



Département de formation doctorale en
Instrumentation et Analyses Avancées

« Contribution à la modélisation et à la simulation de vêtements sur mannequin adaptatif »

THESE

Soutenue le 10 juillet 2008,
Présentée en vue de l'obtention du titre de

Docteur de l'Université des Sciences et Technologies de Lille I
(Spécialité Instrumentation et Analyses Avancées)

par

SERWATKA Agnieszka

Composition du jury

<i>Président :</i>	Prof. S. MAOUCHE
<i>Rapporteurs :</i>	Prof. D.ADOLPHE Prof. A.GHENAÏM
<i>Examineurs :</i>	Prof. P.BRUNIAUX Prof. I.FRYDRYCH Prof. S.MAOUCHE Prof. J.KRYSINSKI Prof. Z.KOZŁOWSKI Pro. M.PAWŁOWA

Laboratoire GENie et Materiaux TEXtiles

AVANT PROPOS

Un rapport de projet n'est jamais un produit unique de la personne dont le nom apparaît sur la couverture, beaucoup de gens ont donné de l'assistance technique et de nombreux services.

D'abord je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Monsieur le **Professeur Pascal BRUNIAUX**, dont les conseils ont été très précieux tout au long de l'étude dans le cadre du développement de modèle de vêtement en 3D. Il était mon mentor et ma source principale de conseils techniques. Son expertise dans le domaine était l'essence pour le succès du projet. C'était une occasion étonnante de travailler sous un guide comme lui.

J'exprime aussi ma profonde gratitude à Monsieur le **Professeur Vladan KONCAR**, ces précieux conseils dans le cadre de l'automatique, plus précisément sur la mise en place de la méthode des algorithmes génétiques, m'ont beaucoup aidé pour le dernier chapitre de mon mémoire de thèse. J'ai fortement apprécié son calme et sa patience lors de nos entretiens scientifiques.

Que Madame le **Professeur Iwona FRYDRYCH** trouve ici l'expression ma profonde reconnaissance pour son soutien tout au long de cette thèse, de l'intérêt qu'elle a bien voulu porter à notre travail et pour accepter de le juger.

Tous mes remerciements à mes deux rapporteurs, Messieurs les professeurs **Dominique ADOLPHE** et **Abdellah GHENAIM** qui ont eu la gentillesse de bien vouloir juger mon document de thèse.

Nous sommes très touchées par la présence de Messieurs les **professeurs Jan KRYSINSKI** et **Salah MAOUCHE** d'avoir accepté de libérer un moment de leur temps très précieux pour venir me soutenir lors de la présentation de mes travaux.

Nous remercions très vivement Mesdames le professeur **Zbigniew KOZLOWSKI** et le **Docteur Habilité Maria PAWLOWA** de s'être déplacé de si loin pour venir me juger et m'encourager dans cette phase finale de thèse.

Nous exprimons également notre sympathie au **Dr. Thomassey Sébastien** qui nous a conseillé dans le domaine de " la personnalisation de masse", nous a aidé au niveau technique et donné son autorisation pour utiliser ses images virtuelles dans le cas des expérimentations.

Enfin, nous remercions tous les membres et techniciens du laboratoire GEMTEX,, qui m'ont encouragé tout au long de ces quatre années de thèse.

Table des matières

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	5
----------------------------	---

CHAPITRE 1

MODÉLISATION DU CONCEPT DE CRÉATION DE VÊTEMENT.....	9
--	---

I INTRODUCTION	9
II MODÉLISATION DU CORPS HUMAIN	10
II.1 ANALYSE MORPHOLOGIQUE DU CORPS HUMAIN.....	11
II.2 TECHNIQUE DE MESURE DU CORPS HUMAIN	19
II.2.1 Différents moyens de mesure	19
Mesure traditionnelle.....	21
Mesure numérique 3D.....	22
II.2.2 Numérisation du corps 3D et post traitement des avatars.....	29
Numérisation 3D	29
Post traitement des données	31
II.3 DÉFINITION DU MODÈLE MORPHOTYPE NON ADAPTATIF	33
II.4 DÉFINITION DU MODÈLE MORPHOTYPE ADAPTATIF	42
II.5 ANALYSE ANTHROPOMÉTRIQUE.....	47
II.5.1 Les paramètres morphologiques :	47
II.5.2 Les paramètres dimensionnels:	49
II.5.3 Distribution devant/arrière.....	52
II.6 MASS CUSTOMISATION.....	52
III MODÉLISATION DU VÊTEMENT	61
III.1 APPROCHES GLOBALES	62
III.2 INTERFACE DE MISE À PLAT 3D 2D.....	68
III.3 MODÈLE D'AISANCE.....	72
III.4 MODÈLE DE VÊTEMENT POUR L'ESSAYAGE VIRTUEL.....	79
IV CONCLUSION	83

CHAPITRE 2

MODÉLISATION DU CORPS HUMAIN.....	84
-----------------------------------	----

I INTRODUCTION [92].....	84
II MODÈLE ADAPTATIF D'UN CORPS HUMAIN	86
II.1 MODÉLISATION DU BUSTE ET DES JAMBES	90
II.2 MODÉLISATION DES BRAS	95
III RÉSULTATS ET CONCLUSION	98

CHAPITRE 3

MODÉLISATION DU VÊTEMENT ET DE L'INTERFACE HOMME/VÊTEMENT	99
---	----

I INTRODUCTION	99
II MODÈLE DU VÊTEMENT POUR LE PRÊT À PORTER.....	100
II.1 MODÈLE D'AISANCE 2D	102
II.2 MODÈLE DE VÊTEMENT 3D	105
II.3 PROCÉDURE DE VALIDATION STATIQUE DU VÊTEMENT	109
II.4 PROCÉDURE DE VALIDATION QUASI-STATIQUE DU VÊTEMENT	112
II.5 PROCÉDURE DE VALIDATION DYNAMIQUE DU VÊTEMENT	113

II.6	RÉSULTATS DE SIMULATION CONCLUSION	117
III	MODÈLE DU VÊTEMENT POUR LA MASS CUSTOMISATION	118
III.1	DÉFINITION DE LA SYMÉTRIE ET DE L'ASYMÉTRIE DU CORPS HUMAIN	118
III.2	ANALYSE DE L'ASYMÉTRIE DU CORPS [7]	119
III.3	IMPORTANCE DU BIEN ALLER	121
III.4	DES PATRONAGES INDUSTRIELS 2D AUX PATRONAGES PERSONNALISÉS	123
III.5	MODÈLE D'AISSANCE 3D	125
III.6	MODÈLE DE VÊTEMENT 3D	128
III.7	PROCÉDURE DE VALIDATION STATIQUE DU VÊTEMENT	130
III.8	PROCÉDURE DE VALIDATION DYNAMIQUE DU VÊTEMENT	131
III.9	ETUDE APPROFONDIE DE L'AISSANCE 3D PAR TRAITEMENT D'IMAGES	132
III.9.1	<i>Conception d'aisance spatiale</i>	132
III.9.2	<i>Description du processus</i>	133
III.9.3	<i>Calcul de la distance spatiale entre le bras et la manche par traitement d'image</i>	136
III.9.4	<i>Optimisation du nombre de longueurs d'aisance pour chaque section</i>	139
III.9.5	<i>Validation du résultat en mode dynamique</i>	145
IV	CONCLUSION	145
CHAPITRE 4		
MODÉLISATION ET IDENTIFICATION D'UN NOUVEAU MODÈLE DE TRACTION DE TISSU PAR ALGORITHME GÉNÉTIQUE		146
I	LA MODÉLISATION	146
II	IDENTIFICATION PAR L'OPTIMISATION PARAMÉTRIQUE [95]	148
II.1	MÉTHODES DÉTERMINISTES	148
II.2	MÉTHODES NON-DÉTERMINISTES	149
III	MÉTHODE DES ALGORITHMES GÉNÉTIQUES [96]	149
III.1	DÉFINITION ET TERMINOLOGIE	150
III.2	FONCTIONNEMENT DES ALGORITHMES GÉNÉTIQUES	150
III.3	REPRÉSENTATION DE LA SOLUTION	151
III.4	FONCTIONS DE SÉLECTION	152
III.5	OPÉRATEURS GÉNÉTIQUES	153
	Initialisation, Arrêt et Fonctions d'Evaluation	155
IV	MODÉLISATION DE TISSU – APPROCHE GLOBALE	156
IV.1	MODÈLE GLOBAL	156
IV.2	COMPORTEMENT BI AXIAL	157
V	STRATÉGIE D'IDENTIFICATION	159
V.1	MÉTHODE D'IDENTIFICATION DIRECTE	160
V.2	MÉTHODE D'IDENTIFICATION INDIRECTE	163
VI	CONCLUSION	167
	CONCLUSION GÉNÉRALE	168
	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	172

INTRODUCTION GENERALE

L'ouvrage décrit un nouveau concept de développement de modèle de vêtements dans un environnement 3D entièrement numérique. La génération des patronages est le point de départ de la confection des vêtements, ce qui est généralement effectuée par une modéliste hautement qualifiée. Dans le schéma traditionnel de la génération manuelle de patronage, la méthode de mesures anthropométriques du corps, exigeant beaucoup de temps et de savoir-faire, est un élément fondamental à la modéliste pour une conception précise des patronages. Jusqu'à maintenant, le processus de création était validé par de nombreux ajustements précis et répétitifs lors de l'étape de drapage sur un mannequin en bois ou réel, laquelle nécessitait le savoir-faire manuel d'experts. Ainsi, selon les différents niveaux de compétences et les modifications du modèle inévitablement subjectives, définies par les critères d'évaluation des modélistes, cette procédure peut prendre alors un temps considérable pour être satisfaisante.

Toutefois, le raccourcissement de la période de développement des produits de l'habillement est devenu l'un des facteurs les plus prioritaires dans l'actuelle tendance à la fabrication diversifiée de petits lots de production. Un long processus peut être un obstacle à l'avancement du vêtement industriel. Une demande toujours croissante de l'unicité et de développement de produit rapide pour la réduction des temps de réactivité a conduit à l'élaboration de nouveaux logiciels et matériels pour ces récents marchés en vogue.

Cette étude peut être considérée comme un nouveau concept méthodologique accessible à n'importe quel utilisateur qui vise à développer un vêtement ajusté en 3D et adapté à l'industrie. Dans ce contexte, nous avons travaillé sur les différents segments du corps d'un sujet masculin ou féminin, c'est-à-dire le torse et les membres supérieurs (bras) et inférieurs (jambes). Les vêtements de base (pantalon, chemise) mis en place peuvent être employés universellement pour concevoir d'autres modèles appelés variante du modèle de base. L'opportunité de l'adapter automatiquement en fonction de la personne ou de son environnement par des paramètres techniques judicieusement choisis à partir d'un modèle d'aisance dynamique conduit à élargir le concept de création à d'autres catégories de vêtements d'une autre classe, mais de segmentation identique (classification des vêtements gilets, vestes, pardessus...).

Cette ouverture technologique est encore plus fascinante dans le domaine de la personnalisation de masse car ce processus est non seulement rapide mais extrêmement précis. L'élaboration et les essais virtuels des modèles sont effectués en continu sur différentes plateformes de logiciel ne présentant pas de problème d'importation de données.

Mais l'étude basée sur le développement de méthodologie trouve son originalité par l'aspect adaptatif du processus.

Une autre partie intéressante de l'étude se situe dans la technique utilisée pour définir la valeur des paramètres spatiaux du modèle d'aisance dans cet environnement 3D. Elle s'appuie sur l'analyse et le traitement d'images de l'écart entre le corps et le vêtement, données essentielles des travaux à optimiser pour respecter la notion de bien aller du vêtement. Une évolution stratégique des paramètres a permis de l'adapter au concept de création de vêtement. Trois méthodes ont été testées pour calculer l'aisance spatiale lors d'une phase statique d'essayage. Elles s'appuient sur les mesures obtenues à partir d'un modèle inverse de conception de vêtement.

L'ouvrage est organisé de la manière suivante :

Le chapitre 1 présente l'état de l'art dans le domaine de la modélisation et de la simulation numérique des mannequins, ainsi que des vêtements dans un environnement virtuel 3D. Pour modéliser le mannequin numérique 3D, il est nécessaire d'élargir ces connaissances de la morphologie humaines afin de définir les points anthropométriques utiles au secteur qui nous concerne c'est-à-dire l'habillement. Ce travail, exposé en début de chapitre, nous a amené à rechercher le moyen de mesure le plus adapté à la capture 3D du corps humain car la rapidité, la précision et l'exhaustivité des données recueillies par cette prise de mesures sont des critères importants pour la suite de l'étude. Deux modèles de corps humains sont mis à l'étude. Le modèle morphotype adaptatif a pour objectif de reproduire la morphologie de la personne mesurée quelque soit la taille souhaitée issue des tables de mensuration. La notion de morphotype est omniprésente et nécessaire pour atteindre un résultat cohérent avec les besoins de l'industrie du prêt-à-porter. Le bilan de la campagne de mensuration française oriente les développements vers cette nouvelle stratégie. Le second est moins contraignant, sauf sur la précision, car il doit être l'image parfaite du corps mesurée ramenée dans un environnement de modélisation surfacique 3D. Il est dédié au secteur de la mass customisation (sur mesure).

