

Université de Montréal

L'implication de la CAO sur l'analyse ergonomique en design industriel

par

Alvaro Enrique Diaz Salazar

Faculté de l'aménagement

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures

en vue de l'obtention du grade de

Maître ès sciences appliquées (M.Sc.A)

en aménagement

(option conception, modélisation, fabrication assistées par ordinateur)

Avril 2003

©Alvaro Enrique Diaz Salazar, 2003



NA
9000
U54
2003
V. 21

AVIS

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

NOTICE

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

L'implication de la CAO sur l'analyse ergonomique en design industriel

présenté par
Alvaro Enrique Diaz Salazar

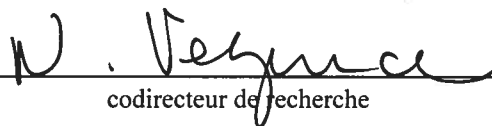
a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :



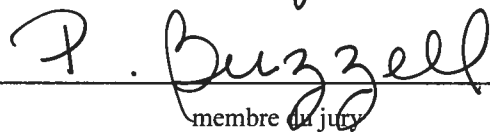
président-rapporteur



directeur de recherche



codirecteur de recherche



membre du jury

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier tous ceux qui, d'une façon ou d'une autre, ont rendu possible la réalisation de ce travail. En particulier, le professeur Giovanni De Paoli qui m'a offert son soutien dans les phases initiales de mon travail, le professeur Temy Tidafi qui m'a fait réfléchir en me donnant ses précieux conseils, mon directeur de recherche, le professeur Philippe Lalande, pour sa collaboration constante, son amabilité et sa manière logique de déchiffrer, chaque semaine, mes idées métissées, et ma codirectrice, la professeure Nicole Vézina, pour ses conseils et son partage amical de connaissances. Merci à l'ICETEX, en Colombie, et à l'Université de Montréal pour l'aide financière obtenue par l'octroi de différentes bourses. Finalement, un grand merci à tous ceux qui m'ont toujours encouragé à me dépasser et à développer ma curiosité... mes amis et mes amies.

*A mi familia, lejos pero siempre tan cerca...
y a mi amada esposa...*

SOMMAIRE

L'objectif principal de ce travail est de mieux comprendre l'implication de la conception assistée par ordinateur (CAO) dans le processus de design, et plus précisément pendant l'étape de l'analyse ergonomique.

Le design industriel est étroitement lié aux différents utilisateurs et à la fabrication des produits; dans le processus pour arriver aux résultats, le designer doit établir les besoins auxquels ses solutions doivent répondre. Pour arriver à ces objectifs, le projet doit subir plusieurs types d'évaluations et de vérifications. Les analyses ergonomiques font partie de ces phases d'un projet.

Différents types d'outils sont utilisés pour effectuer ces évaluations et validations : des maquettes, des sketches, des prototypes et la CAO, entre autres.

L'intégration de cette connaissance ergonomique dans le processus de design, de même que l'intégration de la CAO, est une problématique que, de plus en plus, les chercheurs essaient de solutionner de la façon la plus appropriée. Des logiciels dits experts, qui fournissent des mannequins virtuels, sont fréquemment utilisés dans les analyses ergonomiques.

Dans un premier temps, nous réalisons une étude de connaissances, axée sur les définitions du design industriel, de l'ergonomie et de la conception assistée par ordinateur. Puis, notre recherche porte sur les analyses d'études de cas concernant ces trois domaines du savoir. Un bilan de chaque volet nous amène à comprendre l'intégration de ces types d'outils dans les analyses ergonomiques.

En conclusion, avec un critère ergonomique solide, la CAO semble intéressante et avantageuse.

MOTS CLÉS : CAO, CAE, design industriel, ergonomie, chaise assis-debout, processus de design

ABSTRACT

An important relationship exists, during the design process, between the industrial design (the object), the user, the client, and the manufacturer. In this relationship, the designer act as a coordinator, balancing both the needs and the constraints of the process. Before achieving its final version, the project demands numerous evaluations and tests, including the so-called ergonomic analysis. Today, several tools are used to conduct ergonomic-related tests. In this process, models, sketches, prototypes and CAD tools might be used.

However, researchers and practitioners still look for better ways to integrate knowledge about ergonomic analysis and CAD tools into the design process. Advanced software and state-of-the-art tools for ergonomic simulation have been developed to give designers the opportunity to explore with computer-generated manikins and body templates during the process of ergonomic analysis. This research examines the effects of the use of CAD tools during the ergonomic analysis of the design processes. In a first step, the study presents a review of the literature and existing knowledge in the field, highlighting the concepts of industrial design, ergonomics and CAD. Following this, the analysis of four cases studies is presented.

From the analysis of the literature and the case studies, it is possible to claim now that a full integration of CAD tools in the ergonomic analysis is not only possible but also beneficial for the design process.

Keywords : CAD, CAE, industrial design, ergonomics, sit-stand chair, design process

TABLE DES MATIÈRES

	Page
Remerciements	iii
Dédicace	iv
Sommaire	v
Abstract	vi
Table des matières	vii
Liste des figures	x
Liste des tableaux	xiii
Chapitre premier : État de connaissances	
1.0 Introduction	1
1.1 Problématique	2
1.2 Méthodologie	4
1.3 Plan du travail	4
2.0 Design Industriel	7
2.1. Analyse de la fonction	10
2.2. Analyse de la forme	11
2.3. Analyse du symbolisme	11
3.0 Ergonomie	12
3.1 Bref historique	12
3.1.1 Anthropométrie	16
3.1.2 Types de mensurations en anthropométrie	20
3.2 Ergonomie au niveau du design	24

3.3	Méthodologie de l'ergonomie et du design dans un projet commun	26
3.4	Utilisation du mannequin	28
4.0	Outils informatiques	29
4.1	CAO	29
4.2	Réalité Virtuelle. 2D-3D	30
4.3	CAE	31
4.3.1	Inventaire des logiciels	32
4.3.2	Considérations des logiciels pour CAE	33
4.3.3	Mannequin virtuel – considérations générales	35
4.4	CAO et processus de design	36
4.4.1	Processus avec des modèles physiques fabriqués avec des méthodes artisanales ou semi-automatiques	37
4.4.2	Processus avec des modèles physiques de haute qualité produit par un procédé de fabrication automatisé	37
5.0	Analyse ergonomique sans outil informatique	41
5.1	Méthode d'évaluation	42
5.2	Analyse de la méthode d'évaluation	43
6.0	Analyse ergonomique avec outil informatique	43
6.1	Méthode d'évaluation	44
6.2	Analyse de la méthode d'évaluation	47
7.0	Bilan	47

Chapitre 2 : Étude de cas

8.0 Introduction aux études de cas, justification	51
9.0 Étude de cas 1	52
9.1 Introduction	52
9.2 Analyse du cas	54
9.3 Conclusion	60
10.0 Étude de cas 2	61
10.1 Introduction	61
10.2 Analyse du cas	62
10.2.1 Implication du 3D	65
10.3 Conclusion	66
11.0 Étude de cas 3	68
11.1 Introduction	68
11.2 Analyse du cas	71
11.3 Conclusion	74
12.0 Étude de cas 4	77
12.1 Introduction	77
12.2 Analyse du cas	80
12.3 Conclusion	86
13.0 Bilan – Études de cas	87

Chapitre 3 : Conclusion

14.0 Discussion	89
15.0 Conclusion et commentaires généraux	92
15.1 Conclusion	92
15.2 Commentaires généraux	93
16.0 Pistes à suivre	94
Bibliographie	95
Sites web	99

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1.1 Plan du travail à développer par l'auteur	6
Figure 2.1 Traitement des aspects dans le processus de design selon Powell (par l'auteur)	10
Figure 3.1 Le système des interactions humaines	14
Figure 3.2 Diagramme ergonomique, d'après Singleton-1974	15
Figure 3.3 Dessin de Leonardo Da Vinci de la figure humaine selon l'homme de Vitruve, 1490	17
Figure 3.4 <i>Leonardo at work</i>	19
Figure 3.5 Les mesures de l'homme et de la femme	21
Figure 3.6 Principaux mouvements du corps humain	23
Figure 3.7 Liaison Ergonomie-Design. Processus méthodologique pour une ergonomie de conception	27
Figure 3.8 Étude des facteurs humains pour une cabine de tracteur	29
Figure 4.1 Développement typique des phases et coût hypothétique en utilisant des DMU (<i>Digital Mock-Up</i>) dans une première étape du processus de design, comparé avec les phases traditionnelles	35
Figure 4.2 Processus avec des modèles physiques fabriqués avec des méthodes artisanales ou semi-automatiques	38
Figure 4.3 Processus avec des modèles physiques de haute qualité produit par un procédé de fabrication automatisé	39
Figure 4.4 De la conception à la fabrication, sans modèle digital 3D	40
Figure 4.5 De la conception à la fabrication, avec modèle digital 3D	40

Figure 4.6	De la conception à la fabrication, avec modèle digital 3D (selon l'auteur)	41
Figure 6.1	Scan de la figure humaine	45
Figure 6.2	Modèle 3D d'une automobile réalisée par le logiciel SAMMIE, pour l'évaluation à l'intérieur de celui-ci	46
Figure 9.1	Banc Stitz	53
Figure 9.2	Banc Stitz 2	53
Figure 9.3	Banc Stitz avec les hauteurs	54
Figure 9.4	Photo 1 – Caissière avec chaise assis-debout, analyse des distances auprès du poste de travail	56
Figure 9.5	Photo 2 – Caissière avec chaise assis-debout, analyse des distances auprès du poste de travail	57
Figure 9.6	Photo – Caissière avec chaise assis-debout, problématiques de visualisation auprès du poste de travail	58
Figure 9.7	Portée des membres supérieurs de la plus petite et de la plus grande caissière, l'épaule à 45°, transposée sur le poste à l'endroit où elles se positionnent	59
Figure 10.1	Dessins des positions étudiées par le groupe de recherche	64
Figure 10.2	Dessins des positions importantes à considérer pour une analyse postérieure	64
Figure 11.1	Chaise <i>Move</i> pour adulte, à gauche, pour enfant, à droite	69
Figure 11.2	Chaise <i>Move</i> dans des situations courantes	70
Figure 11.3	Exemples d'analyses effectuées dans le domaine sportif à l'aide du système VICON	71

Figure 11.4	À gauche, figure 3D de trois extrémités pendant la descente de quatre pas d'escalier. À droite, diagramme d'un vecteur pour un algorithme 3D qui calcule le dégagement de plusieurs points virtuels dans la chaussure en relation avec l'escalier dans chaque cadre (Startzell et Cavanagh, 1999)	72
Figure 11.5	Flexion, déplacement de l'épine cervicale – chaise <i>Move</i>	73
Figure 11.6	Flexion, déplacement de l'épine cervicale – chaise traditionnelle	74
Figure 11.7	Évaluation avant l'utilisation de <i>Move</i>	75
Figure 11.8	Évaluation après l'utilisation de <i>Move</i>	76
Figure 12.1	Expérience sur le siège d'automobile	77
Figure 12.2	Distribution de la pression, déterminée expérimentalement, sur un siège d'automobile	78
Figure 12.3	Sièges d'automobile, avec le corps humain	79
Figure 12.4	Approximation symbolique de la figure humaine	81
Figure 12.5	Modélisation d'une automobile avec un mannequin représentant un handicapé	82
Figure 12.6	Analyse ergonomique avec un mannequin réel et avec un mannequin virtuel	83
Figure 12.7	Technique du Scan de la figure humaine, utilisée à l'Université de Loughborough	84
Figure 12.8	Scan du torse de femme avec 29 sections et avec 10 sections	85
Figure 12.9	Image numérique générée par le système informatique selon la distribution de la pression sur le siège	86

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1	Sommaire des principaux mouvements des membres	22
Tableau 7.1	Problèmes de design solutionnés avec les modèles virtuels	48
Tableau 7.2	Limitations et difficultés avec les modèles virtuels	50
Tableau 13.1	Position selon les analyses ergonomiques avec ou sans outil informatique	88

CHAPITRE 1

État de connaissances

1.0 Introduction

Man modeling that will fully integrate workspace design is not yet available on microcomputers. The ideal CAD package would permit the user to specify anthropometrics criteria of the working population, and then design the workstation in three-dimensional space around a representative man model, providing instant graphic feedback to identify obvious incompatibility in the system¹.

Le design industriel est une discipline qui a recours aux différents types d'outils de création comme, entre autres, l'utilisation des maquettes, des sketches, et de la CAO (conception assistée par ordinateur).

Dans le milieu de l'industrie, on essaie d'optimiser le temps de production dans la conception, la production, la livraison et l'emballage, pour ne citer que quelques exemples. Tout ceci permet aux entreprises d'obtenir des produits de bonne qualité, qui peuvent se vendre facilement, à un bon prix et qui, finalement, donneront une satisfaction aux consommateurs². Donc, dans ces circonstances, le design doit également optimiser le temps de ces étapes sans perdre la qualité du design.

C'est grâce aux outils de création que la conception des produits devient de plus en plus performante dans une chaîne industrielle.

Pour ce faire, le design industriel fait appel à différentes sciences selon l'approche privilégiée. La biomécanique, la psychologie, la sociologie et l'ergonomie, entre autres, sont sollicitées par le designer et utilisées dans son domaine de conception; l'éclairage apporté par ces diverses disciplines permet à celui-ci d'utiliser ces outils de création de façon pertinente.

¹ L. Stewart. « Microcomputer applications in human factors research », dans W. Karwowski, A. M. Genaidy et S. S. Asfour (éds), *Computer aided ergonomics*, Londres, Taylor et Francis, 1990, (p. 1-3).

² Louis Tawfik et Alain M. Chauvel. *Administración de la producción*, Mexico, McGraw-Hill, 1992, p. 74.

La CAO est un outil qui est devenu, depuis les années 1980, l'assistant du concepteur, tant pour la communication que pour l'analyse du projet. Cette pratique occupe une place de choix à l'étape de conception et est associée à d'autres modalités d'assistance informatique telles que la FAO (fabrication assistée par ordinateur), la CAE (computer aided engineering) ou la CAEr (computer aided ergonomics, que nous assimilerons à la CAE, dans cette étude).

La présente recherche est centrée sur la gestion efficace de ces outils à des fins d'analyse et l'optimisation des résultats en termes de solutions.

1.1 Problématique

Depuis une vingtaine d'années, les systèmes informatiques sont devenus des outils de grande utilisation dans le processus de design.

Ainsi, les analyses ergonomiques, qui s'effectuent au niveau d'un projet de design industriel, peuvent être réalisées en élargissant le répertoire de possibilités : en plus des maquettes, des prototypes, des sketches, etc., les systèmes informatiques contribuent avantageusement aux objectifs visés.

De plus, l'utilisation grandissante d'instruments, tels la CAO et la CAE dans les analyses ergonomiques, permet d'éviter l'étape de l'élaboration de modèles physiques tout en contribuant à un meilleur contrôle du modèle virtuel :

The aim of introducing virtual simulation into the design process is to improve design quality, reduce costs incurred by possible mocking up and retrofitting operations and to gain time by anticipating modifications. In other words to provide the ergonomist with a tool for assessing and validating the design elements enabling the physical production of a cockpit enjoying support from all parties³.

Lorsque le modèle physique est utilisé en conjonction avec les outils de conception assistée par ordinateur, il s'agit, la plupart du temps, d'amenuiser les différences

³ Laurent Goutal. « Ergonomics Assessment for aircraft cockpit using the virtual mock-up », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES '99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M. mai, 1999.

entre le monde réel et le monde virtuel. Des problèmes de visualisation et de type cognitif, à propos de la communication entre les différentes échelles, sont solutionnés par les analyses réalisées dans les mondes virtuels. On peut constater ces mêmes préoccupations dans d'autres étapes de la conception à l'aide de l'ordinateur et de la réalité virtuelle, comme le constate Yen-Wen Cheng : « Connecting to models in real space allows us to use senses that are not yet completely addressed by digital models⁴. »

Au niveau de l'ergonomie cognitive, tous les tests sont faits avec des modèles physiques ou des prototypes en relation avec l'être humain.

Comme on peut le constater, au niveau de la conceptualisation, on travaille dans différents environnements : dans des mondes virtuels, des mondes réels ou, dans certains cas, dans un même monde virtuel, mais avec une intégration partielle, ce que nous appellerons dans notre recherche, le monde « hybride ». Nous devons établir ces analyses de type « hybride » comme des analyses réalisées avec l'aide des outils informatiques, mais partiellement à cause d'un manque d'utilisation optimale des outils informatiques.

Ainsi donc, ces mondes décrits antérieurement font appel à des approches différentes que nous allons décrire dans notre recherche, et ceci selon l'analyse ergonomique envisagée.

Est-ce que le monde réel nous donne le pouvoir de réaliser des analyses ergonomiques exhaustives? Est-ce que le monde virtuel est la solution aux problèmes qui se présentent à nous? Est-ce qu'un monde hybride pourra être plausible dans les analyses ergonomiques effectuées dans l'industrie?

Enfin notre question... quelle est la place occupée par la CAO dans les analyses ergonomiques en design industriel?

⁴ Nancy Yen-Wen Cheng. « Linking the Virtual to Reality : CAD & Physical Modeling ». *Proceedings of the Sixth International Conference on CAAD Futures*, Singapore, The Global Design Studio, Milton Tan et Robert The, 1995, p. 303.

1.2 Méthodologie

Nous allons diviser le travail en deux étapes :

- Dans une première étape, nous allons débiter avec des énoncés théoriques dans le domaine du design industriel, de l'ergonomie et des outils informatiques afin de comprendre le but de chaque discipline et d'établir des convergences en termes d'objectifs. Cette première étape nous aide à définir le cadre théorique de la recherche.
- Dans une deuxième étape, nous effectuerons quatre études de cas, dont trois d'un même objet, la chaise assis-debout, où nous réaliserons une comparaison entre trois différents types d'approche d'analyse ergonomique : une approche totalement virtuelle, une approche hybride (semi-virtuelle) et une approche classique (sans outil informatique).

Cet exercice nous permettra de mettre en évidence les points positifs et négatifs de chaque cas et, ainsi, d'améliorer notre compréhension des approches à privilégier dans notre pratique.

1.3 Plan du travail

Suite aux énoncés théoriques sur les trois sujets importants de notre recherche, soient le design industriel, l'ergonomie et la CAO, nous établirons certaines définitions préliminaires utiles à la compréhension de notre cheminement.

Nous poursuivrons avec des énoncés théoriques portant sur des analyses ergonomiques sans outil informatique et avec outil informatique, qui nous permettront d'émettre certaines hypothèses que nous confronterons au concept d'ergonomie comme tel.

Dans un deuxième temps, nous aborderons les études de cas. À travers l'analyse de celles-ci, de nouvelles hypothèses se dégageront que nous pourrions comparer aux

hypothèses issues de l'analyse théorique. Cette démarche nous amènera à en déduire certaines conclusions qui reflèteront notre synthèse.

L'ensemble du processus est représenté dans la figure 1.1.

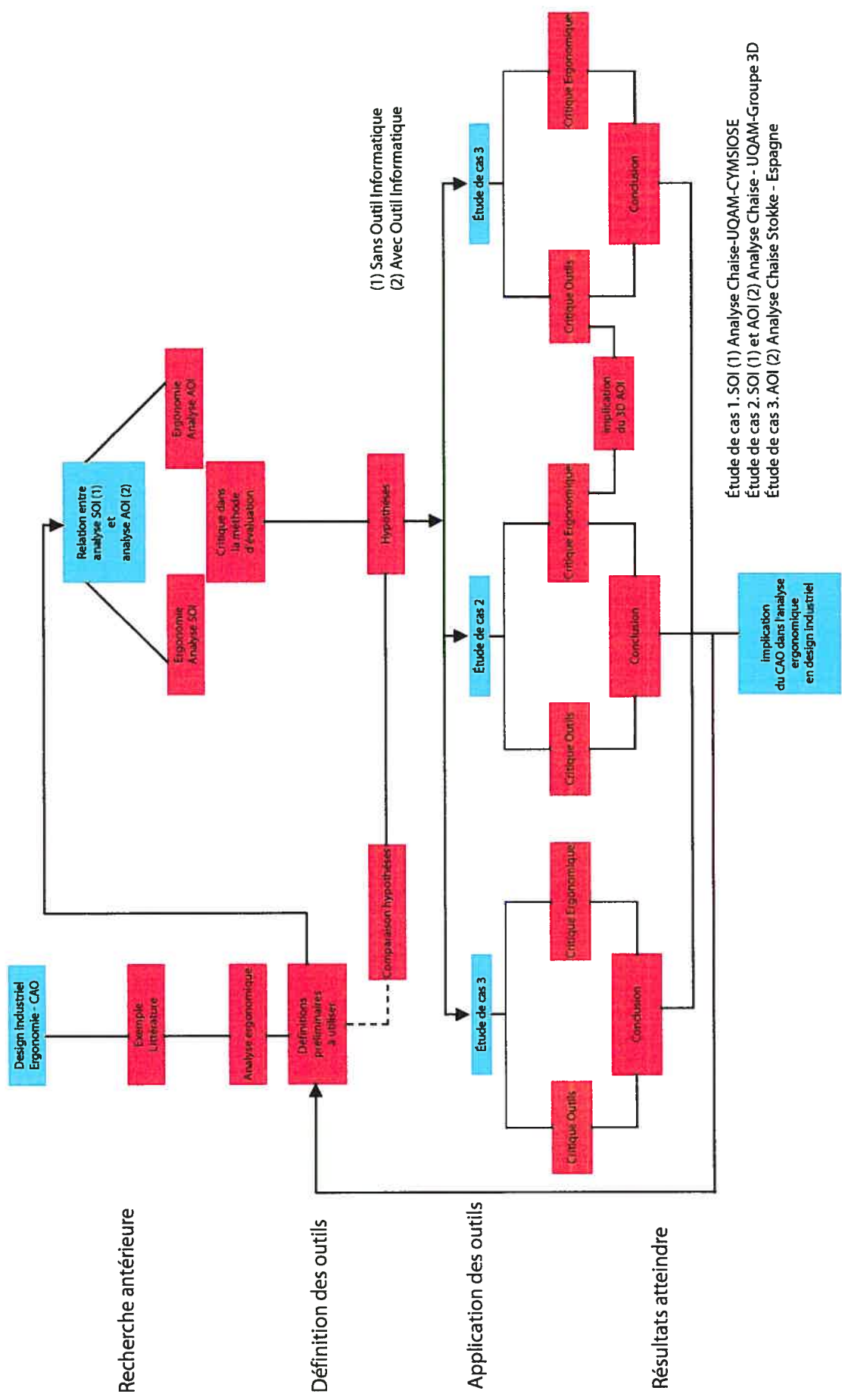


Figure 1.1. Plan du travail à développer par l'auteur.

2.0 Design Industriel

« [...] *le design industriel représente le trait d'union entre le monde artistique et l'ingénierie* [...] »⁵ »

Tout au long des révolutions industrielles et techniques des XVIII^e et XIX^e siècles, le design industriel se développe, laissant de côté le niveau artisanal qui appartenait à l'histoire des objets⁶. Un des personnages importants dans cette transition est William Morris⁷ qui lance la notion « d'art utile ». Le design industriel devient une étape dans ce processus, en même temps qu'il se transforme : de création d'un individu, il devient l'objectif d'un groupe de travail.

Cependant, le design avait commencé avant même ces révolutions, minimisant ainsi « le statut de pionnier du design que l'on a abusivement attribué à William Morris⁸ », comme le remarque Herwin Schaefer. Mais, c'est en 1919, avec le *Bauhaus*, que des individus, comme Walter Gropius⁹, « [...] [who] integrated design theory with practice through new industrial means of production, that modern design truly came into being¹⁰ ».

Avec l'arrivée de cette nouvelle conception dans le domaine, on a commencé à percevoir plusieurs études sur le produit à concevoir autour de l'industrie et les changements qui ont été opérés avec cette révolution. Les produits, les styles, les théories et les philosophies du design se sont diversifiés, cela du fait de la croissance de la complexité dans le processus de design. Comme C. Fill le note : « Increasingly in design for industrial production, the relationship between conception, planning and

⁵ Gillo Dorfles, *Design Industriel*, Barcelona, Salvat, coll. « Histoire de l'art », 1976, p. 63. Traduction de l'auteur.

⁶ *Ibid.*, p. 67. Traduction de l'auteur

⁷ Artiste et écrivain britannique (1834-1896). Il a oeuvré pour la renaissance des arts décoratifs et propagea le mouvement « Arts and Crafts ».

⁸ Herwin Schaefer. « Les origines du design moderne », *Design # 5* (avril-numéro spécial), 1981, p. 81-82.

⁹ Walter Gropius (1883-1969). Architecte. Il réalise ses études aux Écoles de technologie de Berlin et Munich. Travaille avec l'architecte allemand Peter Behrens de 1907-10. Il a été influencé par les écrits de Frank Lloyd Wright. Gropius fonde le Bauhaus (House of Building), une des écoles les plus influentes en architecture et en design du XX^e siècle. L'avènement du socialisme national et d'Adolf Hitler le conduit à émigrer. Il arrivera à Londres, mais, finalement, il travaillera comme enseignant aux universités de Harvard et du MIT à Boston.

¹⁰ Charlotte et Peter Fiell, *Design of the 20th Century*, Cologne, Taschen, 2001, p. 4-5.

making is fragmented and complicated by a series of interlinked specialized activities involving many different individuals¹¹. »

Selon Jean Charles Lebahar, professeur à l'Université de Marseille, qui fait des recherches sur les méthodes de conception au niveau du design industriel, « [de] ces aspects historiques [...] [nous pouvons en déduire] trois principes : la pluridisciplinarité du design, la nécessité d'une coordination des savoirs, la recherche d'adaptation de la technique à des problèmes donnés¹². »

Dans ses déclarations sur les différents aspects que le designer doit analyser pour la conception d'un produit apparaissent deux points fondamentaux : la fonction pratique et la fonction formelle, où chaque élément dépend de tous les autres et inversement.

It may be true that one has to choose between ethics and aesthetics, but it is no less true that whichever one chooses, one will always find the other at the end of the road [...] (Jean-Luc Godard¹³)

Dans le design industriel, on réalise des analyses minutieuses des aspects esthétiques, physiques, symboliques et ergonomiques. Tous ces types d'analyses doivent être vus comme des facettes d'un grand projet qui, lui-même, est défini par ses objectifs et ses buts particuliers.

Compte tenu de l'optique envisagée, nous verrons certains projets qui mettront de l'avant la forme esthétique au détriment de d'autres dimensions; d'autres projets accentueront l'aspect physique (par exemple, une machine industrielle). Parfois, l'absence d'un facteur important aura des répercussions sur la bonne conduite du projet de design industriel.

¹¹ Charlotte et Peter Fiell, *op. cit.*, p. 4-5.

¹² Jean Charles Lebahar. *Éléments de design industriel*, Paris, Hermès, 1987, p. 20.

¹³ Jean-Luc Godard, cinéaste, écrivain français, citation dans [En ligne], <http://www.collaboration.org/centers/goldenchain/Magazine/gc14/Talkshop.html> (Page consultée pendant le mois de septembre 2002).

L'importance de ces différentes fonctions dépend des objectifs à atteindre et du cadre théorique du projet. Chacune des fonctions a évolué selon les époques et les mouvements historiques.

Dans le design industriel comme dans d'autres disciplines, telles l'architecture, il existe, depuis les années soixante, un débat entre forme et fonction. Selon G. De Paoli,

Ce débat de la forme qui suit ou non la fonction peut être vu aussi selon une approche systémique qui scrute particulièrement le processus de conception. Dans ce cas, il ne s'agit pas de définir lequel vient avant l'autre, mais d'établir les rapports "dialectiques" entre les deux concepts¹⁴.

