés en vue de pouvoir les tester, sous forme de prototypes, en situation réelle de conduite. Dans la même optique, nous n'avons pu entrevoir la dimension liée aux "activités gestuelles de fabrication des systèmes de contrôle-commande d'autoradio", dimension qu'il serait nécessaire d'aborder dès le début du projet, conformément à l'approche d'ingénierie concourante préconisée. Néanmoins nous avons pu tester la généralisation des concepts, méthodes et outils proposés, à des situations autres que celles d'utilisation. En effet, ceux-ci ont pu être appliqués lors de différents projets de conception de moyens de production du produit (LOUYOT et PERNIN, 1998 ; BECK et al., 1998).

Il s'agit aussi de mettre l'accent sur la nécessité de revenir sur des évaluations de l'utilisation réelle sur prototype pour valider les premières orientations de conception choisies. Ces orientations ont été retenues à l'issue des étapes de modélisation numérique et de simulation virtuelle du système Homme-Produit-Environnement ainsi que de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation associées. En effet, malgré l'importance des supports de coopération issus de la simulation virtuelle de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" d'utilisation, en phase d'études préliminaires, les validations ultérieures sur prototype, en situation réelle, restent un point de passage obligatoire pour finaliser l'ergonomie du nouveau produit.

En résumé, l'utilisation de la notion de "maquette virtuelle du produit dans ses différentes situations de vie" ne doit pas constituer une fin en soi, mais un support de coopération, au point de passage intermédiaire entre deux réalités :

- celle des situations réelles d'utilisation, de fabrication, de maintenance, etc., sur les produits existants,
- celle des situations réelles d'utilisation, de fabrication, de maintenance, etc., sur les premiers prototypes du nouveau produit, une fois réalisé.

Enfin, il est important de rappeler que les méthodes et les outils préconisés n'intègrent que la dimension gestuelle de l'activité touchant, en particulier : les directions de regard, les activités motrices, les postures et les déplacements. Dans cette optique, il est nécessaire de consolider la démarche coopérative de recherche de solutions préconisée en y intégrant la contribution d'autres métiers. Il s'agit, d'abord, des autres dimensions de l'activité telles que la dimension cognitive ou la dimension sociale du travail. En s'appuyant sur des techniques de verbalisation et de confrontation aux différentes séquences de films virtuels, l'ergonome pourra mener différentes analyses afin de bien identifier et interpréter les déterminants des "activités gestuelles futures souhaitables" visualisées.

Il s'agit aussi de la contribution d'autres métiers touchant, en particulier, au domaine du design et du marketing, qui permettra, à l'aide de groupe de créativité sur maquette virtuelle :

- de visualiser les différentes orientations esthétiques et fonctionnelles retenues sur le produit en terme de choix : des formes, des couleurs, des matériaux, etc.,
- de valider les besoins du marché en vérifiant l'adéquation entre les préconcepts de solution proposés et les besoins formulés.

En ce qui concerne le recours aux techniques de modélisation des phénomènes observés (modélisation statistique, graphique, numérique, etc.), la principale question qui s'impose est celle de la validité des modèles élaborés. En effet, en accord avec SPERANDIO (1995), il convient de réfléchir systématiquement sur la validité de ces modèles. Cet auteur précise, en effet, la nécessité en ergonomie, et contrairement aux sciences formelles (Logique, Mathématiques, etc.), de s'assurer que le monde décrit est bien tel que le modèle le dit. Dans le cadre du projet de conception de commandes automobiles, nous avons engagé une première réflexion sur la validité des modèles analytiques élaborés, en effectuant directement des analyses comparatives entre données prédites par les modèles statistiques et données expérimentales mesurées sur le terrain (Chapitre II).

Reste maintenant à valider les résultats issus des séances de simulation virtuelle à travers des expérimentations réalisées en situation réelle avec le prototype d'autoradio, une fois élaboré.

Dans ce contexte, il sera possible de compléter l'approche préconisée, centrée sur la simulation virtuelle de "certaines activités gestuelles futures souhaitables" par des expérimentations sur simulateur, impliquant de vrais utilisateurs qui testeront le prototype du futur produit (ZWOLINSKI et al., 1998 ; ZWOLINSKI, 1999).

Dans le cadre du projet de conception d'un nouvel autoradio, et conformément aux limites que nous nous sommes fixées au chapitre I, nous avons centré notre réflexion sur l'analyse, la modélisation et la simulation de certaines activités gestuelles d'utilisation sans aborder les processus cognitifs mis en jeu au cours de la conduite automobile. En effet, en étant positionné dans le domaine du génie des systèmes industriels et non pas dans le domaine des sciences de la cognition, nous avons assimilé la dimension cognitive du modèle à une "super-classe" baptisée "niveau décisionnel". Ce niveau décisionnel constitue une classe abstraite dans la mesure où elle ne dispose pas d'instances directes. Elle demeure cependant génératrice de séquences d'événements prédéfinis en relation avec le déclenchement d'activités gestuelles d'utilisation des systèmes de contrôle-commande automobiles.

Il apparaît clairement que ceci constitue une vision très réductrice des phénomènes rencontrés, en conduite réelle, mais représente néanmoins, en accord avec CHAUVIN (1995), un préalable à la construction de modèles orientés objet de contrôle contextuel de la cognition. En effet, comme nous l'avons évoqué au chapitre III, à travers la modélisation d'une activité de conduite de navire pour la définition de systèmes d'aide, cet auteur a montré la pertinence des concepts et des formalismes orientés objet, pour traduire de nombreux résultats de la psychologie cognitive. Il s'agit, plus particulièrement, du concept même d'objet (entité intégrant des aspects structurels, fonctionnels et dynamiques) et des principes de base que représentent la classification, l'activation et l'héritage.

Nous aborderons plus en détail, dans le cadre de nos perspectives de recherche, la contribution de cette dimension cognitive dans notre démarche de modélisation et de simulation des activités gestuelles au sein du système Homme-Produit placé dans un Environnement donné.

Enfin, même si nous ne l'avons pas du tout abordée, au cours de ce travail, la dimension sociale de l'activité de conception reste primordiale lorsque l'on parle d'ingénierie concourante et de coopération entre les différents acteurs de la conception (BOSSARD et al., 1997). En effet, comme le souligne TICHKIEWITCH (1998), l'acte de conception est certes un acte nécessitant la prise en compte de la technique, mais c'est avant tout un acte de partage entre des équipes de métiers différents. Des collaborations restent donc à établir avec des spécialistes de cette dimension sociale de l'activité de conception, à l'occasion de nos futures perspectives de recherche.

3. Perspectives de recherche

Sur la base des différents apports et limites de ce travail, nous nous proposons maintenant de tracer quelques perspectives de recherche.

Tout d'abord, il nous semble intéressant de consolider la notion clé d'activité gestuelle d'utilisation, de fabrication, de maintenance, de recyclage, etc., du produit par d'autres dimensions de l'activité. En effet, un de nos axes de recherche consistera à mener une réflexion visant à aménager les concepts, les méthodes et les outils développés en vue de pouvoir considérer la dimension cognitive, voire même la dimension sociale de l'activité, lors de l'évaluation des situations réelles et futures d'utilisation, de fabrication, de maintenance, etc., du produit. Au regard des travaux de CHAUVIN (CHAUVIN, 1995 ; CHAUVIN, 1996a ; CHAUVIN, 1996b ; CHAUVIN, 1997), utilisant la "puissance" des principes orientés objet pour définir des modèles de contrôle contextuel de la cognition, différentes voies peuvent être envisagées. Il s'agit, par exemple, de compléter l'approche menée sur les activités gestuelles par d'autres méthodes visant à interpréter et à délimiter l'activité observée. Ceci sous-entend différentes approches, depuis la gestion du contenu des verbalisations effectuées, jusqu'à la modélisation orientée objet, proprement dite, de certains processus cognitifs, et ceci dans un contexte bien défini.

En ce qui concerne les perspectives de recherche sur les outils informatiques développés, différentes voies peuvent être envisagées aussi bien pour MANERCOS que pour l'Atelier Coopératif de Suivi de Projet (ACSP).

En effet, des développements complémentaires sont en cours sur le logiciel MANERCOS. Ces développements permettront, par exemple :

- ☞ de mieux gérer les interactions entre le logiciel 3D Studio MAX et les différents objets générés par MANERCOS. Il s'agit, par exemple, de la gestion de l'historique des modifications apportées sur un mannequin après avoir été créé et manipulé dans l'environnement de 3D Studio MAX,
- ☞ d'affecter des postures, voire même des comportements élémentaires, à différents mannequins du système étudié et ceci à partir de bibliothèques symboliques ou textuelles prédéfinies. Dans un tel cadre, il sera possible d'affecter rapidement et à différents moments du déroulement de l'activité, des comportements standards tels que la posture accroupie ou le comportement de marche,
- ☞ de détailler les modèles géométriques de la main en vue, par exemple, de les animer lors d'opérations de saisie d'objets mettant en jeu des modes de préhension ou des mouvements spécifiques de la main (DECOSTER, 1982),
- ☞ de proposer des interactions directes entre les modèles géométriques visualisés sous MANERCOS et ceux contenus dans la base de données intégrée dans l'Atelier Coopératif de Suivi de Projet.

De la même manière que pour MANERCOS, certains axes de recherche peuvent être dégagés en ce qui concerne l'Atelier Coopératif de Suivi de Projet (ACSP). A travers cet outil, il sera possible d'étudier les modalités de la coopération entre les différents acteurs de la conception, lors de différents projets de conception de produits. Par exemple, à l'issue de chaque projet de conception, il sera intéressant d'identifier et de mesurer différents indicateurs en relation avec le bon déroulement de ce projet. Il sera, par exemple, possible de connaître le nombre de modifications apportées au cahier des charges fonctionnel, en fonction du degré de complexité du produit, ou encore d'identifier quels types de tâche sont traités en simultané au cours du projet, etc.