L'autre partie importante de ce chapitre est la modélisation du vêtement. L'objectif a été de définir une structure de développement en fonction des besoins réels de l'industrie. C'est à partir d'une étude bibliographique relativement récente que nous avons défini notre stratégie de développement. Nombreux scientifiques travaillent en aval du processus de création de vêtement en développant l'essayage virtuel. Cette notion est présentée en début de chapitre si l'on observe uniquement les résultats de la communauté scientifique et en fin de chapitre si le point d'observation est uniquement industriel. Cet état de l'art montre que peu de chercheurs

travaillent en amont du processus de création qui est de créer directement le vêtement sur un modèle de corps humain 3D, ce qu'on nomme aussi "le tailleur numérique". Le premier point stratégique dans ce contexte d'étude que nous présentons est que le modèle d'aisance doit nécessairement intégrer le modèle de vêtement de manière associative. Ces paramètres définissent des notions prioritaires que sont le porter, le bien-aller du produit. Le second point est que le passage entre la 3D et la 2D, appelé mis à plat des patronages 3D en 2D, doit être associatif, précis et doit prendre en compte les déformations de la matière réel.

Le chapitre 2 concerne la modélisation du corps humain en le définissant en tant que modèle morphotype adaptatif. Une brève introduction présente le modèle global du concept. La méthode de création est ensuite détaillée étape par étape en commençant par la création du buste et des jambes. L'entrejambe a été un problème difficile à résoudre de part le manque d'information dans cette zone cachée pendant la phase de numérisation, ce qui nous conduit à extrapoler cette zone en fonction des éléments surfaciques connexes. Ensuite, une des grandes difficultés de ce sujet a été de mettre en place les membres supérieurs à cause de leur mobilité en fonction de l'évolution du buste, et de définir le dessous du bras qui est aussi une zone cachée dont la surface est très complexe à développer précisément. Malgré ces difficultés, les résultats montrent que nous suivons correctement la morphologie du corps scanné suite à des variations exagérées des paramètres liés à l'évolution de la taille.

Le chapitre 3 complète l'étude de la modélisation du mannequin par la modélisation du vêtement. Un schéma conceptuel montre la vision globale du modèle qui intègre sa validation par différentes boucles de retour définissant différents degrés de conformité. Les deux types de modèle sont proposés en fonction du secteur d'activité. Le modèle conçu pour le secteur du prêt-à-porter s'appuie sur les contours morphologiques du mannequin morphotype adaptatif. Il permet d'obtenir les patronages en fonction de la taille choisie, le processus de gradation est donc automatique. Le modèle destiné à la mass customisation montre qu'un paramétrage adapté, affiné du modèle d'aisance permet de travailler dans le sur mesure et d'améliorer le porter et bien aller du vêtement. Mais quelque soit la voie choisie, le chapitre montre par sa structure que la validation des modèles suivent trois étapes consécutives qui passent par : la comparaison en mode statique des patronages à plat par rapport aux méthodes traditionnelles, l'étude de la déformation des surfaces du vêtement pour contrôler le moulage du vêtement sur le corps humain, le test d'essayage virtuel pour vérifier l'état dynamique ou de drapé du produit.

Le dernier chapitre représente notre contribution à la mise en place d'une méthode d'identification adaptée à un nouveau modèle de traction MIMO. Ce modèle fait partie

intégrante du modèle de tissu que l'on retrouve dans la plupart des logiciels d'essayage virtuel industriel présentés en fin de premier chapitre. Les techniques à base d'algorithmes génétiques sont adaptées à notre problème étant donné le nombre important de paramètres à identifier.

Chapitre 1 :

Modélisation du concept de création de vêtement

I Introduction

Le corps humain est de loin l'un des sujets les plus intrigants et les plus explorés depuis des âges lointains jusqu'à des âges d'avenir. Avant de concevoir un vêtement adapté pour le corps humain, une connaissance étroite de sa morphologie et sa dynamique est nécessaire pour respecter avec succès le style final. Le corps humain se compose de la tête, du cou, du torse, des deux bras et deux jambes. La taille moyenne d'un humain adulte est environ 1.6 m (5 à 6 pieds). Cette taille est en grande partie programmée génétiquement. Le type de corps et sa composition sont influencées par des facteurs post-natals comme le régime ou l'exercice physique.

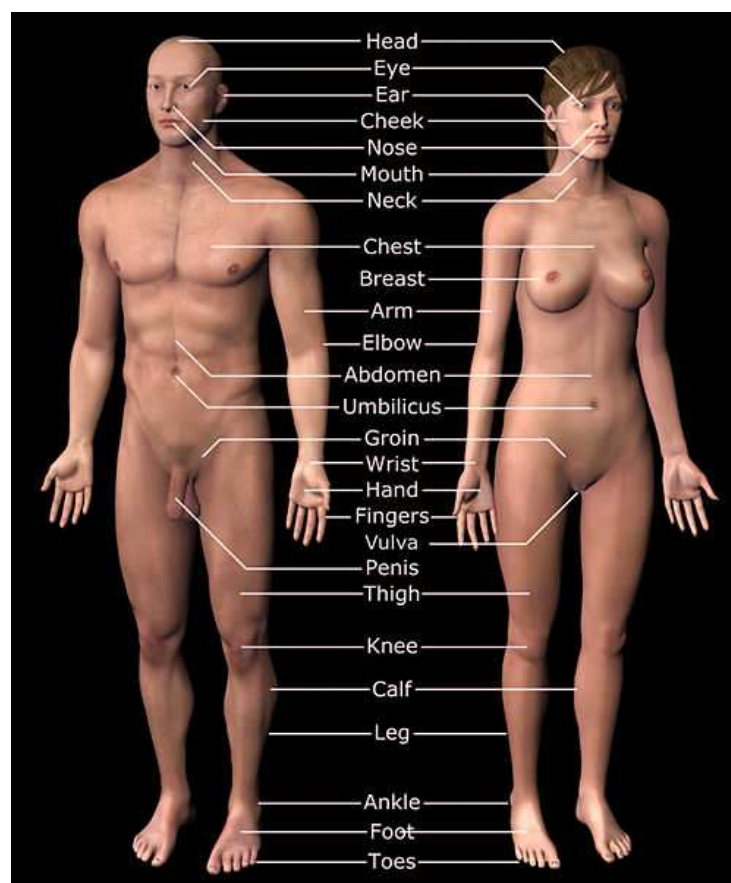


Figure 1. Les différentes parties du corps humain masculin et féminin

Caractériser les variations de la forme de corps humain est fondamentalement important pour beaucoup d'applications s'étendant de l'animation au style de produit. Notre étude se porte à la fois sur le développement d'un produit pour la partie supérieure, c'est à dire le torse de l'homme, et d'un produit pour la partie inférieure, le pantalon. Différentes technologies de balayage 3D permet de numériser les différentes surfaces composant le corps humain pour un grand nombre de personne, fournissant des informations beaucoup plus riches sur la forme du corps que les mesures anthropométriques traditionnelles. Ces technologies fournissent la possibilité d'extraire de nouvelles mesures relatives à la forme de corps.

II Modélisation du corps humain

La vie qui s'accélère de plus en plus, avec la nécessité de changement rapide, provoque un bouleversement dans le domaine « proche » de notre corps et du vêtement qui l'habille. Pour répondre rapidement aux besoins des clients en habillement guidés par la mode, il est nécessaire d'accélérer le processus de production de vêtements. Depuis les années 70, on peut voir une évolution croissante dans le domaine de la CAO de production de vêtements. Même si dans cette période les industriels se sont concentrés sur l'amélioration de la conception des patronages grâce à l'utilisation de l'informatique, leur cible reste toujours la même – « satisfaire les clients ». Avec l'essor industriel dans le domaine de l'informatique qui s'étend jusqu'à nos foyers familiaux, la modélisation du corps humain est devenue possible et même exigée par les nouvelles perceptions du shopping, c'est à dire le e-commerce. Pourquoi ne pas changer la vision d'un nouveau client qui ferait ses achats chez lui devant son ordinateur, aux risques d'acquérir un vêtement mal taillé. Pour cela, une connaissance de la morphologie humaine est prioritaire. L'anthropométrie, issue de l'anthropologie, se rapportant à la mesure des individus humains, est la science qui permet de comprendre l'évolution ou la variation physique du corps. Aujourd'hui, l'anthropométrie joue un rôle de plus en plus important dans le design industriel, le design du vêtement, l'ergonomie, et l'architecture, où les données statistiques provenant de la distribution des dimensions du corps dans la population sont employées pour optimiser les produits. Les changements du style de vie, la nutrition et la composition ethnique des populations mènent à des modifications de cette distribution (par exemple : l'épidémie d'obésité), et exigent une mise à jour plus régulière des collectes de données anthropométriques. L'objectif de notre étude étant d'adapter le processus de la création de vêtement afin de l'orienter vers un environnement 3D adapté à notre temps, il est alors primordial de commencer à définir exactement les divers points anthropométriques utiles à ce nouveau concept.

II.1 Analyse morphologique du corps humain

Ce paragraphe consacré à l'étude du corps humain nécessite d'introduire quelques notions de bases liées à la morphologie du corps humain. Il ne faut pas oublier que la conception de patronages de vêtements a du être précédée de la connaissance du corps humain avec ses traits caractéristiques et ses proportions liées à la nature (féminine et masculine). La notion morphologie, qui analyse la forme ainsi que la physique d'un individu, concerne les êtres humains aussi bien que la flore et la faune. La discipline nommée anthropologie (d'origine grecque "ánthros" – l'être humain, "logos" – la science) présente l'ensemble des études sur l'être humain dont les différents aspects de son existence prenant en compte son évolution, sa formation généalogique, la différenciation de sa race. Afin que l'analyse du corps humain soit plus efficace en textile-habillement, les industriels se sont servis d'anthropométrie représentant la branche anthropologique qui contient les méthodes de mesure spécifiques à l'être humain. La mesure d'un corps humain ainsi que l'analyse de la position de points anthropométriques sont aussi très utilisées dans d'autres disciplines telles que la criminologie, la médecine ou les applications d'ingénierie.

La première étape de l'étude est de définir les 3 principaux plans utilisés dans l'anthropométrie qui partitionnent le corps humain présentés sur la Figure 2 c'est-à-dire :

- Le plan xy sagittal médian qui sépare le corps symétriquement en 2 parties (la moitié droite et la moitié gauche) passant par les rachis cervicaux et le milieu de sternum.
- Le plan vv frontal médian passant par l'axe longitudinal du corps perpendiculairement au plan frontal et qui sectionne le corps en avant et arrière.
- Le plan TT transversal médian qui passe horizontalement par la taille et perpendiculaire aux plans frontal et sagittal. Ce plan distingue le corps humain en 2 parties supérieure et inférieure.