Selon Lobach Bernd¹⁵, c'est beaucoup plus tard qu'apparaissent les études sur l'ergonomie et sur la fonction sémiotique dans le design, ce qui nous introduit à trois fonctions importantes dans le développement d'un produit, et que nous verrons dans la suite de notre ouvrage. Ces différents aspects, dans le design industriel, doivent être toujours un souci pour le designer, comme Powell le décrit¹⁶ : c'est comme dans le numéro des assiettes anglaises, au cirque; le designer doit tenir compte des différents aspects, et à un moment donné, l'aspect formel peut se dérouler très bien; cependant, il doit être toujours attentif aux autres aspects, pour que le projet ne tombe pas (voir figure 2.1).

¹⁴ Giovanni De Paoli. Une nouvelle approche d'aide à la conception par ordinateur en architecture basée sur la modélisation d'opérateurs sémantiques et la création de maquettes procédurales, Thèse de doctorat, Université de Montréal, Faculté de l'aménagement, Montréal, 1999, p. 39.

¹⁵ Lobach Bernd. *Industrial Design*, Munich, GG Editorial, 1976, p. 53.

¹⁶ Dick Powell, *Designing Dreams Machines*, Royaume-Uni, 1995, Documentaire pour la BBC.

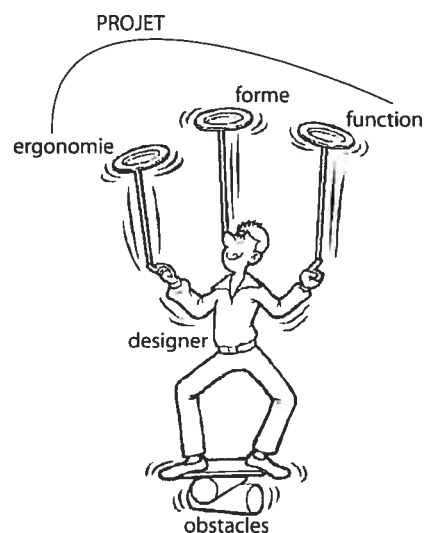


Figure 2.1 *Traitement des aspects dans le processus de design selon Powell (par l'auteur).*

L'ICSID (International Council of Societies of Industrial Design) a établi une très intéressante définition¹⁷ du design industriel où celui-ci est vu comme une activité créative avec un objectif étroitement lié au cycle de vie du produit avec différentes solutions : « Design is a creative activity whose aim is to establish the multi-faceted qualities of objects, processes, services and their systems in whole life-cycles [...] giving products, services and systems, those forms that are expressive of (semiology) and coherent with (aesthetics) their proper complexity. »

2.1 Analyse de la fonction

L'analyse de la fonction se situe au moment préliminaire de la conception. Les concepteurs se questionnent à propos des objectifs du projet, le contexte où il se développera, et le groupe d'utilisateurs.

Des sciences comme la médecine, l'ergonomie et la biomécanique, tout dépendant du projet, peuvent faire partie des disciplines utilisées dans cette étape.

¹⁷ [En ligne], <http://www.icsid.org/iddefinition.html> (Page consultée le 10 mars 2003).

Les conclusions recherchées doivent être en rapport avec la fonctionnalité du produit à développer. Quelle sera la fonction du produit? Qui sera son utilisateur? Quel sera le cycle de vie du produit?

Les données de ces analyses sont examinées par les concepteurs, après une interaction directe avec les autres personnes qui font partie du groupe d'analyse; suite à ceci, les concepteurs initient l'étape de création.

2.2 Analyse de la forme

Dans l'analyse de la forme, les aspects de type esthétique doivent commencer à être intégrés selon les données établies dans le cadre théorique du projet : textures, couleurs, proportions, formes font parties des éléments à analyser.

La forme et le style commencent à être liés aux différents facteurs sociaux et anthropologiques. Selon l'architecte Walter Gropius : « Aujourd'hui, la tradition fonctionnelle persiste, inchangée, mais une fois de plus en dehors de la forme et du style¹⁸. »

2.3 Analyse du symbolisme

L'analyse du symbolisme apparaît avec les études de psychologie de la perception, la sémiotique, la théorie de la gestalt (théorie psychologique dominante à l'époque (1930), qui étudiait ce que les formes communiquaient. Par exemple, « [...] montrant que notamment les formes géométriques, simples et symétriques étaient plus prégnantes, c'est-à-dire dominaient les perceptions et s'inscrivaient plus durablement dans les mémoires¹⁹ ».

Les aspects communicatifs du produit, avec son milieu et inversement, commencent à être analysés.

¹⁸ Jean Charles Lebahar, *op. cit.*, p. 15.

¹⁹ P. Guillaume. *La psychologie de la forme*, Paris, Flammarion, 1937, p. 57.

3.0 Ergonomie

3.1 Bref historique

D'après les anthropologues, l'ergonomie s'exerce depuis que l'homme a commencé à fabriquer ses premiers outils pour la chasse, pour se battre, pour sa nourriture, pour son habitat, etc. Quand l'homme a dû assouvir son besoin de nourriture, il a dû fabriquer un outil avec la meilleure forme possible pour arriver à ses fins.

Les premières études théoriques sur cette association entre les activités de l'homme et son corps sont apparues dans les écrits de Bernardino Ramazzini,

médecin italien (1633-1714) où il se montra, dans son ouvrage *De morbis artificum* (1713), un précurseur en signalant l'importance des accidents du travail et en précisant certaines mesures d'hygiène et de sécurité²⁰.

Le mot *Ergonomie* apparaît dans une narration philosophique en 1857 faite par Wojciech Jastrzebowski²¹.

D'après les études de Frederick W. Taylor²², on a constaté que les ouvriers faisaient un travail beaucoup plus efficace quand ils avaient un milieu de travail qui correspondait à leurs fonctions. Tout ce qui entourait le milieu du travail, comme leurs outils, les matériaux et, également, le processus de travail faisaient partie des considérations à tenir compte pour un meilleur rendement des ouvriers²³.

Mais, c'est à partir de la Seconde Guerre mondiale qu'on a accordé plus d'importance aux relations des hommes avec leurs activités. De multiples études se sont effectuées

²⁰ « Ergonomie », dans Encyclopédie Larousse, tome XVIII, Paris, France Loisirs, 1979, p. 7820.

²¹ « History of Ergonomics », Ergoweb, 2000, [En ligne]

<http://www.ergoweb.com/resources/faq/history.cfm>, (Page consultée pendant juillet 2002)

²² Frederick W. Taylor, personnage très important pendant la Révolution industrielle, avec ses études sur les postes de travail, les nouvelles règles de production et l'efficacité de l'ouvrier.

²³ Louis Tawfik et Alain M. Chauvel. *op. cit.*, p. 8.

sur des outils d'armement en relation avec les soldats; un exemple des plus significatifs fut les analyses qui se sont réalisées sur les postes d'avions militaires²⁴.

L'ergonomie commence à être l'élément fondamental dans la conception : « le design d'un produit pour la consommation a un rôle central dans son potentiel pour contribuer à un meilleur niveau de vie [...]»²⁵. Aux États-Unis, cette science est nommée « human engineering », mais selon Buzzell,

Cette *technologie humaine* diffère de façon très nette du mouvement de recherches européen resté très physiologique et proche des problèmes industriels en France et en Allemagne. C'est l'Angleterre qui a su combiner de façon excellente ces courants divers : physiologiques et psychologiques, industriels et militaires²⁶.

Finalement, c'est K. F. H. Murrell, un ingénieur passé aux sciences humaines, qui propose, pour ce courant, le nom d'ergonomie, qui fut rapidement adopté dans toute l'Europe.

Ainsi, la signification du mot « Ergonomie » a évolué pour donner la relation Homme-Travail (ou machine) et s'est transformée, avec le temps, en une toute nouvelle signification soit : la relation Homme-Système – tous les différents systèmes qui côtoient, en relation directe, l'humain (comme son milieu de travail, sa demeure, ses objets, ses activités personnelles, etc.). La figure 3.1, nous montre le système des interactions humaines qui rentrent dans le domaine de l'ergonomie.

²⁴ Dr E. J. Lovesey du Robens Centre for Health Ergonomics, University of Surrey, membre de The Ergonomic Society (The Ergonomics Society, 2000), dans Stuart Levey, *Information Systems Honours Research Project*, Londres, Rhodes University, Department of Information Systems, p. 9.

²⁵ Neville Stanton. *Human Factors in Consumer Products*, Southampton, Taylor & Francis Publication, 1998, p. 1.

²⁶ Pierre R. Buzzell et Chrystel Black, *Ergonomie. Notes de cours*, Université de Montréal, Faculté de l'aménagement, École de design industriel, Montréal, 1995, partie I, p. 2.

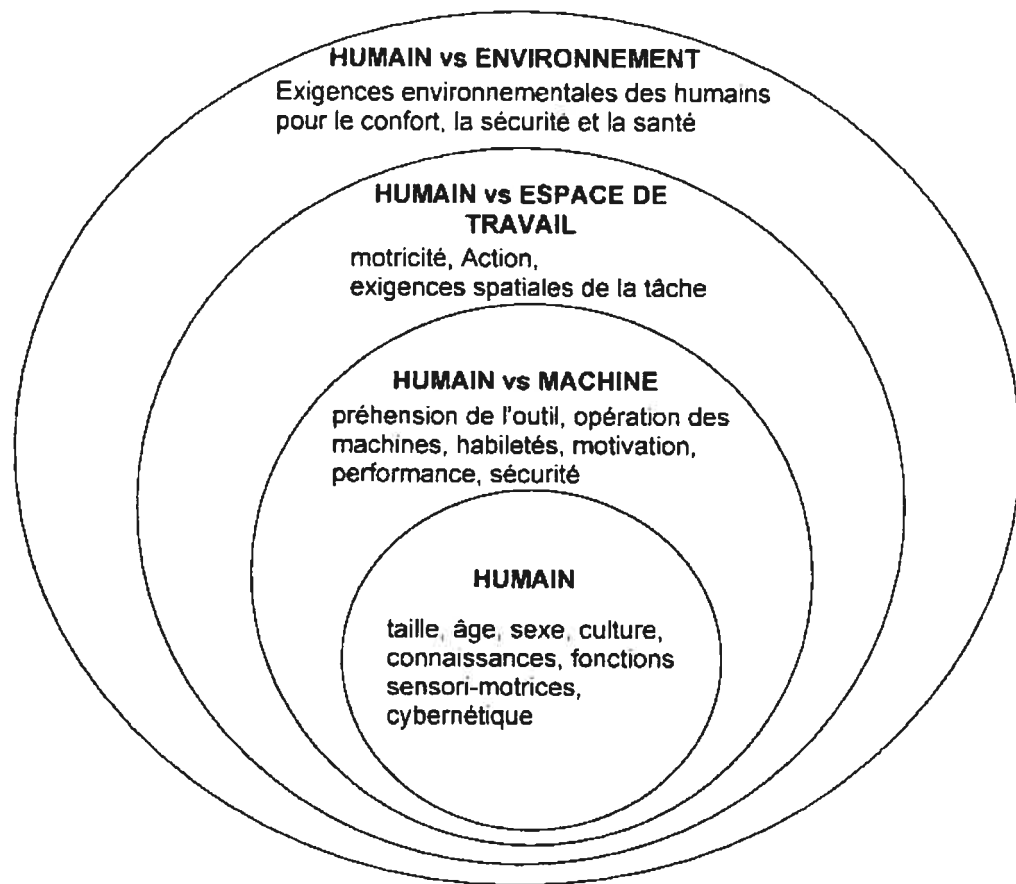


Figure 3.1 *Le système des interactions humaines*

Source : Pierre R. Buzzell et Chrystel Black, *op. cit.*, partie IV, p. 31.

The Ergonomics Society définit l'ergonomie comme :

l'étude des relations entre l'homme et son travail, équipements et ambiance, particulièrement étudiées selon les connaissances de l'anatomie, la physiologie et la psychologie, en formulant des solutions aux problèmes identifiés de cette relation²⁷.

²⁷ Traduction de l'auteur. [En ligne], <http://www.ergonomics.org.uk/ergonomics/definition.htm>, (Page consultée pendant mai 2002).

Dans le domaine de l'ergonomie, on parle d'**ergonomie physiologique** (où s'applique l'anthropométrie, les forces corporelles qui sont nécessaires pour un travail déterminé, la biomécanique, etc.), l'**ergonomie cognitive** (psychologie de la perception, procès de décision pour une activité, etc.) et l'**ergonomie organisationnelle** (sociologie, anthropologie, etc.). D'autres auteurs comme Singleton, divisent l'ergonomie selon trois dimensions – l'anatomie, la physiologie et la psychologie – comme on peut le constater dans la figure 3.2.

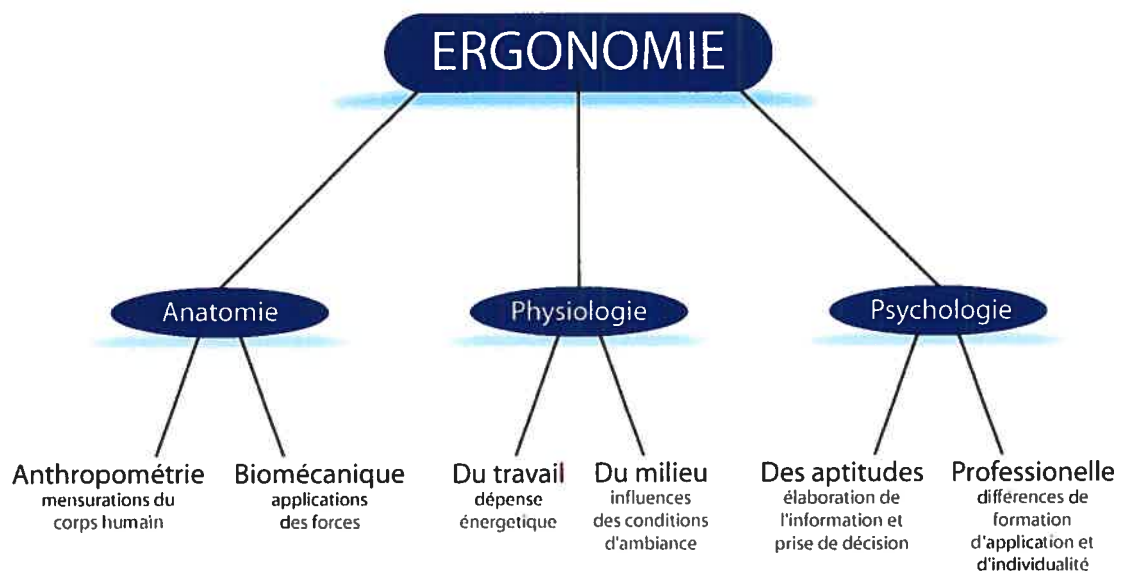


Figure 3.2 Diagramme ergonomique, d'après Singleton-1974

Source. Luis Miguel Tarquino, Aspects généraux de l'anthropométrie et de sa situation actuelle en Colombie, Université de Montréal, Faculté de l'aménagement, Mémoire M.Sc., p. 15, 1992.

Comme on le constate, plusieurs secteurs de la connaissance sont conviés pour appuyer les développements de l'ergonomie.

La plupart du temps, les analyses doivent être effectuées par les ergonomes, qui essaient de développer des procédures ou des méthodes pour faire des analyses très rigoureuses en essayant d'obtenir des résultats valables selon les différentes problématiques rencontrées. Ces résultats pourront contribuer à résoudre des

problèmes non identiques mais similaires, permettant un développement plus rapide de cette science.

3.1.1 Anthropométrie

Depuis des siècles, le corps humain a été étudié par différentes sciences; des architectes, des philosophes, des artistes, etc., ont été séduits par les proportions du corps humain. Selon Tarquino :

Depuis la naissance de la civilisation, voire même dès l'aube de l'humanité, l'homme a toujours eu besoin de mesurer afin de bien coordonner ses diverses activités [...] Il a tenté de déterminer les proportions idéales du corps humain et de proportionner, aux dimensions humaines, les différents outils [...] Ce rapport est à l'origine de ce qu'on appelle l'anthropométrie²⁸.

Historiquement, des auteurs, comme Tarquino, divisent en trois le processus dans les rapports « mesures-corps humain » : en premier lieu, les mesures anthropomorphes des Égyptiens et des Grecs, en deuxième lieu, l'homme géométriquement proportionnel dans la Renaissance, et finalement, le concept d'anthropométrie comme tel durant les XVIII^e et XIX^e siècles.

Durant la période égyptienne, la mesure utilisée était la coudée²⁹; à cette époque, les peintres, les architectes et les philosophes grecs et égyptiens s'efforcent de trouver des règles et des proportions. Les écrits à ce sujet remontent au XVI^e siècle, avec Luca Pacioli, un ami proche de Leonardo Da Vinci, et son livre sur la *Divina Proportione*³⁰. Plus tard, dans les années 1870, le terme d'anthropométrie (étymologiquement le terme provient du préfixe *anthropo* = homme et du grec *metron* = mesure) est créé par Quelet, un mathématicien belge.

Les différentes parties du corps humain forment un parfait jeu de proportions au point de s'inscrire dans les formes idéales du cercle et du carré, notion importante dans les

²⁸ Luis Miguel Tarquino, *op. cit.*, 1992, p. 19.

²⁹ Mesure attribuée communément à la longueur allant du coude à l'extrémité du médius de la main ouverte, l'avant-bras tenu à l'angle droit sur le bras.

³⁰ Terme adopté par Luca Pacioli pour la section d'or, en même temps que pour le titre de son livre, écrit à Venise en 1509.

études de proportions. Dans la figure 3.3, on peut remarquer les analyses intéressantes effectuées par Da Vinci en 1490.

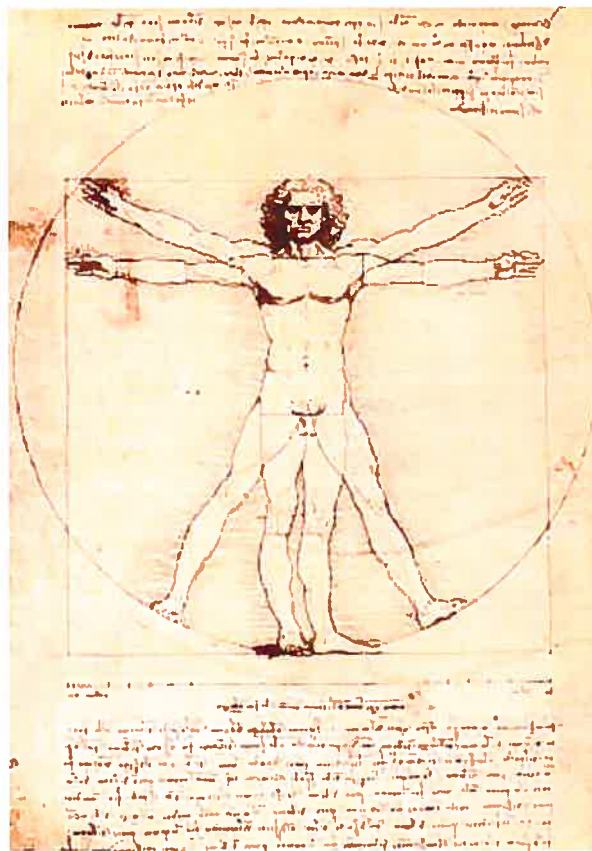


Figure 3.3 *Dessin de Leonardo Da Vinci de la figure humaine selon l'homme de Vitruve, 1490.*

Source : <http://www.sectioaurea.com/images/sectioaurea/vitruvian.jpg>

Cependant, cette science vient de la physique anthropologique du XVIII^e siècle avec Linne, Buffon et White, qui sont ceux qui ont commencé à développer la science de la comparaison raciale anthropométrique. C'est donc dans le domaine de la physiologie que les premiers efforts de l'anthropométrie se sont concentrés; cependant, elle ne s'intéresse pas encore aux analyses ergonomiques et aux implications des proportions dans l'activité humaine.

Ces précurseurs s'attardent à l'importance de tenir compte des différences des mesures de l'homme par rapport à son âge, son sexe, sa race et son groupe occupationnel.

Mais, c'est dans les années 1940 que l'importance des dimensions humaines devient un facteur important dans l'industrie :

Dû aux besoins de la production en masse, un produit avec des mauvaises dimensions pourra avoir des coûts additionnels. Dans un autre ordre d'idées, dû aux nouveaux systèmes complexes de travail où le travail humain est critique, le développement de ces systèmes dépend des dimensionnements anthropométriques des opérateurs³¹.

Ils font référence à deux types de dimensions : un type structurel (fonctionnel), dans lequel on retrouve les dimensions statistiques de l'être humain mais dans des positions standards (mesure du tronc, de la tête, des jambes, etc.) et un type dynamique ou fonctionnel, où on prend les mesures, mais dans un environnement de travail, dans des positions de mouvements qui sont associés à certains rôles, ce qui implique selon Tarquino, l'intégration des distances interarticulaires et des angles intersegmentaires, ceci rendant complexe et difficile la mensuration.

³¹ Traduction de l'auteur. *Ciro Romelio Rodriguez Añez, Antropometria na ergonomia*, dans Cahier de Dissertations en Ergonomie, Professeur Dr. José Luiz Fonseca da Silva Filho - cours Introduction à l'ergonomie.

[En ligne], http://www.eps.ufsc.br/ergon/revista/artigos/Anтро_na_Ergo.PDF, (Page consultée pendant le mois de mars 2002).

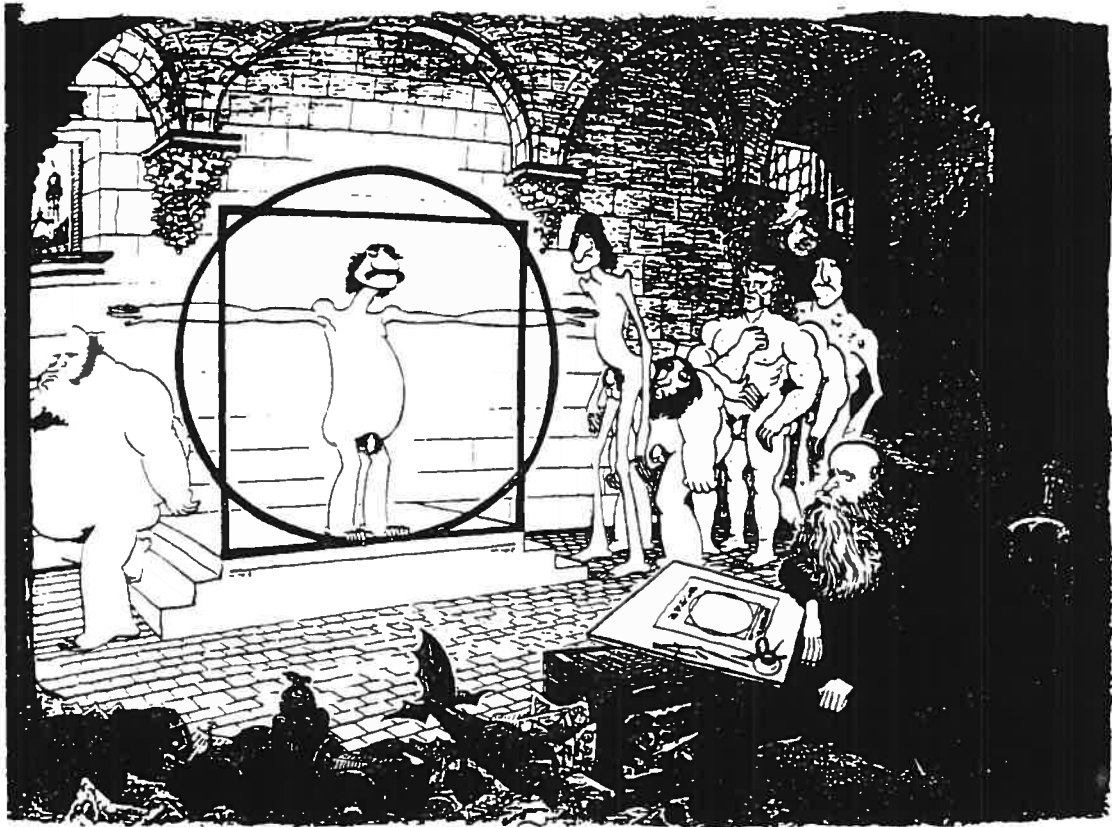


Figure 3.4 *Leonardo at work*

Source: Par Arnold Roth (1978), publié dans « *Man bites man : Two decades of satiric art* », Edition Steven Heller, New York, Hutchinson, 1981. Source : Luis Miguel Tarquino, *op. cit.*, p. 28, 1992.

3.1.2 Types de mensurations en anthropométrie

L'objectif des études anthropométriques, selon Tarquino, est « d'obtenir une série de mesures qui seront appliquées, en design, à la solution des problèmes (existants ou prévus)³² ». En général, il existe deux types de mensurations anthropométriques : structurel (statique) et fonctionnel (dynamique). Les mensurations de type structurel sont prises avec le corps des sujets en état statique, avec des postures standards; elles sont évidemment plus simples que les mensurations fonctionnelles, qui sont prises avec le corps en mouvement dans plusieurs activités.

Selon quelques auteurs, dont Tarquino, les mensurations anthropométriques importantes appliquées au design, sont les mesures d'encombrement car :

la préoccupation n'est pas la distance des repères osseux au sol, ou la longueur d'un segment de membre entre deux interlignes articulaires, mais l'encombrement de telle ou telle partie du corps déterminant les distances optimales entre deux parties de l'espace ou poste de travail³³.

Cependant, le design industriel travaille de plus en plus avec des sciences oeuvrant dans le domaine de la santé, ce qui implique que le designer, dans l'étape de conception, met l'accent autant sur les mesures morphologiques que sur les mesures d'encombrement.

Les mensurations en anthropométrie sont très confuses, due à la complexité physique de l'être humain. Cela implique d'adopter une stratégie pour effectuer ce type de mensurations selon les objectifs de la recherche. Cette stratégie devra tenir compte du nombre de personnes à analyser, du nombre de mensurations à tenir compte et des méthodes de mensurations. Pour le nombre de personnes, les équipes de recherche peuvent prendre des analyses faites antérieurement : par exemple, les tables de mensurations de Dreyfuss (Figure 3.5). Par ailleurs, il existe des études anthropométriques, datant de 1955, ainsi que plusieurs données prises dans des études auprès des militaires, qui ne représentent pas la population en général.

³² Luis Miguel Tarquino, *op. cit.*, 1992, p. 34.

³³ *Ibid.*, p. 35.

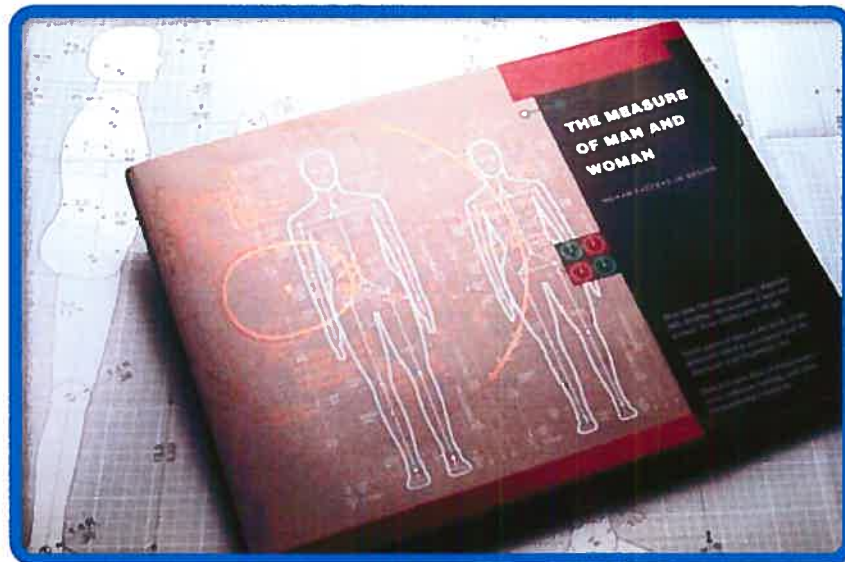


Figure 3.5 *Les mesures de l'homme et de la femme*

Source : Henry Dreyfus Associates, Whitney Library of Design, publié par MIT Press.