Un autre axe de recherche consistera ensuite à approfondir les concepts développés autour de la notion de "maquette virtuelle du produit dans ses différentes situations de vie". Du point de vue de la maquette virtuelle du produit, il sera intéressant d'étudier les apports de la prise en compte des interactions entre décomposition structurelle et fonctionnelle de ce produit. C'est, par exemple, l'exploitation du Bloc Diagramme utilisé en Analyse

Fonctionnelle Interne lors de l'application d'une démarche d'analyse de la valeur (AFNOR, 1997). C'est aussi le passage des fonctions aux principes de solution en utilisant un Arbre des solutions basé, par exemple, sur la méthode F.A.S.T. (DELAFOLLIE, 1991 ; AFNOR, 1997).

De manière plus générale, il serait intéressant d'introduire dans ces outils logiciel certaines notions liées, en particulier, au concept "d'agent" qui nous permettra de fournir un certain degré d'intelligence à la méthode et aux outils préconisés. Historiquement, les premiers agents, dont les comportements ont donné lieu à des modélisations, furent les "experts". Aujourd'hui, avec l'avènement de l'intelligence artificielle distribuée, des modèles "multiagents" ont pu être mis en place dans le cas d'agents au comportement quelconque (PARROCHIA, 1998). Il est important de noter que différents travaux de recherche portent sur l'animation de mannequins virtuels, couplés à des systèmes à base de connaissance (FOURAR, 1996 ; KOUKAM et FOURAR, 1998 ; ALAUZET, 1998). De telles orientations ouvrent des perspectives de recherche intéressantes, en particulier, pour les futurs développements de l'outil d'aide à la conception que constitue le logiciel MANERCOS.

En effet, les logiciels de Conception Assistée par Ordinateur s'enrichissent de plus en plus de systèmes à bases de connaissances qui viennent guider le concepteur sur ses différents choix de conception (systèmes experts, intelligence artificielle, datamining, propagation de contraintes, etc.). Il sera donc intéressant de réfléchir sur de tels modèles en vue d'étudier leur impact, dans le domaine de la conception de produits intégrant l'ensemble des métiers, dont l'ergonomie.

Il s'agit, enfin, de continuer d'appliquer et d'affiner les différents concepts, méthodes et outils proposés, à différents projets de conception de produits, en restant centré sur l'activité gestuelle, qu'elle soit d'utilisation, de fabrication ou de maintenance de ce produit, et ceci en vue de promouvoir l'ergonomie dans la démarche d'ingénierie concourante.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABED M., Contribution à la modélisation de la tâche par des outils de spécification exploitant les mouvements oculaires, Application à la conception et l'évaluation des Interfaces Homme-Machine - Thèse de Doctorat, Université de Valenciennes, 175 p, Septembre 1990.

AFNOR, Norme X50-151, Guide pour l'élaboration d'un cahier des charges fonctionnel, 1991.

AFNOR, Recueil de normes françaises - Ergonomie, 3ème édition, 1995.

AFNOR, Qualité en conception - La rencontre Besoin-Produit-Ressources, 280 p, 1997.

ALAUZET A., ADELE : Une architecture à base de tableau noir pour la simulation ergonomique - Thèse de doctorat, Nancy I, 158 p, 1998.

AMALBERTI R., DE MONTMOLLIN M., THEUREAU J., Modèles en analyse du travail, Editions MARGADA, 346 p, 1991.

AOUSSAT A., La pertinence en innovation : nécessité d'une approche plurielle, Thèse de doctorat, ENSAM Paris France, 1990.

ASHBY M. C., PARKES A. M., Interface design for navigation and guidance - In PARKES A. M., FRANZEN S. - Driving future vehicles, Ed. Taylor & Francis, p 295-297, 1993.

APTEL M., DRONSART P., Charge maximale admissible de lever de charges - L'équation révisée du NIOSH, INRS, p 113-118, 1995.

BADOUEL D., KHALED A., La programmation C et C++, Collection informatique, Editions Hermès, 223 p, 1993.

BECK E., GOMES S., MOLARD L., Application de MANERCOS à l'analyse ergonomique des postes de piqûre du Centre de Production Peugeot Mulhouse, Rapport interne, Institut Polytechnique de Sévenans, 51 p, 1998.

BEGUIN P., Travailler avec la CAO en ingénierie industrielle : de l'individuel au collectif dans les activités avec instruments, Thèse de Doctorat, Conservatoire National des Art et Métiers, Paris, 235 p, 1994.

BEGUIN P., WEILL-FASSINA A., De la simulation des situations de travail à la situation de simulation - La simulation en ergonomie : connaître, agir et interagir, Editions OCTARES, p 5-28, 1997.

BEGUIN P., DARSES F., Les concepteurs au travail et la conception des systèmes de travail : Points de vue et débats, Deuxièmes Journées Recherche et Ergonomie de la SELF, Toulouse, p 23-38, 1998.

BERNARDI B., HUET I., MOMMEJA L., SIMEONI F., THOMANN J-L., Ergonomes et informaticiens, ensemble pour l'intérêt de l'utilisateur, XXIX^{ème} Congrès de la SELF, Paris, Editions Eyrolles, Tome 1, p 297-308, 1994.

BOCQUET J.C., GABRIEL M., GEURY M., JEAN A., NOEL J., Maîtriser la conception des produits et des systèmes - Conception en mécanique industrielle, Les référentiels DUNOD, Juin 1996.

BOSSARD P., Du projet à la production - Ingénierie simultanée : quelle mise en oeuvre ? Mensuel de l'ANACT, n° 206, p 12-15, 1995.

BOSSARD P., GAU E., Du séquentiel au simultané - L'autre façon de marcher, Mensuel de l'ANACT, n° 206, p 18, 1995.

BOSSARD P., CHANCHEVRIER C., LECLAIR P., Ingénierie concourante - De la technique au social, Edition Economica, 166 p, 1997.

BOUCHARD C., Ergonomie et Design - Tableau de bord automobile, rapport de DEA Conception Produits Nouveaux, ENSAM, 70 p, 1993.

BOUJUT J-F., JEANTET A., Les "entités de coopération" dans les nouvelles organisations de la conception - Performances Humaines & Techniques, n°96, p 38-44, Septembre-Octobre, 1998.

BRISSAUD D., GARRO O., An approach to concurrent engineering using distributed design methodology, International Journal of Concurrent Engineering : research and applications, volume 4, n°3, p 303-311, 1996.

BOURDENET B., Lorsque "conditions de travail" rime avec "productivité", Travail&Changement n°228, Anact, p 6-7, 1997.

CALVEZ J-P., Spécification et conception des systèmes, Editions Masson, 614 p, 1990.

CARD S.K., MORAN T.P., NEWELL A., The psychology of Human-Computer Interaction, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale (New Jersey), 1983.

CARD S.K., MORAN T.P., NEWELL A., The model of human processor -An engineering model of human performance. Handbook of perception and human performance, Wiley and Sons New-York, volume 2, chap. 45, 1986.

CETIM, "Technologies prioritaires en mécanique", Publication du CETIM, 1997.

CHAILLOUX K., Apport de l'ergonomie à la conception de produits destinés au grand public - Un exemple : les programmateurs de chauffage, XXIX^{ème} Congrès de la SELF, Paris, Editions Eyrolles, Tome 2, p 5-11, 1994.

CHAMOUTON E., La maquette numérique : vecteur de communication entre tous les intervenants de l'entreprise, Actes du colloque "L'ingénierie simultanée", Pôle Régional de Conception et d'Innovation, Belfort, Volume 2, p 8-15, 1998.

CHAPANIS A., Ergonomics in product developpement : a personal view, Ergonomics, vol. 38, n°8, 1625-1638, 1995.

CHAUVIN C., Modélisation d'une activité de conduite de navire pour la définition de systèmes d'aide, XXX^{ème} Congrès de la SELF, p 154-161, 1995.

CHAUVIN C. (a), Modélisation d'une activité de conduite de navire et évaluation de systèmes d'aide à l'anticollision - L'ergonomie face aux changements technologiques et organisationnels du travail humain, Editions Octarès, p 217-228, 1996.

CHAUVIN C. (b), L'anticollision à bord de navires Transbordeurs - Analyse et Modélisation de l'activité des officiers de quart, Thèse de Doctorat de l'Université René Descartes (Paris V), 225 p, 1996.

CHAUVIN C., Complémentarités entre recherche et pratique dans l'analyse d'une activité de diagnostic : l'anti-collision à bord des navires. XXXII^{ème} Congrès de la SELF, 515-525, 1997.

CHRISTOL J., MAZEAU M., Le métier d'ergonome - Performances Humaines & Techniques, n° 60, p 18-25, 1992.

CHRISTOL J., MAZEAU M. et al., Analyse fonctionnelle et analyse opérationnelle : les moyens d'une coordination - XXIX^{ème} Congrès de la SELF, p 206-217, 1994.

COAD P., YOURDON E., Conception orientée objet - Analyse, Conception, Editions Masson, 195p, 1993.

COFFIN F., Méthodologie de conception coopérative de produit complexe, Application au développement d'un prototype d'un système intelligent de copilotage automobile. - Thèse de Doctorat, Université de Technologie de Compiègne, 215 p, 1995.

COURTNEY A. J., Hong-Kong Chinese direction-of-motion Stereotypes, Ergonomics, vol. 37, n° 3, p 417-426, 1994.

DANIELLOU F., Le statut de la pratique et des connaissances dans l'intervention ergonomique de conception - Document présenté en vue d'obtenir l'Habilitation à Diriger des Recherches, 100 p, 1992.

DANIELLOU F., Peut-on être chercheur en ergonomie, Deuxièmes Journées Recherche et Ergonomie de la SELF, Toulouse, 9 p, 1998.

DAS B. et SENGUPTA A. K., Computer-aided human modeling programs for workstation design, Ergonomics, vol. 38, n°9, p 1958-1972, 1995.

DECOSTER F., Données anthropométriques générales, Université de Technologie de Compiègne, Rapport interne, 47 p, 1982

DECOSTER F., Données anthropométriques sur la main, Université de Technologie de Compiègne, Rapport interne, 53 p, 1982

DELAFOLLIE G., Analyse de la valeur, Editions Hachette, 224 p, 1991.

DELAUNAY Q., Conception de produits et/ou design industriel ? Rapport d'étape : étude préliminaire pour la mise en place de CRT "Conception de produits, document réalisé à la demande du Ministère de l'Education Nationale de l'Enseignement supérieur et de la Recherche (Département Centre de Ressources Technologiques), 36p, 1987.