Les intersections de ces plans permettent de définir les 3 axes du repère cartésien d'un corps humain dont :

- L'axe vertical conçu par l'intersection des plans frontal et sagittal
- L'axe transversal par l'intersection des plans frontal et transversal
- L'axe sagittal par l'intersection des plans sagittal et transversal

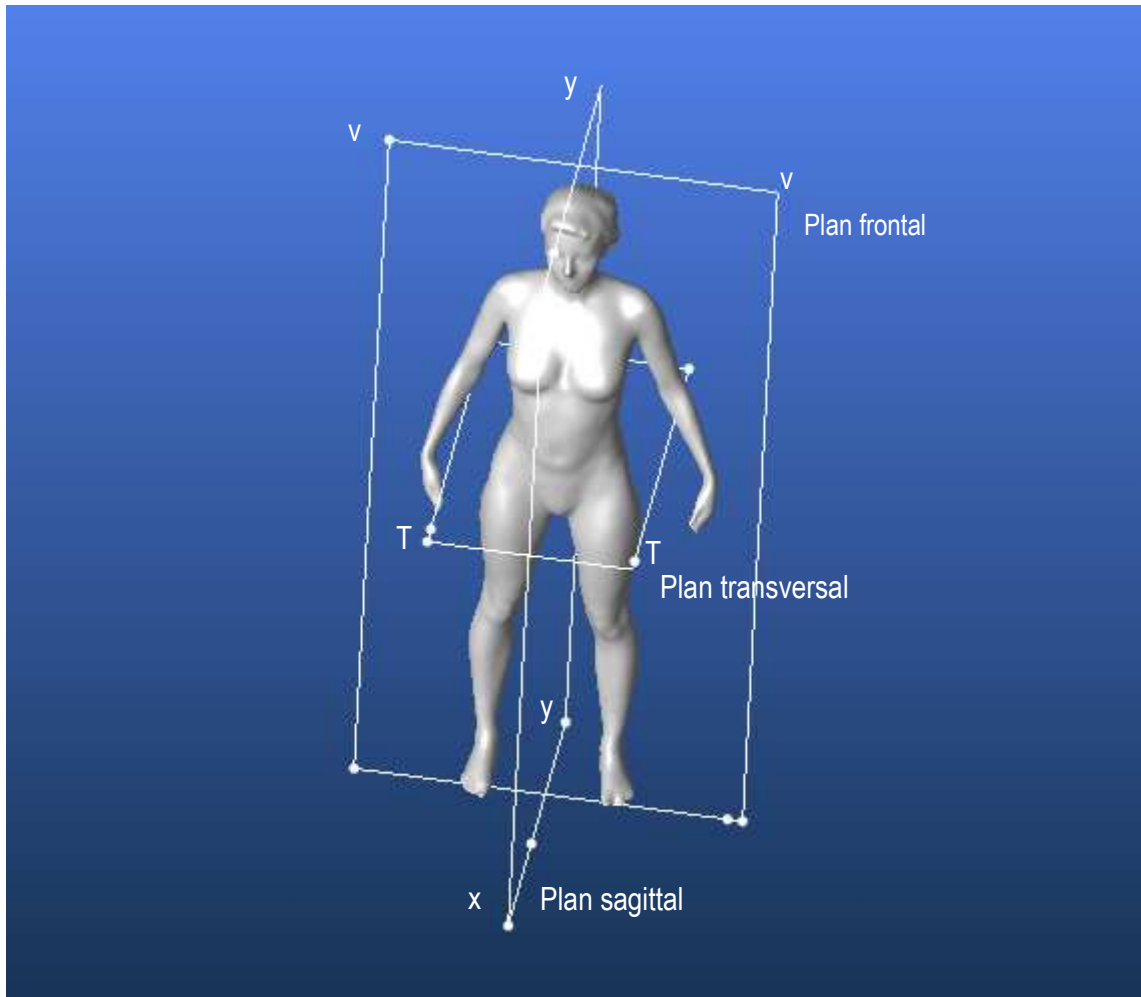


Figure 2.

Les principaux plans du corps humain

Ensuite, la norme polonaise [1] peut servir de base à la définition de la position des différentes lignes et contours du corps humain utilisés pour la préparation des dossiers techniques de l'habillement et la prise de mesures anthropométriques (Figure 3). Elle distingue :

1. y - ligne médiane postérieure passant verticalement au long du rachis cervical
2. v - ligne latérale du corps passant par les points situés le plus latéralement sur le corps humain
3. x - ligne médiane antérieure passant verticalement par le milieu de sternum
4. l - ligne d'aisselle antérieure passant verticalement par le creux d'aisselle du devant
5. c - ligne d'aisselle postérieure passant verticalement par le creux d'aisselle du dos
6. S - tour de cou passant sur le devant au dessus du bas du creux du cou et sur le dos au dessus de la 7^{ème} vertèbre cervicale
7. R - tour d'épaules passant par les acromions
8. P - tour d'aisselle passant au dessous des aisselles
9. X - tour de poitrine passant horizontalement par les mamelons

10. T - tour de taille (niveau de la ceinture) passant horizontalement par la partie la plus petite fine du tronc.
11. M - tour de hanches passant horizontalement par les bords supérieurs des crêtes iliaques
12. B - tour de bassin passant horizontalement par la plus grande convexité des fesses
13. U - tour de cuisse passant horizontalement autour de la cuisse à la hauteur du creux des fesses
14. K - tour de genou passant horizontalement par les bords supérieurs des tibias
15. H - tour de cheville passant horizontalement à la hauteur de la malléole
16. N - tour de poignet passant tout près au dessous d'os de radius et d'ulna.
17. D - tour de main passant par les racines des métacarpes.

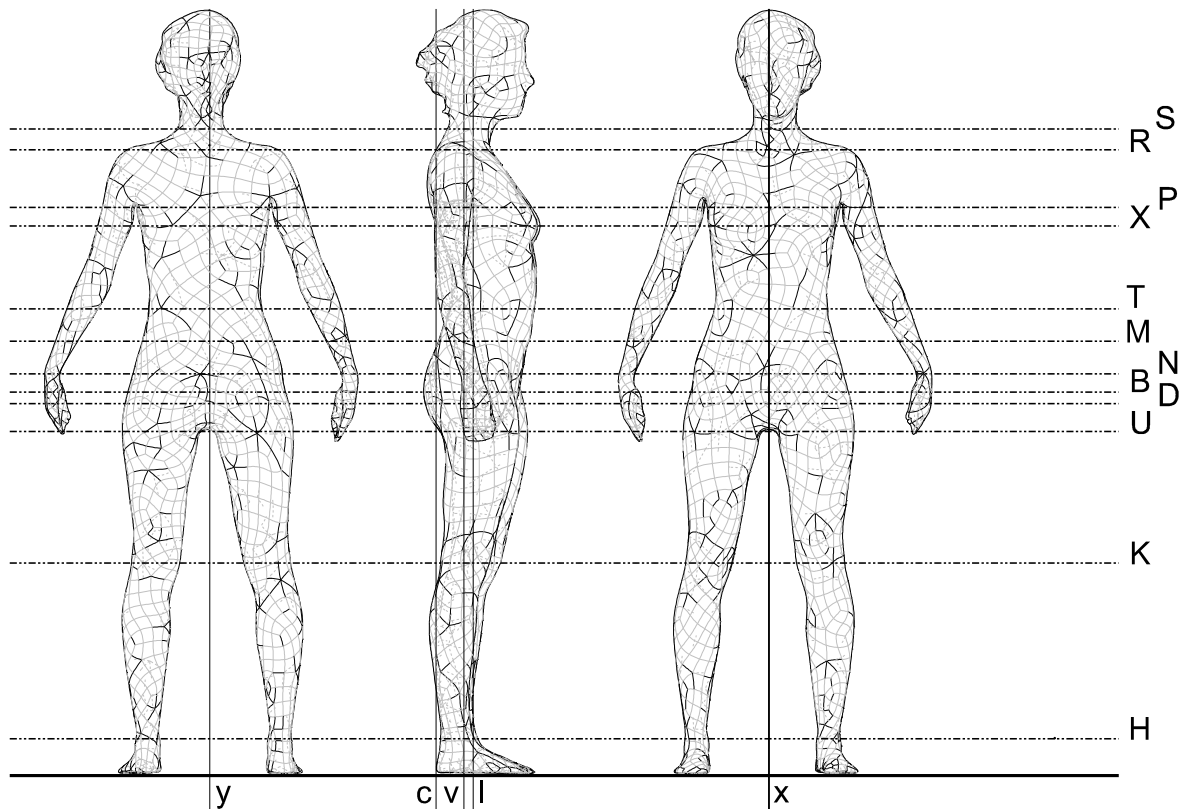


Figure 3. Position des différentes lignes et contours du corps humain

Cette norme spécifique à l'habillement [1] désigne aussi les points anthropométriques du corps humain mentionnés sur les Figure 4 et Figure 5 :

1. W_o – point du sommet, situé au sommet de la tête
2. S_y – point de la nuque, situé sur la 7^{ème} vertèbre cervicale
3. S_v – point du cou latéral, situé sur le point de la naissance du cou placé le plus latéralement.

4. S_x – point du cou antérieur, situé au dessus du creux du cou sur la ligne médiane antérieure
5. R_v – point de l'épaule, situé sur l'acromion
6. Y_t – point de la scapula situé sur la plus grande convexité de la scapula (d'omoplate).
7. P_y – point de l'aisselle médian postérieur, situé à l'intersection du tour d'aisselle et de la ligne médiane postérieure
8. P_c – point de l'aisselle postérieur, situé à l'entaille d'aisselle sur le dos
9. P_v – point de l'épaule latéral, situé à l'endroit le plus latéralement éloigné sur la ligne d'aisselle
10. P_l – point de l'aisselle antérieur, situé à l'entaille d'aisselle sur le devant.
11. X_p – point du mamelon, situé sur mamelon
12. X_c – point du mamelon postéro latéral, situé à l'intersection du tour de poitrine et de la ligne d'aisselle postérieure
13. X_l – point du mamelon latéral, situé à l'intersection du tour de poitrine et de la ligne d'aisselle antérieure
14. X_x – point de l'entre-sein, situé à l'intersection de la ligne médiane antérieure et du tour de poitrine.
15. T_y – point de la taille postérieure, situé à l'intersection du tour de taille et de la ligne médiane postérieure
16. T_v – point de la taille latérale, situé à l'endroit le plus latéralement éloigné sur le tour de taille
17. T_x – point de la taille antérieure, situé à l'intersection du tour de taille et de la ligne médiane antérieure
18. T_x – point de la taille dessous poitrine, qui représente une projection du point du mamelon sur le tour de taille
19. R_{lv} – point du coude latéral, situé à la hauteur du coude latéralement
20. R_{lx} – point du coude antérieur, situé à la hauteur du coude antérieurement
21. N_y – point du poignet postérieur, situé sur la partie la plus basse de l'ulna
22. N_y – point du poignet latéral, situé sur la partie la plus basse du radius latéralement
23. N_y – point du poignet antérieur, situé sur la partie la plus basse du radius
24. M_v – point du bassin, situé au bord supérieur de la crête iliaque sur la ligne latérale
25. B_{tx} – point du ventre, situé sur la plus grande convexité du ventre sur la ligne médiane antérieure

- 26. B_y – point de la hanche postérieure, situé à l'intersection du tour de bassin et de la ligne médiane postérieure
- 27. B_v – point de la hanche latérale, situé à l'endroit le plus latéralement éloigné sur le tour de bassin
- 28. B_x – point de la hanche antérieure, situé à l'intersection du tour de bassin et de la ligne médiane antérieure
- 29. U_o – point du périnée, situé à l'endroit supérieur du périnée.
- 30. U_v – point du creux des fesses, situé au milieu du creux des fesses
- 31. K_o – point du genou antérieur, situé sur le devant au niveau du tour de genou à l'intérieur
- 32. K_y – point du genou postérieur, situé sur le tour de genou postérieurement
- 33. K_v – point du genou latéral, situé sur le tour de genou latéralement
- 34. K_x – point du genou antérieur, situé sur le tour de genou antérieurement
- 35. L_y – point du mollet, situé à la plus grande convexité de mollet
- 36. H_o – point de la cheville antérieur, situé sur le devant au niveau du tour de cheville à l'intérieur
- 37. K_y – point de la cheville postérieur, situé sur le tour de cheville postérieurement
- 38. K_v – point de la cheville latéral, situé sur le tour de cheville latéralement
- 39. K_x – point de la cheville antérieur, situé sur le tour de cheville antérieurement
- 40. Z_y – point du talon, situé sur la plus grande convexité de la bosse de talon
- 41. Z_x – point de l'orteil, situé au sommet de l'orteil.