Le nombre de mensurations à tenir compte dépendra des études préalables, en analysant les objectifs du projet. Kluckhohn³⁴ raconte que l'anthropologue hongrois Von Torok était si minutieux qu'il prenait plus de cinq mille mesures sur chaque crâne qu'il étudiait³⁵.

³⁴ Clyde Kluckhohn. 1905-1960. Anthropologue né à LeMars, Iowa.

³⁵ Luis Miguel Tarquino, *op. cit.*, p. 34.

Les méthodes de mensuration sont, en effet, le domaine où le développement technologique, il y a quelques années, a commencé à fournir des solutions. Selon Biman Das, il existe différentes méthodes pour mesurer le corps :

[...] they can be classified on the basis of the measurement system used to collect the data. Using this approach, they can be classified as : (1) manual/mechanical; (2) electronic/electro-mechanical; (3) film-based; (4) video tape-based; and (5) opto-electronic/reflection on-line³⁶.

Il est important de connaître ces méthodes, car une des problématiques, dans les mensurations en anthropométrie, concerne les lacunes que les outils peuvent offrir pour cette prise de mensurations.

Le tableau 3.1 et la figure 3.6 montrent, selon Buzzell, un résumé des mouvements, en degrés d'angle, des articulations les plus importantes du corps humain.

Tableau 3.1
Sommaire des principaux mouvements des membres³⁷

MEMBRE	ARTICULATION	MOUVEMENT	ETENDUE
Tête	Colonne vertébrale	Rotation	110°
Bras	Epaule	Abduction et élévation	90° 40°
		Hyper-extension, flexion, élévation avant	50° 90° 70°
Avant-bras	Coude	Flexion	145°
Main	Poignet	Flexion, extension	150°
		adduction, abduction, supination, pronation	45° 170°
Jambe (cuisse)	Hanche	Flexion	80°
		hyper-extension, abduction, adduction	35° 45° 20°
Jambe (inférieure)	Genou	Flexion	135°
Pied	Cheville	Flexion, extension	60°
		adduction, abduction,	95°

³⁶ Biman Das. « Recent Developments in computerized anthropometric measurements of the three-dimensional maximum reach envelope », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES '99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M. mai, 1999.

³⁷ Source : Pierre R. Buzzell et Chrystel Black, *op. cit.*, partie I, 1995, p. 70.

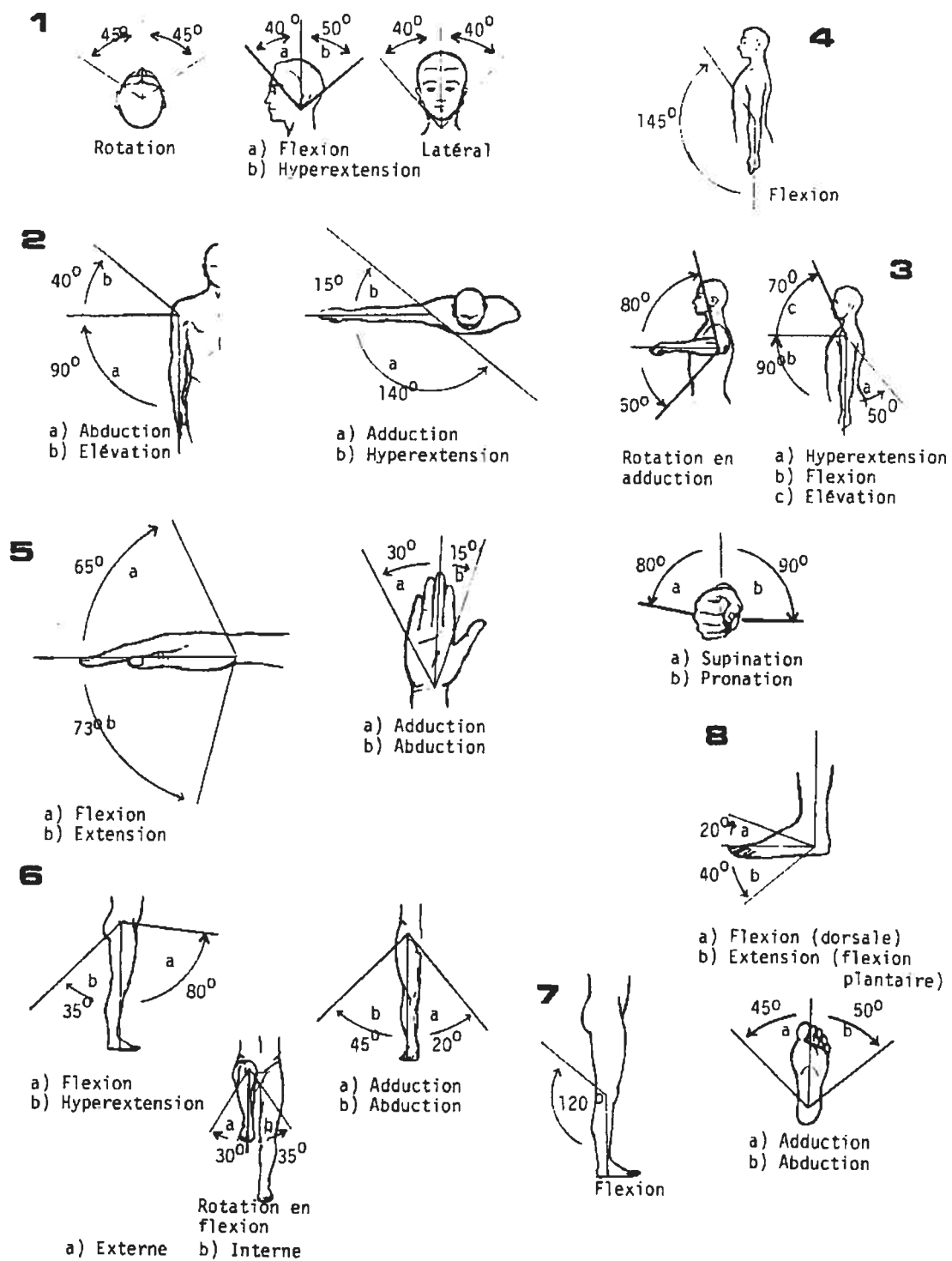


Figure 3.6 Principaux mouvements du corps humain

Source. Adaptée de Murrell, K. F. H., 1971 par Pierre R. Buzzell et Chrystel Black, *op. cit.*, partie I, 1995, p. 69.

3.2 Ergonomie au niveau du design

« Ces disciplines (ergonomie + design) s'intègrent dans une démarche synergique commune³⁸ »

Le principe le plus important dans l'ergonomie est de considérer l'homme ou la personne en activité, comme le point central concernant tous les éléments du système (voir point 2 - Analyse Ergonomique).

Dans le processus de design, la première fois que l'ergonomie entre en ligne de compte, c'est au moment de la recherche pour débiter le projet : les idées bourgeonnent et servent à établir ce qu'on veut conceptualiser (*brainstorming*). Les différentes données qui seront soumises, par rapport aux analyses des activités et aux relations de l'homme avec le système, sont retenues pour pouvoir conceptualiser le projet et ses différentes variables. C'est à ce moment que l'anthropométrie entre en jeu afin de déterminer les données physiques du sujet qui utilisera le « produit ». La statistique, les proportions, les percentiles seront utilisés comme outils pour faciliter l'agencement des premières idées du projet. Ainsi, si on désire faire une chaise pour un bureau, on devra connaître toutes les caractéristiques de l'utilisateur (comme sa nationalité, son âge, son poids, ses mensurations) et, en plus, on devra être informé sur le pourcentage de personnes à atteindre. Cela indique au concepteur certaines restrictions de type physique (mesures de l'objet, matériaux à utiliser, etc.), mais aussi de type cognitif (couleur de l'objet, localisation des contrôles, etc.).

Après cette première étape, le groupe de design prépare les solutions possibles pour arriver à l'objectif visé : des maquettes et des sketchs font partie de cette première phase. Cependant, il arrive, parfois, que des environnements virtuels soient nécessaires pour percevoir l'objet à l'échelle dans son milieu. Postérieurement, des modèles physiques ou, dans quelques cas, des prototypes sont essentiels afin qu'ils soient testés dans la réalité de l'utilisateur et de son système.

³⁸ Danielle Quarante, *Éléments de design industriel*, Paris, Maloine S.A, 1984, p. 342.

Dans ces épreuves, nous devons utiliser des processus, pour l'analyse ergonomique, qui nous aideront à vérifier les objectifs qui ont été élaborés au début du projet. Toute l'information doit être organisée pour commencer à faire des ajustements sur le design, s'il y a lieu.

Dans quelques cas, on doit réviser les objectifs du projet et établir de nouvelles stratégies pour arriver au but déterminé ou pour éliminer ceux qui furent établis initialement et qui deviennent caducs.

Finalement, quand le produit est dans sa dernière phase, on peut construire un prototype³⁹ pour faire de nouveaux tests de quelques aspects spécifiques de l'ergonomie.

Pour comprendre un peu plus la démarche, prenons comme exemple le design d'un outil pour couper la viande. Dans ce cas, on aura besoin d'un prototype pour analyser, entre autres, comment le boucher utilisera l'instrument, si celui-ci coupe à sa juste mesure, si le nouvel objet s'ajuste aux exigences de l'utilisateur (physiologiques et cognitives) et s'il y a besoin d'un mode d'emploi :

Les accidents sont parfois causés directement par une mauvaise utilisation de l'usager, mais si les risques d'accidents ne sont pas intentionnels, il est fort probable que d'autres facteurs, comme un design médiocre ou des instructions pas très précises, seront les responsables⁴⁰.

Dans plusieurs cas, le temps nécessaire à tester le prototype avec les usagers devra s'allonger à cause de l'enseignement approprié à son usage : par exemple, un nouveau produit sur le marché dont l'utilisation changera les activités du quotidien, ou des analyses qui s'intéressent au temps d'usage et d'adaptation du produit.

³⁹ Prototype : le modèle prêt à commencer la série, avec les mêmes matériaux, mesures, etc.

⁴⁰ Rachel Benedyk et Sarah Minister. *Evaluation of product safety using the Besafe method*, London, Ergonomics and HCI Unit, University College, 1998, p. 56.

3.3 Méthodologie de l'ergonomie et du design dans un projet commun

Le processus méthodologique au niveau de l'ergonomie et du design peut se diviser en deux étapes (voir figure 3.7) :

1. Une première étape qui nous montre les interactions des analyses
 - de la demande et du problème posé;
 - des activités et de la faisabilité.

Cette première étape constitue le lien entre les designers et les ergonomes, où chaque discipline contribue à établir la problématique, où l'échange d'informations se fait d'un côté comme de l'autre et où s'enclenche l'élaboration d'un cahier de charges fonctionnel.

2. La deuxième étape s'amorce lorsque des maquettes de design ou ergonomiques (physiques ou virtuelles) deviennent nécessaires afin d'effectuer différents types d'analyses, et ici, on peut citer, en exemple, les analyses ergonomiques.

Au cours de ces deux étapes, comme on l'a constaté antérieurement, les concepteurs ont besoin d'outils pour arriver aux objectifs visés. Des mannequins réels et virtuels ainsi que des outils informatiques font partie de ces instruments, et sont les éléments que nous aborderons plus avant dans notre recherche.

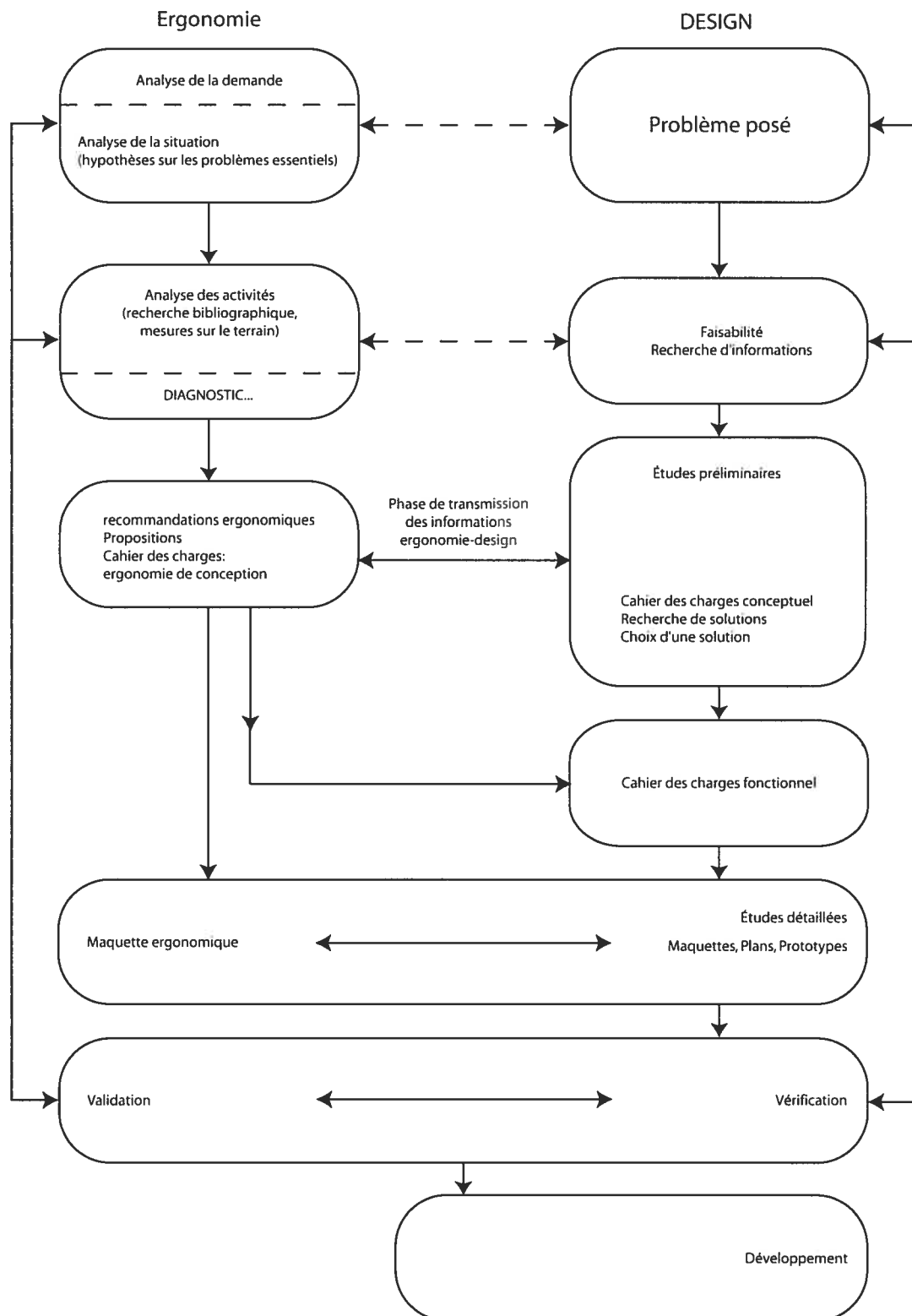


Figure 3.7 Liaison Ergonomie-Design. Processus méthodologique pour une ergonomie de conception

Source : Adaptée de Danielle Quarante, *op. cit.*, p. 343.

3.4 Utilisation du mannequin.

« [...] *its premise is to fit the job to the person and not obliging the worker to fit the job [...]*⁴¹ »

Le mannequin est un outil de grande utilisation au niveau des analyses de type anthropométrique ou physiologique. Même sans les systèmes informatiques, les concepteurs utilisent des mannequins réels dans leur maquette de projet.

Certaines considérations doivent être établies au niveau réel comme au niveau virtuel.

Au niveau réel, il existe, dans certains cas, le besoin d'affiner les détails du mannequin de façon anthropométrique comme esthétique.

Dans le cas des analyses ergonomiques, la problématique est souvent liée au mouvement du mannequin : arriver à lui donner un mouvement réel nous amène aux frontières de la robotique.

Au niveau des mannequins virtuels, les considérations les plus importantes seront :

- Environnement simple (système clair);
- Polyvalence du mannequin au niveau de son transfert : « Effectiveness of the interface routines, including e. g. access routines needed to move from one software application to another, or to transfer the manikin or the environment from one application to another⁴². »

Les mannequins virtuels sont utilisés la plupart du temps, par des compagnies ayant un budget considérable pour les outils informatiques; cependant, il existe des compagnies, comme John Deere, qui continuent à utiliser des mannequins réels pour leurs analyses ergonomiques. La figure 3.8 montre les différentes analyses

⁴¹ Waldermar Karwowski. Ergonomics or the Human Factors in our Workplaces, *Revue de la Société colombienne d'ergonomie*, n° 11 (juillet-septembre), 2000, p. 3.

⁴² Launis Matti et al., « A European and International Standard on the anthropometric characteristics of computer manikins and body templates », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES '99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M. mai, 1999.

anthropométriques réalisées sur des cabines de tracteur, avec des mannequins graphiques, selon plusieurs vues. Nous pouvons établir que l'analyse faite pour cette cabine s'effectue avec des femmes (percentile 5) et des hommes (percentile 95).

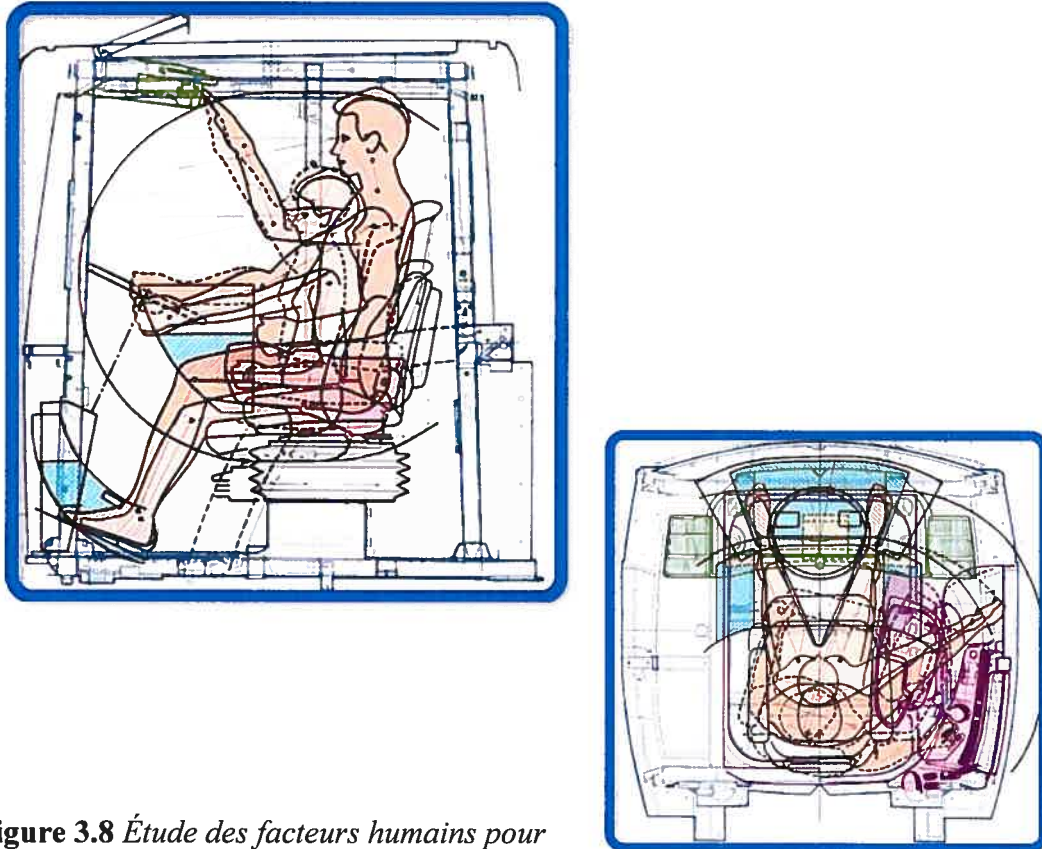


Figure 3.8 *Étude des facteurs humains pour une cabine de tracteur*

Source : Tables anthropométriques par Henry Dreyfuss

4.0 Outils informatique

4.1 CAO

Le premier système de CAO, développé en essayant de représenter la figure humaine pour des fins de conception, date de 1970, mais, c'est au début des années 1980 où on trouve l'accès à la modélisation avec la CAO et, en même temps, avec ses capacités graphiques. On commence alors à imaginer des approches au niveau des analyses ergonomiques et à développer des mannequins virtuels.

Il faut remarquer que pour des chercheurs, comme G. De Paoli, le qualificatif d'outil de CAO est inapproprié; il souligne qu'il est mieux de parler de DAO (dessin assisté par ordinateur) ou de CDAO (conception et dessin assisté par ordinateur) du fait de la traduction en français du terme CAD qui, selon G. De Paoli et Pellissier (1992), « [...] désigne plutôt des logiciels dédiés au tracé de plans, avec certaines possibilités de projection dans l'espace des formes établies en plan⁴³ ».

Au moment où la globalisation des marchés est un fait accompli, le partage d'information est un objectif à tous les niveaux.

Une des plus grandes contributions de la CAO est l'intention de communiquer un projet, de pouvoir le gérer dans un équipe pour arriver à le visualiser, comme C. Larue et coll. l'exprime : « The major contribution of simulation methods (CAD and others) is in improving communication between the different players involved (managers, designers, suppliers and users)⁴⁴ ».

Un point très important à souligner a trait aux possibilités que l'informatique nous donne par rapport aux enjeux d'un projet, aux changements de solutions, aux matériaux d'assemblage, etc. Les améliorations peuvent être réalisées en même temps que le projet avance, comme le constate De Paoli et Pellissier : « L'informatique permet, à des fins d'analyse, de production ou de conception, de traiter en même temps le symbole graphique et les données alphanumériques qui s'y rapportent⁴⁵ ».

4.2 Réalité Virtuelle. 2D-3D

La réalité virtuelle, qui est apparentée à la CAO, se caractérise, en premier lieu, par sa capacité à examiner d'autres aspects laissés de côté par la CAO. De plus, elle

⁴³ Giovanni De Paoli et Pierlucio Pellissier, *Dessin d'architecture par ordinateur*, Québec, Éditions Berger, 1992. p. 26.

⁴⁴ Christian Larue et al. « Integration, into a design process, of simulation centered on work activities : case study of two Molten Metal transporters », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES '99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M. mai, 1999.

⁴⁵ Giovanni De Paoli et Pierlucio Pellissier, *op. cit.*, p. 27.

permet l'interaction. Comme Dorta nous l'explique : « Aujourd'hui le design commence à percevoir l'écran de l'ordinateur comme une fenêtre sur un monde que nous appelons virtuel et non comme une table à dessin⁴⁶. »

Dans un projet de design, de nombreux aspects peuvent devenir très complexes compte tenu des objectifs du projet. Les personnes impliquées dans le cycle de développement des nouveaux produits (production, conception, administration, etc.) doivent, de temps en temps, communiquer entre eux au sujet du projet sur lequel ils travaillent. La plupart du temps, les dessins en 2D sont les seuls moyens de communication entre les designers et leurs collaborateurs. Certaines situations sont problématiques, comme Ander Sundin et coll. le remarquent : « At an earlier step, the design of the products is only represented as mental ideas and designs of the designer, which makes communication more difficult⁴⁷. »

La CAO devient un outil pour résoudre des problèmes dans les étapes de conception, d'évaluation et de validation; de même, cet outil donne la liberté de travailler dans un monde 2D ou 3D, selon les objectifs tracés du projet. Plusieurs chercheurs trouvent nécessaire de travailler avec la réalité virtuelle, comme Dorta l'affirme : « La R.V. se présente comme une évolution de la conception et de la visualisation assistée par ordinateur. Elle cherche à solutionner les limites d'une visualisation du projet architectural non résolue par la modélisation et l'animation dans la CAO⁴⁸. »

L'utilisation du 3D et/ou de la réalité virtuelle devient un des éléments clés dans le développement des nouveaux produits.

4.3 CAE

Actuellement, il existe une centaine de logiciels qui modélisent la figure humaine, selon une recherche effectuée à l'Université technologique de Darmstadt par

⁴⁶ Tomás Dorta, *L'influence de la RV non immersive comme outil de visualisation sur le processus de design*, Thèse de Doctorat, Université de Montréal, Faculté de l'aménagement, Montréal, 2001, p. 47.

⁴⁷ Ander Sundin et al., « A participatory approach to use computer manikin in the development of assembly processes ». *Proceedings of the Fourth International Conference CAES 99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M. mai, 1999.

⁴⁸ Tomás Dorta, *op. cit.*, p. 48.

M. Landau. Ce sont des logiciels qui, en principe, étaient utilisés dans des environnements de travail associés à l'industrie automobile et l'aviation. Soulignons que la plupart de ces logiciels sont onéreux et nécessitent des postes budgétaires importants.

4.3.1 Inventaire des logiciels.

- **JACK par Transom** est un logiciel développé à l'Université de Pennsylvanie au *Center for Human Modeling and Simulation*. Les principaux utilisateurs sont la NASA et les forces militaires des États-Unis.
Ce logiciel donne la possibilité d'un environnement interactif 3D, où selon leurs informations, on peut définir, manipuler, animer et réaliser des analyses au niveau ergonomique⁴⁹.
- **SAMMIE par le groupe de recherche SAMMIE** (localisé aux universités de Loughborough et de Nottingham) : *System for Aiding Man-Machine Interaction Evaluation* est un système d'évaluation pour faire des analyses 3D au niveau de la visualisation, des postures et des zones d'atteinte. Très utilisé au niveau de l'industrie de la fabrication des automobiles⁵⁰.
- **SAFework par NexGen Ergonomics**, (firme, qui depuis trois ans, fait partie du groupe Dassault Systèmes S.A.) est un logiciel qui emploie principalement des mannequins pour des environnements de travail et pour des analyses ergonomiques. Cet outil devient très performant au niveau des analyses de postures, d'études d'accessibilité et de vision. Ces mannequins, mondialement reconnus pour leur approche réelle de l'être humain (104 variables anthropométriques, 100 segments et 148 degrés de liberté), sont utilisés dans les analyses effectuées par l'Agence canadienne spatiale, Boeing et Chrysler⁵¹.

⁴⁹ Information du logiciel : [En ligne], http://www.cis.upenn.edu/~hms/jack/flyer_510.html#get_510 (Page consultée le 20 mars 2003).

⁵⁰ Information du logiciel : [En ligne], http://www.lboro.ac.uk/departments/cd/docs_dandt/research/ergonomics/sammie/home.htm (Page consultée le 20 mars 2003).

⁵¹ Information du logiciel : [En ligne], <http://www.safework.com/> (Page consultée le 20 mars 2003).