DE ROSNAY J., Le macroscope, vers une vision globale, Editions Seuil, 346 p, 1975.

DOOLEY M., Anthropometric modeling programs - a survey. IEEE Computer Graphics and Applications, n°2, p 17-25, 1982.

DUCHAMP R., La conception de produits nouveaux, Editions Hermès, 60 p, 1988.

DUL J., WEERDMEESTER B., Ergonomics for beginners - A quick reference guide, 133 p, 1993.

DURAND D., La systémique - Que Sais-je ? Presses universitaires de France, 126 p, 1994

ERGOBASE, A complete global anthropometric database for evaluating the size, shape and strength of people worldwide, Biomecanics Corporation of America, 1989.

ERCEAU J., BOURGINE P., Complexité et ergonomie cognitive : vers une Ingénierie des Systèmes Complexes, XXIX^{ème} Congrès de la SELF, Paris, Editions Eyrolles, Tome 2, p 75-87, 1994.

FADIER E., Fiabilité humaine : Méthodes d'analyse et domaines d'application, in Les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes de LEPLAT et de TERSSAC, Editions OCTARES, p 47-80, 1990.

FALZON P., Les activités de conception : réflexions introductives, Performances Humaines & Techniques, p 7-11, Février 1995.

FANCHINI H., Bilan de cinq années de pratique en conception des IHM - Analyse d'un panel de projets informatiques, XXIX^{ème} Congrès de la SELF, Paris, Editions Eyrolles, Tome 2, p 67-74, 1994.

FARBER B., Determining information needs to the driver, In PARKES A. M., FRANZEN S. - Driving future vehicles, Ed. Taylor & Francis, p 69-76, 1993.

FAVERGE J.M., L'analyse du travail - Traité de psychologie appliquée, P. U. F., Paris, 1972.

FILLIPI G., HARADJI Y., VILLAME T., Analyse de l'activité et coopération des acteurs de la conception, Relations Industrielles, vol. 50, n°4, p 789-810, 1995.

FOURAR H., Modélisation des connaissances pour l'animation de squelettes humains et réalisation d'un prototype pour la simulation - Thèse de doctorat, Université de Haute-Alsace, 167 p, 1998.

FOWLER M., SCOTT K. UML distilled - Applying the standard object modeling language, Addison-Wesley Editors, 179 p, 1997.

GARRO O., SALAÜ I., MARTIN M., Distributed design theory and methodology. International Journal of Concurrent Engineering : research and applications, volume 3, n°1, p43-54, 1995.

GARRO O. Contribution à la modélisation de la conception des systèmes mécaniques - Document présenté en vue d'obtenir l'Habilitation à Diriger des Recherches, 82 p, 1997.

GARRIGOU A., La compréhension de l'activité des concepteurs : un enjeu essentiel pour les ergonomes, Performances Humaines & Techniques, n°74, p 47-51, p 12-21, 1995.

GOMES S., SAGOT J.C., DUWALD V., Conception d'un dispositif de contrôle de la ventilation pulmonaire, 1er Séminaire inter-établissements sur l'Innovation et la Conception de Produits - CONFERE (Collège d'Etudes et de Recherches en Design et Conception de Produits), Tours, p 155-161, 1994.

GOMES S., SAGOT J.C., Prise en compte du facteur humain pour la conception d'un poste de conduite automobile, 2ème Séminaire inter-établissements sur l'Innovation et la Conception de Produits. CONFERE (Collège d'Etudes et de Recherches en Design et Conception de Produits), Nancy, 5 p, 1995.

GOMES S., SAGOT J.C. (a), Intervention ergonomique dans la conception d'un poste de conduite automobile, XXXIème Congrès de la SELF (Société d'Ergonomie de Langue Française), Bruxelles, tome 2, p 149-155, 1996.

GOMES S., SAGOT J.C. (b), Définition et prise en compte de l'activité future dans la conception d'une nouvelle ligne de production, 3ème Séminaire inter-établissements sur l'Innovation et la Conception de Produits - CONFERE (Collège d'Etudes et de Recherches en Design et Conception de Produits), Poitiers, p 23-28, 1996.

GOMES S., BENCHEKROUN M., SAGOT J.C., Conception des pupitres futurs, Conduite grandes lignes - Définition et modélisation CAO de l'architecture pupitre et de l'interface siège/pupitre (TGV2000, Locomotive Electrique, Locomotive Diesel), Rapport intermédiaire PERSEE-GEC ALSTHOM, 85 p, 1996.

GOMES S., SAGOT J.C., BAUME H., HOBLINGRE A. Contribution de l'analyse de l'activité dans la conception des interfaces Homme-Produit - Exemple de l'automobile, 4ème Séminaire inter-établissements sur l'Innovation et la Conception de Produits - CONFERE (Collège d'Etudes et de Recherches en Design et Conception de Produits), Sévenans, p 95-101, 1997.

GOMES S., SAGOT J.C., GOUIN V. (a), Contribution de l'analyse de l'activité dans le processus de conception de produits innovants, 2èmes Journées Recherche et Ergonomie SELF, p 57-61, 1998.

GOMES S., KOUKAM A., SAGOT J.C. (b), A modeling and simulation approach to ergonomic design of automotive cockpits - 3rd International Congress of the Federation of European Simulation Societies, EUROSIM'98 Helsinki, 14 - 15 April, 5 p, 1998.

GOMES S., SAGOT J.C., KOUKAM A. (c), Ergonomic approach based on modeling and simulation, 11th European Simulation Multiconference (ESM'98), 16-19 juin, Manchester, p 661-665, 1998.

GOMES S., SAGOT J.C., KOUKAM A. (d), Ergonomic design approach based on activity analysis, object oriented modeling and virtual simulation, 5ème Séminaire inter-établissements sur l'Innovation et la Conception de Produits - CONFERE (Collège d'Etudes et de Recherches en Design et Conception de Produits), Paris, p 99-104, 1998.

GRANDJEAN E., Précis d'ergonomie, Les éditions d'organisation, 416 p, 1985.

GRAESSER A. C. et MARKS W., Models that simulate driver performance with hand controls, In PEACOCK B., KARWOWSKI W - Automotive ergonomics, Ed. Taylor & Francis, p 383-385, 1993.

GREEN P., Design and evaluation of symbols for automotive controls and displays, In PEACOCK B., KARWOWSKI W - Automotive ergonomics, Ed. Taylor & Francis, p 237-268, 1993.

GUERIN, LAVILLE, DANIELLOU, DURRAFOUR, KERGELEN, Comprendre le travail pour le transformer - la pratique de l'ergonomie, Editions de l'Anact, 226 p, 1994.

GUIDAT C., BREAS M., LOUIS D., Faire de la formation un outil de renouveau du service public. La productivité dans un monde sans frontières. Edition de l'école Polytechnique de Montréal, p 885-893, 1998.

HAIJANEN J., LESKINEN T., KUUSISTO A., LAITINEN H, Redesign of lifting work using a 3-D human modelling software and the revised NIOSH lifting equation - Advances in Occupationnal Ergonomics and Safety, volume 1, IOS Press, Amsterdam, p 339-344, 1996.

HELLA F., HARTEMANN F., REBIFFE R., LE BRETON P.M., Mesure de la durée de détournement du regard pour la consultation du tableau de bord en conduite automobile, Colloque international "Techniques nouvelles et Ergonomie", 1983.

HELLA F., Is the analysis of eye movement recording a sufficient criterion for evaluating automobile instrument panel design, Physiology to Cognition. Elsevier Science Publishers B.V., p 555-561, 1987.

HORWAT F., MEYER JP., MALCHAIRE J., Validation of a new pocket computer assisted method for metabolic rate estimation in field studies, Ergonomics, vol. 31, n° 8, p 1155-1164, 1988.

HORWAT I., Effective design : ensuring human factors in design procedures, In PARKES A. M., FRANZEN S. - Driving future vehicles, Ed. Taylor & Francis, p 311-320, 1993.

HUMANOID, Human animation designer - Hierarchical 3D models with morphing features, Crestline software, 1994.

IMBEAU D., WIERWILLE W., BEAUCHAMP Y., Age, display design and driving performance, In PEACOCK B., KARWOWSKI W - Automotive ergonomics, Ed. Taylor & Francis, p 239-357, 1993.

IPSOS, Communiquer, un droit pour tous. Enquête pour le Ministère des Postes, Télécommunications et de l'Espace, 1990.

ISO Standard 2575, Road Vehicules - Symbols for controls, indicators and tell-tales, 4th Ed., 1982.

ISO Standard 7000, Graphical symbols for use on equipement, index and synopsis, 2nd Ed., 1989.

JACK D.D., HEARD E.A., R.W. PEW - SAE research study on interpretability of ISO control vehicle symbols, Society of Automotive Engineers, 1970.

JACK D.D. - Identification of controls - a study of symbols, Society of Automotive Engineers, 1972.

JEFFROY F., La maîtrise de l'exploitation d'un système mico-informatique par des utilisateurs non-informaticiens : analyse ergonomique et processus cognitif. Thèse de doctorat d'Ergonomie de l'université Paris XIII, 1987.

KINETIX, 3D Studio MAX version 2.0 - Manuel d'utilisation, 1997.

KOLSKI C., Interfaces Homme-Machine, Editions Hermès, 1997.

KOUKAM A., TARBY J.C., An integred model for interactive systems, Human Interaction with complex systems : Conceptual principles and design pratice by C.A. NTUEN & E.H. PARK, Kluwer Academic Publisher, p 3-11, 1996.

KOUKAM A., FOURAR H., Combining planning and object paradigms for human skeleton animation. Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 11, n°4, 1998.

KREMER-MARIETTI, Le positivisme - Que sais-je, Presses Universitaires de France, 1982.

KERGELEN A., L'observation systématique en ergonomie : élaboration d'un logiciel d'aide au recueil et à l'analyse des données - Mémoire présenté en vue d'obtenir le diplôme d'ergonomiste CNAM, 67 p, 1986.

KERGELEN A., KRONOS - Logiciel de recueil et de traitement de données d'analyse de l'activité, Lyon ANACT, 1995.