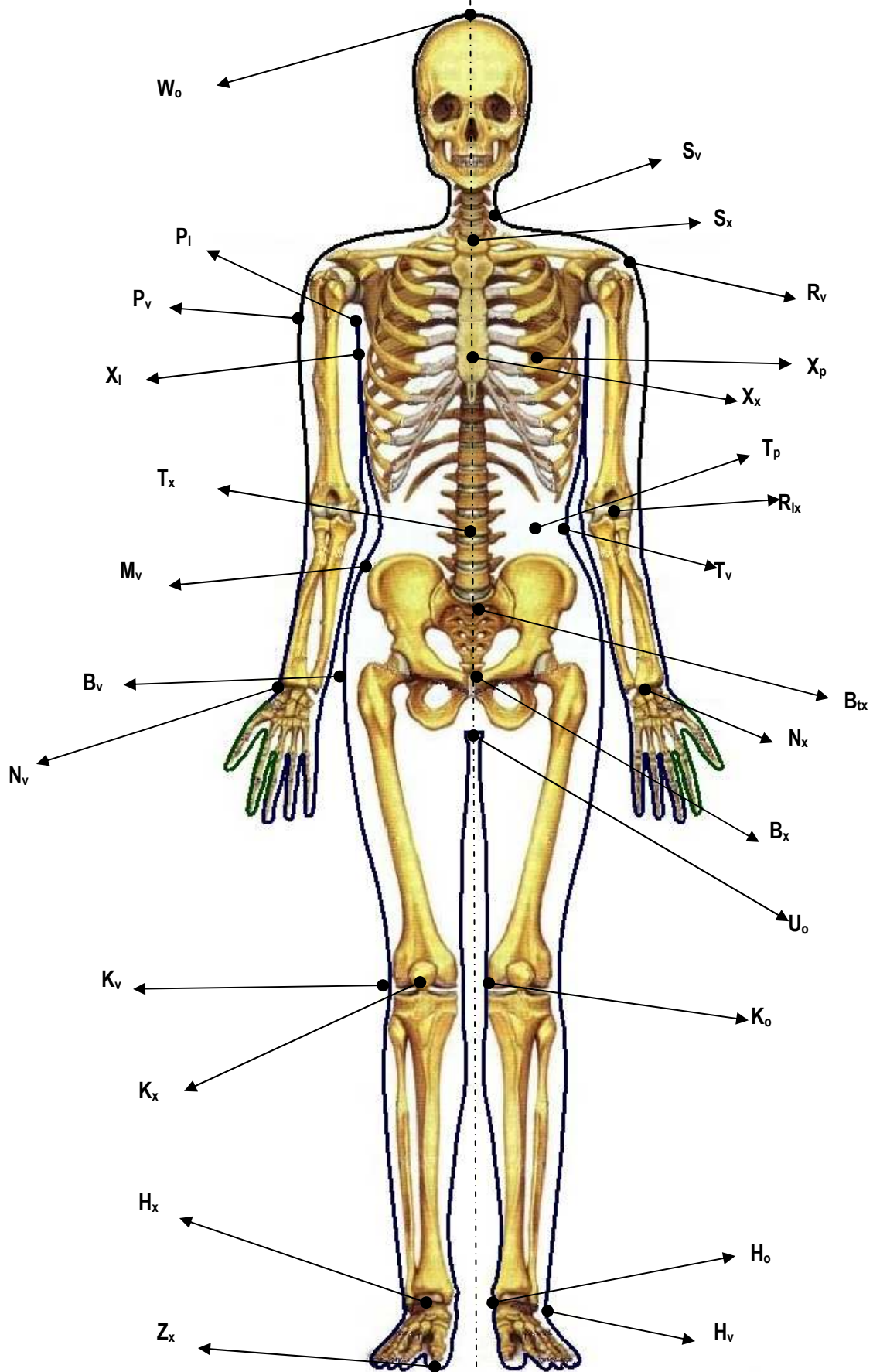


Figure 4.

Points anthropométriques antérieurs d'un corps humain

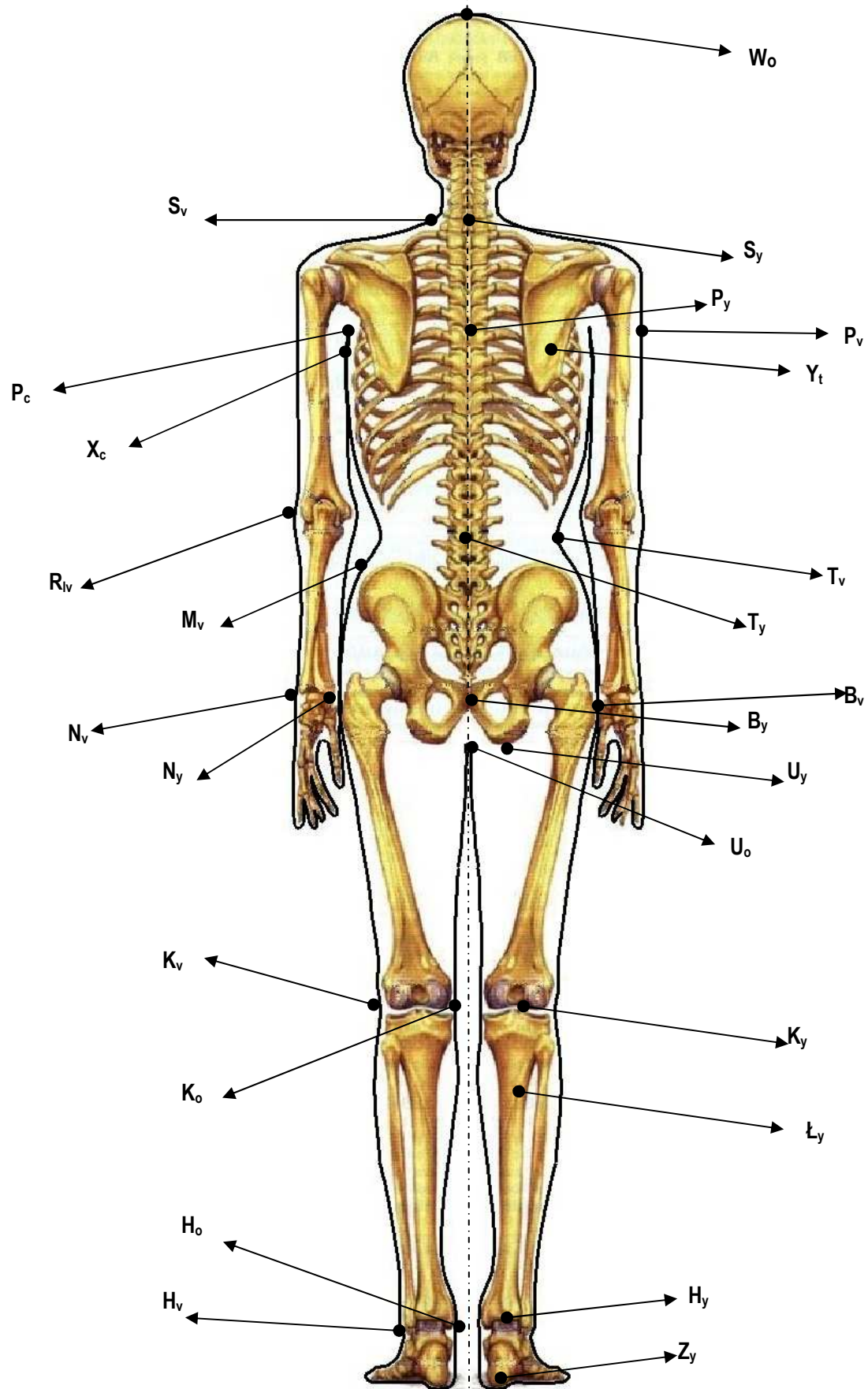


Figure 5.

Points anthropométriques postérieures d'un corps humain

Mais le vrai problème qui rend la conception de vêtements pour un grand échantillon difficile provient du manque de règles et de normes internationales communes, par exemple pour l'Europe. Winks [2] présente d'ailleurs une étude bien menée sur la mensuration du vêtement et sa standardisation internationale. Il analyse l'aspect anthropométrique afin de distinguer les dimensions d'un corps humain qui présentent de fortes corrélations par leur étroite relation en comparaison et celles qui n'en ont que peu. Cela le conduit à segmenter l'ensemble de la population à étudier. En revanche, il s'aperçoit que la moyenne des proportions du corps est proche de la plupart des gens. Un groupe de proportion moyenne pour l'ensemble des populations nécessiterait des corrections en fonction de la morphologie des différents corps. Il constate que le prêt-à-porter est en adéquation avec ses résultats avec un degré d'acceptabilité raisonnable. Le fabricant peut raisonnablement s'appuyer sur ses données de recherche en visant 80% de la population, les 20% se situant sur les tailles extrêmes n'étant pas couverts. Le degré d'ajustement dépend aussi des tailles intermédiaires qui permettent de déterminer le nombre d'évolution de tailles dans les tables de mensuration.

Les points anthropométriques mentionnés dans la norme polonaise permettent de créer les vêtements avec le bien aller recherché pour l'homme moyen établi précédemment. Mais, un inconvénient subsiste car elle nécessite une réactualisation adaptée à la nouvelle population polonaise. Cela signifie que les données peuvent présenter des erreurs dans les barèmes représentatifs pour les Polonais à ce jour.

Cette conclusion a été confirmée aussi par les résultats de la campagne de mensuration effectuée en France en 2006. D'après les résultats de la Campagne Nationale de Mensuration annoncé le 2 février 2006 dans [3], la morphologie des Français a évolué pendant ces 30 dernières années. L'intérêt de cette campagne n'était pas seulement de reconnaître ces changements révolus dans la population, mais surtout d'en informer le secteur de l'habillement afin que les vêtements soient confectionnés conformément avec les nouvelles morphologies de la population Française. La campagne constate que la population française a grandi et grossi par rapport aux dernières analyses effectuées en 1987.

La même étude a été effectuée en Angleterre mentionnée par Pycok & Bowers en [4]. Au début des années 1990, une entreprise anglaise a mené sa propre enquête basée sur des mesures clés auprès de 710 femmes. Ils ont constaté d'importantes différences entre les formes et les dimensions de² leurs échantillons par rapport à leurs dernières données datant des années 1950. L'analyse se positionne essentiellement sur les normes, notamment en termes de taille, longueur d'entrejambe et hauteur d'un corps humain. L'enquête confirme

aussi de nombreux retours d'articles invendus suites à des manches trop longues, que la population a grossi avec une ossature plus longue.

Ces remarques peuvent être intéressantes pour l'industrie de l'habillement sous la forme les nouveaux barèmes, proposant des références de taille plus précises. En plus, les barèmes établis avec des nouvelles données doivent garantir une offre plus étendue et plus sûre des vêtements. Ils seront plus élégants avec un bien-aller assuré.

II.2 Technique de mesure du corps humain

Dans cette partie nous allons présenter les techniques de la prise de mesures anthropométriques avec les avantages et les inconvénients de celles-ci. Ainsi nous allons souligner les contraintes à imposer aux personnes faisant cette prise de mesure et donner les prédispositions des porteurs. Parmi les aptitudes indispensables à acquérir, la connaissance de l'anatomie humaine, en particulier la capacité d'identifier précisément les points anthropométriques, est essentiel. Nous allons examiner différentes techniques de mesure qui se différencie en fonction de l'outil utilisés pour la capture des données. Également nous allons poursuivre l'évolution des changements faits dans ce domaine sur l'aspect progrès technologiques et numériques.

II.2.1 Différents moyens de mesure

L'objectif principal des techniques de mesure du corps humain est d'avoir une approximation au plus précis des dimensions d'une personne, et en conséquence de pouvoir concevoir les patronages du vêtement à créer à partir de ces données. Le procédé de création doit être en étroite relation avec les normes qui représentent l'ensemble des règles à respecter tout au long de la phase de mesure. Ces règles définissent les outils indispensables à utiliser pendant la mesure, les conditions de prise de mesure concernant la posture du corps comme la position des jambes, de la tête, etc., ainsi que les définitions des endroits spécifiques où les mesures doivent s'effectuer. Il est donc essentiel d'avoir des connaissances avancées de la morphologie d'un corps humain et d'avoir la capacité de reconnaître de manière visuelle et tactile les points anthropométriques.

Chi & Kennon [5] comparent deux méthodes de mesure du corps humain réalisées pour les besoins de l'industrie du vêtement. Une comparaison entre la méthode manuelle traditionnelle et la méthode automatique utilisant un scanner a été effectuée afin de vérifier l'exactitude de cette dernière. Il mesure les changements de dimension en 13 points convenablement choisis

sur le corps humain liée aux enquêtes anthropométriques en simultanéité avec des changements de posture du corps (Figure 6).