- **ROBCAD/MAN (eMPower) par Tecnomatrix Technologies** donne la possibilité de travailler avec six modèles humains biomécaniques pour la simulation et pour les analyses dans les activités manuelles des stations de travail et des lignes d'assemblage⁵².
- **ENVISION/ERGO par Deneb Robotics** est un outil de simulation pour les analyses ergonomiques des espaces de travail, qui aide à l'évaluation du temps requis pour des tâches physiques, les postures de travail, les capacités métaboliques des travailleurs et les blessures potentielles liées à la réalisation des tâches⁵³.
- **MDHMS par McDonnell Douglas Aerospace** fait le lien entre la biomécanique humaine et la géométrie du design en utilisant des mannequins en 3D associés à des animations pour définir les problématiques de types anthropométrique ou ergonomique d'un projet⁵⁴.
- **RAMSIS par Human Solutions** est un ensemble de logiciels développés depuis 1988 par l'industrie automobile allemande (*Tecmath AG, Universitat Eichstatt* et le *Lehrstuhl fur Ergonomie de la Technische Universitat Munchen*) pour les analyses ergonomiques des automobiles selon une base de données informatiques. Il fournit des renseignements anthropométriques pour des analyses efficaces au niveau de la visibilité, du confort et des énoncés ergonomiques⁵⁵.

4.3.2 Considérations des logiciels pour CAE.

Une des problématiques fondamentales, avec ce type de logiciels experts, est le prix élevé par rapport aux logiciels commerciaux de CAO (qui commencent à fournir des

⁵² Information du logiciel : [En ligne], <http://www.tecnomatix.com/showpage.asp?page=555> (Page consultée le 20 mars 2003).

⁵³ Information du logiciel : [En ligne], http://www.manningaffordability.com/S&tweb/HEResource/Tool/Shrtdesc/Sh_ENVI.htm (Page consultée le 20 mars 2003).

⁵⁴ Information du logiciel : [En ligne], http://www.manningaffordability.com/S&tweb/HEResource/Tool/Detdesc/Det_MDHMS.htm (Page consultée le 20 mars 2003).

⁵⁵ Information du logiciel : [En ligne], <http://www.human-solutions.com/> (Page consultée le 20 mars 2003).

mannequins virtuels avec des données anthropométriques établies par différentes recherches).

Pour donner quelques exemples de prix, notons qu'un logiciel de CAO courant, comme Autocad, coûte environ 3395 \$ US⁵⁶; un logiciel avec plus de modules, comme Catia, peut se vendre à 16 500 \$ US⁵⁷ (comprenant des modules de mannequins) et un logiciel expert, comme Safework, peut atteindre environ les 100 000 \$ US⁵⁸.

Le prix de ce type de logiciels est la première raison pour laquelle la plupart des chercheurs ne les utilisent pas; cependant, des études démontrent que le coût total du développement d'un produit peut être considérablement plus élevé avec les outils traditionnels par rapport aux développements utilisant des outils informatiques de simulation (CAE, par exemple).

Don B. Chaffin, professeur et directeur du *Human Motion Simulation Laboratory* à l'Université de Michigan, nous montre dans la figure 4.1, à quel point le CAE et le DMU (*digital mock-up*) peuvent nous solutionner des problèmes de coût dans un projet. Selon lui : « This view is consistent with the concept of reducing the total design and engineering costs by using more computer aided engineering CAE and DMU methods to achieve rapid prototype development and testing [...].⁵⁹ ». Dans un processus de design où les concepteurs n'utilisent pas de DMU, on voit apparaître une croissance au niveau de la fabrication de prototypes et des coûts, reliés aux tests respectifs de ceux-ci.

⁵⁶ Source : page web de Autodesk, [En ligne], <http://www.autodesk.com>, (Page consultée le 5 avril 2003).

⁵⁷ Source: page web de Cad Digest. [En ligne], http://www.caddigest.com/subjects/solidworks/select/cadcamnet_catia.htm, (Page consultée le 5 avril 2003).

⁵⁸ Information fournie, par courriel, par le professeur Dr. Johan F. M. Molenbroek, Faculté de design, ingénierie et production, Delft University of Technology.

⁵⁹ Don B. Chaffin, « On simulating Human Reach Motions for Ergonomics Analyses », *Proceedings of the International Conference on Computer-Aided Ergonomics and Safety CAES 2001*, Maui, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Das, B.; Mattila, M., 2001.

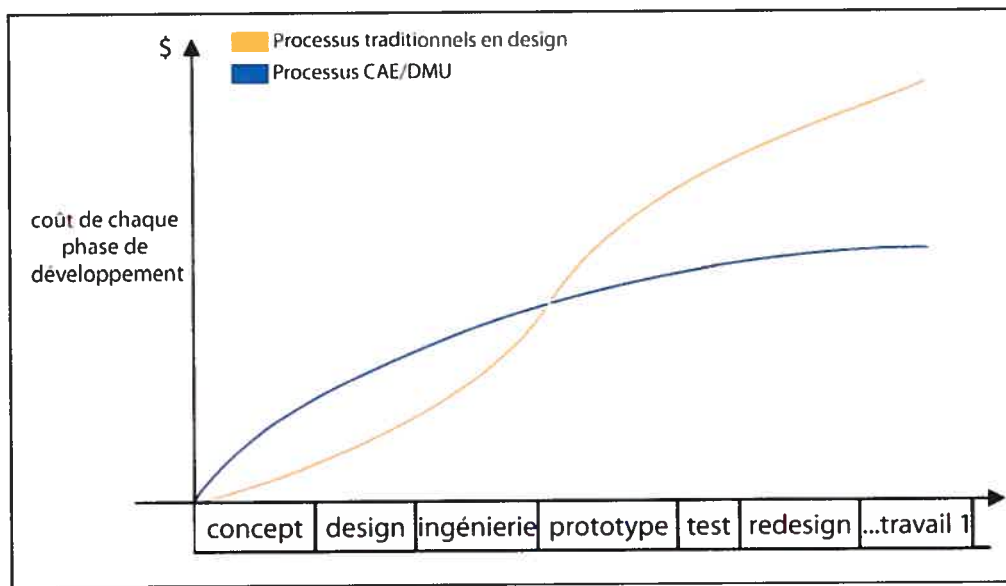


Figure 4.1 Développement typique des phases et coût hypothétique en utilisant des DMU (Digital Mock-Up) dans une première étape du processus de design, comparé avec les phases traditionnelles (traduction libre de l'auteur).

Source. Don B. Chaffin, *op. cit.*

4.3.3 Mannequin virtuel-considérations générales

Compte tenu des considérations que nous avons énumérées dans le chapitre sur l'ergonomie et le design, le système informatique doit fournir, aux analystes ou aux concepteurs, des outils pour pouvoir réagir en face du mannequin virtuel.

Selon l'étude effectuée par Launis et coll., les changements anthropométriques devront être réalisés en sélectionnant les percentiles, ou en les changeant directement sur le mannequin : « [...] in both cases the percentiles should be indicated to the user. Also combinations of different body segment percentiles should be available, relevant to the design needs⁶⁰ ».

D'autres considérations, également importantes au niveau du CAE, concernent les jugements visuels que nous pourrions établir grâce au mannequin : « [...] suffisient

⁶⁰ Launis Matti *et al.*, *op. cit.*

indication of the surface of the body, indication of the joints to be moved, indication of the direction and magnitude of the movement, and the use of landmarks and reference lines to facilitate these have been considered⁶¹ ».

Ces considérations sont celles que le groupe de conception aura comme aide au niveau de l'analyse : un « vrai » mannequin virtuel qu'ils pourront largement étudier. De toute façon, des progrès devront être effectués dans ce monde virtuel afin de parvenir aux réponses voulues du mannequin pour la raison suivante : « [...] the fact that the mannequins are programmed to "move" and "act" in standard ways⁶². »

Depuis les 15 dernières années, le nombre de données anthropométriques augmente et cet accroissement est lié aux avancées de la technologie.

Un changement des tables et données des modèles anthropométriques 2D par des tables et données des modèles anthropométriques 3D est nécessaire.

Many other functions of manufacturing systems design are conducted using CAD/CAM systems, which are now capable of progressing a design from concept through to manufacture without requiring mock-ups. There is therefore the danger that design decisions may only consider engineering, production, legislative, structural and financial constraints on the system, while ergonomics issues are only fully assessed when the design is completed, by which time it can be too late⁶³.

4.4 CAO et processus de design

Comme nous l'avons vu précédemment dans le processus de design et de développement d'un produit, la participation d'une quantité importante d'analystes et d'évaluateurs contribuent à l'objectif principal du design industriel : arriver chez l'utilisateur avec la solution optimale.

⁶¹ Launis Matti *et al.*, *op. cit.*

⁶² G. Chryssolouris *et al.*, « A virtual Reality Based Approach for the verification of human related factors in assembly and maintenance processes », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES '99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M. mai, 1999.

⁶³ Maurice Bonney, « Human Models for Computer Aided Workplace Design and Evaluation », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES '99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M. mai, 1999.

4.4.1 Processus avec des modèles physiques fabriqués avec des méthodes artisanales ou semi-automatiques.

Comme on peut le constater dans la figure 4.2, le processus commence avec un concept qui sera évalué selon plusieurs facteurs (visuel, ergonomique, fonctionnel, etc.) avec des modèles physiques (fabriqués avec des méthodes artisanales ou semi-automatiques). Dans ces évaluations, il va y avoir des exigences satisfaites et des exigences dites « non satisfaites ». Dans ce dernier cas, on doit revenir à l'étape de conception afin d'atteindre les objectifs du projet.

Au moment où tous les exigences sont satisfaites, on passe à une deuxième étape de développement, c'est-à-dire la construction d'un prototype, qui lui aussi doit subir des évaluations de type fonctionnel, ergonomique, etc. Si, à ce moment, il y a des exigences qui ne sont pas satisfaites, on doit revenir encore une fois à l'étape de conception.

Le processus pourra continuer jusqu'au moment où les exigences seront satisfaites, et ainsi le produit pourra être mis sur le marché.

4.4.2 Processus avec des modèles physiques de haute qualité produit par un procédé de fabrication automatisé.

Ici, le processus commence avec un concept, mais il devra être modélisé sous forme de fichier numérique. Au moment de l'évaluation, on pourra transformer les exigences « non satisfaites » comme des variations qui augmenteront les paramètres du fichier numérique. Ceci nous donnera l'option de passer à la deuxième étape du prototypage (si possible numérisé) qui consiste à évaluer le prototype dans une optique d'optimisation et ce, parce que nous pourrons continuer à faire des transformations avec le fichier numérique.

Il est évident que l'on abrège ainsi le temps requis pour la conception d'un produit, comme on peut le synthétiser à partir de la figure 4.3.

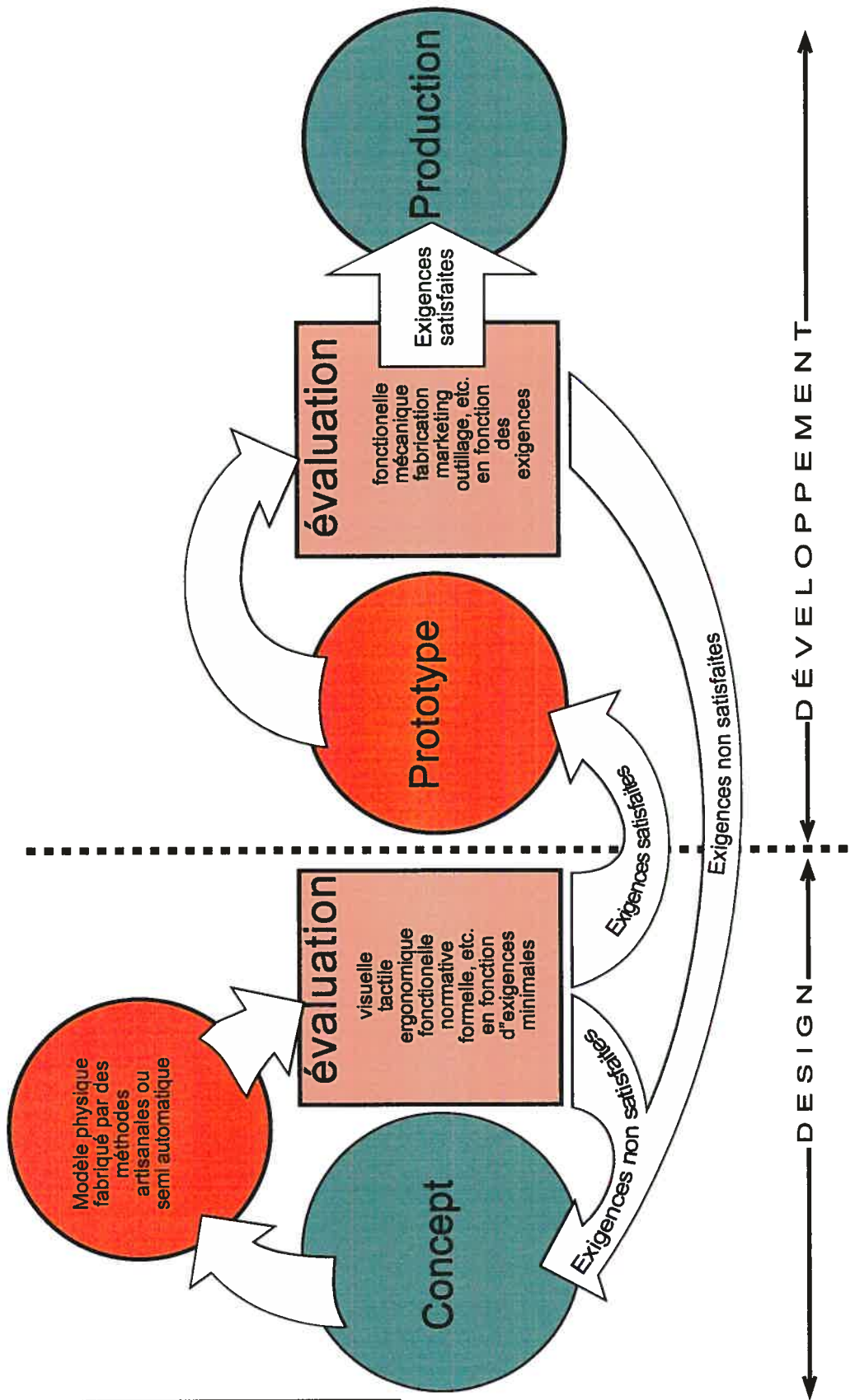


Figure 4.2 Processus avec des modèles physiques fabriqués avec des méthodes artisanales ou semi-automatiques.

Source : Fournie par courriel par le professeur Philippe Lalande ⁶⁴

⁶⁴ Professeur de l'École de design industriel, Faculté de l'aménagement, Université de Montréal.

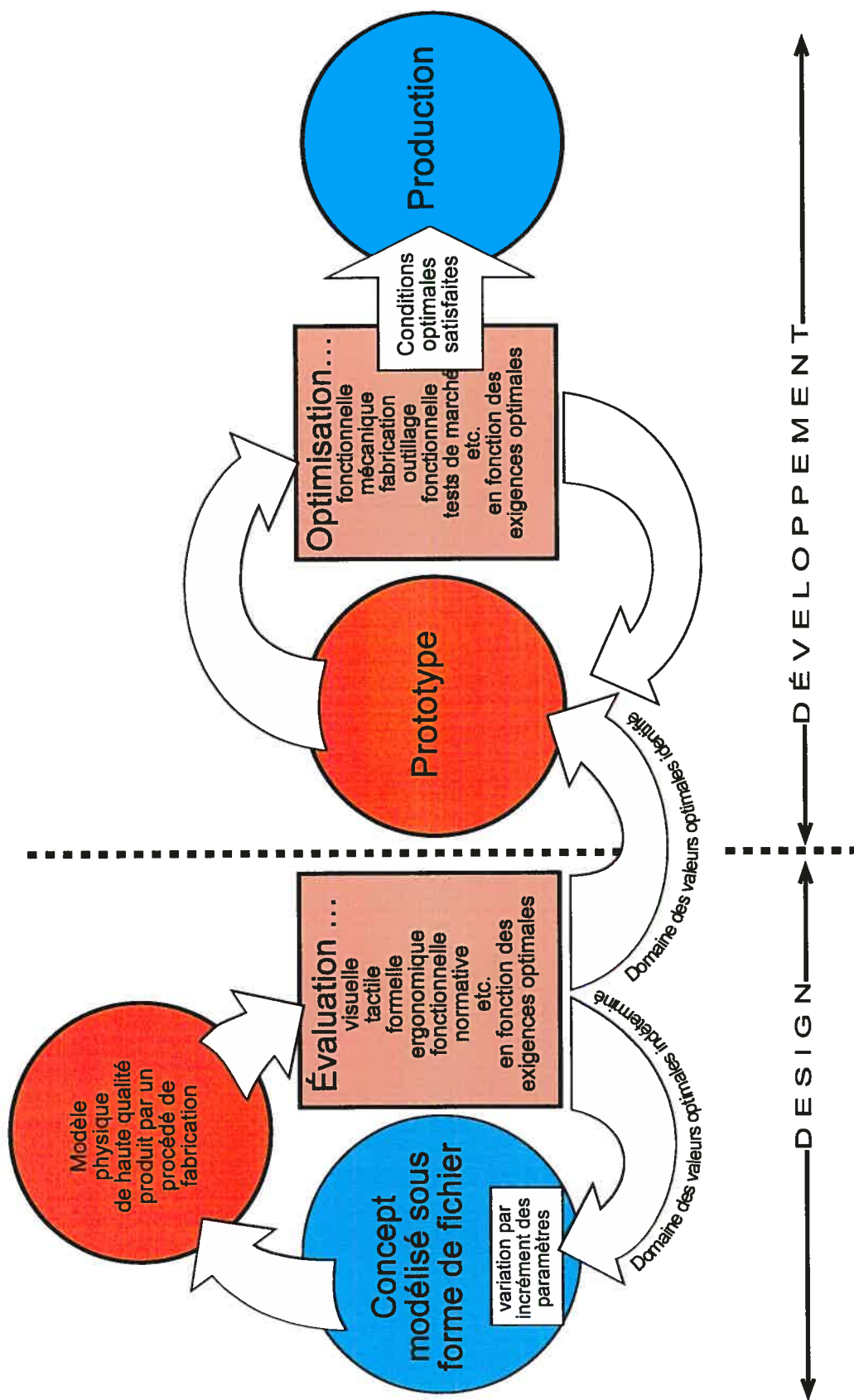


Figure 4.3 Processus avec des modèles physiques de haute qualité produit par un procédé de fabrication automatisé.

Source : Fournie par courriel par le professeur Philippe Lalande.

Dans notre recherche, nous pouvons établir, au niveau de l'aspect « Processus de design et CAO », que le modèle numérique comme tel doit être dans une synergie avec les trois étapes principales : le concept, le développement et la réalisation.

Nous établirons un modèle numérisé (une demi-sphère – voir figure 4.6), selon les trois étapes, ce qui nous permettra une rétroalimentation. Chaque étape est évaluée et commence à faire partie de cette demi-sphère : par exemple, la réalisation du produit peut faire partie de ce modèle numérique avec les simulations virtuelles possibles à ce moment.

Quand les trois étapes s'intègrent, selon le schéma, dans la demi-sphère, notre projet est prêt pour la phase de prototypage (qui correspond à la sphère au complet). S'il y a des exigences « non satisfaites », les intervenants commencent à traiter les éléments correspondants, comme Lalonde le décrit dans son graphique, par accroissement des paramètres.

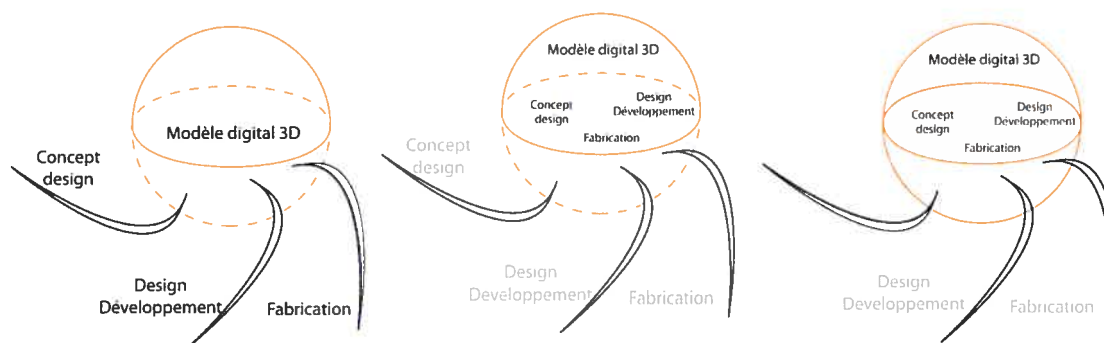


Figure 4.6 De la conception à la fabrication, avec modèle digital 3D (selon l'auteur).

5.0 Analyse ergonomique sans outil informatique

Selon Tarquino⁶⁵ :

Deux niveaux ergonomiques peuvent être différenciés. Premièrement, l'ergonomie de correction. Elle repose sur l'analyse d'une situation existante [...] Deuxièmement, l'ergonomie de conception ou de prévention. Elle repose sur l'analyse de situations

⁶⁵ Luis Miguel Tarquino, *op. cit.*, p.17.

existantes ou supposées, et permet de définir des recommandations utiles et préalables à la conception de nouveaux produits.

Dans notre démarche nous travaillerons avec l'ergonomie de conception.

L'approche traditionnelle des analyses ergonomiques utilise des modèles physiques, des maquettes et des scénarios réels. Au niveau industriel, l'importance du temps de développement d'un projet implique que les simulations et les validations se fassent dans un temps très limité. Les changements, dans une étape ultérieure d'un projet, coûtent très cher; cependant, il existe un danger de laisser les décisions de design se faire selon des contraintes d'ingénierie, de production, structurelles et financières, en oubliant l'importance des analyses ergonomiques.

Une analyse ergonomique est, en effet, un projet en soi dont peuvent faire partie des sociologues, des anthropologues, des médecins, etc.

Dans le design industriel, les ergonomes ont besoin d'évaluer l'homme avec son contexte et l'objet.

5.1 Méthode d'évaluation

La méthode d'évaluation en ergonomie consiste fondamentalement à étudier les activités des personnes qui sont en relation avec un environnement X.

Cette démarche commence par l'inventaire des personnes (avec leur analyse anthropométrique correspondante), du contexte et des activités principales qu'effectuent les personnes impliquées.

Suite à cette démarche, les ergonomes effectuent une étude sur place afin de dégager certaines données et commencer leur évaluation des concepts établis.

Cette évaluation peut se faire avec des modèles physiques comme nous l'avons exposé précédemment.

Après ces évaluations, il y aura des correctifs à faire et, finalement, l'équipe d'ergonomie utilisera le prototype afin de réaliser des analyses dans les situations réelles.

5.2 Analyse de la méthode d'évaluation

Les ergonomes doivent réaliser des analyses des activités avec différents types d'utilisateurs qui, la plupart du temps, n'appartiennent pas à un groupe anthropométriquement homogène. À cause de cette problématique, les analyses deviennent plus précises à mesure que l'étendue de l'échantillonnage s'accroît : plus l'échantillon est grand, plus les résultats peuvent être précis.

L'analyse d'une activité nécessite une étude approfondie des mouvements de l'utilisateur et des autres personnes qui entrent en interaction avec celui-ci. La complexité devient tellement considérable, qu'en général, les ergonomes doivent avoir recours à des outils externes, comme la vidéo, les caméras placées dans le lieu de travail, etc. Cette complexité devient de plus en plus importante quand les analyses commencent à être de type biomécanique, anatomique, etc.

6.0 Analyse ergonomique avec outil informatique

La raison la plus importante de l'utilisation des outils informatiques dans les approches d'analyses ergonomiques est le temps que les concepteurs peuvent économiser afin de donner différentes solutions à une problématique donnée.

L'équipe de conception, en profitant du temps dégagé par l'utilisation de ces outils, pourra travailler sur de nouvelles solutions virtuelles sans investir monétairement pour des modèles physiques ou pour des mannequins réels.

Il est évident qu'il existe des projets où la numérisation d'un produit ou de l'environnement devient plus dispendieux en terme de temps. Dans le projet « Équipement informatique : pour bien réussir l'aménagement de son

auto-patrouille⁶⁶ » réalisé par l'IRSST⁶⁷ et l'APSAM⁶⁸ (1997), les groupes de recherche ont constaté qu'une représentation virtuelle de l'environnement (l'automobile) devenait un projet en lui-même.

La réalisation d'un modèle physique a aidé à économiser du temps de travail technique et cela a permis de dégager du temps pour l'analyse ergonomique : « Il est beaucoup plus simple de déplacer quelques maquettes en carton que de faire revenir une auto-patrouille au garage pour réinstaller une imprimante mal placée [...]»⁶⁹.

6.1 Méthode d'évaluation

Différentes méthodes d'évaluation utilisent des outils informatiques. La première étape est de trouver la façon de représenter les données anthropométriques. Des logiciels, comme *Jack*, *Sammie* et *Safework*, incorporent déjà des mannequins préétablis, et ce, grâce à des recherches effectuées, depuis une dizaine d'années, sur des mannequins virtuels, en utilisant des tables anthropométriques.

La problématique des données à numériser est complexe dû au nombre de mesures reliées aux objectifs d'un projet.

Des recherches utilisent, pour cette numérisation des données, du *scan de la figure humaine* : cette technique consiste à scanner la surface du corps humain, le plus précisément possible, grâce à différentes caméras placées au contour de la personne (voir figure 6.1); ce processus a pour but l'acquisition des données digitales, qui pourront servir dans plusieurs domaines – la médecine, le design, l'ergonomie, l'animation, les arts, la réalité virtuelle, etc.

⁶⁶ Denise Gilbert, Christian Larue et Denis Giguère, *Équipement informatique : pour bien réussir l'aménagement de son auto-patrouille*, Montréal, APSAM, 1997.

⁶⁷ Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du travail.

⁶⁸ Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail secteur « Affaires municipales ».

⁶⁹ Denise Gilbert, Christian Larue et Denis Giguère, *op. cit.*, p. 13.



Figure 6.1 *Scan de la figure humaine*

Source : Catalogue Human Solutions – Technology – The human as Center. Vitus Body Scanning.

Dans l'industrie de l'automobile, les évaluations, réalisées virtuellement avec ce type des logiciels experts, sont très courantes.

Car seat evaluation is simply one example of an area where better representations of body shape are required, but there are many others. Any product that comes into direct contact with the body is a potential area of application of the technique – clothing, helmets, gloves and facemasks being typical examples. In other applications visual realism of the human figure itself is of importance [...] ⁷⁰.

Les évaluations virtuelles, réalisées dans l'industrie automobile, peuvent être utilisées pour analyser les accidents possibles avec un type d'auto et avec des mannequins virtuels, mais aussi pour évaluer le confort et l'intérieur de l'auto (voir figure 6.2).

⁷⁰ Keith Case *et al.*, « Shadow-scanned human models for car seating design », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES '99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M. mai, 1999.

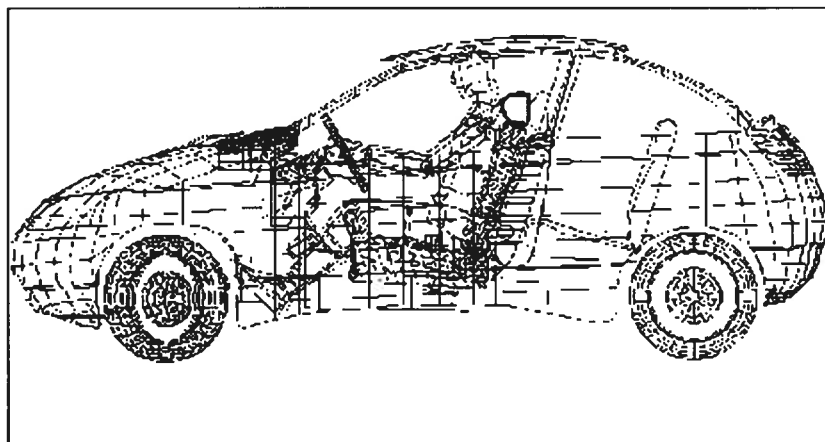


Figure 6.2 *Modèle 3D d'une automobile réalisée par le logiciel SAMMIE, pour l'évaluation à l'intérieur de celle-ci.*

Source : Catalogue Human Solutions – Technology – The human as Center. Vitus Body Scanning.