KERGELEN A., The Kronos software : a tool for work activity analysis, 13th Triennal Congress of the International Ergonomics Association, Tampere (Finland), p 240-242, 1997.

LABIALE G., *Typologie des tableaux de bord des automobiles,* INRETS Rapport n° 83, 46 p, 1988.

LABIALE G., Influence of in-car navigation map displays on drivers performances in Vehicle/highway Automation : Technology and Policy Issues, SAE Book, p 11-18, 1989.

LABIALE G., Psycho-ergonomie de l'interface conducteur-automobile, Revue Générale de l'Electricité, p 35-39, 1990.

LABIALE G., In-car complexity displays and driver mental load. In Actes INRETS, Séminaire INRETS-INRS : Analyse ergonomique du travail et des explorations visuelles, 1994.

LABIALE G., L'attention et la charge mentale - Applications aux informations de navigation dans la voiture, Vigilance et Transports, Collection Transversales - Presses U. de Lyon, p 249-259, 1995.

LAROUSSE, Dictionnaire le Petit LAROUSSE illustré, 1784 p, 1999.

LAVILLE A., L'ergonomie - Que sais-je, Presses Universitaires de France, 126 p, 1976.

LEMOIGNE J.L., Systémique et complexité - Etudes d'épisthémologie systémique, Revue internationale de systémique, vol 4 n°2, p 107-117, 1990.

LEMOIGNE J.L., Contribution de la systémique aux constructivismes, In Systémique et Cognition, Editions Dunod, Collection Afcet-Systémique, 1991.

LEPLAT J., CUNY X., Introduction à la psychologie du travail, Presses Universitaires de France, Coll. Le Psychologue, 1984.

LEPLAT J., Erreur humaine, fiabilité humaine dans le travail, Armand Colin - collection U, 197 p, 1985.

LEROY N., LAMBERT S., Développement du logiciel MANERCOS sous 3D Studio Max2, Rapport de projet TX sous la direction de S. GOMES et A. KOUKAM - Institut Polytechnique de Sévenans, 40 p, 1998.

LEROY N., Spécification et développement de l'environnement logiciel ACSP, Rapport de projet de fin d'étude, sous la direction de S. GOMES J-C., SAGOT et A. KOUKAM - Institut Polytechnique de Sévenans, 1999.

LESKINEN T., HAIJANEN J., Torque on the low back and the weight limits recommended by NIOSH in simulated lifts - Fourth International Symposium on 3-D Analysis on Human Movement, Grenoble, 1996.

LISSANDRE M., Maîtriser SADT, Armand Colin Editeur, 219 p, 1990.

LOMBARD D., Préface de l'ouvrage "L'ingénierie centrée sur l'homme", Editions du Ministère de l'Industrie, de la Poste et des Télécommunications, Paris, 138 p, 1997.

LOUYOT T., PERNIN O., Application de MANERCOS à l'étude ergonomique du poste de mise en paquet et d'évacuation, Rapport interne, Institut Polytechnique de Sévenans, 72 p, 1998.

LUBRANO S., ROUSSEL B., LE COQ M., DUCHAMP R., Vers une ergonomie des recommandations en conception de produits ou le concepteur utilisateur des recommandations ergonomiques, XXIX^{ème} Congrès de la SELF, Paris, Editions Eyrolles, Tome 1, p 512-520, 1994.

MALINE J. (a), Simuler le travail - une aide à la conduite de projet, Editions de l'Anact, 156 p, 1994.

MALINE J. (b), La coopération entre acteurs de l'ingénierie, comment et avec quels objectifs pour l'ergonomie, XXIX^{ème} Congrès de la SELF, Paris, Editions Eyrolles, Tome 1, p 33-41, 1994.

MALINE J., BOURGEOIS F., Simuler les conditions de réalisation du travail pour conduire un projet, XXIX^{ème} Congrès de la SELF, Paris, p 196-203, 1994.

MALINE J., Simuler pour approcher la réalité des conditions de réalisation du travail : la gestion d'un paradoxe - La simulation en ergonomie : connaître, agir et interagir, Editions OCTARES, p 5-28, 1997.

MAZEAU M., CHRISTOL J. et al., De l'analyse de l'activité à l'élaboration des solutions - Performances Humaines & Techniques, n° hors série, p 52-62, 1995.

MEINADIER J.P., L'interface utilisateur - Pour une informatique plus conviviale, Editions DUNOD, 1991.

MEYER JP., HORWAT F., DIDRY G., Comparaison de différentes méthodes d'estimation de la dépense énergétique en situation de travail, INRS, 1989.

MIDLER C., L'auto qui n'existait pas - Management de projet et transformations de l'entreprise, Interéditions, Paris, 1993.

MILLOT P., Coopération Homme-Machine dans les tâches de supervision des procédés automatisés, Thèse de Doctorat - Université de Valenciennes, 215 p, 1987.

MILLOT P., Supervision des procédés automatisés et ergonomie, Traité des Nouvelles Technologies - série Automatique, Editions HERMES, 237 p, 1988.

MOLES A., Micropsychologie et vie quotidienne, Paris, 1976.

MONOD H., Dépense énergétique chez l'homme, in Précis de Physiologie du Travail - Notions d'ergonomie, Scherrer et al., Editions Masson, 107-138, 1981.

MOURANT R. R., LANGOLF G. D., Luminance Specifications for Automobile Instrument Panels, Human Factors, n°18, p 71-84, 1976.

NASA, Anthropometric Source Book - Volume I : Anthropometry for Designers, NASA Reference Publication 1024, 1978.

NEBOIT M., Perception, Anticipation et conduite automobile, Le travail Humain, tome 37, p 53-72, 1974.

NIELSEN R., MEYER JP., Evaluation of metabolism from heart rate in industrial work, Ergonomics, vol. 30, n° 3, p 563-572, 1987.

NORMANN D.A., DRAPER S.W., User Centered System Design, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale (New Jersey), 1986.

ONKEN R., What should the vehicle know about the driver ? In PARKES A. M., FRANZEN S. - Driving future vehicles, Ed. Taylor & Francis, p 49-67, 1993.

PACHIAUDI G., VERNET M., FOTI A., LAURENS J.F., Etude de la communication parlée à l'intérieur des véhicules, Rapport INRETS n°53, 64 p, 1987.

PACHIAUDI G., VERNET M., La communication parlée dans les véhicules, Compte-rendu de journée spécialisée, Actes INRETS n°26, 1990.

PARROCHIA D., La conception technologique, Editions Hermès, 269 p, 1998.

PATESSON R., PAVONI M., La collaboration ergonomes-informaticiens : question de représentations et de conceptions réciproques de l'ergonomie, XXIX^{ème} Congrès de la SELF, Paris, Editions Eyrolles, Tome 1, p 114-121, 1994.

PAUZIE A.; Les systèmes d'aide à la conduite : assistance effective ou perturbation potentielle pour le futur conducteur âgé ; Le travail humain, volume 58, n°2, p 131-147, 1995.

PEACOCK B., Postcript : Future challenges for automotive ergonomics, In PEACOCK B., KARWOWSKI W - Automotive ergonomics, Ed. Taylor & Francis, p 473-477, 1993.

PHEASANT, Bodyspace - Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work, Taylor1&Francis, 244 p, 1996.

PINSKY L, THEUREAU J., Conception des situations de travail et étude du cours d'action, Rapport n°88, Coll. Ergonomie et neurophysiologie du travail, CNAM, 1987.

PINSKY L., THEUREAU J., In AMALBERTI R., DE MONTMOLLIN M., THEUREAU J., Modèles en analyse du travail, Ed. Margada, 1991.

PLECZON P., Eléments de méthodologie et outils pour l'assistance à l'opérateur : Application à la conduite automobile - Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure de l'Aéronautique et de l'Espace, 265 p, Décembre 1992.

POMIAN J-L., PRADERE T., GAILLARD I., Ingénierie et Ergonomie, Cépaduès Editions, 259p, 1997.

POTTIER A., POTTIER M., Effet de la complexité de l'environnement routier sur le comportement visuel de conducteurs dépendants et indépendants à l'égard du champ, Actes du XXVème congrès de la SELF, 1989.

POTTIER A., Traitement informatif visuel à l'intérieur de l'habitacle d'un véhicule routier, INRETS Rapport n° 164, 46 p, 1993.

PORTER J.M., CASE K., FREER M.T., BONNEY M.C., Computer-Aided ergonomics design of automobiles, In PEACOCK B., KARWOWSKI W - Automotive ergonomics, Ed. Taylor & Francis, p 43-77, 1993.

QUEINNEC Y., MARQUIE J-C., THON B., Modèles comportement et analyse du travail, In AMALBERTI R., DE MONTMOLLIN M., THEUREAU J. - Modèles en analyse du travail, Editions MARGADA, p 27-47, 1991.

QUEINNEC Y., DANIELLOU F., MARQUIE J-C., Apports et place de l'analyse du travail dans la démarche ergonomique, Performances Humaines & Techniques, n°60, p 8-17, 1992.

QUARANTE D., Eléments de design industriel, Polytechnica 2ème édition, 645 p, 1994.

RABARDEL P., Conception d'objets et schèmes sociaux d'utilisation, Actes du colloque recherche sur le Design : incitations, implications, interactions - UTC Compiègne, Editions A Jour, 6 p, 1991.

RABARDEL P., Les Hommes et les Technologies - Approche cognitive des instruments contemporains, Editions Armand Colin, 239 p, 1995.

RABARDEL P., CARLIN N., CHESNAIS M., LANG N. LE JOLIFF G. PASCAL M., Ergonomie, concepts et méthodes, Editions Octarès, 178 p, 1998.

RAMACIOTTI D., L'approche systémique des phénomènes en ergonomie - Performances Humaines & Techniques, n° hors série, p 55-56, Septembre 1991.

RAMACIOTTI D., De la position d'observateur dans l'analyse du travail à celle d'acteur dans le processus de conception - Performances Humaines & Techniques, n° hors série, p 47-51, Septembre 1995.

RAUCENT B., JOHNSON D.A., Linking Design and simulation : a student project, Journal of Engineering Design, vol 8 - n°1, p 19-31, 1997.