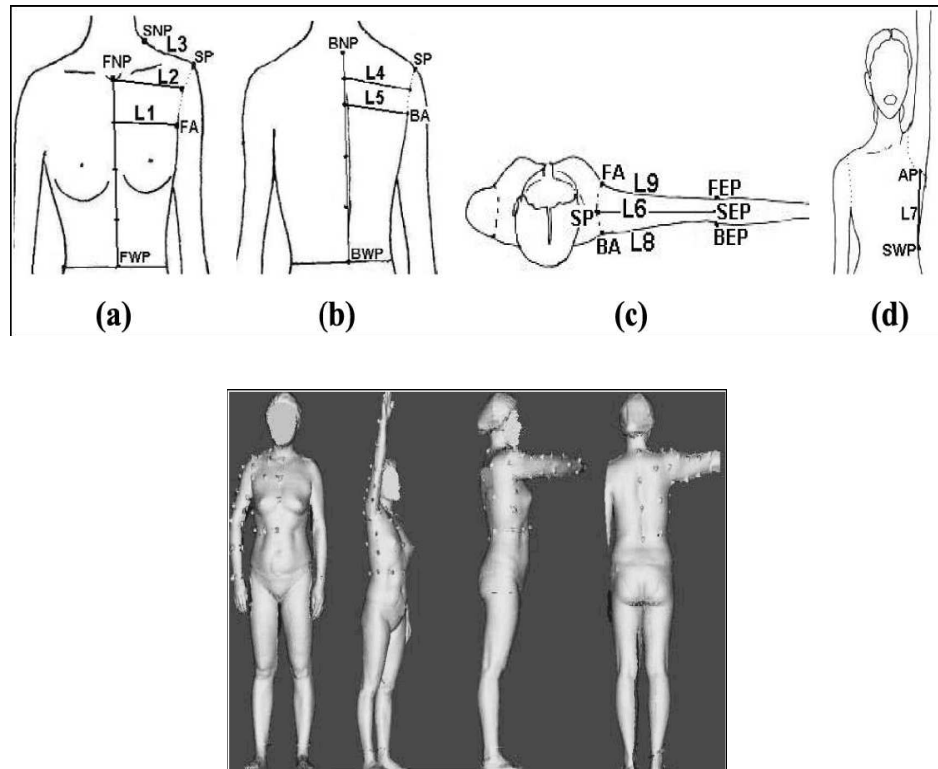


Figure 6.

Mise au point de repères et de lignes sur le corps

Pour chaque nouvelle position du corps humain les mesures sont prises à l'identique afin d'assurer la récurrence des mesures. Après analyse des deux techniques de mesure, les auteurs constatent que le temps requis pour prendre les mesures est très réduit tout en apportant une précision plus importante.

Bien qu'à l'ouest de l'Europe ainsi qu'aux Etats-Unis les systèmes effectuant la capture numérique de la silhouette d'un être humain deviennent plus courants, tous ces systèmes exigent une capacité d'identifier d'une manière correcte les points anthropométriques caractérisant le corps humain. Dans cette base des mesures anthropométriques, les données nécessaires à la conception des patronages prises par les couturiers sont extraites. Ces mesures se divisent en deux groupes :

- les mesures primaires,
- les mesures secondaires.

Les mesures primaires sont à la base d'un patronage, et les secondaires servent au contrôle de raccord entre la conception correcte d'un patronage et les mesures. En fonction du vêtement, le nombre de mesures prises par les couturiers peut varier selon la méthode de conception des patronages, mais aussi en fonction des besoins des entreprises. Les mesures des couturiers

permettent de projeter en 2D la silhouette 3D d'un corps humain afin de créer en 2D le vêtement qui sera ensuite monté en 3D.

Mesure traditionnelle

Pour que la prise de mesures puisse donner les résultats fiables il est nécessaire de respecter les règles en vigueur et les normes obligatoire. A l'époque où l'informatique n'avait pas pris une place aussi importante dans la vie courante, les besoins de prise de mesures d'un corps humain réclamaient un ensemble d'outils traditionnels mentionné d'après Bily-Czopowa et Mierowska [6] :

- une feuille des mesures quadrillées à 5cm, de forme rectangulaire dimensionnée à 200x70cm, sur laquelle se mesurent à l'échelle 1 les dimensions du corps par projection visuelle de celui-ci (1),
- 2 équerres à poser sur le mur pour faciliter la prise de mesure des dimensions de direction verticale ou horizontale (2),
- un compas et un pied à coulisse pour mesurer les largeurs, profondeurs et longueurs alignées sur une droite (3),
- un ruban à mesurer pour prendre les mesures ajustées au corps, comme les tours ou les arcs de contour (4).

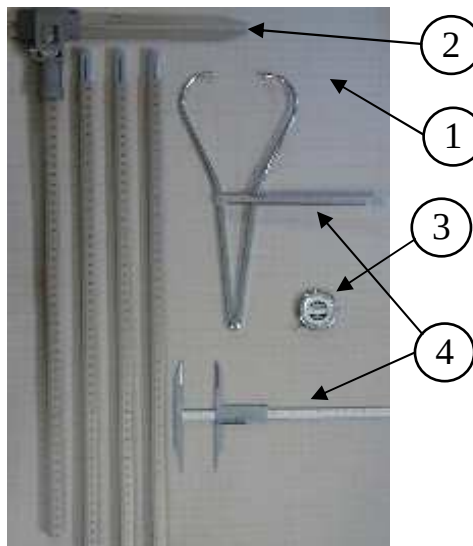


Figure 7.

Outils de mesure anthropométrique standard

D'après cette technique il indispensable d'indiquer les points anthropométriques sur la personne mesurée, avec des lignes indiquées sur la silhouette. La ligne la plus importante est la ligne de taille qui est à la fois la ligne de base qui doit être positionnée précisément à cause de son influence sur l'équilibre entre le devant et le dos d'un vêtement. L'avantage de cette méthode est le contact direct entre le mannequin et la personne qui prend les mesures. La

position des points anthropométriques est clairement définie. Les inconvénients se présentent surtout dans le temps nécessaire à réaliser la prise de mesures du corps ainsi que dans la méthode par l'utilisation même des outils. Il faut admettre que c'est une méthode subjective, c'est-à-dire que l'on observe que la répétitivité des résultats de mesures dépend de la personne chargée de l'effectuer.

Mesure numérique 3D

Scanner "TC²"

3D Body Scanning TC² est une technologie relativement performante de scan d'un corps humain 3D d'après TC² web site [7]. Le début de TC² date de 1981, le concept a été mis en place par la National Science Foundation (Etats-Unis), réorienté vers la Tailored Clothing Technology Corporation. Leur mission était de mener des activités de recherche et développement, de technologie et de fournir la preuve des programmes d'éducation pour l'industrie du vêtement. En 1985, ils sont devenus Textile/Habillement Technology Corporation TC². L'un des produits de recherche et de développement inventé par TC² est le scanner 3D capable de scanner l'ensemble du corps et le système de mesure du corps humain BMS. La phase de mesure BMS utilise la profilométrie PMP, où la lumière blanche structurée est employée. La méthode PMP emploie une lumière blanche pour suivre la trajectoire des courbes du corps pour obtenir les patronages 2D qui reflètent la surface du corps. Le scanner TC² a été le premier scanner à être conçu avec l'accent mis initialement pour l'industrie du vêtement. Pour que l'industrie américaine du vêtement puisse être plus concurrentielle, le groupe TC² a vu la nécessité de l'orienter vers la mass customisation.

Les nouveaux produits proposés par TC² sous la forme d'un scanneur de corps humain et d'un logiciel d'extraction de mesure peuvent d'être utilisés à la véritable personnalisation de la mass customisation. Chaque visiteur peut vérifier suivant une procédure spécifique les différentes étapes de l'évolution du processus. Dans un premier temps, la personne est scannée. Ensuite les données issues du scan servent à la création son avatar (double virtuel). En finalité, après avoir choisi le modèle de vêtement, les patronages sont adaptés en fonction de la morphologie de la personne. Le résultat final montre le drapé 3D du vêtement virtuel sur l'avatar.

Le dispositif de balayage a besoin de moins de 6 secondes pour réaliser le scan, avec un post-traitement d'une minute pour obtenir un modèle du corps humain. Le modèle du corps humain conçu avec cet appareil peut être utilisé dans différents domaines : la "fit customisation" utilisée à développer les standards de tailles (campagne de mensuration),

l'analyse de la forme du corps humain, l'animation et le graphique pour des applications médicales ou jeux vidéo. La Figure 8 montre une cabine adaptée à scanner utilisée dans TC².



Figure 8. NX-12 Scanner du corps humain avec la cabine d'essayage

Les attributs de ce scanner, présentés en Figure 9, ainsi que l'application du logiciel 3D récapitulent les avantages de cet appareil.

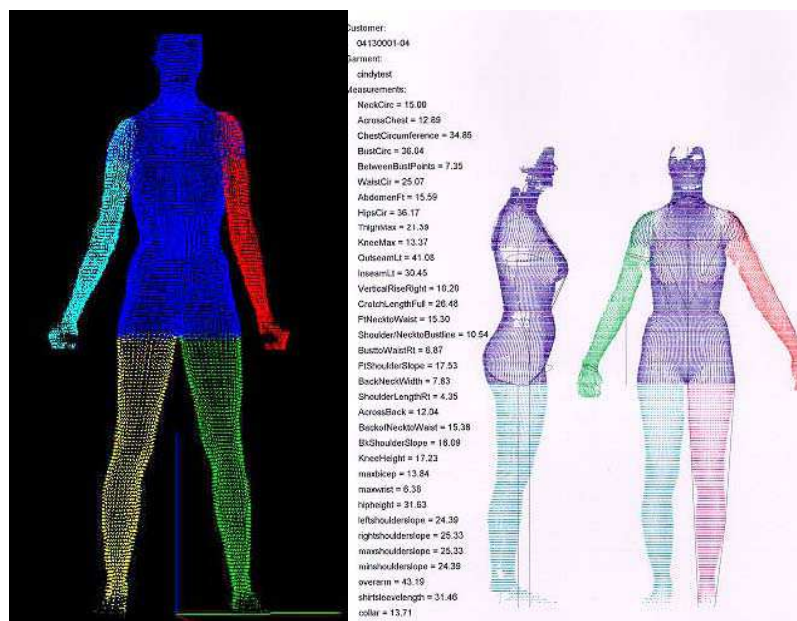


Figure 9. Données de TC2 - segmentation d'un corps

Les atouts de ce scanner 3D sont son prix réduit avec une qualité et une facilité d'emploi. Il présente l'intérêt d'avoir des fichiers résultats du corps humain 3D de petit volume avec une portabilité et une mobilité remarquables. La phase de création de modèle 3D représenté par un nuage de points est automatique, de même que l'algorithme d'extraction des mesures de corps qui peut être adaptée aux besoins du client pour chaque vêtement, ou application d'équipement. Les calculs reposent sur 18 points principaux du corps. Les applications pour le sur-mesure en CAO d'habillement et pour l'animation 3D sont directement intégrées au

processus. De plus, le transfert de données par réseau directement à partir d'un des modules du scan à un monde extérieur par le Web est possible.

"Vitus smart 3D Body Scanner" (Human solution) -

La prise de mesure s'effectue par un système modulaire composé de quatre colonnes intégrant chacune un laser et deux caméras CCD [8]. Lors de la prise de mesure, la personne doit avoir une position prédéfinie ajustée dans la zone d'accessibilité des lasers. La position de chaque point est calculée par triangulation. Le balayage de l'ensemble du corps prend en général 8 secondes. Le logiciel interactif ScanWorX permet de réajuster la position des points de mesure de l'avatar si besoin est. Ce logiciel extrait automatiquement les quelques 100 mesures du corps associés aux points anthropométriques. Différentes classes de mesure sont proposées, c'est-à-dire : hauteurs, longueurs, circonférences, angles, évaluations de la posture soutenue, sections et volumes. L'utilisateur a l'option de placer des marqueurs sur la numérisation 3D interactive pour faciliter le processus de mesure. Une autre option permet de modifier la définition d'une mesure et par conséquent de repositionner les points de fonctionnalité proposés par le logiciel. Cet outil est directement associé à un autre logiciel pour calculer les altérations entre les mesures du corps et le tableau de mensuration relatif aux modèles. A ce stade, le vêtement est corrigé automatiquement pour l'adapter à la taille de l'avatar.



Figure 10.

Scanner de human solution

Ce système offre des détails complémentaires sur la forme des surfaces ainsi que des emplacements de mesure 3D par rapport au précédent système. Entre autre, il permet d'exporter les données 3D de l'avatar facilement vers des outils de CAO. Pour cela, il sera nécessaire de corriger les défauts de prise de mesures (logiciel Rapidform) afin de convertir le nuage de points en coque surfacique directement exploitable par des outils de CAO 3D (Design Concept 3D). La conception d'un mannequin paramétrique est alors possible.

"Cyberware WB4" du Projet CAESAR

CAESAR [9] (Civilian American and European Surface Anthropometry Resource) commencé en décembre 1997, est un partenariat entre le gouvernement et l'industrie pour recueillir le plus vaste échantillonnage de mensurations des consommateurs. L'objectif de cette étude était de représenter, dans les trois-dimensions, les variations anthropométriques des populations civiles de sexe masculin et féminin âgées de 18-65 ans pour l'Europe et l'Amérique du Nord. L'intérêt de ce projet est de créer une nouvelle base de données dans un format utile pour les scientifiques et ingénieurs du monde entier (Figure 11).