Cependant, certains projets utilisent d'autres outils informatiques, différents des logiciels experts comme ceux énumérés antérieurement, en raison de leur prix et de leur complexité : par exemple, à l'IRSST, certaines analyses ergonomiques sont effectuées avec des logiciels comme Autocad et 3D-Studio Max. Cependant, ils profitent de ces logiciels de façon visuelle et non pas comme des outils directement liés aux analyses ergonomiques et ce, à cause des limitations inhérentes à l'outil. En outre, ils ont utilisé l'outil de programmation, pour travailler sur des recherches, comme celle effectuée à la demande de l'ASTE⁷¹, où ils ont évalué la visibilité au volant des véhicules de transport lors de la conduite et des manœuvres, de façon à réduire les accidents. Avec ce projet, ils ont montré, entre autres, les solutions qu'ils peuvent donner en utilisant le langage de programmation dans un logiciel, plus accessible au niveau du coût, comme Autocad.

⁷¹ Association sectorielle transport entreposage, recherche élaborée par Denis Giguère et Christian Larue, *Mesure et évaluation des angles morts sur des camions - Vision arrière pour les véhicules*, Montréal, IRSST, 1992.

6.2 Analyse de la méthode d'évaluation

Depuis que des analyses ergonomiques ont commencé à faire partie du processus de design, des ingénieurs, des designers et des architectes, entre autres, ont tenté de s'approprier cette étape de conception. La plupart des outils informatiques sont utilisés par des non-ergonomistes, en plus d'être développés par des informaticiens. Selon M. Bonney *et al.* : « First, they are mostly stand-alone systems and so the ergonomics function is separated from the rest of the design process [...] »⁷² »

Parfois, d'importants problèmes surgissent avec l'utilisation des outils informatiques dans les analyses ergonomiques; les données sont tellement difficiles à gérer (même avec des modèles physiques) que l'aspect informatique devient problématique. Combien de mémoire a besoin l'ordinateur? Combien de polygones devons-nous laisser dans le modèle?

Une autre problématique concerne l'effet de travailler dans un monde virtuel. Dans le tutorial du logiciel Mannequin, on trouve l'énoncé suivant : « Place yourself into your drawing as though it were a real life situation [...] Your virtual realistic world becomes realistic and your realistic world becomes virtually realistic »⁷³ », mais comme C. Erburg le souligne, le gros problème dans cette situation est l'effet des éventuelles lacunes, dans la pensée du designer, correspondant aux besoins des personnes impliquées dans le processus. L'évaluation, dans une ambiance virtuelle, peut présenter des dangers lorsqu'on oublie les utilisateurs réels, qui devront être, en réalité, avec l'objet ou le produit envisagé.

7.0 Bilan

Pour donner un aperçu du bilan de la première partie, nous avons utilisés deux tableaux, effectués par Chaffin en 2001, qui soulignent les points positifs et négatifs

⁷² Maurice Bonney, *op. cit.*

⁷³ Cigdem Erbug, « Use of computers to teach ergonomics to designers », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES '99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M. mai, 1999.

de l'utilisation des modèles virtuels dans les analyses ergonomiques pendant l'étape de conception.

Pour réaliser ces tableaux, Chaffin a établi des questionnements sur sept différentes recherches, notamment celles effectuées par Ford, Boeing, Daimler Chrysler, General Motors et l'United States Air Force, qui utilisent des modèles virtuels.

Tableau 7.1
Problèmes de design solutionnés avec les modèles virtuels
(traduction libre de l'auteur)⁷⁴.

Problèmes de design solutionnés avec les modèles virtuels (DHM)*	Projets						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1. Visualisation de population extrême (petite F ou grand M) Pour l'enquête de visualisation.	●	●	●	●	●	●	●
2. Liberté de mouvements des mains pour les opérations.	●	●		●			●
3. Manœuvrabilité, zones d'atteinte.	●	●		●			
4. Environnement extrême (pluie/neige)	●		●	●			
5. Coordination et communication de deux personnes ou plus, pour une importante analyse du modèle.			●			●	
6. Opération assis vs debout.			●				
7. Localisation des pédales dans la position assise - posture des jambes				●	●		
8. Normes fédérales NIOSH-DOT		●		●		●	●
9. Visualisation et communication des problèmes ergonomiques		●	●			●	●
10. Concepts plus créatifs.				●			●
11. Combiner le produit avec le processus d'ingénierie qui est actuellement en marche.							●

*DMH (*Digital Mock-Up*) (avec simulation humaine)

Dans le tableau 7.1, nous pouvons constater que la plupart des personnes, qui utilisent des logiciels experts, trouvent fortement intéressants l'idée des mannequins avec des tables anthropométriques pour appuyer des projets où plusieurs personnes

⁷⁴ Source : Don B. Chaffin, *op. cit.*

sont impliquées; ils peuvent, ainsi, réaliser des analyses avec la liberté de mouvements des mannequins pour manipuler des objets.

Dans quelques cas, il existe un besoin d'analyser les zones d'atteinte avec le modèle; il est à noter que les normes techniques paraissent être un aspect intéressant dans ces analyses.

Par ailleurs, les solutions aux problèmes de communication paraissent être un atout de l'utilisation de ce type de modèle car, dans un environnement informatique, les problèmes ergonomiques pourront être présentés plus efficacement aux différents départements (ingénierie, marketing, etc).

Finalement, selon Chaffin, le dernier point est très intéressant : le modèle digital peut sauver temps et argent, par le transfert de l'étape de design aux évaluations sur le prototype.

Dans le tableau 7.2, les plus grandes limitations paraissent être l'élaboration du modèle 3D, et ceci, à cause du temps qui doit être mis pour réaliser un modèle avec des détails : une tendance, soulignée par Chaffin, consiste à réaliser le modèle dans un logiciel commercial courant de CAO (type Autocad), et le transférer dans un logiciel expert. Un autre problème est la prédiction de certaines postures, dans un environnement virtuel, dans le but d'effectuer les analyses. En général, l'utilisation de ce type de logiciel devient complexe due aux données anthropométriques.

Tableau 7.2
Limitations et difficultés avec les modèles virtuels
(traduction libre de l'auteur)⁷⁵.

Limitations et Ennuis des modèles virtuels (DHM)	Projets						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1. Développer des modèles 3D dans un environnement virtuel (CAO)	●	●		●	●		
2. Difficultés pour modéliser des postures extrêmes	●			●		●	
3. Prédiction des postures dans les analyses dynamiques	●	●		●	●		●
4. Fournir les forces que les mannequins ont besoin pour réaliser des analyses dynamiques			●	●	●	●	●
5. Estimer le confort postural, pour des longs périodes.			●		●		
6. Sélectionner les activités critiques.				●			
7. Disposer d'un grand écran avec des projections en 3D, pour les discussions en groupe.							●

*DMH (Digital Mock-Up (avec simulation humaine)

⁷⁵ Source : Don B. Chaffin, *op. cit.*

CHAPITRE 2

Étude de cas

8.0. Introduction aux études de cas, justification

Nous avons choisi quatre études; parmi celles-ci, trois présentent des cas qui ont un sujet en commun : l'analyse ergonomique d'une chaise assis-debout. L'autre est un exemple d'une analyse où l'outil informatique est indispensable.

La première étude de cas est celle réalisée par Marie Laberge dans son analyse ergonomique du poste de caissière d'un supermarché avec l'utilisation d'un banc assis-debout, et la recherche effectuée par le groupe CINBIOSE⁷⁶, qui a pour but l'implantation de la chaise assis-debout pour des caissières de supermarché au Québec. Ces recherches ont été abordées selon une approche traditionnelle dans les analyses ergonomiques (sans outil informatique).

La deuxième étude de cas est celle effectuée par le Groupe 3D⁷⁷ à propos des critères d'aménagement des postes pour caissières de supermarché au Québec. Nous allons caractériser ce type de recherche en la dénommant « *type hybride* » d'après les outils informatiques qui ont été utilisés dans l'approche ergonomique.

La troisième étude de cas se rapporte aussi à la chaise assis-debout, mais élaborée cette fois-ci par Stokke Inc⁷⁸, et avec une analyse ergonomique effectuée par le groupe INERMAP où l'analyse a été abordée avec des outils informatiques qui sont devenus indispensables dans leur recherche.

⁷⁶ Centre d'étude des interactions biologiques entre la santé et l'environnement à l'UQÀM

⁷⁷ Laboratoire de recherche appliquée en design et en ergonomie. Réalise des interventions ergonomiques en milieu de travail et des projets de design d'outils, d'équipements, d'aménagement des espaces de travail dans de nombreuses entreprises publiques et privées : Hydro-Québec, le syndicat SCFP, STCUM, Nova Bus Corporation, Infasco Inc., etc. Étudie l'intégration des connaissances ergonomiques par le designer et les retombées pour l'« utilisateur »

⁷⁸ Compagnie de Norvège fondée en 1932, qui se spécialise dans la fabrication de meubles ergonomiques. [En ligne], www.stokke.com. (Page consultée le 20 mars 2003).

Finalement, la quatrième étude de cas est une analyse réalisée par le groupe de recherche SED⁷⁹, qui concerne les sièges d'une automobile et la relation avec la pression que laissent les modèles humains sur les sièges.

9.0. Étude de cas 1

9.1. Introduction

*Étude ergonomique du poste de caissière d'un supermarché :
l'utilisation d'un banc assis-debout.*

Marie Laberge⁸⁰.

Aménagement des postes pour caissières de supermarché.

Travail du groupe CINBIOSE-UQÀM.

Il existe, depuis une dizaine d'années, des recherches concernant les postes de travail de caissières de supermarché au Québec. Ainsi, le groupe de recherche CINBIOSE s'est intéressé à ceux-ci (Vézina et Courville, 1989; Vézina *et al.*; 1993), mais plus spécifiquement à l'implantation de la chaise assis-debout dans ces postes. À cette fin, des chercheurs, comme Laberge, sous la direction du Dr Nicole Vézina⁸¹, ont élaboré des analyses ergonomiques pour établir des paramètres dans l'implantation de la chaise présentée dans les figures 9.1, 9.2 et 9.3.

Avec cette étude, Laberge s'oriente vers « l'essai d'une nouvelle position de travail, la position assis-debout⁸² ».

⁷⁹ Seat Evaluation and Design

⁸⁰ Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en Biologie, Université du Québec à Montréal, octobre 1997.

⁸¹ Le Dr Nicole Vézina collabore aux activités de recherche du CINBIOSE depuis le début des années 1980 et, particulièrement, aux travaux du Groupe de recherche-action en biologie du travail (GRABIT).

⁸² Marie Laberge, *Ibid.*, p. 2.

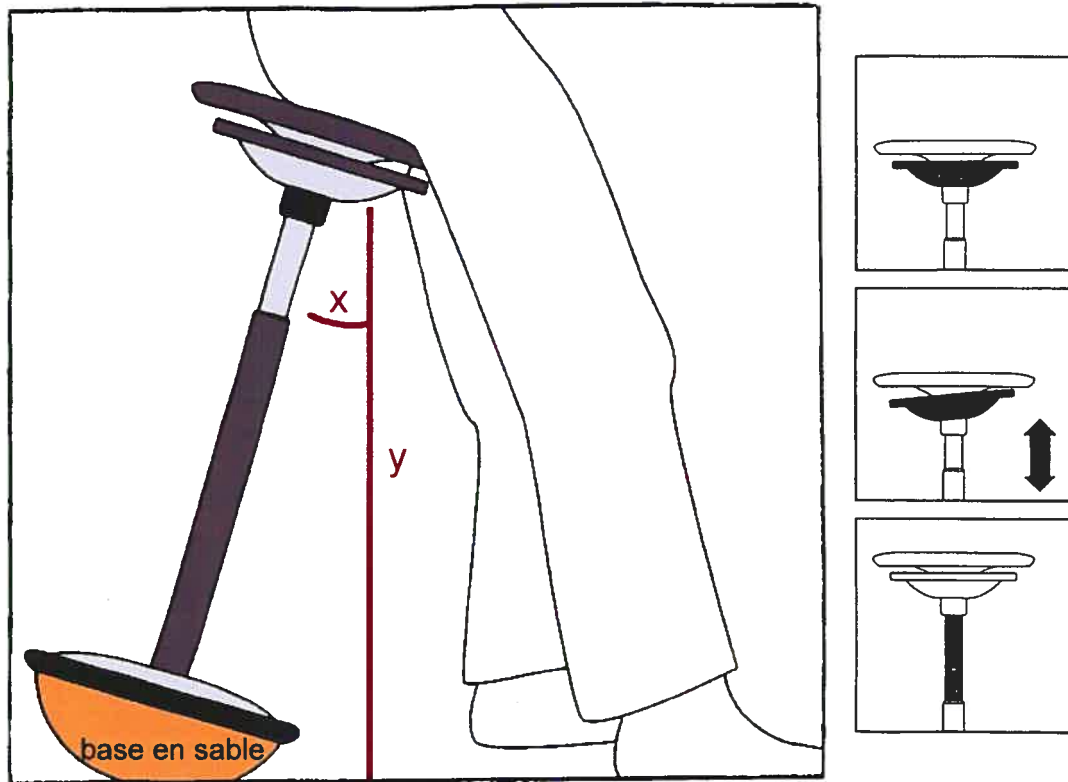


Figure 9.1 Banc Stitz (adaptée par l'auteur)

Source : Service de santé-sécurité-environnement CSN (Confédération des syndicats nationaux), Annexe Description et fonctionnement du banc assis-debout STITZ, Montréal, le 3 septembre 1998.



Figure 9.2 Banc Stitz 2

Source : Boutique tout pour le dos. Montréal.
<http://www.clicshop.com/Magasin/toutpourledos/c34193p135147.2.html>

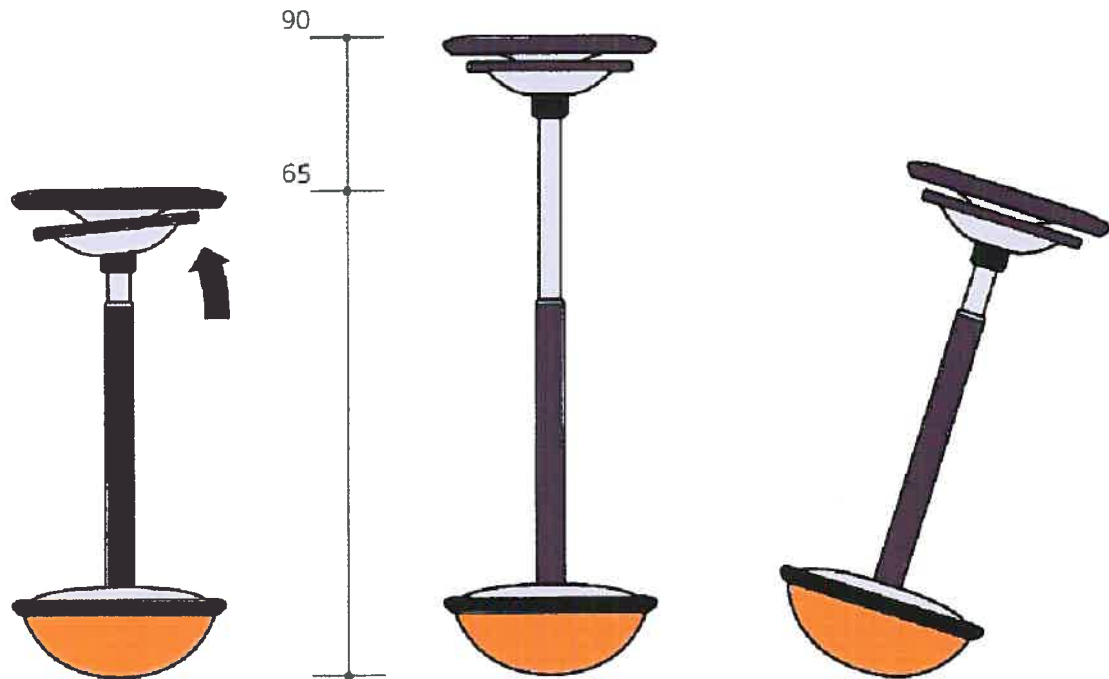


Figure 9.3 Banc Stitz avec les hauteurs (adaptée par l'auteur)

Source : Cite Office of Design – Australie.

http://www.citeofficedesign.com.au/product_detail.asp?prodID=57&catBrandID=CB14

9.2 Analyse du cas

Dans le projet établi avec les caissières de supermarché du Québec, les chercheurs ont étudié leur environnement de travail et ils se sont rendu compte de plusieurs problèmes au niveau physique qui pouvaient affecter les caissières; ainsi comme le souligne Laberge⁸³ :

le maintien d'une position statique, debout ou assise, a depuis longtemps été identifié comme élément précurseur de douleur, d'inconfort et de fatigue, particulièrement dans la région lombaire et aux membres inférieurs [...].

⁸³ Marie Laberge, *op. cit.*, p. 8.

L'équipe d'ergonomie, avec notre participation, a établi un plan de travail pour réaliser diverses interventions dans des supermarchés où l'implantation de la chaise assis-debout a été acceptée.

Au sein du groupe, le travail interdisciplinaire est privilégié : des ergonomes, des designers, des anthropologues, des biologistes et des kinanthropologues, entre autres, font partie des chercheurs qui se partagent différentes tâches comme la prise des mesures, l'analyse d'activités, le choix de la chaise, etc.

Laberge, dans son étude, effectue une comparaison entre les positions debout et assis-debout, pour cette analyse. Dans une première étape, elle choisit un groupe de onze caissières pour décrire le pourcentage d'utilisation du banc; ensuite, elle effectue une analyse plus minutieuse avec six caissières. Les paramètres utilisés pour cette comparaison étaient : positionnement au poste, activité d'enregistrement des prix, actions pour augmenter la portée des membres supérieurs et symptômes ressentis.

Suite à l'étude de Laberge, l'équipe de CINBIOSE effectue l'analyse pour l'aménagement des postes. À ce moment-là, la chaise avait déjà été choisie par quelques supermarchés qui contribuent à la recherche (un supermarché à La Sarre (Abitibi-Ouest) et un autre dans le secteur de Laval).

Le groupe a commencé l'intervention par l'installation des chaises (Figure 9.4); il y avait même des postes qui avaient déjà été modifiés à partir d'une étude préliminaire. Selon Vézina et Laberge : « Il est arrivé que l'aménagement des postes de travail soit incompatible avec la position assis-debout.⁸⁴ »

La première problématique, au niveau du design, est survenue quand, selon les analyses, le groupe a décidé de faire des changements dans le poste de travail (dans le supermarché à La Sarre), mais ils n'étaient pas sûr du résultat de la modification. Le poste de travail n'était pas encore esquissé sur des plans; donc, ils ont dû le dessiner pour arriver à établir les mesures du changement à réaliser.

⁸⁴ Marie Laberge et Nicole Vézina, « Un banc assis-debout pour les caissières. Une solution pour réduire les contraintes de la position debout? », *Travail et santé*, vol. 14, n° 2 (juin), 1998, p. 43.

Ils se sont rendus compte que la vision spatiale du designer est un outil indispensable pour ce type de recherche; cependant, les ergonomes avaient besoin de dessins pour s'imaginer la situation réelle.

Les ergonomes travaillent en fonction de l'humain, mais dans leur démarche, le monde « virtuel » en trois dimensions est une barrière qu'ils doivent affronter avec des outils comme des photos ou des plans; c'est pourquoi ils demandent souvent l'aide des professionnels du domaine spatial. Leurs analyses considèrent les activités effectuées par les caissières, en tenant compte des objets qui sont présents dans leurs activités, mais toujours avec leur point de vue sur l'humain.

Le designer doit concevoir en utilisant ses connaissances au niveau ergonomique en tenant compte des analyses effectués précédemment par les ergonomes; sa démarche doit avoir comme objectif de satisfaire l'être humain par l'intermédiaire des objets ou des solutions spatiales.



Figure 9.4 *Photo 1 – Caissière avec chaise assis-debout, analyse des distances auprès du poste de travail.*

Source : Photo prise par l'auteur dans le cadre de la recherche au groupe CINBIOSE.

Les différents dessins qui ont été conçus montrent le poste de travail, sans les caissières, mais, par contre, l'équipe avait du matériel comme les photos, prises sur place, afin de montrer les résultats dans les différentes réunions du groupe de recherche (voir Figure 9.5).

Il y avait juste deux supermarchés à l'étude; cependant, le nombre des caissières pouvaient augmenter à une dizaine. Les données anthropométriques des caissières étaient toutes répertoriées dans une table. Pour l'analyse, nous nous sommes servis d'une caméra pour prendre des photos; cependant, il devenait impossible de montrer plusieurs photos de chaque caissière.



Figure 9.5 *Photo2 – Caissière avec chaise assis-debout, analyse des distances auprès du poste de travail.*

Source : Photo prise par l'auteur dans le cadre de la recherche au groupe CINBIOSE.

Le relevé du poste de travail est réalisé avec des dessins faits à la main; notons qu'il y avait des problèmes de visualisation pour établir ce relevé par rapport au poste de travail (voir Figure 9.6). Des contraintes de type économique et opérationnel ont empêché de simuler toutes les caissières en même temps dans leurs postes de travail.

La chercheuse principale montra sa préoccupation en déclarant : « Si nous pouvions juste avoir une table et un mannequin « virtuel » afin de changer les mesures et voir leur comportement sous nos yeux [...] ».



Figure 9.6 Photo – Caissière avec chaise assis-debout, problématiques de visualisation auprès du poste de travail.

Source : Photo prise par l'auteur dans le cadre de la recherche au groupe CINBIOSE.

Dans l'étude de Laberge, lorsqu'elle réalise une analyse des membres supérieurs de la plus petite et de la plus grande caissière à l'endroit où elles se placent, elle met en évidence la problématique de se fier à un seul point de vue. La figure 9.7, nous montre un dessin d'analyse, mais selon Laberge, « en réalité, la portée sur le comptoir est différente de la figure [...] car elle tient compte de la hauteur de la caissière⁸⁵ ». Pour cette raison, l'auteur de cette recherche utilise des photos pour montrer la différence des hauteurs, mais elle décrit toujours l'activité spatiale auxquelles les chercheurs peuvent s'attendre. On peut dire que c'est une narration d'un événement animé.

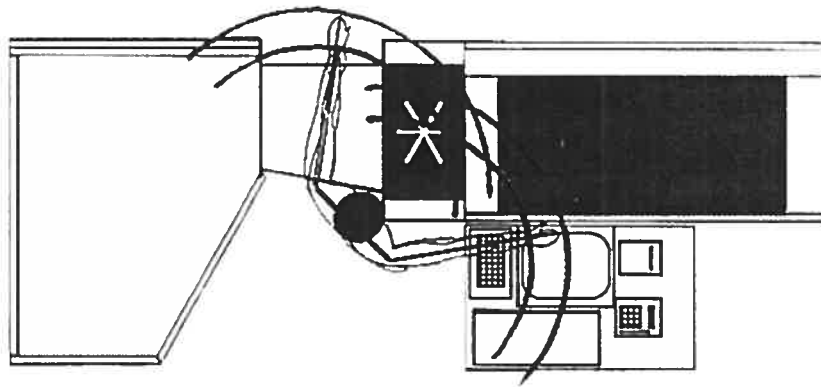


Figure 9.7 Portée des membres supérieurs de la plus petite et de la plus grande caissière, l'épaule à 45°, transposée sur le poste à l'endroit où elles se positionnent.

Source : Marie Laberge, *op. cit.*, p. 53.

En 2002, ils ont fait une maquette du poste de travail « préféré » à l'échelle réelle et, de cette manière, ils ont pu réaliser des analyses dans leur laboratoire, avec des vidéos, des photos, etc. Les caissières ont été représentées, la plupart du temps, par une caissière-type, qui travaille pour le groupe de recherche. Grâce à son aide, le groupe de recherche a pu établir des points importants à considérer pour les nouveaux postes.

⁸⁵ Marie Laberge, *op. cit.*, p. 52.

On doit considérer, dans cette analyse, que les outils informatiques n'étaient pas utilisés de façon prioritaire à cause des coûts inhérents à leur achat et de la formation afférente à leur utilisation.

9.3 Conclusion

Avec ce type de recherche, nous avons pu constater le besoin d'études ergonomiques, afin de développer l'outil que sont les mannequins tridimensionnels; ceci pourra aider aux analyses de manière à valider les hypothèses qui ont pu être établies antérieurement.

Les points les plus intéressants sont les suivants :

- **2D-3D.** Jusqu'à quel point un monde 3D, au niveau informatique, peut-il aider à ces types de recherches?
- **Mannequin.** Est-ce que nous aurions pu fabriquer un mannequin avec les mêmes caractéristiques que la caissière-type qui travaille avec le groupe de recherche? Non pas seulement au niveau physique, mais établir rigoureusement ses activités qui étaient un peu différentes des activités théoriques?
- **Analyse réelle.** Dans l'analyse du poste de travail, les acteurs impliqués comportaient des caissières, des emballeurs, des clients; c'était un groupe d'une grande complexité, vu le transfert de cette situation dans un monde réel. C'est la raison pour laquelle un relevé du plan ou des photos n'auraient pas été les outils les plus appropriés pour effectuer cette démarche.
- **Outil Informatique.** Dans cette étude, les chercheurs ont utilisé le logiciel d'analyse de l'activité Kronos. L'utilisation des outils informatiques demande une acquisition d'équipements informatiques qui peuvent être très importants par rapport au budget du projet; c'est pourquoi on doit bien établir quels types d'outils on aurait pu utiliser, ou mieux encore, avec quels outils on aurait pu arriver à ne pas dépasser le budget et améliorer les analyses par rapport aux difficultés rencontrées (temps, argent, déplacements).

10.0 Étude de cas 2

10.1 Introduction

Aménagement des postes pour caissières de supermarché Travail du groupe 3D-UQÀM

Le groupe de recherche 3D collabore, dans notre étude, à élaborer des critères d'aménagement de postes pour caissières de supermarché au Québec.

Le travail est réalisé en accord avec la CSST, et quelques supermarchés sont impliqués.

Les objectifs de cette recherche sont les suivants : confirmer la présence des principales contraintes musculo-squelettiques; adapter les voies de solutions identifiées pour diminuer les contraintes musculo-squelettiques et identifier les caractéristiques physiques de l'environnement de travail pour faciliter l'intégration de la chaise assis-debout dans un ensemble varié de postes.

Les plans ont été réalisés avec Drawing Board 1.0⁸⁶ et, pour les simulations, les logiciels Mannequin⁸⁷ et QuarkXpress⁸⁸ ont été utilisés.

On pourrait se demander quelle est l'utilité d'un logiciel de « mise en page » comme QuarkXpress? La réponse est toute simple : il sert à la mise en page des mannequins et de l'environnement de travail.

⁸⁶ Logiciel de DAO utilisé principalement pour des plans ayant, comme avantage, l'option de partage des fichiers avec AutoCAD. [En ligne], <http://www.elitesoft.com/web/hvacr/DrawingBoard.htm> (Page consultée le 20 février 2003).