RASMUSSEN J., The Human as a system component, SMITH and GREEN Editors, Human interaction with computer - London Academic Press, 1980.

RASMUSSEN J., Skills rules and knowledge ; signals, signs and symbols, and other distinctions in human performance models, IEEE SMC n°3, vol 13, p 257-266, 1983.

REBIFFE R., GUILLIEN J., PASQUET P., Enquête anthropométrique sur les conducteurs français, Laboratoire de physiologie et de biomécanique de l'association Peugeot-Renault, 234 p, 1982.

REBIFFE R., GUILLIEN G. - Ergonomie du poste de conduite des voitures particulières et variabilité anthropométrique de la clientèle, Designing for Everyone vol. 2, Taylor & Francis, p 1507-1509, 1991.

REESE S., Character animation with 3D Studio MAX, Eds. Coriolis Group Books, 380 p, 1996.

RENAULT, Aide mémoire d'ergonomie -Conception et réception des postes de travail, 3ème édition, 144 p, 1992.

ROCKWELL T.H., Spare visual capacity in driving-revisited - Vision in vehicles, A.G. GALE et al. Editors - Elsevier Science Publishers B.V., 1988.

ROUSSEL B., Vers une ergonomie des recommandations en conception de produits - CONFERE, 1er séminaire inter-établissements sur l'innovation et la conception de produits, p 277-286, 1994.

ROUSSEL B., LECOQ M., La coopération en conception de produits - La place de l'ergonome au sein d'un processus interdisciplinaire, Performances Humaines & Techniques n° hors série, p 21-24, 1997.

RUMBAUGH J et al., Modélisation et conception orientées objet - Object Modeling Technique (OMT), Editions Masson 1995.

SAGOT J.C., GOMES S., NEUBERT M., Conception ergonomique du poste de conduite du TGV nouvelle génération : Etude des facteurs de charge : bruit, vibrations, climatisation et éclairage ; état de la littérature et résultats obtenus. Rapport de fin de contrat PERSEE-GEC ALSTHOM, convention n°92116bis, 142 p, 1993.

SAGOT J.C., ROBERTY M.L, BENCHEKROUN M., GARRET D, CHAPPET P., RAIMOND C., Intervention ergonomique dans la conception du poste de conduite du TGV Nouvelle Génération, Revue Générale de l'Electricité, p 40-45, 1995.

SAGOT J.C., Pour améliorer simultanément moyens de production et conditions de travail : L'ERGONOMIE, La Technique Moderne, n°6-7, p 7-12, 1996.

SAGOT J.C., GOMES S. (a), Prise en compte du facteur humain dans la conception des commandes et dispositifs informationnels des futurs postes de conduite automobile. Rapport de fin de contrat PERSEE - ECIA, convention n°95016a, 548 p, 1996.

SAGOT J.C., GOMES S. (b), Analyse et évaluation de plusieurs dispositifs de conduite automobile existants. Rapport de fin de contrat PERSEE - ECIA, convention n°95016b, 292 p, 1996.

SAGOT J.C., ZWOLINSKI P., Reconception ergonomique d'un atelier de décompte. XXXI^{ème} Congrès de la SELF (Société d'ergonomie de Langue Française), Bruxelles, du 11 au 13 septembre, Editions SELF, Vol.1, p 238-246, 1996.

SAGOT J.C., GOMES S., TOUVENOT G., Prise en compte du facteur humain dans la conception des postes de travail sous isolateur. Rapport de fin de contrat PERSEE-LA CALHENE, convention n°95033, 220 p, 1996.

SAGOT J.C., GOMES S. (a), Sécurité et ergonomie - Pour une meilleure prise en compte de l'homme dans la conception des systèmes de travail, Revue annuelle des Arts et Métiers, p 124-132, 1997.

SAGOT J.C., GOMES S. (b), Poste de conduite du tramway de Strasbourg - Intervention ergonomique. Diagnostic des situations de conduite actuelles. Rapport de fin de contrat PERSEE - CTS, convention n°95012, 53 p, 1997.

SAGOT J.C., GOMES S., ZWOLINSKI P. (a), Innover en intégrant l'ergonomie dans le processus de développement de produits. Journées de sensibilisation "Ergonomie et Prévention dans le processus d'innovation" organisées par l'INRS, Nancy, 9 p, 1998.

SAGOT J.C., GOMES S., ZWOLINSKI P. (b), Vers une ergonomie de conception : gage de sécurité et d'innovation, International Journal of Design and Innovation research, n°2, 20 p, 1998.

SAGOT J.C., GOMES S., Sécurité et ergonomie - Pour une meilleure prise en compte de l'homme dans la conception des systèmes de travail : approche ergonomique. Article accepté dans la Revue Phoebus (Revue Française de la sûreté de Fonctionnement, sous presse, 1998.

SAGOT J.C., Intégration de l'ergonomie dans le processus de conception et de développement de produits, Document présenté en vue d'obtenir l'Habilitation à Diriger des Recherches, 1999.

SANDERS M. S., McCORMICK E. J., Human Factors in Engineering and Design, McGraw-Hill International Editions, 7th édition, 790 p, 1992.

SAUNBY C.S., FARBER E.I., J. DEMELLO - Driver understanding and recognition of automotive ISO symbols, Society of Automotive Engineers, 11 p, 1988.

SCHERRER J. et al., Précis de physiologie du travail, Editions MASSON, 585 p, 1992.

SCHLEGEL R. E., Driver mental workload - In PEACOCK B., KARWOWSKI W - Automotive ergonomics, Ed. Taylor & Francis, p 359-382, 1993.

SCHRAAGEN J. M. C., Information presentation in in-car navigation systems, In PARKES A. M., FRANZEN S. - Driving future vehicles, Ed. Taylor & Francis, p 171-183, 1993.

SELECT SOFTWARE TOOLS, Select OMT, Santa Ana - USA, 242 p, 1994.

SMITH D., MESHKATI N., ROBERTSON M., The older driver and passenger, In PEACOCK B., KARWOWSKI W - Automotive ergonomics, Ed. Taylor & Francis, p 453-471, 1993.

SPERANDIO J.C., L'ergonomie du travail mental, 2ème édition, Editions MASSON, 137 p, 1988.

SPERANDIO J.C., Modéliser le savoir et les activités opératoires par les formalismes de l'informatique, est-ce pertinent en ergonomie ? - Performances Humaines & Techniques, n° hors série, p 17-24, Septembre 1995.

SPITZER H., HETTINGER TH., Tables donnant la dépense énergétique en calories pour le travail physique - L'étude du travail, 1965.

TICHKIEWITCH S., Ingénierie Simultanée, ingénierie concourante : le point de vue du chercheur, Actes du colloque "L'ingénierie simultanée", Pôle Régional de Conception et d'Innovation, Belfort, Volume 2, p 1-6, 1998.

US DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Controls and displays - Federal Motor Vehicle Safety Standard 101, 49 CFR Chapter V, 571.101, p 188-195, 1990.

VALLERY G. et VALENTIN A., Ergonomie et informatique : Développement d'interactions pour la conception de logiciels, XXIX^{ème} Congrès de la SELF, Paris, tome 1, p 176-184, 1994.

VAUTHEY P., La modélisation des services intellectuels - Vendre et réaliser un service comme un produit, Editions Organisation Industrielle, 1994.

VERWEY W. B., How can we prevent overload of the driver ? In PARKES A. M., FRANZEN S. - Driving future vehicles, Ed. Taylor & Francis, p 235-244, 1993.

VERRIEST J-P., Les sièges d'automobile, La Recherche, volume 17, n°179, p 912-920, 1986

VIDAL F., La créativité totale - les nouvelles stratégies du japon, Editions InterEditions, 160 p, Septembre 1995.

VILLAME T., Les scénarios comme outil méthodologique d'apport ergonomique à la conception, XXIX^{ème} Congrès de la SELF, Paris, Editions Eyrolles, Tome 2, p 251-258, 1994.

WARNES A. M., FRASER D. A., HAWKEN R. E., SIEVEY V., Eldery drivers and new road transport technology, In PARKES A. M., FRANZEN S. - Driving future vehicles, Ed. Taylor & Francis, p 99-117, 1993.

WATERS T. R., PUTZ-ANDERSON V., GARG A., FINE L. J., Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks, Ergonomics vol. 36, n°7, p 749-776, 1993.

WIERWILLE W.W., ANTIN J.F., DINGUS T.A., HULSE. M.C., Visual attentional demand of an In-car display system. In Vision in Vehicle II, Elsevier Science Publishers B.V., p 307-316, 1988.

WIERWILLE W., McFARLANE J., Role of expectancy and supplementary cues for control operation, In PEACOCK B., KARWOWSKI W - Automotive ergonomics, Ed. Taylor & Francis, p 269-298, 1993.

WIERWILLE W., Visual an manual demands of in-car controls and displays, In PEACOCK B., KARWOWSKI W - Automotive ergonomics, Ed. Taylor & Francis, p 299-320, 1993.

WILSON J.R, Virtual environments and ergonomics : needs and opportunities, Ergonomics vol. 40, n°10, p 1057-1077, 1997.

WISNER A., Eléments de méthodologie ergonomique, in SCHERRER J., Physiologie du travail, Ergonomie, Editions MASSON, 1981.

WOODSON W., CONOVER D., Guide d'ergonomie - Adaptation de la machine à l'homme, Les éditions d'organisation, 1978.

YOUNAN K., NAJID N. M., FURET B., COEURDEUIL G., Vers l'intégration du processus de conception-fabrication, 1er Colloque National de Productique "CFAO et Ingénierie Simultanée", Casablanca, p 1-10, 1995.

ZACKLAD M., Cinq dimensions pour la modélisation des Interfaces Homme-Machine : P.A.G.I.C, Congrès ERGO IA, p 101-114, 1996.

ZWOLINSKI P., SAGOT J.C., GOUIN V., La simulation de l'activité comme outil d'aide à la conception et à l'innovation. Application à la conception de la commande de régulation de vitesse des TGV futurs, 2èmes Journées Recherche et Ergonomie SELF, p 71-75, 1998.

ZWOLINSKI P., La simulation de l'activité comme outil d'aide à la conception et à l'innovation - Application à la conception du poste de conduite des TGV futurs, Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, 249 p, 1999.