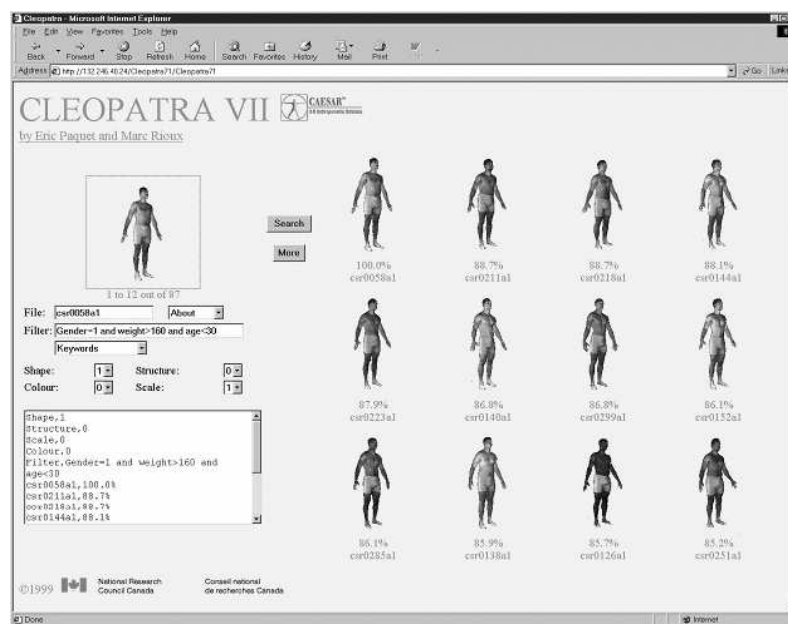


Figure 11.

Un exemple d'un corps humain en 3D numérisé dans la base de données CAESAR

- Les sujets ont été numérisés dans trois postures avec des sous-vêtements très ajustés et les cheveux couverts. Les scanners de Cyberware WB4 et Vitronic ont été utilisés. La base de données anthropométriques CAESAR TM contient soixante-treize points anthropométriques et quarante-neuf mesures du corps pour chaque individu numérisé, y compris des détails tels que la longueur du bras (poignet à la colonne vertébrale, le

poignet à l'épaule, du coude au poignet), la largeur des épaules, la hauteur acromion, le triceps, le tour de taille, la circonférence de la cheville ou hauteur des yeux. Cette base de données représente donc une description précise de la morphologie typique de l'homme, accompagné d'une scintigraphie 3D du corps qui mappe ces mesures. Les divers résultats en rapport avec l'asymétrie d'un point du corps ou d'un autre (Figure 12) ont éclairé les chercheurs sur les anomalies actuelles de beaucoup de formes de styles de produit (vêtements y compris) conçu pour le corps humain.



Figure 12.

Un corps typique du projet CAESAR

Chacun des modèles générés en 3D contient environ 300000 triangles. Un ensemble de 74 marqueurs ont été placés comme repère anatomique avant la numérisation. Les avantages du projet CAESAR sont :

- d'extrapoler la surface corporelle par des marqueurs afin d'exploiter les données 3D plus facilement en CAO pour le prototypage rapide
- d'extraire un nombre infini de mesures suite aux diverses postures
- donne accès aux données réalistes 3D de sujets dans différentes postures
- de visualiser l'ensemble du sujet de façon à détecter aisément les problèmes de morphologie
- de fournir les données brutes afin de créer un modèle adapté au marché cible.

L'utilisation de méthodes traditionnelles de caractérisation de population (moyennes et percentiles) aboutit souvent à une conception de mannequin erronée et inexacte qui ne cadre pas avec le public cible. L'utilisation des centiles, par exemple, peut être utile pour mesurer à une dimension, mais en raison des grandes variations de l'homme, le scan 3D fournit un résultat plus précis lors de l'examen des combinaisons de variables. L'objectif principal de ce

projet est de fournir un meilleur montage des produits commerciaux, des vêtements mais aussi d'améliorer l'ergonomie des sièges automobiles et de l'habitacle.

Scanner "Trimprobe" et "Silhouette-mobile"

Pour la plupart des exemples, le scanner à main à induction électromagnétique est présent dans le domaine médical. Il s'impose dans ce secteur à cause du besoin d'avoir uniquement des images de parties du corps très précis. Il peut servir à la détection de tumeurs par balayage du patient avec un dispositif similaire à l'utilisation des détecteurs de métaux lors de la fouille des passagers des compagnies aériennes. Le principal avantage de cette méthode est la perspective d'un dépistage de masse avec une technologie peu coûteuse, rapide et non invasif. Le scanner "Trimprobe" [10] est utilisé pour les essais cliniques à l'Hôpital Saint-Charles Borromée à Milan. Il a été prouvé sa capacité à prédire les tumeurs de la prostate dans 93% des cas qui ont été par la suite confirmée par biopsie. Le scanner SilhouetteMobile [11] scanne et mémorise des informations sur les blessures d'un patient, ce qui inclut la largeur et la profondeur de la blessure (Figure 13). Il peut être utile pour les médecins et les infirmières afin qu'elles puissent surveiller la guérison des blessures du patient au cours du temps, et plus précisément l'efficacité du traitement. D'ailleurs, les ophtalmologues peuvent utiliser le gadget de lunettes, des yeux et d'autres traitements.



Figure 13.

L'exemple de scanner à main pour application médicale silhouette-mobile

"Scanners de codes-barres"

En revanche, les scanners de codes-barres [12] sont devenus partie intégrante et essentielle de tout système de point de vente. Ce système mobile est parfait pour des applications telles que les boutiques de souvenirs, bijouteries, magasins de vidéos, les fleuristes et bien d'autres

petits points de vente au détail. Aussi la plupart des fabricants ont maintenant leurs produits correctement étiquetés. Il y a une variété de lecteurs de codes-barres pour différents scénarios. Deux exemples de scanner à main sont présentés sur la Figure 14.



Figure 14. Exemples de scanner manuel utilisé dans la vente

"Handyscan 3D"

La technique du scanner Handyscan 3D [13] est un mixte entre les deux derniers procédés de mesures. Son principe de numérisation est basé sur le repérage et la capture en temps réel de cibles de positionnement rétro réfléchissantes disposées sur l'objet à numériser. Leurs positions respectives sont alors calculées par rapport au scanner et enregistrées. Les cibles définissent un modèle de positionnement 3D que le scanner reconnaît en tout temps. Ce principe est similaire à celui des dispositifs de type GPS. Les avantages de ce système sont l'auto positionnement, sa portabilité et légèreté, sa grande précision de mesure et sa polyvalence. Aussi, il est utilisé dans de nombreux secteurs d'activité pour des applications de rétro-ingénierie lors de la création de maquette 3D ou de double virtuel. Les principaux utilisateurs sont l'automobile (Prototypage rapide, études aérodynamiques, analyses de produits concurrents et d'ergonomie), l'aéronautique et secteur aérospatial (aérodynamique, prototypage 3D,...), l'éducation (écoles d'art et écoles d'ingénierie), produits de consommation (ergonomie, forme et fonctionnalités, design), médical (orthopédie, prothèses, diagnostic, esthétique), multimédia (jeux vidéo, effets spéciaux au cinéma, maquettes), architecture (musée, art, archéologie, préservation du patrimoine). Ce scanner représente un excellent compromis entre le prix d'achat et la précision lors de la mesure précise



Figure 15.

Handyscan 3D et exemples d'images 3D numériques

II.2.2 Numérisation du corps 3D et post traitement des avatars.

Dans cette thèse, la prise des mensurations du corps humain a été effectuée avec une cabine de mesure de Human solution qui a été aussi utilisée pour la campagne de mensuration française. Notre choix s'est porté sur ce procédé car la mesure est rapide, précise et il nous fournit un modèle 3D fiable qui peut être exporté facilement pour les besoins de l'étude. L'accessibilité et le format de sorties des données de cette étape nous ont permis de passer à l'étape suivante de la conception du mannequin adaptatif paramétrique et en conséquence la génération de vêtements numériques par une approche arborescente.

Numérisation 3D

La première étape de ce processus réside dans la numérisation du corps humain prenant une posture prédéfinie. Le logiciel "Scanworks" permet de gérer les différentes étapes de traitement qui sont :

- Le balayage du corps dans le BodyScan par chaque colonne simultanément, un laser envoie un point lumineux sur celui-ci et deux appareils photo mesurent par triangulation les coordonnées des points dans le plan XY pour un Z donné (Figure 16). Chaque point représentant un endroit de la surface du corps balayé.

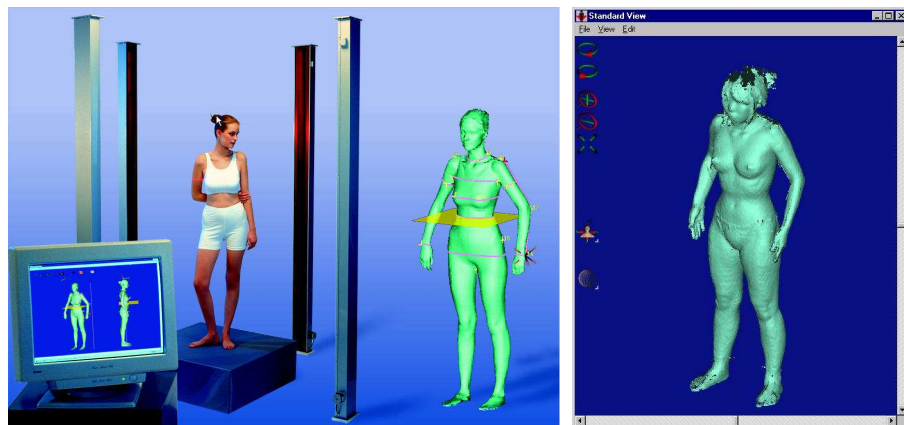


Figure 16.

Balayage et triangulation

- La mesure automatique du corps par fenêtre interactive peut être effectuée (Figure 17). L'endroit de mesure du lieu peut être choisi en déplaçant les bornes limites. Les mesures peuvent être exportées vers le logiciel FitNet (logiciel de mass customisation 2D) par l'intermédiaire d'un fichier spécial d'exportation, les modèles autorisant les changements prédéfinis sont automatiquement mis à jour par le logiciel.

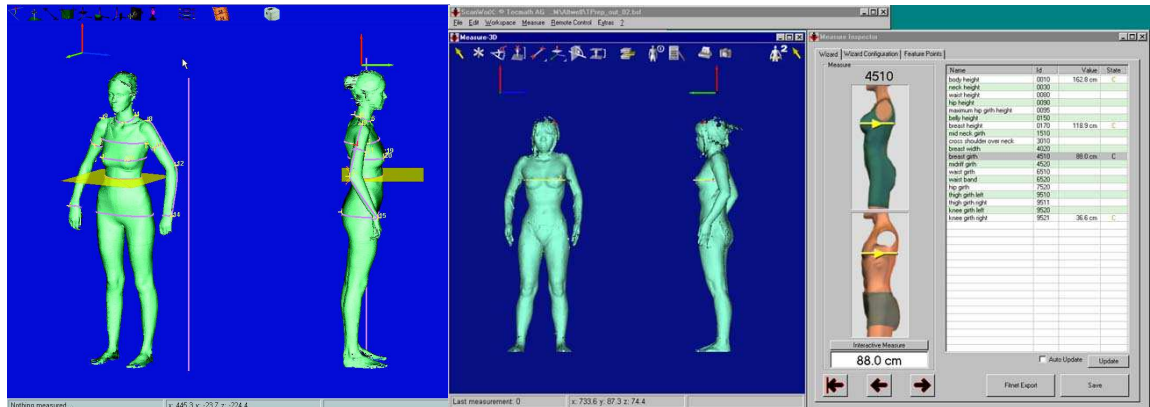


Figure 17.

Mesure automatique interactive pour la mass customisation 2D

- La préparation des données partielles à l'exportation (Figure 18). Pour cela, il est nécessaire de lisser les données (fonction automatique du logiciel) pour une utilisation plus souple ultérieurement, de retirer les informations inutiles (mains, tête, ...), d'éliminer les zones d'ombres à ne pas redéfinir et choisir les zones scannées.

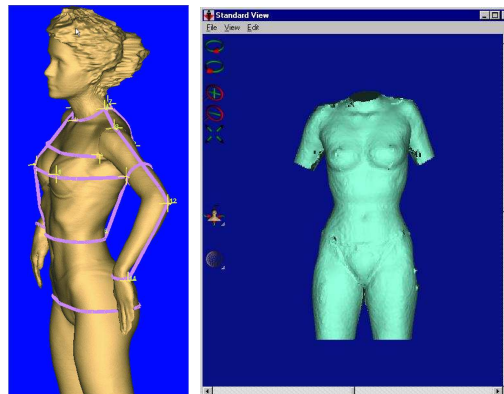


Figure 18.