⁸⁷ Logiciel de modélisation humaine pour réaliser des mannequins tridimensionnels, [En ligne], <http://www.nexgenergo.com/ergonomics/mqpro.html> (Page consultée le 20 février 2003).

⁸⁸ Logiciel de mise en page et publication électronique. [En ligne], http://www.quark.com/products/xpress/overview_xpress.html (Page consultée le 20 février 2003).

10.2 Analyse du cas

Les résultats de l'analyse ergonomique sur plusieurs postes de travail, basée sur des modèles 2D et argumentée avec des modèles à l'échelle, ont généré des conclusions parfois très ambiguës.

Deux constats suscitent des interrogations quant à la démarche ergonomique :

– Pourquoi ont-ils utilisés des logiciels 2D pour l'analyse?

– Dans la démarche entreprise par eux, quels éléments peut-on considérer pertinents pour une démarche du type 3D?

M. Nicolas Gagné⁸⁹, qui a été le principal auteur de cette étude, confirme l'énorme problème au niveau de l'information 2D et 3D. Les mannequins ont été développés dans un environnement 3D, mais quand ils les ont exportés, ils ont juste pris le mannequin en 2D. Ses objectifs étaient de réaliser l'analyse dans un monde 2D, dû principalement au budget et à la possible complexité qu'ils auraient pu affronter avec un monde 3D.

Les positions des caissières étaient correctes, mais les différentes vues (frontale, latérale et supérieure) perpendiculaires aux axes principaux (x, y,) occasionnaient d'importantes lacunes d'information, situées dans d'autres axes (x, y, z) (voir Figure 10.1). Les positions sont exactement perpendiculaires à la caméra utilisée, donc les analyses seront prises selon ces vues, en même temps que les mouvements des caissières ne seront pas exactement symétriques.

Dans la réalité, les produits ne sont pas exactement perpendiculaires au plan sur lequel nous faisons l'analyse dans la presque totalité des cas (voir Figure 10.2). Les objets positionnés dans les postes de caissières, la plupart du temps, ne sont pas exactement perpendiculaires aux axes liés au corps humain.

⁸⁹ Designer et ergonome qui fait partie du groupe 3D (UQÀM).

L'analyse 2D, grâce à ce type de vues, est correcte, mais dans ce cas, l'outil informatique remplace une caméra où nous pouvons modifier les objets, les mannequins, mais seulement selon deux axes (x, y). Par contre, l'idée d'avoir un modèle 3D est de permettre une manipulation de la scène, de ses acteurs, de l'environnement, tous en 3D.

M. Gagné remarque, en ce qui concerne l'idée d'intégrer une chaise assis-debout, que « le peu d'informations obtenues concernant la variabilité des postes au Québec ne permet pas de transposer ces modifications à l'ensemble des comptoirs-caisses ». Comme on peut le constater, une des problématiques, dans ce cas, est l'immense monde de l'objet à analyser. Le contexte de la recherche est situé au Québec, mais les caissières, les supermarchés, leur environnement et les personnes qui travaillent autour du comptoir, constituent des variables très complexes à situer. L'idéal serait de commencer avec un seul poste de travail et quelques caissières de supermarché, en considérant les aspects ergonomiques qui pourraient être analysés grâce au modèle virtuel.

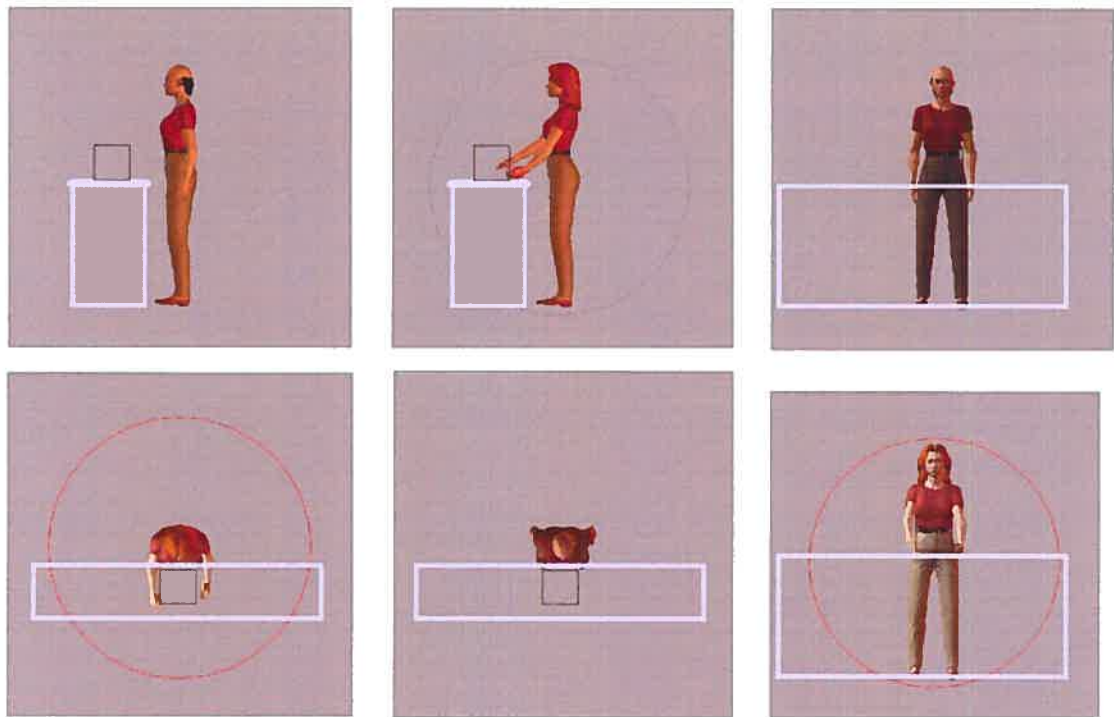


Figure 10.1 Dessins des positions étudiées par le groupe de recherche

Source: Dessins réalisés par l'auteur avec le logiciel Poser 4.0

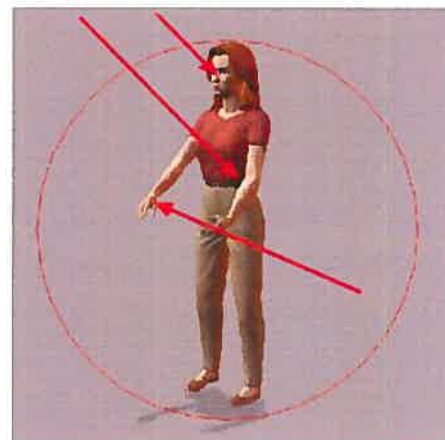
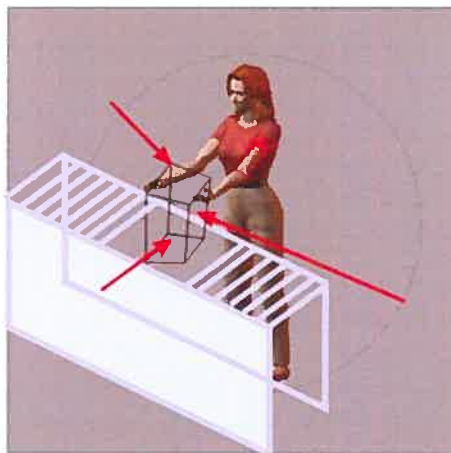


Figure 10.2 Dessins des positions importantes à considérer pour une analyse postérieure

Source: Dessins réalisés par l'auteur avec le logiciel Poser 4.0

10.2.1 Implication du 3D

Les informations, que peuvent donner un monde 2D, peuvent rendre plus difficile la communication sur le projet entre les personnes qui participent à celui-ci, comme Sundin *et al.* le remarquent :

When planning and designing new work places and work methods, there is a large amount of, often complex, information that has to be considered in order to cover all aspects needed, e.g. production technology, equipment, work organization. In such work, communication between involved persons is critical and also complex. Usually, ordinary two-dimensional drawings of products and work places are used during discussions, which can be difficult to understand. Also, as an earlier step, the design of the products is only represented as mental ideas and designs of the designer, which makes communication more difficult⁹⁰.

Nous devons toujours considérer que les personnes, qui font partie des groupes de travail dans les étapes de conception, vérification et validation, peuvent comprendre les dessins, mais la plupart ont une idée différente chacun pour soi. La façon qu'un ingénieur de production regarde un plan technique est très différente de celle d'un ergonomiste. Cela donne comme résultat des malentendus de communication à l'intérieur du groupe de travail; une erreur dangereuse vue que la communication dans une analyse doit être claire et concise.

En ce qui a trait à la CAE, la problématique se situe, selon certains auteurs, au niveau des moyens technologiques qui ne donnent pas une solution complète aux objectifs tracés par la CAE (modélisation humaine parfaite, analyses biomécaniques entièrement informatisées, etc.). Pour ces auteurs, la réalité virtuelle devient une solution plus conforme à ces objectifs, c'est-à-dire l'union entre le virtuel et le réel. Nous retrouvons un exemple de cette pensée chez Zevi :

La réalité de l'objet n'est donc pas entièrement contenue dans les trois dimensions de la perspective; pour la posséder intégralement, je devrais dessiner un nombre infini de perspectives selon un nombre infini de points de vue. Il y a donc un autre élément qui s'ajoute aux trois dimensions traditionnelles, ce sont les déplacements successifs de l'angle visuel⁹¹.

⁹⁰ Ander Sundin *et al.*, *op. cit.*.

⁹¹ Bruno Zevi, *Apprendre à voir l'architecture*, Paris, Les éditions de Minuit, 1959, cité dans Tomás Dorta, « Réalité virtuelle, visualisation et processus de conception », mémoire M.Sc.A, Université de Montréal, Faculté de l'aménagement, Montréal, 1994, p. 2.

Un exemple, à ce niveau, est l'étude effectuée par Määttä *et al.*⁹², qui ont utilisé des mannequins réels, mais dans un monde virtuel, afin de pouvoir réellement analyser les actions de ces mannequins. À ce niveau, la problématique reste au niveau des mannequins virtuels. Ceux qui animent les mannequins virtuels avec des caractéristiques de personnes réelles espèrent que ces mannequins vont agir comme ces personnes selon un point de vue objectif, mais on peut formuler la problématique selon laquelle ces mannequins pourront être développés par les créateurs de telle façon que leur point de vue deviendrait subjectif, dépendant du type de traitement de l'information, et qui pourrait s'avérer très négatif dans une analyse ergonomique.

10.3 Conclusion

Des questions et des critiques surgissent lors de l'évaluation : nous nous apercevons que l'analyse 2D, se développant en raison du manque d'information concernant le 3D, est un point très particulier à considérer selon les questions établies par les chercheurs dans ce type de projet.

En effet, les analyses ergonomiques doivent être toujours liées aux activités des acteurs impliqués dans une problématique donnée. Mais ces activités sont liées à un monde réel, à des objets, à des espaces, à d'autres personnes ou des animaux. L'ergonomie se centre sur les relations de l'homme avec son travail, mais comme nous l'avons vu dans le chapitre I, les relations commencent à être plus complexes selon la nouvelle définition d'ergonomie (voir **Figure 3.1** Le système des interactions humaines).

Le contexte dans lequel la personne cohabite, selon l'ergonomie, devient l'interaction de l'être humain avec son environnement et rend compte de son développement physique et psychologique.

⁹² Litmo Määttä *et al.*, « Exploiting Virtual Reality in work place and work process design », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES '99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M. mai, 1999.

Dans les travaux d'aménagement, selon les critiques effectués par le groupe de travail, il existe un manque au niveau de l'analyse ergonomique et, plus précisément, au niveau des données anthropométriques et des données colligées pour l'analyse des activités. Cependant, ils sont d'accord pour l'utilisation des mannequins réalisés grâce aux logiciels informatiques, utilisés par le groupe 3D (groupe de recherche, co-auteurs des travaux mentionnés antérieurement). Nous constatons la nécessité d'un outil qui peut montrer le monde 3D où se déroule l'activité, sans nous limiter à un monde 2D qui laisse de côté beaucoup d'information essentielle.

11.0 Étude de cas 3

11.1 Introduction

Étude ergonomique de la chaise « Move » de Stokke.

La compagnie Stokke a demandé de réaliser cette étude à l'Institut d'ergonomie INERMAP⁹³.

L'objectif était de faire une étude biomécanique des postures et des mouvements pour déterminer les caractéristiques ergonomiques de la chaise Move (voir figure 11.1) dans des situations réelles, en tenant toujours compte des appréciations subjectives données par les volontaires (utilisateurs types).

Chaise triangulaire
tourne 360°

Dispositif
pneumatique

Hauteur
49 à 87 cms.



Figure 11.1 Chaise Move pour adulte à gauche, pour enfant à droite (adaptée selon l'auteur).

Source : Catalogue Chaise Move, Stokke – Makes life worth sitting.

⁹³ Instituto de Ergonomia Mapfre S.A. [En ligne], www.inermap.com (Page consultée le 20 mars 2003).

À cause de la complexité des variables inhérentes à une étude comme celle-ci, les chercheurs ont considéré des situations types pour les analyses.

Leur stratégie a consisté à comparer l'utilisation de la chaise *Move* dans des situations types de travail, où habituellement les personnes utilisent une chaise.

Les conditions pour choisir ces situations types de travail devaient respecter les critères suivants quant aux postes de travail :

- La moyenne de la force requise est inférieure à 5 Kg;
- Une utilisation des outils manuels pour la rentrée et la sortie des produits.

La chaise *Move* est déjà utilisée dans différents domaines (voir figure 11.2); cependant, dans le but de cette recherche, leur laboratoire s'oriente sur les analyses des activités suivantes :

- chaîne d'assemblage industriel;
- caissières de supermarché;
- dentistes;
- coiffeurs;
- dessinateurs (bureau d'architecture).

Dans notre recherche, nous allons étudier l'analyse que l'INERMAP a effectuée sur le poste de caissière de supermarché avec 20 caissières.



Figure 11.2 *Chaise Move dans des situations courantes*

Source : Catalogue Chaise Move, Stokke – Makes life worth sitting.

11.2 Analyse du cas

Au niveau de la posture assis-debout, les études ne sont pas très nombreuses, comme Alvarez et coll. l'ont constaté : « There are no internationally-recognised standards or recommendations which may be used as a point of reference⁹⁴. »

Les chercheurs ont réalisé une analyse comparative entre les différentes postures des utilisateurs avec la chaise « move » et avec la chaise habituellement utilisée par les caissières de supermarché.

En utilisant l'outil informatique VICON⁹⁵ (*Video Convertor*) avec les deux chaises, ils ont pu analyser les postures et les mouvements des utilisateurs (angles de positionnement, activité électromyographique, zones d'atteinte, etc.).



Figure 11.3 Exemples d'analyses effectuées dans le domaine sportif à l'aide du système VICON

Source : <http://www.vicon.com/main/downloads/20012-sports-studies.pdf>

Ce système permet l'analyse cinématographique du mouvement à l'aide de caméras infrarouges et de marqueurs qui reflètent la radiation localisée sur différentes parties du corps, et avec des composants externes, on peut enregistrer l'activité musculaire pour arriver à synchroniser ce type d'activité avec un mouvement spécifique. (voir Figure 11.3).

⁹⁴ J. Alvarez *et al.*, « Ergonomics Study on the Stokke Move Chair », Zaragoza, INERMAP, 1998.

⁹⁵ Système technologique pour des analyses de mouvements à l'aide de caméras. [En ligne], www.vicon.com (Page consultée le 22 mars 2003).

En même temps, avec ce type d'outil, on peut obtenir ces points dans l'espace, selon les trois coordonnées, pour des analyses spatiales. Dans la figure 11.4, on peut observer des figures reconstruites d'une rangée de transformations anatomiques de chaque segment sur chaque cadre.

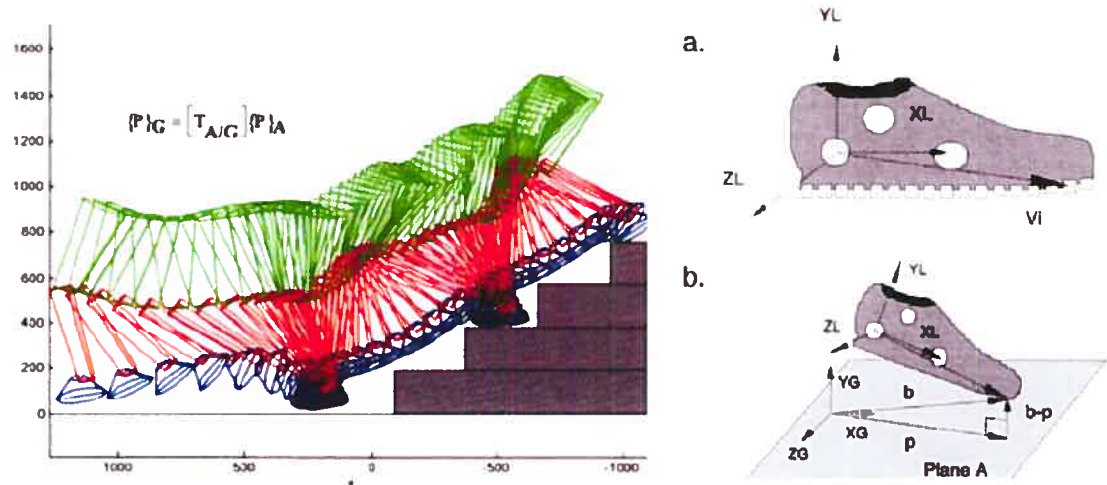


Figure 11.4 À gauche, figure 3D de trois extrémités pendant la descente de quatre pas d'escalier. À droite, diagramme d'un vecteur pour un algorithme 3D qui calcule le dégagement de plusieurs points virtuels dans la chaussure en relation avec l'escalier dans chaque cadre (Startzell et Cavanagh, 1999).

Source. <http://www.vicon.com/main/downloads/safetyonstairs.pdf>

Les quatre aspects importants dans cette recherche, chez les caissières de supermarché, furent :

- Les postures et les mouvements des extrémités supérieures.
- La flexion latérale et/ou la rotation du tronc.
- L'activité électromyographique du trapèze, des deltoïdes, etc.
- Les zones d'atteinte.

Les contraintes identifiées sont les suivantes :

– Une surface de travail à une hauteur de 800 mm et à une profondeur de 2000 mm, avec un scanner.

- Une surface (à 90 degrés de l'antérieur) avec une hauteur de 820 mm et 600 mm de profondeur, où la caisse a été localisée.
- Les objets étaient de différentes formes et mesures, leur poids se situant entre 3,8 et 10 grammes.
- Le cycle de travail était de 50 secondes, avec une pause intermédiaire de 20 secondes.
- Au total, la simulation durait environ l'équivalent de 60 minutes de travail, avec une pause de 90 minutes pour reprendre les tests.

Les résultats se présentent de la façon suivante (figures 11.5 et 11.6) :

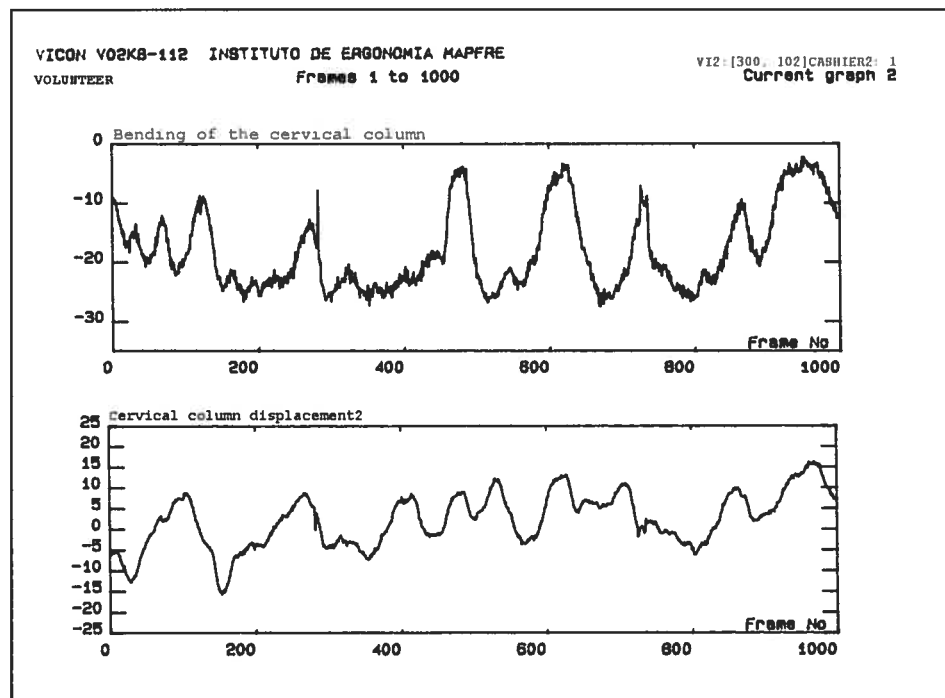


Figure 11.5 Flexion, déplacement de l'épine cervicale – chaise Move.

Source : Ergonomic study on the Stokke MOVE chair, INERMAP, Zaragoza, le 2 février 1998, p. 15.

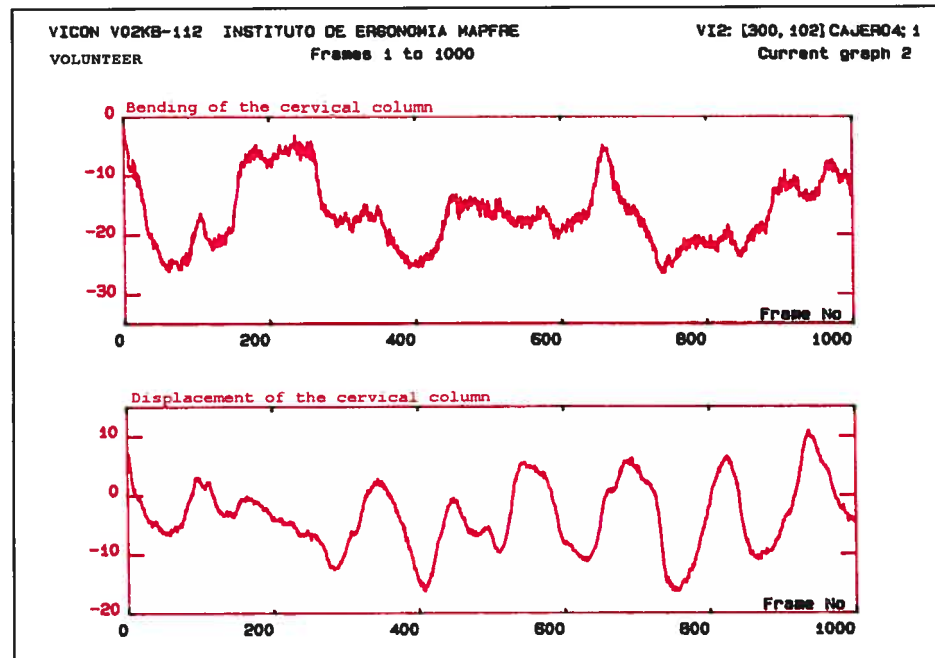


Figure 11.6 Flexion, déplacement de l'épine cervicale – chaise traditionnelle

Source : Ergonomic study on the Stokke *MOVE* chair, INERMAP, Zaragoza, le 2 février 1998, p. 15.

11.3 Conclusion

Les principales conclusions, au niveau des analyses, étaient principalement liées à la biomécanique. Grâce au système Vicon, les chercheurs ont pu établir avec précision les mouvements de la colonne vertébrale selon le déplacement de la caissière, dans le cas de la chaise typique et de celui avec celle dite « Move ».

D'après ces études, il a été établi que le niveau de risque d'avoir des problèmes de *cervicalgia* était moins important en utilisant la chaise « Move ». De plus, selon leur évaluation, et avant les analyses, les niveaux d'inconfort étaient principalement localisés au niveau des jambes, des pieds, de la colonne lombaire, de l'épine dorsale, de l'épine cervicale, du cou et des épaules. Ainsi, les améliorations les plus significatives se retrouvent dans ces mêmes zones (voir Figure 11.7 et 11.8).

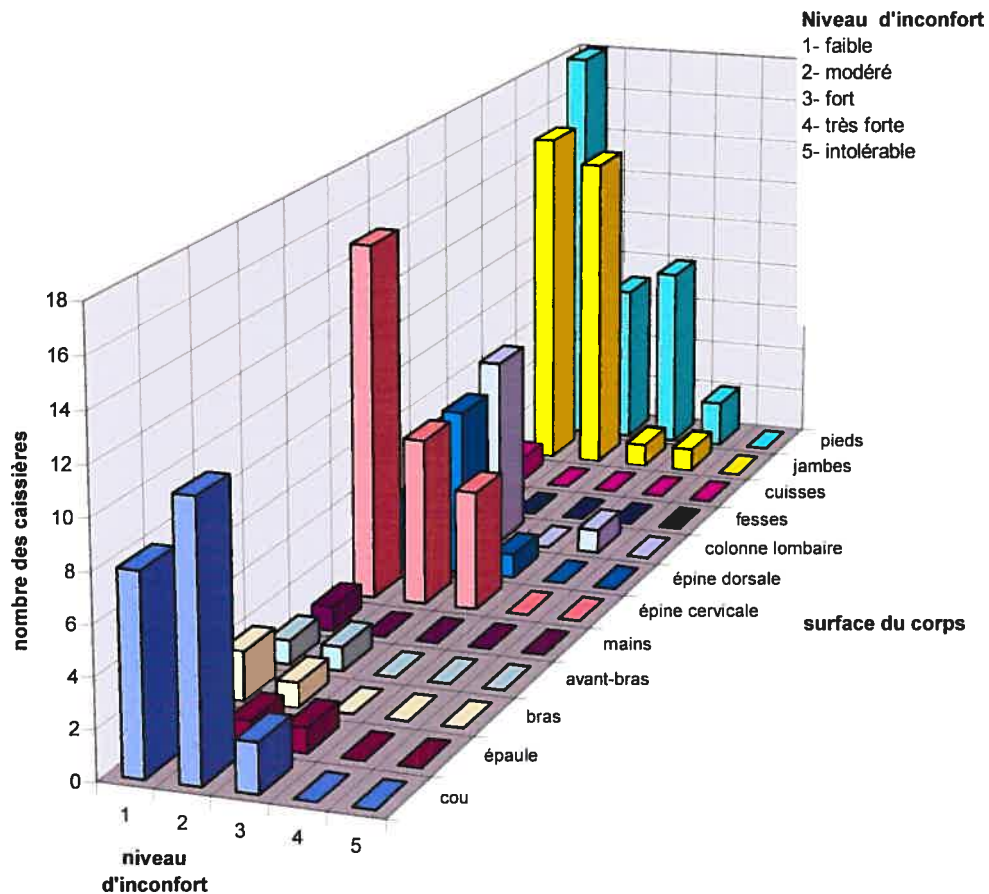


Figure 11.7 Évaluation avant l'utilisation de Move (traduction libre de l'auteur)

Source : *Ergonomic study on the Stokke MOVE chair*, INERMAP, Zaragoza, le 2 février 1998, p. 13.

Il est important de souligner que les analyses, effectuées dans cette étude, se réalisaient toujours en faisant une comparaison de la position assis et la position assis-debout, une situation différente de notre première étude de cas qui étudiaient les positions debout, assis et assis-debout. En même temps, les parties du corps, que le groupe INERMAP avaient établies comme des points intéressants à examiner avec la chaise *Move* (par exemple, les pieds et les jambes), sont des parties qui, au niveau de la première recherche, se situent en deuxième position (après les épaules, les bras et les avant-bras) selon l'ordre d'importance.