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE I : PROBLEMATIQUE

1. INTRODUCTION 11

2. CADRE THÉORIQUE ET MÉTHODOLOGIQUE 17

2.1 VERS UNE AUTRE VISION DU PROCESSUS DE CONCEPTION DE PRODUITS 19

2.2 ERGONOMIE DE CONCEPTION DE PRODUITS ET ACTIVITÉ D'UTILISATION 27

3. VERS UNE MEILLEURE INTÉGRATION DE L'ACTIVITÉ D'UTILISATION DANS LE PROCESSUS DE CONCEPTION DE PRODUITS 31

CHAPITRE II : EN PHASE D'ETUDE DE FAISABILITÉ, APPORTS ET LIMITES DE L'ANALYSE DE L'ACTIVITE GESTUELLE REELLE D'UTILISATION DES PRODUITS EXISTANTS

1. INTRODUCTION 35

2. L'ACTIVITÉ DE CONDUITE AUTOMOBILE 38

3. EN PHASE D'ÉTUDE DE FAISABILITÉ : ANALYSE DE "L'ACTIVITÉ GESTUELLE" D'UTILISATION DE 12 FONCTIONS EXISTANTES 43

3.1 OBJECTIFS 43

3.2 MÉTHODES ET TECHNIQUES 44

3.2.1 Classification des fonctions existantes 44

3.2.2 Protocole expérimental 47

3.3 RÉSULTATS 52

3.3.1 Analyse des données en composantes principales 52

3.3.2 Répercussion de la complexité du contexte d'exécution de la tâche secondaire sur l'activité visuelle d'utilisation 55

3.3.3 Répercussion de l'implantation des commandes sur les activités visuelles secondaires d'utilisation *56*

3.3.4 Répercussion des caractéristiques des commandes sur les activités motrices secondaires d'utilisation *58*

3.3.5 Modèles analytiques prédictifs des activités gestuelles secondaires en relation avec les paramètres de conception *59*

3.4 DISCUSSION 65

4. CONCLUSION 69

CHAPITRE III : EN PHASE D'ETUDES PRELIMINAIRES, METHODES ET OUTILS POUR UNE RECHERCHE COOPÉRATIVE DE SOLUTIONS BASÉE SUR L'ACTIVITE GESTUELLE D'UTILISATION

1. INTRODUCTION 77

2. VERS DE NOUVELLES MÉTHODES ET DE NOUVEAUX OUTILS BASÉS SUR LA MODÉLISATION ET LA SIMULATION 80

3. EN PHASE D'ÉTUDES PRÉLIMINAIRES : RECHERCHE COOPÉRATIVE DE SOLUTIONS AUTOUR DE "L'ACTIVITÉ GESTUELLE" D'UTILISATION 84

3.1 OBJECTIFS 84

3.2 MÉTHODES ET TECHNIQUES 85

3.2.1 Recherche coopérative de principes de solution pour l'autoradio *85*

3.2.2 Modélisation graphique et numérique du système Conducteur-Préconcept d'autoradio-Environnement *86*

3.2.3 Simulation virtuelle du système Conducteur-Préconcept d'autoradio-Environnement *88*

3.3 RÉSULTATS 89

3.3.1 En condition initiale de la démarche proposée : modélisation du système Conducteur-Autoradio existant-Environnement *90*

3.3.2 Résultats de la recherche coopérative de principes de solution pour l'autoradio .. *95*

3.3.3 Résultats de la modélisation puis de la simulation virtuelle du système Conducteur-Préconcept1 d'autoradio-Environnement *100*

3.3.4 Résultats obtenus à l'issue d'une deuxième itération sur la démarche *105*

3.4 DISCUSSION 108

4. CONCLUSION 113

CHAPITRE IV : MANERCOS, UN OUTIL DÉDIÉ À LA CONCEPTION DE PRODUITS ADAPTÉS AUX FUTURS UTILISATEURS

1. INTRODUCTION 119

2. MÉTHODES ET TECHNIQUES 121

3. RÉSULTATS 126

3.1 ETAT DE L'ART SUR LES OUTILS LOGICIELS EXISTANTS 126

3.2 DESCRIPTION DE L'OUTIL LOGICIEL DÉVELOPPÉ : MANERCOS 130

3.2.1 Fonctionnalités proposées par le logiciel MANERCOS *130*

3.2.2 Description de la structure du logiciel MANERCOS *132*

3.2.3 Description des modalités d'utilisation du logiciel MANERCOS *140*

4. CONCLUSION 143

CHAPITRE V : CONTRIBUTION DE L'ACTIVITÉ GESTUELLE À LA DEMARCHE D'INGÉNIERIE CONCOURANTE

1. INTRODUCTION 151

2. EXTENSION DU LOGICIEL MANERCOS POUR L'ÉVALUATION ET LA CONCEPTION DES SITUATIONS DE TRAVAIL 153

2.1 OBJECTIFS 153

2.2 MÉTHODES ET TECHNIQUES 153

2.3 RÉSULTATS 154

2.3.1 Description du troisième module de MANERCOS : le Module d'évaluation ergonomique *154*

2.3.2 Autres fonctionnalités de 3D Studio MAX utilisables pour l'évaluation et la conception de systèmes Homme-Produit-Environnement *160*

3. PERSPECTIVES DE DÉVELOPPEMENT DE NOUVEAUX OUTILS 161

3.1 LA "MAQUETTE VIRTUELLE DU PRODUIT DANS SES DIFFÉRENTES SITUATIONS DE VIE" .. 163

3.2 L'ATELIER COOPÉRATIF DE SUIVI DE PROJET (ACSP) 165

4. CONCLUSION 170

CHAPITRE VI : CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

1. INTRODUCTION 175

2. CONCLUSION SUR LES APPORTS ET LES LIMITES DE NOTRE TRAVAIL . 176

2.1 APPORTS MÉTHODOLOGIQUES DE NOTRE TRAVAIL 176

2.2 POSITIONNEMENT THÉORIQUE DE NOTRE TRAVAIL 180

2.3 LIMITES DE NOTRE TRAVAIL 183

3. PERSPECTIVES DE RECHERCHE 186

TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURE 1 : ILLUSTRATION SIMPLIFIÉE DU CYCLE DE VIE GLOBAL D'UN SYSTÈME INSPIRÉ DES TRAVAUX DE QUARANTE (1994) ET DE BOCQUET ET AL. (1996) 20

FIGURE 2 : MODE DE PENSÉE COMMUN À CHAQUE ÉTAPE DU PROCESSUS DE CONCEPTION INSPIRÉ DES TRAVAUX DE QUARANTE (1994) 21

FIGURE 3 : DÉMARCHE DE CONCEPTION PRÉCONISÉE DANS LE CADRE DE CE TRAVAIL - SUCCESSION DE PHASES (D'ANALYSE-SYNTHÈSE)/VALIDATION CENTRÉE AUTOUR DE L'ENSEMBLE DES ACTEURS DE LA CONCEPTION INCLUANT UTILISATEURS ET OPÉRATEURS 25

FIGURE 4 : LA CONCEPTION DE PRODUITS NOUVEAUX, UNE DÉMARCHE TRANSDISCIPLINAIRE (D'APRÈS AOUSSAT, 1990) 27

FIGURE 5 : EXEMPLE FORMALISANT LA TERMINOLOGIE QUE NOUS UTILISERONS AU COURS DE CE TRAVAIL 35

FIGURE 6 : REPRÉSENTATION DES TÂCHES SECONDAIRES INTERFÉRANT AVEC LA TÂCHE PRINCIPALE DE CONDUITE DANS LE CADRE DU SYSTÈME CONDUCTEUR-VÉHICULE-ENVIRONNEMENT (INSPIRÉ DE NEBOIT, 1974 ; RASMUSSEN, 1983 ; CHICH, 1987 ; PLECZON, 1992) 40

FIGURE 7 : MODÈLE D'ÉCHANTILLONNAGE, AU COURS DE LA CONDUITE AUTOMOBILE, DES TÂCHES VISUELLES ET MOTRICES (WIERWILLE 1993) 41

FIGURE 8 : ZONES D'IMPLANTATION DES COMMANDES RETENUES POUR LA SUITE DU PROJET 44

FIGURE 9 : EXTRAIT DE LA TYPOLOGIE DES COMMANDES CONSIDÉRÉE POUR LE PROJET - CROQUIS RÉALISÉS PAR H. BAUME 45

FIGURE 10 : POSITIONS DES CAMÉRAS POUR L'ENREGISTREMENT SYNCHRONISÉ DE L'ENVIRONNEMENT EXTÉRIEUR (1), DU COMBINÉ VITESSE ET DE SA ZONE PROCHE (2), DES ACTIVITÉS MOTRICES DU CONDUCTEUR (3) AINSI QUE DES DIRECTIONS DE REGARD (4) 49

FIGURE 11 : BANC DE DÉPOUILLEMENT DES DONNÉES OBSERVÉES, UTILISATION DU LOGICIEL KRONOS 50

FIGURE 12 : CERCLE FACTORIEL MONTRANT LA RÉPARTITION DES PARAMÈTRES SELON LES 2 PREMIÈRES COMPOSANTES DE L'ACP (GROUPE A ET B). LE GROUPE A EST COMPOSÉ DE : TYPE DE COMMANDE, IMPLANTATION DES COMMANDES, INDICE DE COMPLEXITÉ, DURÉE CUMULÉE ET NOMBRE DE REGARDS, DURÉE CUMULÉE ET NOMBRE DE MANIPULATIONS SUR LA COMMANDE. LE GROUPE B EST COMPOSÉ DE LA TAILLE, DU SEXE ET DE L'ÂGE DU CONDUCTEUR 54

FIGURE 13 : DURÉE MOYENNE PAR EXPLORATION VISUELLE EN FONCTION DE LA COMPLEXITÉ DE LA TÂCHE SECONDAIRE - $\overline{X} \pm SE$ (NS) 56

FIGURE 14 : NOMBRE DE REGARDS DANS LE POSTE DE CONDUITE EN FONCTION DE LA COMPLEXITÉ DE LA TÂCHE SECONDAIRE - $\overline{X} \pm SE$ (***: P<0,001 ; * : P<0,05) 56