Exportation partielle de l'avatar

- La préparation de l'ensemble des données pour l'exportation des triangles représentatifs de la surface du corps. Dans ce cas, nous devons exporter les 4 zones scannées séparément dans le logiciel de post traitement au format STL

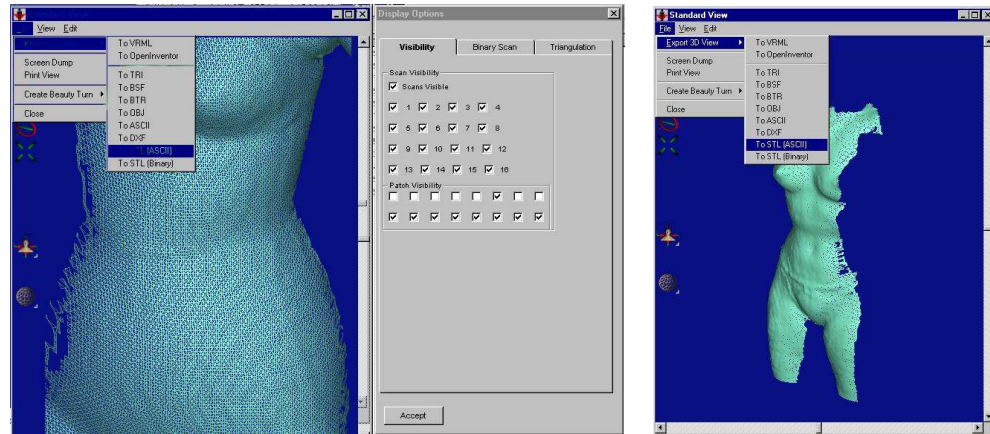


Figure 19. Exportation de différentes zones scannées au format STL

On peut identifier plusieurs points positifs dans le dispositif de mesure que nous utilisons:

- Il suffit de quelques secondes pour balayer le corps entier et générer ensuite un nombre important de mesures linéaires et non linéaires du corps humain.
- Les mesures prises par le scanner sont plus précises que les mesures physiques traditionnelles et sont reproductibles au mm près.
- Les résultats 3D sont disponibles dans un format numérique qui peut importer automatiquement dans les systèmes de CAO et de l'habillement.

On peut reprocher quelques défauts ou limites à cette nouvelle technologie:

- Le manque de qualité des données sous la forme d'un double nuage de points.
- La présence de trous (zones d'ombres) dans certaines régions du corps inaccessibles en fonction de la posture.

Post traitement des données

Suite à la numérisation de la personne, l'exportation manuelle des 4 zones scannées sous formes de triangles se traduit par la création de 4 fichiers au format STL. La Figure 20 présente le traitement numérique des données effectué :

- Les données de ces fichiers sont importées les un après les autres dans le logiciel de traitement de données Rapidform d'Inux technologies (Figure 20a).
- Un filtrage numérique est ensuite réalisé pour traiter chaque zone 3D bruitée. Les différentes couches sont alors repositionnées et fusionnées (Figure 20b). Le mode "shading" permet de visualiser les zones à défauts (zones d'ombre).
- La suppression des défauts est alors réalisée (Figure 20c) par un traitement spécifique et soigneux. Le suivi est très important au moment de la reconstruction des zones

d'ombres, des ponts surfaciques sont nécessaires pour redéfinir les zones d'ombres (les zones aisselles en Figure 21, l'entrejambe) car les automatismes de ce logiciel ne sont pas toujours suffisants.

- Une modélisation surfacique est alors effectuée pour traduire l'avatar en mode multicoque surfacique (Figure 20d). Les lignes bleues montrent les limites de bord des différentes surfaces du modèle obtenu.

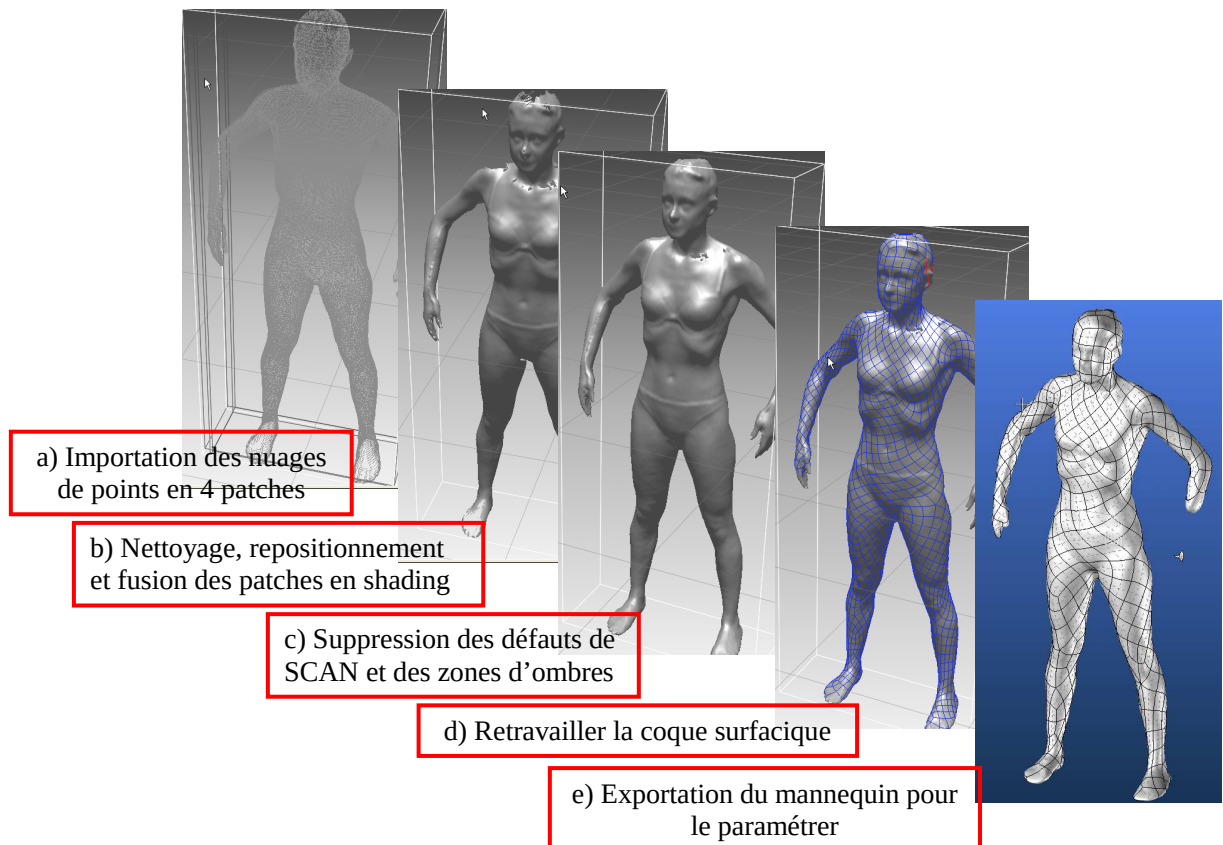


Figure 20.

Processus de post traitement du corps humain

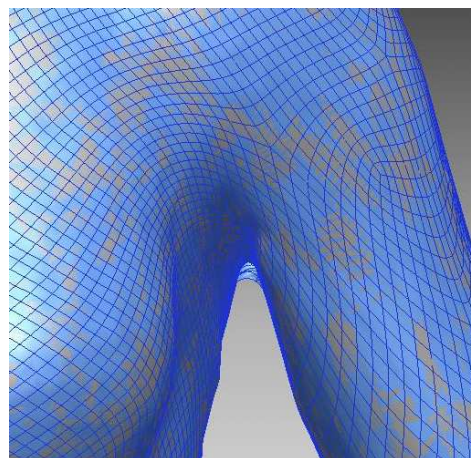


Figure 21.

Défaut corrigé sur la zone d'aisselle

Une fois ce post traitement effectué, il est possible d'exporter notre modèle surfacique dans un monde type CAO spécifique au développement de notre stratégie de confection numérique 3D.

II.3 Définition du modèle morphotype non adaptatif

L'apparence réaliste de l'homme présenté comme mannequin non adaptatif est une forte demande dans de nombreuses applications de postproduction de films, de jeux informatiques interactifs, éducatifs interactifs, ou lors de simulation pour des formations médicales ou chirurgicales. Dans le cadre de notre étude, cet aspect non adaptatif se définit comme une non évolution du corps humain en fonction des barèmes de mensurations.

Protopsaltou, Luible, Arevalo et Magnenat-Thalmann [13] présentent un processus complet de création de corps virtuels (hommes ou femmes) basé sur un modèle référence générique qui est découpé en une série de contours, lesquels correspondent à l'ensemble des mesures du mannequin à créer (Figure 22). Pour créer un corps selon une taille spécifiée et adapter chaque contour à une base de mensuration donnée, ils déforment les contours et, par conséquent, le maillage de triangle représentatif de la surface corporelle.

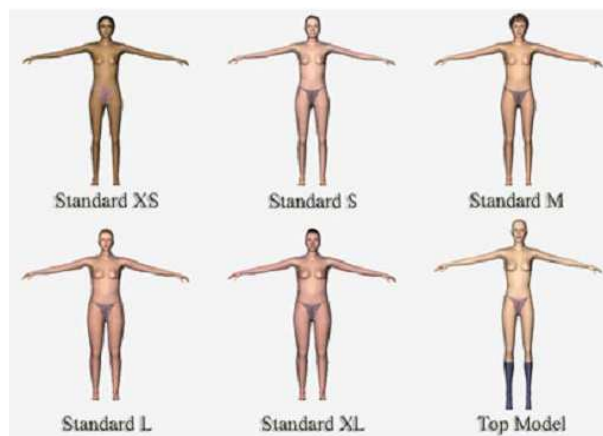


Figure 22. Corps virtuel proposé par Protopsaltou

Ces corps virtuels sur lesquels ils appliquent une texture de peau pour obtenir un rendu réaliste de qualité forme aussi la base de la modélisation du vêtement. Les patronages 2D du vêtement sont créés en utilisant des courbes splines qui sont ensuite assemblées autour d'un corps humain virtuel afin de suivre la morphologie de ce dernier.

Les travaux développés par Ju, Werghi et Siebert [15] sont orientés vers la création de modèle d'animation réaliste de corps humains dont la géométrie corporelle semble très affinée. Le réalisme est augmenté par l'application de la texture de la peau et le contrôle des mouvements et des déformations. Une procédure de segmentation permet d'extraire à l'aide des marqueurs

corporels les données numérisées (Figure 23) et de contrôler les mouvements et les déformations avec une étude des courbures locales et surfaces locales 3D du corps humain. Ils proposent un algorithme efficace pour segmenter les scans 3D du corps humain, alors que la personne était dans une posture normalisée. La procédure a été testée sur des modèles masculins et féminins et s'est avéré être répétable. Les résultats montrent que la combinaison de la segmentation 3D du corps avec les modèles d'animation issus en particulier d'une numérisation 3D de l'homme sur le logiciel Poser4 conduit à des animations très réalistes du corps humain.

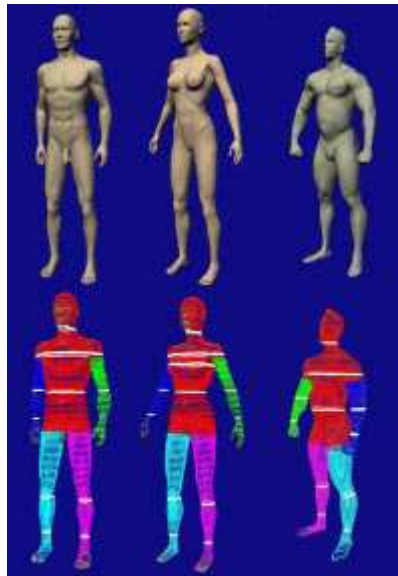


Figure 23.

Les modèles du corps humain, et leurs segmentations.

Azouz, Rioux, Shu et Lepage [16] présentent l'anthropométrie traditionnelle comme un ensemble de mesures correspondant à la valeur de la distance linéaire entre les repères anatomiques et les circonférences dont les positions sont prédéfinies. Les auteurs soulignent que la mesure traditionnelle, exécutée à la main, est un processus long et fastidieux qui exige environ 30 minutes pour chaque sujet. En revanche, par les progrès technologiques de numérisation de surface, il suffit de quelques secondes pour générer des modèles de corps humain détaillés. Dans leurs travaux, ils parviennent à créer une correspondance entre les données du scanner et le modèle virtuel du corps humain. Pour cela, ils convertissent le maillage polygonal représentatif de la surface du corps scanné en une représentation volumétrique. Ainsi, ils alignent le maillage 3-D à l'intérieur d'un volume représentant un ensemble de voxels. Pour caractériser au mieux le modèle d'un mannequin virtuel, les distances entre les voxels et les points les plus proches de la surface du corps sont mesurées et

optimisées. Cette méthode présente un avantage que, sans l'aide de marqueurs de la fonction de correspondance entre les différents modèles est accomplie.