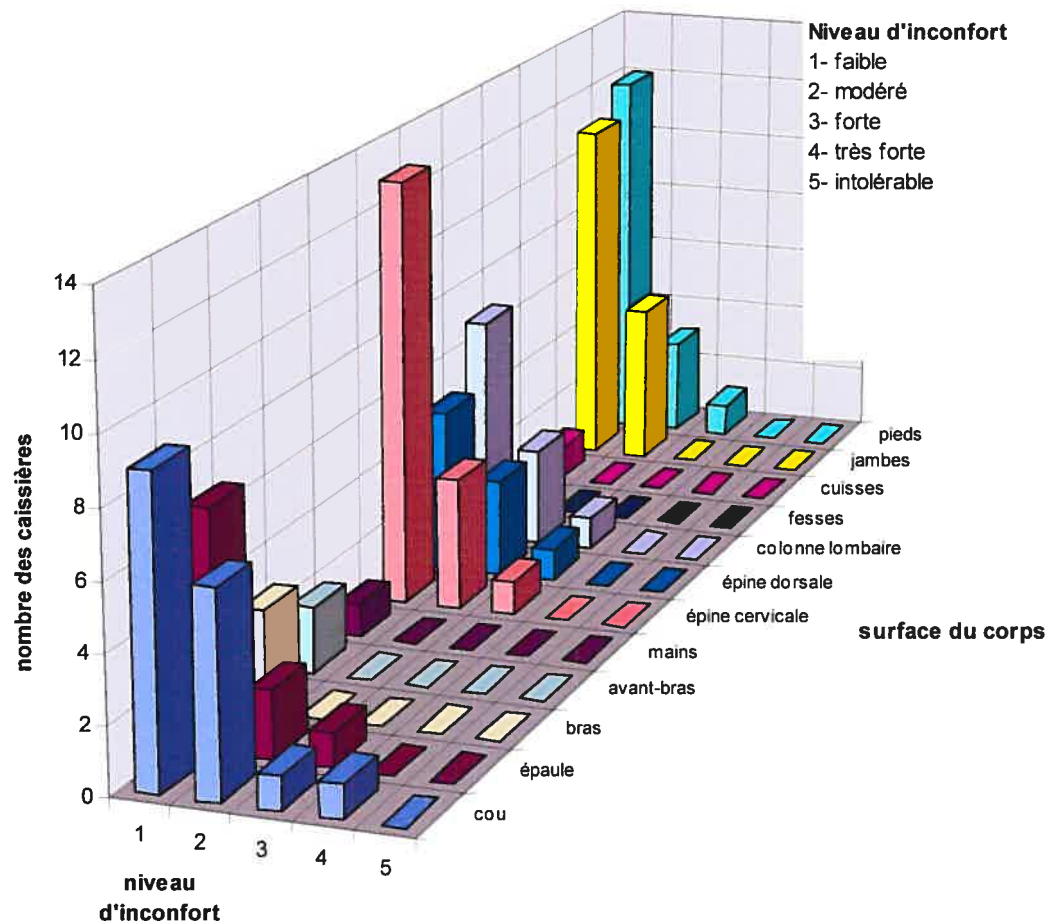


Figure 11.8 Évaluation après l'utilisation de Move (traduction libre de l'auteur)

Source : *Ergonomic study on the Stokke MOVE chair*, INERMAP, Zaragoza, le 2 février 1998, p. 13.

Les outils informatiques ont permis, dans une étude de laboratoire, d'établir le niveau de fatigue concernant les muscles, dans les deux exemples choisis. Cette étude démontre l'importance des outils informatiques, en ce qui concerne l'analyse ergonomique, notamment, pour arriver avec des données beaucoup plus fiables que des données établies visuellement par des ergonomes.

12.0 Étude de cas 4

12.1 Introduction

Scan des ombres sur des modèles humains pour l'analyse du confort d'un siège d'automobile.

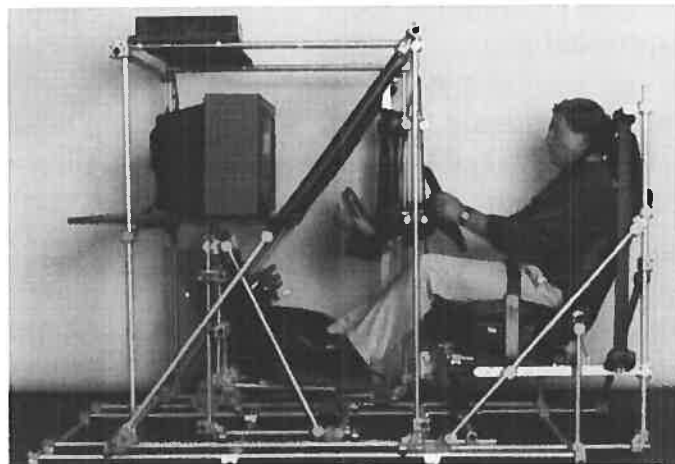
Le groupe de recherche SED⁹⁶, avec l'appui du programme européen *Brite-Euram*⁹⁷, s'intéresse au cycle de vie des sièges d'automobile.

Le but général est le développement d'une plate-forme d'ingénierie qui puisse supporter le développement d'un siège, incluant les objectifs de style, de qualité et de coût, tout en respectant les spécifications de sécurité, de confort, de recyclage, et la période nécessaire pour le marketing.

La technique du *scan des ombres* est utilisée pour capter les formes réelles du corps humain en contact avec les surfaces numériques des sièges d'automobile (voir figures 12.1 et 12.2); ces recherches, au niveau des postures et du confort, vise à améliorer le design de l'automobile.

Figure 12.1 *Expérience sur le siège à automobile.*

Source : Shadow-scanned Human Models for Car Seating Design
Article présenté à
l'International Conference on
Computer Aided Ergonomics and
Safety (CAES '99), Barcelone,
mai 1999, fourni par courriel par
le Dr. Keith Case⁹⁸.



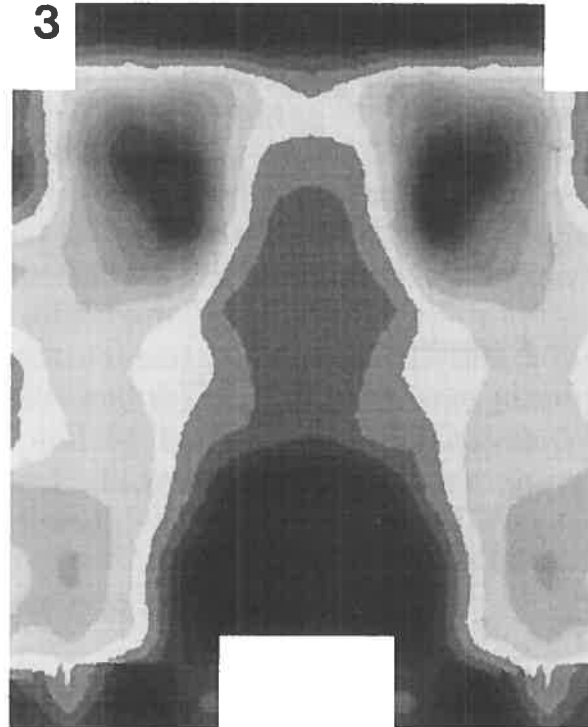
⁹⁶ Seat Evaluation and Design

⁹⁷ Le programme Brite (abréviation anglaise de « Recherche de base dans le secteur des technologies industrielles ») et Euram (abréviation anglaise de « Recherche européenne dans le secteur des matériaux de pointe ») donnent un support à l'industrie, au secteur académique et aux organisations pour la collaboration et la coopération concernant la recherche sur des sujets comme les matériaux, le design et les technologies de manufacture. En plus, le programme a un volet spécial dans les secteurs des transports (aéronautique, automobile, bateaux et trains).

⁹⁸ Professeur de CAE, Department of Manufacturing Engineering, Loughborough University.

Figure 12.2 *Distribution de la pression, déterminée expérimentalement, sur le siège d'automobile.*

Source : Shadow-scanned Human Models for Car Seating Design
Article présenté à
l'International Conference on
Computer Aided Ergonomics and
Safety (CAES '99), Barcelone,
mai 1999, fourni par courriel par le
Dr. Keith Case.



Parmi les entreprises et entités qui collaborent à ce type de recherche, notons les compagnies Fiat et Sièges Lear, ainsi que les universités de Berlin, Southampton et Loughborough.

Le confort des passagers est, en effet, un des points les plus importants dans le design d'une automobile. Le prix dépend, entre autres, du temps de conception, de la validation et de la vérification d'un projet comme celui-ci. Les outils informatiques deviennent une solution possible dans cette démarche, comme Tarzia et Bellanca le soulignent :

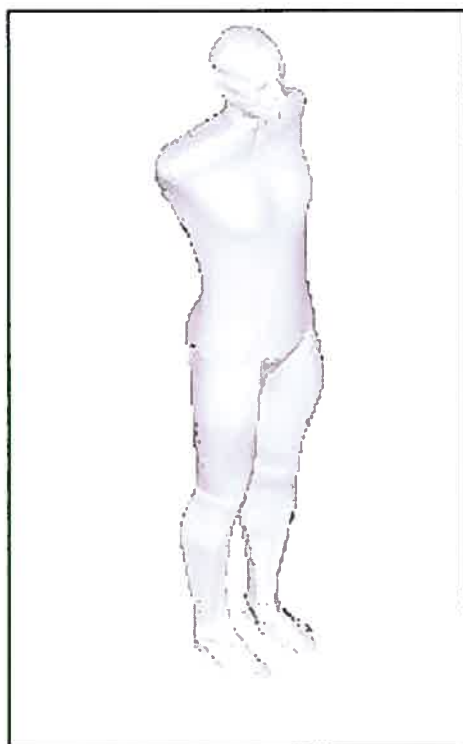
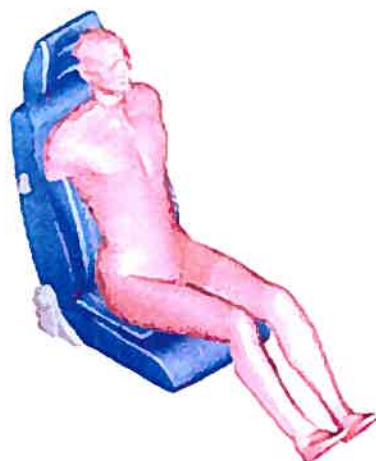
In order to bring the study of comfort (featuring a wide variety of behaviour) within the ever shorter times-to-market involved in car design, the number of variables involved must be streamlined and reduced. The reasons for this are clear: greater competitiveness on the market from the viewpoint of quality and time. Recent developments in the computer technology in the field of virtual reality can be used to reproduce the required conditions in a short time and a greatly reduced cost⁹⁹.

⁹⁹ Antonio Tarzia et Ivan Bellanca, « A methodology of evaluation of global postural comfort on a vehicle seat », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES '99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M. mai, 1999.

L'utilisation du logiciel Sammie a servi comme outil dans cette analyse, surtout pour permettre une prédiction des distributions de pression, ce qui permettra d'arriver à une méthode de contrôle du confort, grâce à l'analyse des déformations du siège au contact de l'humain. Tous ces paramètres ont besoin d'une représentation réaliste du corps humain, et, en même temps, d'être réalisés avec les sièges positionnés paramétriquement, pour laquelle le logiciel doit être en mesure d'accomplir les tâches demandées par les chercheurs (voir figure 12.3).

Figure 12.3 *Sièges d'automobile, avec le corps humain.*

Source : Shadow-scanned Human Models for Car Seating Design
Article présenté à l'International Conference on Computer Aided Ergonomics and Safety (CAES '99), Barcelone, mai 1999, fourni par courriel par le Dr. Keith Case.



L'hypothèse était qu'il existe une corrélation positive entre l'inconfort subjectif et les mesures objectives des niveaux et distributions de la pression dans le siège. Entre autres, ces mesures objectives pourront servir comme base des évaluations techniques avec un système CAD. Les effets de ce type d'analyse pourront influencer certainement la position de certains éléments par rapport au point de vue de l'utilisateur.

12.2 Analyse du cas

Les premières analyses ont démontré qu'il existe une relation importante entre la pression du siège et l'inconfort subjectif. Donc, la distribution de la pression du siège devient importante pour donner des paramètres de localisation au niveau de la conception. Ces paramètres ont été testés avec des êtres humains réels et des sièges réels; cependant, il existe un manque de flexibilité et de variabilité auquel la CAE peut pallier dans un environnement virtuel.

La plupart des logiciels de CAE, comme *Sammie*, ont des caractéristiques communes concernant la cinématique utilisée pour la simulation et l'évaluation des mécanismes pour les robots industriels. La conception de ces robots, tout comme celle des mannequins virtuels, doit tenir compte de certaines considérations telles que Launis *et al.*¹⁰⁰ le soulignent : « Sufficient indication of the surface of the body, indication of the joints to be moved, indication of the direction and magnitude of the movement, and the use of landmarks and reference lines to facilitate these have been considered. » Cela se manifeste avec des jonctions qui sont connectées par des liens rigides (qui sont, en même temps, des approximations des os). À cause de cette complexité des paramètres, une représentation 3D est, la plupart du temps, associée à l'utilisation des primitives géométriques pour donner une approximation symbolique de la figure humaine (voir figure 12.4).

¹⁰⁰ Martti Launis *et al.*, *op. cit.*

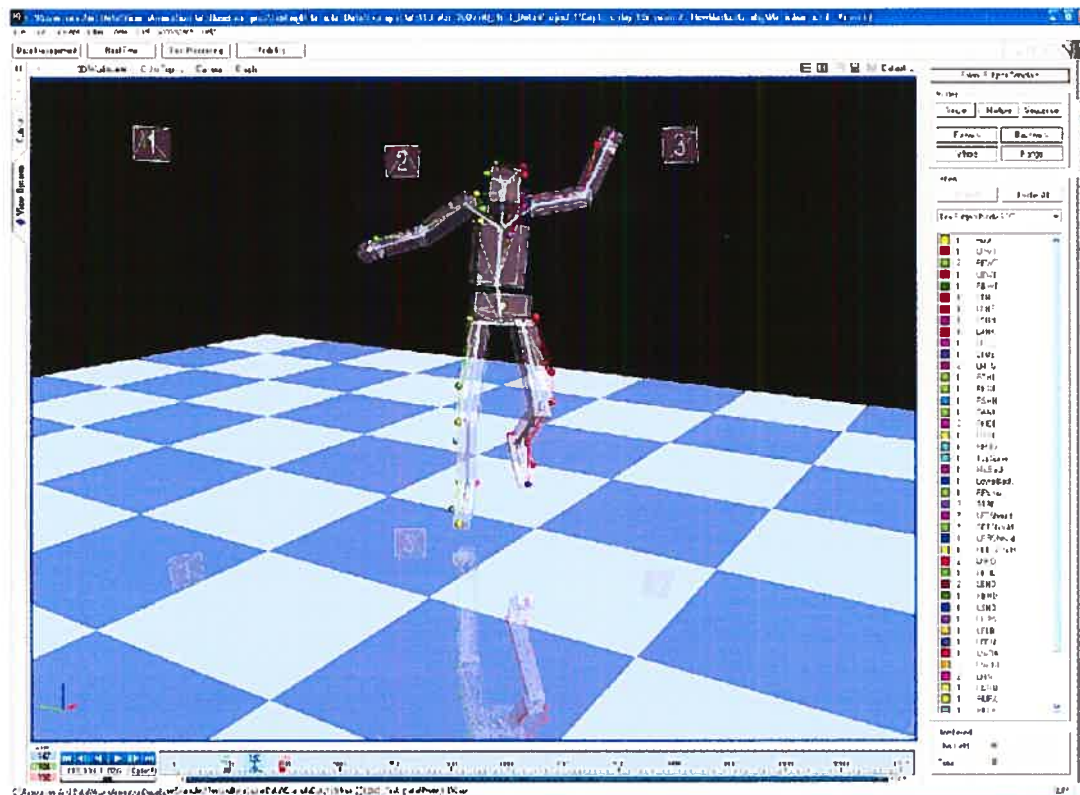
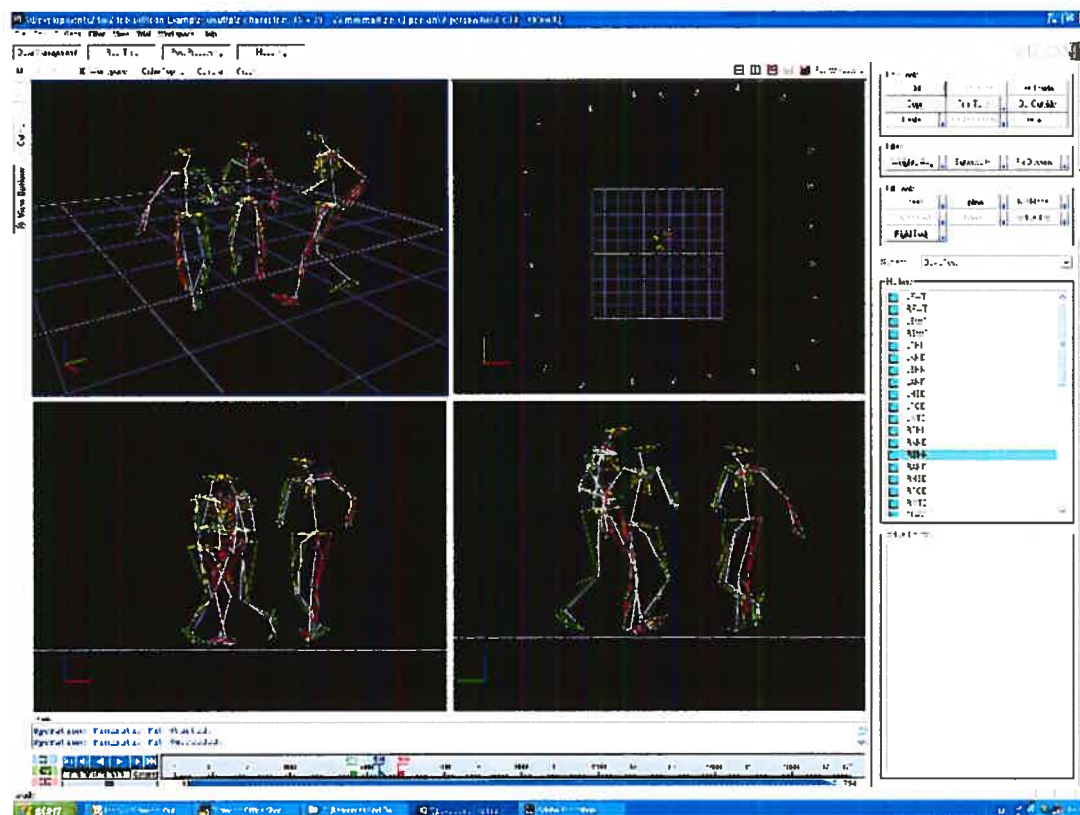


Figure 12.4 Approximation symbolique de la figure humaine

Source: <http://www.vicon.com/entertainment/index.shtml>



Cette représentation tridimensionnelle dépend toujours des objectifs du projet : par exemple, dans un projet effectué par les autorités s'occupant de l'environnement en Grande Bretagne, à propos des espaces publics pour les handicapés (espace physique, accessibilité, etc.) une des étapes essentielles de la recherche (les exigences spatiales pour les handicapés dans un stationnement) a nécessité l'utilisation du logiciel *Sammie*, pour démontrer les exigences autour de différents types de voitures, les contraintes des personnes avec différents types de handicaps, etc. (voir figures 12.5 et 12.6). Cet atout du système informatique est très distinctif dans les analyses au niveau des automobiles, selon Molina :

For complex studies (i.e. defining driving position) where more than one human dimension influences the result, we generate with human modeling software (corrected and influenced by practice experiments made in precedent vehicles) a virtual collective of users, representing the range of population to consider in the project¹⁰¹.

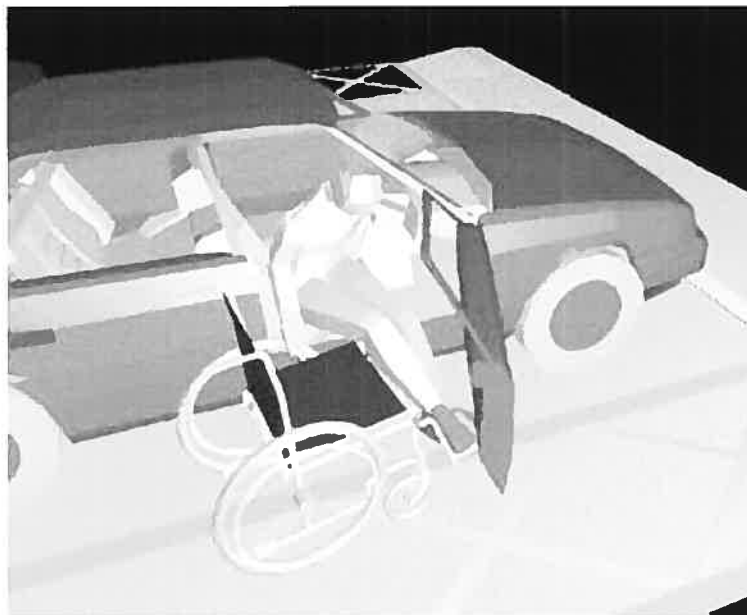


Figure 12.5 *Modélisation d'une automobile avec un mannequin représentant un handicapé*

Source : SAMMIE Consultancy : Design for Disability
http://www.lboro.ac.uk/departments/cd/docs_dandt/research/ergonomics/sammie/samgal.htm

¹⁰¹ Andrés Molina, « Ergonomic studies in the car design. Situation in SEAT S.A. », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES 99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M. mai, 1999.



Figure 12.6 *Analyse ergonomique avec un mannequin réel et avec un mannequin virtuel.*

Source : SAMMIE Consultancy: Design for Disability
http://www.lboro.ac.uk/departments/cd/docs_dandt/research/ergonomics/sammie/condis.htm

Cependant, dans ce type de recherche, la forme symbolique du corps humain est précise et adéquate. Par contre, dans la recherche du siège, cette forme sera inadéquate, car le corps humain est dans un contact proche, et il existe une interaction avec le siège.

Une des problématiques concerne les variables des formes du corps humain conjuguées avec les variables anthropométriques; la solution prise par le groupe de recherche est la numérisation du corps humain à l'aide d'un scan 3D.

Avec la technique LASS¹⁰² (figure 12.7), les chercheurs ont pu scanner le corps humain avec des coordonnées en 3D (plus ou moins 64 000 coordonnées), qui ont été traitées¹⁰³ pour accéder facilement à ces données (voir figure 12.8).

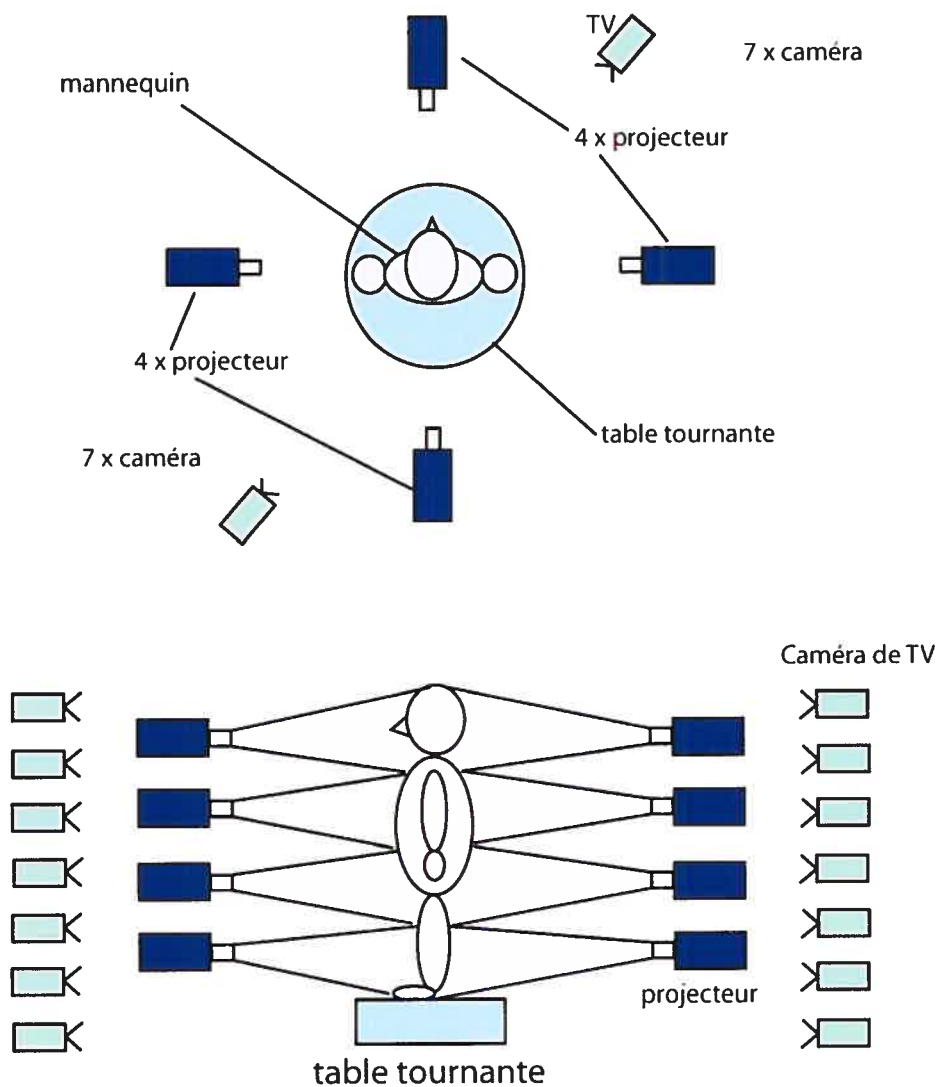


Figure 12.7 Technique du Scan de la figure humaine, utilisé à l'Université de Loughborough (dessin réalisé par l'auteur).

¹⁰² *Loughborough Anthropometric Shadow Scanner*, développé par HUMAG (*Human Measurements and Growth*). [En ligne], <http://www.lboro.ac.uk/departments/hu/groups/humag/humag-brochure.html> (Page consultée le 5 avril 2003).

¹⁰³ Le nombre de polygones des données numériques a été réduit sans perdre les variables anthropométriques, en arrivant à une diminution de 85 % des données numériques.

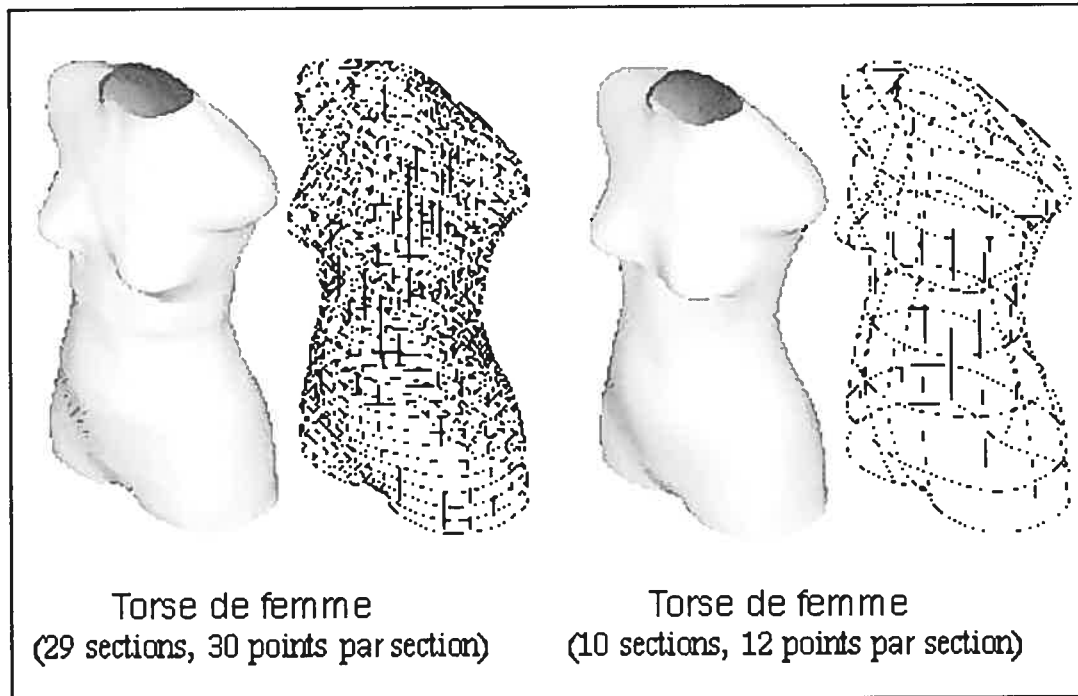


Figure 12.8 *Scan du torse de femme avec 29 sections et avec 10 sections*

Source : Shadow-scanned Human Models for Car Seating Design. Article présenté à l'International Conference on Computer Aided Ergonomics and Safety (CAES '99), Barcelone, mai 1999, fourni par courriel par le Dr. Keith Case.