FIGURE 15 : EVOLUTION STATISTIQUEMENT SIGNIFICATIVE DES DURÉES MOYENNES PAR EXPLORATION VISUELLE SUR LES COMMANDES EN FONCTION DE LEUR IMPLANTATION - $\overline{X} \pm SE$ (***: P<0,001 ; ** : P<0,01) 57

FIGURE 16 : RÉPARTITION DU NUAGE DE POINTS EXPRIMANT LA DURÉE CUMULÉE DE REGARD PRÉDITE PAR LE MODÈLE COMPARÉE À CELLE OBSERVÉE EN CONDUITE RÉELLE (R^2=48,5% ; DDL=350 ; P<0,001)..... 63
FIGURE 17 : DONNÉES D'ENTRÉES ET RÉSULTATS ISSUS DE L'ÉTAPE DE RECHERCHE COOPÉRATIVE DE PRINCIPES DE SOLUTION EN GROUPE DE CRÉATIVITÉ SUR MAQUETTE VIRTUELLE (CETIM, 1997 ; TICHKIEWITCH, 1998)86
FIGURE 18 : DONNÉES D'ENTRÉES ET RÉSULTATS ISSUS DE L'ÉTAPE DE MODÉLISATION DU SYSTÈME CONDUCTEUR-PRÉCONCEPT D'AUTORADIO-ENVIRONNEMENT..... 87
FIGURE 19 : DONNÉES D'ENTRÉES ET RÉSULTATS ISSUS DE L'ÉTAPE DE SIMULATION DU SYSTÈME CONDUCTEUR-PRÉCONCEPT D'AUTORADIO-ENVIRONNEMENT..... 89
FIGURE 20 : EXTRAIT DU MODÈLE STRUCTUREL DU SYSTÈME CONDUCTEUR-AUTORADIO EXISTANT-ENVIRONNEMENT PRÉSENTÉ AVEC UN TRÈS HAUT NIVEAU D'ABSTRACTION ET UTILISANT LE FORMALISME ORIENTÉ OBJET OMT..... 90
FIGURE 21 : STATECHART TRADUISANT UN EXTRAIT DU MODÈLE DYNAMIQUE DE LA "CLASSE D'OBJET MAIN DROITE"..... 91
FIGURE 22 : APERÇU GLOBAL DE LA CORRESPONDANCE ÉTABLIE ENTRE LE MODÈLE STRUCTUREL OMT ET LE MODÈLE NUMÉRIQUE 3D RÉALISÉ SOUS MANERCOS DU SYSTÈME CONDUCTEUR-AUTORADIO EXISTANT-ENVIRONNEMENT..... 92
FIGURE 23 : TRANSPOSITION SOUS MANERCOS DES ACTIVITÉS RÉELLEMENT OBSERVÉES AU MODÈLE NUMÉRIQUE DU SYSTÈME CONDUCTEUR-AUTORADIO EXISTANT-ENVIRONNEMENT. CETTE ÉTAPE PERMET DE PRÉPARER LES ÉTAPES SUIVANTES DE RECHERCHE COOPÉRATIVE DE SOLUTIONS BASÉE SUR LA SIMULATION VIRTUELLE DU FUTUR SYSTÈME ET DE "CERTAINES ACTIVITÉS GESTUELLES FUTURES SOUHAITABLES" D'UTILISATION ASSOCIÉES..... 94
FIGURE 24 : ESQUISSES ÉLABORÉES LORS DES SÉANCES DE CRÉATIVITÉ EN RELATION AVEC LES CRITÈRES DU CAHIER DES CHARGES - CROQUIS RÉALISÉS AVEC LE CONCOURS DE H. BAUME..... 98
FIGURE 25 : EXTRAIT DU MODÈLE STRUCTUREL ISSU DE LA MODÉLISATION GRAPHIQUE SOUS OMT DU PREMIER PRÉCONCEPT D'AUTORADIO..... 100
FIGURE 26 : EXTRAIT DU MODÈLE NUMÉRIQUE RÉALISÉ SOUS 3D STUDIO MAX TRADUISANT LE PRÉCONCEPT D'AUTORADIO RETENU LORS DE LA PREMIÈRE ITÉRATION..... 100
FIGURE 27 : SIMULATION VIRTUELLE SOUS MANERCOS DES ACTIVITÉS VISUELLES ET MOTRICES D'UTILISATION DU PRÉCONCEPT 1 D'AUTORADIO..... 102
FIGURE 28 : EXTRAIT DE L'UN DES FILMS EN IMAGES VIRTUELLES MONTRANT DIMENSION DYNAMIQUE DES SUPPORTS DE COOPÉRATION UTILISÉS ET BASÉS SUR "L'ACTIVITÉ GESTUELLE" D'UTILISATION D'UN PRÉCONCEPT D'AUTORADIO..... 103
FIGURE 29 : VALEURS DES OBSERVABLES DE L'ACTIVITÉ CALCULÉES POUR LE PREMIER PRÉCONCEPT D'AUTORADIO. CES VALEURS SONT OBTENUES SUR LA BASE DES MODÈLES ANALYTIQUES PRÉDICTIFS DES OBSERVABLES COMPORTEMENTAUX EN FONCTION DES PARAMÈTRES DE CONCEPTION DU PRÉCONCEPT ($\overline{X} \pm SD$)..... 104
FIGURE 30 : EXTRAIT DU MODÈLE STRUCTUREL ISSU DE LA MODÉLISATION GRAPHIQUE SOUS OMT DU DEUXIÈME PRÉCONCEPT D'AUTORADIO..... 106

FIGURE 31 : EXTRAIT DU MODÈLE NUMÉRIQUE RÉALISÉ SOUS 3D STUDIO MAX TRADUISANT LE PRÉCONCEPT D'AUTORADIO DÉFINI LORS DE LA DEUXIÈME ITÉRATION 106

FIGURE 32 : VALEURS DES OBSERVABLES DE L'ACTIVITÉ CALCULÉES POUR LE DEUXIÈME PRÉCONCEPT D'AUTORADIO SUR LA BASE DES MODÈLES ANALYTIQUES PRÉDICTIFS ET DES NOUVELLES CARACTÉRISTIQUES DE CE PRÉCONCEPT ($\overline{X} \pm SD$) 107

FIGURE 33 : EVOLUTION DES DURÉES CUMULÉES DE REGARD ET DE MANIPULATION DE L'AUTORADIO, POUR LA MÊME TÂCHE SECONDAIRE, AU FUR ET À MESURE DES ITÉRATIONS ET DE L'OPTIMISATION DES PRÉCONCEPTS DE SOLUTION ($\overline{X} \pm SD$) 108

FIGURE 34 : DÉMARCHE DE RECHERCHE COOPÉRATIVE DE SOLUTIONS BASÉE SUR LA MODÉLISATION GRAPHIQUE ET NUMÉRIQUE DU SYSTÈME ET LA SIMULATION VIRTUELLE DE CERTAINES ACTIVITÉS FUTURES SOUHAITABLES D'UTILISATION - DÉMARCHE PROCHE DES TRAVAUX DE RAUCENT ET AL. (1997) 110

FIGURE 35 : ILLUSTRATION DU PREMIER MANNEQUIN DÉVELOPPÉ PAR L'ERCO SUR CATIA. EXEMPLE DE REPRÉSENTATION DE LA LIMITE D'ATTEINTE DIGITALE DU 5ÈME CENTILE MASCULIN PRÉVISIONNEL EN STATION ASSISE DE CONFORT DE CONDUITE AUTOMOBILE (GOMES ET SAGOT, 1996) 121

FIGURE 36 : LE CYCLE DE DÉVELOPPEMENT EN V UTILISÉ POUR LA CONCEPTION DE LOGICIELS INFORMATIQUES (D'APRÈS CALVEZ, 1990) 123

FIGURE 37 : CONTEXTE MIS EN OEUVRE POUR LE DÉVELOPPEMENT DU LOGICIEL MANERCOS - CONSTRUCTION DU LOGICIEL MANERCOS PAR L'ASSEMBLAGE DE COMPOSANTS AUTONOMES ET GÉNÉRIQUES PUISÉS DANS UNE BIBLIOTHÈQUE, DIRECTEMENT DÉVELOPPÉS EN C++ OU ACHETÉS SUR LE MARCHÉ 125

FIGURE 38 : ANALYSE DE L'ATTEINTE MANUELLE ET VISUELLE SUR MANNEQUIN/MQPRO 129

FIGURE 39 : ANALYSE PAR JACK DE L'UTILISABILITÉ D'UN POSTE DE PILOTAGE 129

FIGURE 40 : ANALYSE POSTURALE PAR SAFEWORK LORS D'UNE MANUTENTION 129

FIGURE 41 : ANALYSE DYNAMIQUE SOUS RAMSIS DU PILOTAGE MOTOCYCLISTE 129

FIGURE 42 : MODÈLES ANTHROPOMÉTRIQUES NUMÉRIQUES 3D PROPOSÉS PAR HUMANOÏD™ RETENUS POUR LE PROJET 133

FIGURE 43 : DONNÉES ANTHROPOMÉTRIQUES ISSUES DE BANQUES DE DONNÉES OU DE NORMES 133

FIGURE 44 : ARCHITECTURE ET LIENS HIÉRARCHIQUES MIS EN OEUVRE POUR CONSTRUIRE LA STRUCTURE DES MANNEQUINS, L'OBJET BASSIN ÉTANT L'OBJET MAÎTRE DE TOUTE L'ARBORESCENCE 134

FIGURE 45 : LOCALISATION DES ANGLES DE CONFORT ENTRE SEGMENTS CORPORELS 136

FIGURE 46 : DESCRIPTION DES DIFFÉRENTES FONCTIONNALITÉS DU MODULE D'ANALYSE DE L'ACTIVITÉ SOUS MANERCOS 138

FIGURE 47 : DESCRIPTION DES MODALITÉS D'UTILISATION DES DIFFÉRENTES FONCTIONNALITÉS DU LOGICIEL MANERCOS COUPLÉES À CELLES DE 3D STUDIO MAX, LORS DE L'ANALYSE DE "L'ACTIVITÉ GESTUELLE" RÉELLE D'UTILISATION DES AUTORADIOS EXISTANTS, EN PHASE D'ÉTUDE DE FAISABILITÉ 141

FIGURE 48 : DESCRIPTION DES MODALITÉS D'UTILISATION DES DIFFÉRENTES FONCTIONNALITÉS DU LOGICIEL MANERCOS COUPLÉES À CELLES DE 3D STUDIO MAX, LORS DE LA DÉMARCHE DE RECHERCHE COOPÉRATIVE DE SOLUTIONS, EN PHASE D'ÉTUDES PRÉLIMINAIRES 142

FIGURE 49 : EXTENSION DE LA MÉTHODE PRÉCONISÉE À L'ENSEMBLE DU CYCLE DE VIE DU PRODUIT 162

FIGURE 50 : ARCHITECTURE DES DIFFÉRENTS OUTILS XAO GRAVITANT AUTOUR DE L'ACSP ET MONTRANT LE POSITIONNEMENT DU PROCESSUS DE CONCEPTION PRÉCONISÉ DANS LA DÉMARCHE D'INGÉNIERIE CONCOURANTE 166
FIGURE 51 : FLOT DES DONNÉES TRAITÉES ET ENVIRONNEMENT LOGICIEL MIS EN OEUVRE AUTOUR DE LA PREMIÈRE MAQUETTE DÉVELOPPÉE POUR L'ACSP (LEROY, 1999) 169
FIGURE 52 : POSITIONNEMENT DE L'OUTIL MANERCOS DANS NOTRE DÉMARCHE DE CONCEPTION DES SYSTÈMES HOMME-PRODUIT-ENVIRONNEMENT BASÉE SUR "L'ACTIVITÉ GESTUELLE" D'UTILISATION, DE FABRICATION, ETC., DU PRODUIT 171

TABLEAU 1 : RÉCAPITULATIF TRADUISANT LA SPÉCIFICATION DE 9 FONCTIONS D'AUTORADIO RECENSÉES DANS LES VÉHICULES EXISTANTS 46
TABLEAU 2 : CARACTÉRISTIQUES DES SUJETS SÉLECTIONNÉS POUR LA DEUXIÈME SÉRIE EXPÉRIMENTALE 47
TABLEAU 3 : RÉCAPITULATIF DE L'ANALYSE DE VARIANCE À PLUSIEURS NIVEAUX RECHERCHANT L'EFFET DES PARAMÈTRES DE CONCEPTION DES SYSTÈMES DE CONTRÔLE-COMMANDE SUR LA DURÉE MOYENNE DE MANIPULATION SUR CES COMMANDES (***: P<0,001 ; ** : P<0,01) 59
TABLEAU 4 : EFFETS SIGNIFICATIFS ISSUS DES ANALYSES DE VARIANCE À PLUSIEURS NIVEAUX MENÉES SUR LA BASE DES DONNÉES MESURÉES (*** : P<0,00 ; ** : P<0,01 ; NS : NON SIGNIFICATIF) 60
TABLEAU 5 : RÉCAPITULATIF DE LA PREMIÈRE ANALYSE EN RÉGRESSION MULTIPLE RECHERCHANT L'EFFET DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES DE L'EXPÉRIMENTATION SUR LA DURÉE CUMULÉE DE REGARD SUR LA COMMANDE ***: P<0,001 ; * : P<0,05 ; NS : NON SIGNIFICATIF)) 61
TABLEAU 6 : RÉCAPITULATIF DE LA DEUXIÈME ANALYSE EN RÉGRESSION MULTIPLE RECHERCHANT L'EFFET DES CARACTÉRISTIQUES DES COMMANDES SUR LA DURÉE CUMULÉE DE REGARD SUR LA COMMANDE 62
TABLEAU 7 : EXTRAIT DES COMMENTAIRES SUBJECTIFS FORMULÉS PAR LES CONDUCTEURS 96
TABLEAU 8 : EXEMPLE DE DONNÉES NORMATIVES INTÉGRÉES LORS DE LA RECHERCHE DE PRÉCONCEPTS INNOVANTS D'AUTORADIO (RENAULT, 1992) 97
TABLEAU 9 : PRÉSENTATION, À TITRE INDICATIF, DES CARACTÉRISTIQUES DE CERTAINS OUTILS LOGICIEL DE MODÉLISATION ANTHROPOMÉTRIQUE DISPONIBLES SUR LE MARCHÉ 128
TABLEAU 10 : LIMITATIONS EN ROTATION DES OBJETS CONSTITUTIFS DU MANNEQUIN EN RELATION AVEC LES LIMITATIONS ARTICULAIRES DES SEGMENTS CORPORELS 134
TABLEAU 11 : EXTRAIT DES DONNÉES ANTHROPOMÉTRIQUES , UTILISÉES POUR DIMENSIONNER LES SEGMENTS CORPORELS DES MANNEQUINS UTILISÉS DANS MANERCOS 135
TABLEAU 12 : EXTRAIT DES ANGLES DE CONFORT PROPOSÉS PAR LA LITTÉRATURE DANS LE DOMAINE DES POSTES DE CONDUITE 136
TABLEAU 13 : CRITÈRES RETENUS PAR LE NIOSH POUR ÉLABORER L'ÉQUATION DE LEVER DE CHARGE D'APRÈS APTEL ET AL. (1995) 155
TABLEAU 14 : MÉTABOLISME POUR DIFFÉRENTS TYPES D'ACTIVITÉS, VALEURS EXCLUANT LE MÉTABOLISME DE BASE (D'APRÈS ISO 8996 - AFNOR, 1995) 159

INSTITUT NATIONAL
POLYTECHNIQUE
DE LORRAINE

AUTORISATION DE SOUTENANCE DE THESE DU DOCTORAT DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

o0o

Service Commun de la Documentation
INPL
Nancy-Brabois

VU LES RAPPORTS ETABLIS PAR :
Monsieur TICHKIEWITCH Serge, Professeur, ENSHMG Saint-Martin d'Hères,
Mosnieur DUCHAMP Robert, Professeur, ENSAM Paris.

Le Président de l'Institut National Polytechnique de Lorraine, autorise :

Monsieur GOMES Samuel

NANCY BRABOI
2, AVENUE DE L.
FORET-DE-HAY
BOITE POSTALE
F - 5 4 5 0
VANDŒUVRE CEDE

à soutenir devant un jury de l'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE, une thèse intitulée :
"Contribution de l'analyse de l'activité au processus de conception de produits innovants. Application à la conception de systèmes de contrôle-commande automobiles"

en vue de l'obtention du titre de :

DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE

Spécialité : **"GÉNIE DES SYSTÈMES INDUSTRIELS"**

Fait à Vandoeuvre le, **23 Décembre 1998**
Le Président de l'I.N.P.L.,

J. HARDY

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE NANCY

TEL. 33/03.83.59.59
FAX. 33/03.83.59.59

RESUME : Positionné dans le domaine du génie des systèmes industriels, ce travail propose une réflexion sur les méthodes et les outils à mettre en oeuvre pour mieux concevoir des produits nouveaux adaptés aux futurs utilisateurs. Dans ce contexte, une approche transversale est adoptée dans le domaine des méthodologies de conception, en utilisant des principes propres à l'ergonomie et à l'informatique. Face aux difficultés de coopération entre ingénieurs et ergonomes, lorsqu'il s'agit de concevoir de nouveaux produits tenant compte de l'activité d'utilisation, nous formulons différentes propositions. Outre la définition de notre vision du processus de conception de produits, centré sur la nécessaire coopération entre les différents acteurs du projet, nous proposons un nouveau support de coopération : la notion "d'activité gestuelle" d'utilisation du produit. Il s'agit d'abord d'analyser les différentes activités gestuelles d'utilisation des produits existants en adoptant une vision globale du système Homme-Produit-Environnement. Ensuite, il est possible d'appréhender certaines activités gestuelles futures souhaitables d'utilisation du futur produit en faisant appel à des méthodes de modélisation et de simulation. L'application de ces propositions à un projet industriel de conception d'un nouveau système de contrôle-commande d'autoradio a montré la nécessité de développer un nouvel outil logiciel d'aide au concepteur. Il s'agit de MANERCOS, un logiciel dédié à l'analyse, à partir de films vidéographiques, des activités gestuelles réelles d'utilisation des produits existants. Par la suite, ce même logiciel permet de modéliser et de simuler certaines activités gestuelles futures souhaitables d'utilisation du futur produit. Conformément à la démarche d'ingénierie concourante, les mêmes méthodes et outils proposés, vont nous permettre, d'accompagner l'évaluation des moyens de production existants et la conception des futurs moyens de production du futur produit.

CONTRIBUTION OF "ACTIVITY ANALYSIS" TO NEW PRODUCT DESIGN PROCESS -An application for design of new automotive control systems

ABSTRACT : Situated in the industrial systems engineering field, this work proposes a reflection on the methods and the tools that can be applied for better designing new products adapted to future users. In this context, a transverse approach is adopted in the field of design methodologies, by using ergonomics and data processing principles. Some difficulties of co-operation between engineers and ergonomicists have been identified for designing new products in view of user activities. In this context, we have formulated several proposals. In addition to our own vision of the product design process, centered on the necessary co-operation between the various actors of the project, we propose a new co-operation tool based on motor activities observed when using the product. First we analyze the various user motor activities of existing products are analyzed using a global vision of the Man-Product-Environment system. Then, it is possible to build different future user activities of the future product by using modeling and simulation methods. The application of these proposals to an in-car radio design project showed the need for developing a new computer aided design tool : MANERCOS. This software is dedicated to real situations using activity analysis, based on video recordings. Thereafter, the same software can be used for modeling and simulating desired future user activities. In accordance with concurrent engineering techniques, the same methods and tools are proposed to evaluate existing production and to design future production means for the future product.

DISCIPLINE : Génie des Systèmes Industriels

MOTS-CLES méthodologie de conception de produits, ergonomie, innovation, ingénierie concourante, activités gestuelles d'utilisation, maquette virtuelle, outils XAO.

LABORATOIRE DE RECHERCHE EN GENIE DES SYSTEMES INDUSTRIELS
8, rue Bastien LEPAGE