Une image de synthèse de cette analyse est la figure 12.9 qui représente l'image numérique générée par le système informatique selon la distribution de la pression sur le siège. Avec une représentation paramétrique comme celle effectuée avec le torse de femme, les chercheurs pourront changer des paramètres anthropométriques au mannequin ou même au siège, et la pression générée sera une représentation très réelle de cette problématique.

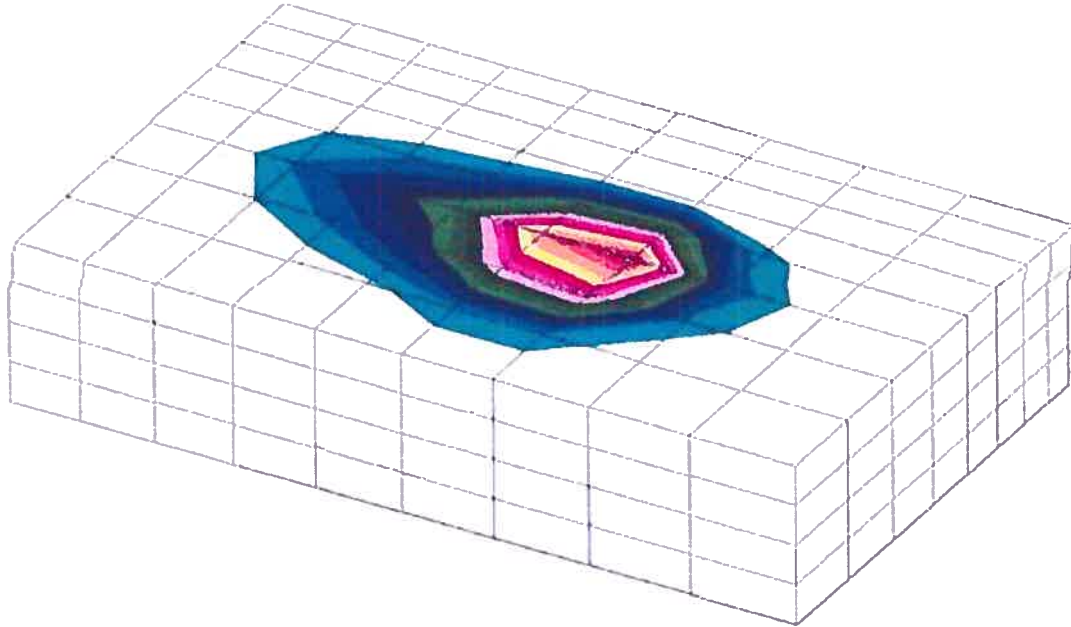


Figure 12.9 *Image numérique générée par le système informatique selon la distribution de la pression sur le siège.*

Source : Shadow-scanned Human Models for Car Seating Design Article présenté à l'International Conference on Computer Aided Ergonomics and Safety (CAES '99), Barcelone, mai 1999, fourni par courriel par le Dr. Keith Case.

12.3 Conclusion

Dans cette analyse, nous avons pu constater la force que peut donner un outil informatique dans un environnement virtuel. La puissance, que peut donner l'utilisation des mannequins virtuels pour des analyses ergonomiques, peut être établie selon les objectifs des projets : pour des études comme celle effectuée avec des handicapés, les variables de type réel (au niveau des formes humaines) sont moins importantes que dans un projet comme celui des sièges d'automobile, où les analystes observent la pression selon les formes humaines. Avec des formes humaines plus réalistes, au niveau des mannequins, le monde virtuel pourra améliorer la visualisation, mais aussi ouvrir une porte aux produits qui ont une interaction directe avec l'utilisateur, comme le cas du siège d'auto. D'après Case *et al.* :

Car seat evaluation is simply one example of an area where better representations of body shape are required, but there are many others. Any product that comes into direct contact with the body is a potential area of application of the technique – clothing, helmets, gloves and facemasks being typical examples. In other applications, visual realism of the human figure itself is of importance. This is reflected in current research proposals to investigate and provide for the needs of virtual reality systems in this respect.¹⁰⁴

La modélisation humaine a été effectuée au niveau des parties du corps qui étaient en contact direct avec le siège. Comme nous l'observons, au niveau du mannequin, il manque des parties du corps, comme les bras, et nous pouvons établir qu'ils ont étudié les effets des mouvements avec les bras (sur la puissance exercée dans le siège); cependant, il a fallu un travail de type informatique pour arriver à des mannequins plus simples à utiliser (par exemple le travail au niveau du torse de la femme). Selon leur démarche, il est évident que l'utilisation des outils informatiques de type CAO est fondamentale.

13.0 Bilan – Études de cas





Ces quatre études de cas nous ont montré différentes approches avec un seul but : établir des considérations, au niveau ergonomique, pour de possibles démarches de la part des ergonomes et des designers.

L'importance de chacune de ces études est leur constante préoccupation pour la nouvelle technologie (avec ses points forts et ses points faibles), et leur motivation pour aller chercher des réponses que, pour l'instant, ils n'ont pas reçues.

Nous avons réalisé un tableau qui montre des questionnements, au niveau de l'ergonomie, sur l'utilisation des outils informatiques, et ce, selon notre aperçu avec les différentes études de cas.

¹⁰⁴ Keith Case *et al.* « *Shadow-scanned Human Models for Car Seating Design* », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES '99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M. mai, 1999.

Tableau 13.1
Position selon les analyses ergonomiques avec ou sans
outil informatique (selon l'auteur)

Position des études de cas, dans les analyses ergonomiques avec/sans outil informatique				
1. Est-ce que ça serait laborieuse de développer des modèles 3D dans un environnement virtuel (CAO)?	●	●	● ●	● ●
2. Est-ce que le prix (CAE) est un facteur de non utilisation?	●	● ●	● ●	●
3. Est-ce qu'on peut arriver, avec la modélisation, aux prédictions des postures dans les analyses dynamiques?	●	●	●	●
4. Est-ce que ça serait avantageux pour les discussions en groupe?	●	●	●	●
5. Complexité des données	●	●	● ●	● ●
6. Les mannequins agiront comme dans la réalité?	●	●	● ●	●
7. Important pour la visualisation de population extrême (petites F ou grand M)	●	●	●	●
8. Problème d'objectivité avec les mannequins	●	● ●	●	● ●

oui ●
non ●

Le principal questionnement, au niveau de l'utilisation des outils informatiques, est lié au temps de réalisation et au budget nécessaire pour l'utilisation des outils informatiques (questions numéro 1 et 2); au niveau de la prédiction des postures, l'outil peut être perçue comme un assistant, mais dépendant de l'outil, le niveau des prédictions sera plus proche de la réalité. Dans les études de cas que nous avons exposées, leurs intérêts se situent, selon nous, dans les solutions qu'elles apportent pour résoudre les complexités des données et aider à la visualisation d'une population extrême. De même, dans toutes les études de cas, nous avons perçu un intérêt pour l'utilisation des mannequins et de leur visualisation.

CHAPITRE 3

Conclusion

14.0 Discussion

Nous nous sommes intéressé à l'implication d'un outil informatique, comme la CAO, dans les analyses ergonomiques en design industriel, vu l'évolution de la technologie dans les dernières années, son rôle dans le développement des nouveaux produits et son importance dans le processus de conception.

La qualité, le temps de production et le coût sont trois éléments qui, de plus en plus, demandent des solutions dans ce processus. Les personnes effectuant les analyses ergonomiques, faisant partie de ce processus, commencent de plus en plus à utiliser des outils informatiques comme la CAO. La modélisation des objets, des espaces de travail et des modèles humains, par exemple, rendent possible, dans certains cas, d'effectuer des analyses dans différentes étapes du design industriel. Les aspects ergonomiques constituent des étapes à franchir dans la conception d'un produit, dans lesquelles l'outil informatique devient un apport très important pour effectuer les analyses. Les maquettes de type ergonomique et les maquettes pour représenter le contexte, entre autres, peuvent commencer à être élaborées dans un monde virtuel. Il existe une variété de logiciels commerciaux, selon les différentes approches ergonomiques, qui fournissent des solutions graphiques et cinématiques tout autant que des simulations dynamiques, la plupart incorporant des mannequins avec différentes variables anthropométriques, de posture, etc. Ces mannequins sont employés dans des postes de travail ou des situations types; cependant ce cheminement fait face à des obstacles à différents niveaux comme, par exemple, dans la compatibilité des logiciels, le budget important pour l'acquisition des logiciels experts et la complexité dans la transmission des données.

La production des modèles tridimensionnels et du contexte, dans un logiciel de modélisation, peut prendre beaucoup de temps et de l'énergie, dépendant de la disponibilité de l'information. Cependant, une fois que ces données sont emmagasinées dans le système informatique, les chercheurs peuvent commencer à établir de nouvelles approches et solutions. Ces simulations ne peuvent pas donner toutes les réponses aux chercheurs à cause de la complexité des données pour représenter une activité; pour cette raison des modèles physiques continuent à faire partie du processus.

Dans notre recherche, l'analyse de la chaise assis-debout a servi comme prétexte pour montrer trois différentes études qui ont été réalisées avec plusieurs outils informatiques, et sur lesquelles nous nous sommes rendu compte des forces et des faiblesses de ce type de démarche. Une quatrième étude de cas complète notre comparaison.

La première étude de cas, établit l'absence de la CAO, avec une approche dite « traditionnelle », et donne des résultats satisfaisants du point de vue ergonomique (analyse des activités établies et justification des hypothèses) ; cependant, Laberge et Vézina laissent ouverte la porte à la CAO et, même, elles font référence à des obstacles dans leur démarche à cause d'un manque d'information visuelle de la chaise assis-debout dans le contexte de différents supermarchés.

Dans la deuxième étude de cas, il y a une approche à l'utilisation des outils informatiques, et il devient intéressant de démontrer la complexité que recèle la CAO avec les données anthropométriques. Même avec une utilisation discrète des outils informatiques (analyse en 2D, par exemple), le groupe de recherche a aussi établi l'importance des mannequins virtuels. Cependant, nous pouvons constater le besoin d'un monde 3D virtuel dans leur analyse, pour arriver à fournir des repères dans l'aménagement des postes pour caissières de supermarché.

Dans la troisième étude, la complexité des données anthropométriques (surtout au niveau de l'anthropométrie dynamique) a été traitée avec l'aide d'un outil

informatique, pour établir des hypothèses qui n'étaient pas possibles à démontrer avec une analyse ergonomique traditionnelle sans aucun moyen informatique.

Les résultats des analyses sont beaucoup plus fiables, au niveau des données biomécaniques, grâce aux outils informatiques utilisés.

Enfin, dans notre dernière étude de cas, l'analyse effectuée sur le siège d'automobile nous montre un exemple où les outils informatiques, la CAO et les mannequins virtuels, entre autres, deviennent fondamentaux dans une problématique liée à la diversité des utilisateurs et des situations. Le concept d'établir les éléments paramétriques donne une liberté dans le traitement de l'information, très important dans les analyses ergonomiques au niveau de données.

15.0 Conclusion et commentaires généraux

15.1 Conclusion

Les conclusions se présentent comme des réponses aux objectifs formulés au début de ce travail.

Les études de cas nous ont signalé différentes approches, en ce qui concerne les analyses ergonomiques, qui partagent un objectif commun : établir des considérations, dans ce domaine, pour de possibles démarches de la part des ergonomes et des designers.

Chacune de ces études comporte une préoccupation continue concernant l'application des nouvelles technologies comme outils d'aide aux analyses ergonomiques, afin de trouver des réponses aux problèmes rencontrés.

Le cadre théorique nous a aidé à approfondir les points importants à tenir compte dans le design industriel et sa relation avec une science comme l'ergonomie, de même que l'utilisation des outils informatiques et la CAO dans plusieurs étapes du processus de conception, en associant ce cadre théorique aux analyses effectuées dans les études de cas. De ce fait, nous nous sommes rendu compte des éléments importants à considérer en ce qui concerne l'utilisation des outils informatiques dans les analyses ergonomiques en design industriel.

Avant d'établir une démarche à suivre concernant les analyses ergonomiques, les personnes, qui sont impliquées dans ce type d'activités, doivent effectuer une démarche préliminaire en prenant en considération les outils informatiques qu'ils devront ou pourront utiliser, afin de comprendre et d'être en mesure d'affronter les avantages et les désavantages de l'utilisation de la CAO.

Il est nécessaire d'acquérir une connaissance approfondie de l'analyse ergonomique à effectuer, afin de pouvoir communiquer les besoins réels d'un projet et ainsi profiter des multiples avantages que nous apporte la CAO.

15.2 Commentaires généraux

Nous avons décortiqué le processus de design afin d'établir à quel niveau théorique est fait l'intégration des outils informatiques dans les analyses ergonomiques. Pour démontrer ce concept, nous avons analysé les études de cas sans outil informatique, celles effectuées dans un monde entièrement réel, et nous nous sommes rendu compte de certaines faiblesses pour arriver à une analyse ergonomique exhaustive. Également, la démarche de travailler avec des outils informatiques ne donne pas toujours les solutions attendues et, même, peut changer d'une manière inattendue la perspective du projet.

En effet, la modélisation humaine peut offrir des avantages au niveau des évaluations ergonomiques; cependant, cela peut comporter des risques que les analystes ne peuvent pas laisser de côté. Est-ce que les logiciels de simulation pourront un jour dicter les actions qui doivent être réalisées par les personnes dans un poste de travail, par exemple? En transformant les humains comme des robots?

Jusqu'où les personnes seront impliquées avec leurs produits ou leurs postes de travail? Surtout! Quand la modélisation pourra-t-elle accomplir suffisamment de tests avec des mannequins virtuels? Cependant, ces programmes offrent plusieurs bénéfices, comme Landau le remarque : « Using them (these softwares) should never lose sight of the basic ethical tenet of ergonomics - adaptation of work to the human being for the benefit of mankind¹⁰⁵. »

L'intégration de la CAO, dans le processus de design, doit s'effectuer pour résoudre des problèmes et pour être plus efficace dans les différentes étapes de la conception.

¹⁰⁵ Kurt Landau, *Introduction to the Man-Modelling Job Design Procedure*, Proceedings of the Fourth International Conference CAES 99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M.Mai, 1999.

Dans les analyses ergonomiques, nous avons constaté plusieurs problématiques liées aux démarches exposés traditionnellement, comme la complexité des données, la visualisation des utilisateurs pendant une activité donnée, etc. La CAO devient un outil extrêmement intéressant à utiliser pour les évaluations et les validations dans les analyses ergonomiques. Cependant, nous nous sommes rendus compte de l'importance d'un critère solide de l'intégration des analyses ergonomiques dans le processus de design afin d'établir quels éléments de la CAO pourraient profiter aux concepteurs.

16.0 Pistes à suivre

Les résultats des analyses, exposées dans notre recherche, nous orientent vers des pistes à suivre pour des recherches postérieures.

Les possibles solutions aux désavantages d'utiliser ce type de logiciels, dits experts, sont d'établir des démarches à suivre pour faire des simulations avec les logiciels commerciaux courants, comme l'établissent Chaffin et Larue dans leurs recherches.

D'un autre côté, selon notre définition du designer industriel, qui doit concevoir des solutions pour le monde réel, les simulations entièrement virtuelles sont de plus en plus utilisées; cependant, il existe un mouvement de personnes qui se sont dissociées de cette idée, mais elles ne sont pas contre la CAO et la CAE, par exemple. Ces chercheurs cherchent à approfondir différentes solutions pour réaliser ce type de simulations; ils exposent plusieurs méthodes, se situant, entre autres, dans la réalité virtuelle et les mondes hybrides. Ce type d'analyses, avec ses outils, profite de la technologie, tout en établissant un lien direct avec la réalité, ce qui pourra être une approche future des analyses ergonomiques en design industriel.

BIBLIOGRAPHIE

- ALVAREZ, J., A. M. ALFONSO LÓPEZ, P. GOENAGA, R. HUESO CALVO.
« Ergonomics Study on the Stokke Move Chair », Zaragoza, INERMAP, 1998.
- BENEDYK, R. et S. MINISTER. *Evaluation of product safety using the Besafe method*, London, Ergonomics and HCI Unit, University College, 1998.
- BIMAN, D. « Recent Developments in computerized anthropometric measurements of the three-dimensional maximum reach envelope », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES 99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M., mai 1999.
- BONNEY, M. « Human Models for Computer Aided Workplace Design and Evaluation », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES 99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M., mai 1999.
- BUZZELL, P. R. et C. BLACK. *Ergonomie. Notes de cours*, Université de Montréal, Faculté de l'aménagement, École de design industriel, Montréal, 1995.
- CASE, K., D. E. GYI, J. M. PORTER, D. C. XIAO. « Shadow-scanned human models for car seating design », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES 99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M., mai 1999.
- CHAFFIN, D. B. « On simulating Human Reach Motions for Ergonomics Analyses », *Proceedings of the International Conference on Computer-Aided Ergonomics and Safety CAES 2001*, Maui, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Das, B.; Mattila, M., 2001.
- CHRYSSOLOURIS, G., D. FRAGOS, V. KARABATSOU, D. MAVRIKIOS, D. MOURTZIS, I. SARRIS, « A virtual Reality Based Approach for the verification of human related factors in assembly and maintenance processes », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES 99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M., mai 1999.
- DE PAOLI, G. « Une nouvelle approche d'aide à la conception par ordinateur en architecture basée sur la modélisation d'opérateurs sémantiques et la création de maquettes procédurales », thèse de doctorat, Université de Montréal, Faculté de l'aménagement, Montréal, 1999.
- DE PAOLI, G. et P. PELLISSIER. *Dessin d'architecture par ordinateur*, Québec, Éditions Berger, 1992.

- DONG, W. et K. GIBSON. *Computer visualization and integrated approach for interior design and architecture*, New York, McGraw Hill, 1998.
- DORFLES, G. *Design Industriel*, Barcelone, Salvat, coll. « Histoire de l'art », 1976.
- DORTA, T. « Réalité virtuelle, visualisation et processus de conception », Université de Montréal, Faculté de l'aménagement, Mémoire M.Sc., 1994.
- DORTA, T. « *L'influence de la RV non immersive comme outil de visualisation sur le processus de design* », thèse de doctorat, Université de Montréal, Faculté de l'aménagement, Montréal, 2001.
- ERBUG, C. « Use of computers to teach ergonomics to designers », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES 99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M., mai 1999.
- FIELD, P. C. *Design of the 20th Century*, Cologne, Taschen, 2001.
- GILBERT, D., C. LARUE et D. GIGUÈRE. *Équipement informatique : pour bien réussir l'aménagement de son auto-patrouille*, Montréal, APSAM, 1997.
- GOUTAL, L. « Ergonomics Assessment for aircraft cockpit using the virtual mock-up », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES 99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M., mai 1999.
- GUILLAUME, P., *La psychologie de la forme*, Paris, Flammarion, 1937.
- KARWOWSKI, W. « Ergonomics or the Human Factors in our Workplaces », *Revue de la Société colombienne d'ergonomie*, n° 11 (juillet-septembre), 2000.
- LABERGE, M. « Étude ergonomique du poste de caissière d'un supermarché: l'utilisation d'un banc assis-debout », mémoire présenté comme exigence de la maîtrise en biologie, Université du Québec à Montréal, octobre 1997.
- LABERGE, M. et N. VÉZINA. « Un banc assis-debout pour les caissières. Une solution pour réduire les contraintes de la position debout? », *Travail et santé*, vol. 14, n° 2 (juin), 1998.
- LANDAU, K. « Introduction to the Man-Modelling Job Design Procedure », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES 99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M., mai 1999.

- LARUE, C., S. BEAUGRAND, M. BELLEMARE, « Integration, into a design process, of simulation centered on work activities : case study of two Molten Metal transporters », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES 99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M., mai, 1999.
- LAUNIS, M., P. R. M. JONES, R. ÖRTENGREN, « A European and International Standard on the anthropometric characteristics of computer manikins and body templates », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES 99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M., mai 1999.
- LEBAHAR, J. C., *Éléments de design industriel*, Paris, Hermès, 1987.
- LOBACH, B., *Industrial Design*, Munich, GG Editorial, 1976.
- LOVESEY, E. J., University of Surrey, membre de The Ergonomic Society (The Ergonomics Society, 2000), dans Stuart Levey, *Information Systems Honours Research Project*, Londres, Rhodes University, Department of Information Systems.
- MÄÄTTÄ, L., R. KUIVANEN, S. P. LEINO, J. VIITANIEMI, « Exploiting Virtual Reality in work place and work process design », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES 99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M., mai 1999.
- MOLINA, A. « Ergonomic studies in the car design. Situation in SEAT S.A. », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES 99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M., mai 1999.
- POWELL, D. *Designing Dreams Machines*, Royaume-Uni 1995, Documentaire pour la BBC, 1995.
- QUARANTE, D. *Éléments de design industriel*, Paris, Maloine S.A, 1984.
- RODRIGUEZ AÑEZ, C. R., *Antropometria na ergonomia*, dans Cahier de Dissertations en Ergonomie, Professeur Dr. José Luiz Fonseca da Silva Filho – cours Introduction à l'ergonomie.[En ligne], http://www.eps.ufsc.br/ergon/revista/artigos/Antro_na_Ergo.PDF, (Page consultée pendant mars 2002).
- SCHAEFER, H. « Les origines du design moderne », *Design # 5* (avril-numéro spécial), 1981.

- STANTON, N. *Human Factors in Consumer Products*, Southampton, Taylor & Francis Publication, 1998.
- STEWART, L., « Microcomputer applications in human factors research », dans W. Karwowski, A. M. Genaidy et S. S. Asfour (éds), *Computer aided ergonomics*, London, Taylor et Francis, 1990.
- SUNDIN, A., M. CHRISTMANSSON, R. ÖRTENGREN, H. SJÖBERG, « A participatory approach to use computer manikin in the development of assembly processes ». *Proceedings of the Fourth International Conference CAES 99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M., mai 1999.
- TARQUINO, L. M. « Aspects généraux de l'anthropométrie et de sa situation actuelle en Colombie », Université de Montréal, Faculté de l'aménagement, Mémoire M.Sc., 1992.
- TARZIA, A. et I. BELLANCA. « A methodology of evaluation of global postural comfort on a vehicle Seat », *Proceedings of the Fourth International Conference CAES 99 on Computer-Aided Ergonomics and Safety*, Barcelone, Karwowski, W.; Mondelo, P.; Mattila, M., mai 1999.
- TAWFIK, L. et A. M. CHAUVEL. *Administración de la producción*, Mexico, McGraw-Hill, 1992.
- VÉZINA, N. et J. COURVILLE. « *Le travail debout: étude ergonomique du poste de caissière d'un supermarché. Montréal : Groupe de recherche-action en biologie du travail CINBIOSE* », Montréal, UQAM, 1989.
- VÉZINA, N. et L. Geoffrion, A. Lajoie, C. Chatigny, K. Messing et J. Courville. « *Les contraintes du poste de caissière de supermarché et l'essai de banc assis-debout.* », Rapport présenté à l'IRSST, Montréal, 1993.
- YEN-WEN CHENG, N. « Linking the Virtual to Reality : CAD & Physical Modeling ». *Proceedings of the Sixth International Conference on CAAD Futures*, Singapore, The Global Design Studio, Milton Tan et Robert The, 1995.
- ZEVI, B. *Apprendre à voir l'architecture*, Paris, Les éditions de Minuit, 1959.

SITES WEB

Cad Digest, [En ligne],
http://www.caddigest.com/subjects/solidworks/select/cadcamnet_catia.htm, (Page consultée le 5 avril 2003).

Ergoweb, [En ligne],
<http://www.ergoweb.com/resources/faq/history.cfm>, (Page consultée pendant juillet 2002).

ICSID, [En ligne],
<http://www.icsid.org/iddefinition.html> (Page consultée le 10 mars 2003).

Information du logiciel Autocad, [En ligne],
<http://www.autodesk.com>, (Page consultée le 5 avril 2003).

Information du logiciel Drawing Board 1.0, [En ligne],
<http://www.elitesoft.com/web/hvacr/DrawingBoard.htm> (Page consultée le 20 février 2003).

Information du logiciel Envision-Ergo, [En ligne],
http://www.manningaffordability.com/S&tweb/HEResource/Tool/Shrtdesc/Sh_ENVI.htm
(Page consultée le 20 mars 2003).

Information du logiciel Jack, [En ligne],
http://www.cis.upenn.edu/~hms/jack/flyer_510.html#get_510 (Page consultée le 20 mars 2003).

Information du logiciel Mannequin, [En ligne],
<http://www.nexgenergo.com/ergonomics/mqpro.html> (Page consultée le 20 février 2003).

Information du logiciel MDHMS, [En ligne],
http://www.manningaffordability.com/S&tweb/HEResource/Tool/Detdesc/Det_MDHMS.htm
(Page consultée le 20 mars 2003).

Information du logiciel QuarkXpress, [En ligne],
http://www.quark.com/products/xpress/overview_xpress.html (Page consultée le 20 février 2003).

Information du logiciel RAMSIS, [En ligne],
<http://www.human-solutions.com/> (Page consultée le 20 mars 2003).

Information du logiciel ROBCAD/MAN, [En ligne],
<http://www.tecnomatix.com/showpage.asp?page=555> (Page consultée le 20 mars 2003).

Information du logiciel Safework, [En ligne],
<http://www.safework.com/> (Page consultée le 20 mars 2003).

Information du logiciel Sammie, [En ligne],
http://www.lboro.ac.uk/departments/cd/docs_dandt/research/ergonomics/sammie/home.htm
(Page consultée le 20 mars 2003).

Information du système VICON, [En ligne],
www.vicon.com (Page consultée le 22 mars 2003).

Jean-Luc Godard, [En ligne],
<http://www.collaboration.org/centers/goldenchain/Magazine/gc14/Talkshop.html> (Page
consultée pendant le mois de septembre 2002).

Loughborough Anthropometric Shadow Scanner, [En ligne],
<http://www.lboro.ac.uk/departments/hu/groups/humag/humag-brochure.html> (Page consultée
le 5 avril 2003).

Stokke, [En ligne],
www.stokke.com. (Page consultée le 20 mars 2003).

The Ergonomics Society, [En ligne],
<http://www.ergonomics.org.uk/ergonomics/definition.htm>, (Page consultée pendant Mai
2002).