Paquet et Viktor [17] propose une méthode pour calibrer les mannequins virtuels d'un point de vue anthropométrique à l'aide des données de mesure du corps humain du projet CAESARTM. Pour obtenir une représentation réaliste, les mannequins virtuels sont normalisés à l'aide de mannequins morphotypes en adéquation avec les modèles virtuels 3D d'origine de corps scanné. Les auteurs ont conclu que la modélisation d'un grand nombre de caractéristiques morphologiques sont interdépendantes, telles que les genoux, la circonférence de la tête, les hanches... mais peuvent conduire à des modèles virtuels anthropométriques non précis qui ne reflètent donc pas la réalité mais de qualité suffisante pour une utilisation commerciale. En fait, cela peut dépendre de l'utilisation commerciale, par exemple l'industrie du vêtement n'a pas besoin d'une connaissance parfaite de la morphologie du pied.

Ulijaszek et Kerr [18] soulignent les limites des moyens manuels utilisées pour l'évaluation anthropométrique dans le cadre d'une étude nutritionnelle. Ils remarquent que certaines d'entre elles sont aussi présentes dans le cadre de l'industrie du vêtement. Ses limites sont notamment la pondération dans laquelle l'interprétation peut influencer l'erreur de mesure, ou le temps nécessaires pour prendre les mesures. Ils présentent une hiérarchie claire dans la précision des différentes mesures anthropométriques pour cette étude, mais également intéressante pour la conception de vêtements. Le poids et la stature sont les données de mensuration les plus fiables, toutefois les prises de mesures de la circonférence de la taille et des hanches peuvent présenter des différences en fonction de la personne qui effectue cette opération. Elles doivent être effectuées par un expert pour éviter les défauts d'interprétation des données anthropométriques collectées.

Les coûts de la numérisation 3D d'un corps humain et l'accessibilité à cet outil en ce qui concerne les petites et moyennes entreprises ont été étudiés par Molenbroek & Bruin [19]. Ils constatent la nécessité de l'utilisation des données anthropométriques, en raison de malentendus à ce sujet et des évolutions morphologiques humaines qui montrent l'accroissement de la diversification des tailles. La mutation du secteur de la confection vers le concept 3D contribue à ce besoin urgent. Ils soulignent la difficulté de positionner correctement les repères morphologiques sur le corps lors de la phase numérisation 3D, entraînant de nombreuses contradictions scientifiques à ce sujet. En outre, un grand nombre de scientifiques encore au stade expérimental les appliquent uniquement sur les points durs osseux. L'accent est mis sur l'accessibilité des données 3D traduites de manière compréhensible pour les utilisateurs qui représentent en général des petites industries et des

sociétés de design utilisant uniquement des données 1D. Une formation est à mener envers ces utilisateurs qui ont leur propre façon de travailler dans un monde plutôt 2D, un environnement de travail 3D pourrait ralentir leur potentiel de création. D'ailleurs, ils constatent qu'il n'y a ni outils anthropométriques, ni données disponibles de bonne qualité 3D pour les petites et moyennes entreprises. Les auteurs montrent qu'un outil informatique comme Ellipse Persona peut aider à l'utilisation des données anthropométriques, sans un grand investissement de temps et d'argent pour résoudre un problème de cette taille.

Abdali, Viktor, Paquet et Rioux [19] ont présenté le "cluster" (groupe d'objets qui sont semblables entre eux et différents des objets d'autres groupes) et des techniques d'analyse et de regroupement sur quelques candidats à partir de la base de données morphologiques du projet CAESAR. Grâce à la détection d'un motif caché définissant la notion de groupe, ils trouvent les similitudes entre le groupe et les dissemblances intra-groupes. Afin de vérifier leur aptitude à l'emploi sur de données anthropométriques, une analyse de la méthode sélectionnée a été réalisée.

Dieval, Mathieu, Herve et Durand [21] ont étudié une technique de reconstruction volumique appelée "sculpteur" à partir de polyèdre convexe dont le nuage de points à traiter résulte de l'entrée de données scannées. Cette méthode n'est pas adaptée à toutes les numérisations. Le meilleur résultat de reconstruction obtenu n'est pas complètement parfait en raison des défauts qui apparaissent sous les bras ou l'entrejambe suite au problème du manque d'information dans ces zones non détectables par le scanner 3D. En dehors de ces parties du corps, les tétraèdres qui se situent dans le volume du buste sont entièrement satisfaisantes. Les nuages de points utilisés pour cette étude sont issus de deux acquisitions de données seulement. La première acquisition présente une vue du devant d'un homme, la seconde l'arrière. Le programme de reconstruction a testé des zones à plus forte densité de points et deux types de difficultés ont surgi : les zones sans point (région du cou et des bas du buste) et les zones de chevauchement.

Un autre exemple d'un mannequin non adaptatif, à vocation animation 3D, est proposé par Scheepers, Parenty, Carlson et Mayz [21]. Les auteurs présentent un certain nombre d'anatomie musculaire à base de modèles simulant le comportement des muscles et du squelette chez l'homme. La position de chaque muscle est ajustée par leurs extrémités aux différentes articulations des os, qu'il soit ou non attenant. La dimension des muscles se modifie automatiquement tandis que les extrémités se rapprochent ou s'éloignent mutuellement ou séparément. Les modèles sont compatibles à d'autres environnements, la notion de

composants réutilisables est validée non seulement dans le contexte de la modélisation de figure humaine, mais également dans l'animation 3D d'animaux avec endosquelette.

Seo, Yahia-Cherif, Goto et Magnenat Thalmann [22] ont proposé une application baptisée GENESIS (GENération of E-population based on Statistical Information) qui génère automatiquement des modèles de population calculé statistiquement pour la validation des données. Ils étudient la population en se focalisant sur la cinématique des propriétés du corps (taille, des formes, des proportions, etc.) et non des propriétés cinétiques (centre de la masse, résistance aux déformations, etc.)



Figure 24.

Génération en 70 avatars

Pour concevoir le clone, sur le modèle 3D du visage est plaquée la photo de celui-ci en lui associant ses informations spécifiques, c'est à dire le nom, la date de naissance, le sexe, groupe ethnique et la profession de la personne en question. L'utilisation de ces données constitue une solution indispensable à la génération d'une population pour une segmentation future. Il y a deux façons d'obtenir le visage, soit par une acquisition directe selon la reconstruction de personnes réelles, soit par l'acquisition de modèles géométriques à partir duquel un "morphing" est effectué entre le modèle 3D et la texture réel du visage. Pour engendrer les populations d'adultes, des données anthropométriques ont été recueillies auprès de diverses sources. Ces bases de données ont été créées avec un grand nombre de mesure basé sur une distribution normale. Ensuite, le modèle de référence est déformé pour satisfaire les données de mesure en fonction des parties sélectionnées du corps.

Yua, Loa et Chiou [24] présente un estimateur de surface corporelle (Body Surface Area) identique dans sa forme à celle proposée en 1916 par DuBois et DuBois. Le but de cette étude est de mesurer la BSA, au moyen d'un scanner 3D, et de dériver une simple formule d'estimation de BSA adaptée à la morphologie chinoise adulte. Avec l'avènement de la technologie 3D anthropométriques, la mesure de la surface corporelle est rendue plus précise,

plus facile et plus rapide. La précision dans la mesure de la surface du corps en utilisant le scanner 3D a été soigneusement vérifiée à partir de neuf formes géométriques simples. L'erreur totale est de 10%, leur estimateur semble plus précis que la mesure directe traditionnelle et la méthode d'estimation indirecte. Ils concluent que leur technique est tout à fait acceptable dans la plupart des applications médicales et de l'ingénierie, et peut être largement utilisé sur le terrain, peu importe la surface de travail, l'ensemble ou un segment du corps.

L'approche du mannequin non adaptatif présentée par Hilton, Beresford, Gentils, Smith, Sun et Illingworth se distingue des précédents travaux [25]. Leur concept est basé sur un modèle articulé 3D en couleur d'une personne en utilisant la reconstruction automatique d'image à partir d'une série d'images couleur. Les résultats du modèle recréé représentent la forme 3D, la couleur, la texture et la structure articulée nécessaire à l'animation des mouvements. Les auteurs soulignent que cette méthode présente un faible coût de capture de modèles de personnes pour créer des avatars au format VRML adapté à l'importation dans les mondes virtuels. Cette technique peut être utilisée pour générer des modèles de personne particulièrement adapté à de multiples applications de monde virtuel (affaires, sports, loisirs, vente). En utilisant une cartographie 3D de la position des articulations et l'algorithme de cartographie de conversion 2D/3D, la structure articulée du modèle d'humain généré est modifiable pour une personne en particulier.

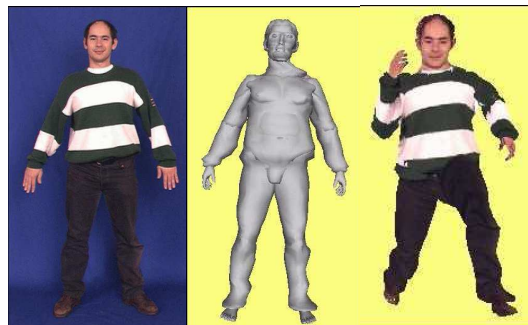


Figure 25.

Restitution de modèle 3D texturé avec animation (a) Photo, (b) Modèle 3D, (c) modèle couleur 3D animé

Kim et Park [27] ont indiqué trois problèmes en CAO pour l'industrie du vêtement : chaque changement de taille nécessite un nouveau modèle de corps humain numérisé, une grande quantité de traitement est nécessaire face aux collisions avec un modèle d'homme, un modèle scanné est composé essentiellement d'une série d'éléments triangulaires. Ils proposent alors un modèle de corps paramétrique à l'aide des sections spécifiques à certaines parties du

modèle en 3D (Figure 26). La forme et la taille du modèle peut être modifié soit par la réorganisation de chaque section ou en changeant la position verticale de celle-ci

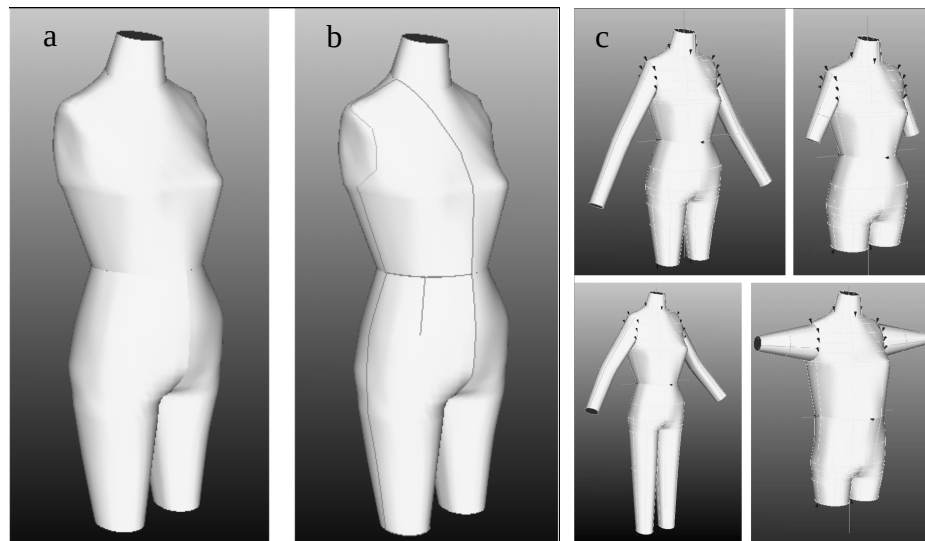


Figure 26. (a) Modèle surfacique 3D, (b) Design de patronages, déformation du modèle 3D

Pour obtenir un emplacement initial correct de chaque section, l'utilisation des données anthropométriques respectives est nécessaire. Leur corps est composé de modèle à éléments triangulaires de sorte que chaque section peut être définie comme l'ensemble des points d'intersection entre le plan et chaque côté de la ligne coupant ces éléments.

Pour produire des patronages, une extrapolation de leur surface est effectuée par la méthode des "bounding boxes". L'utilisateur peut arranger les différents patronages du vêtement facilement en respectant la mise à plat des "bounding boxes" et les patronages seront organisés autour du corps grâce à la transformation inverse de la méthode des "bounding boxes". La forme et la taille des "bounding boxes" sont modifiables en fonction du modèle à habiller en temps réel afin que les changements puissent être vérifiés instantanément.

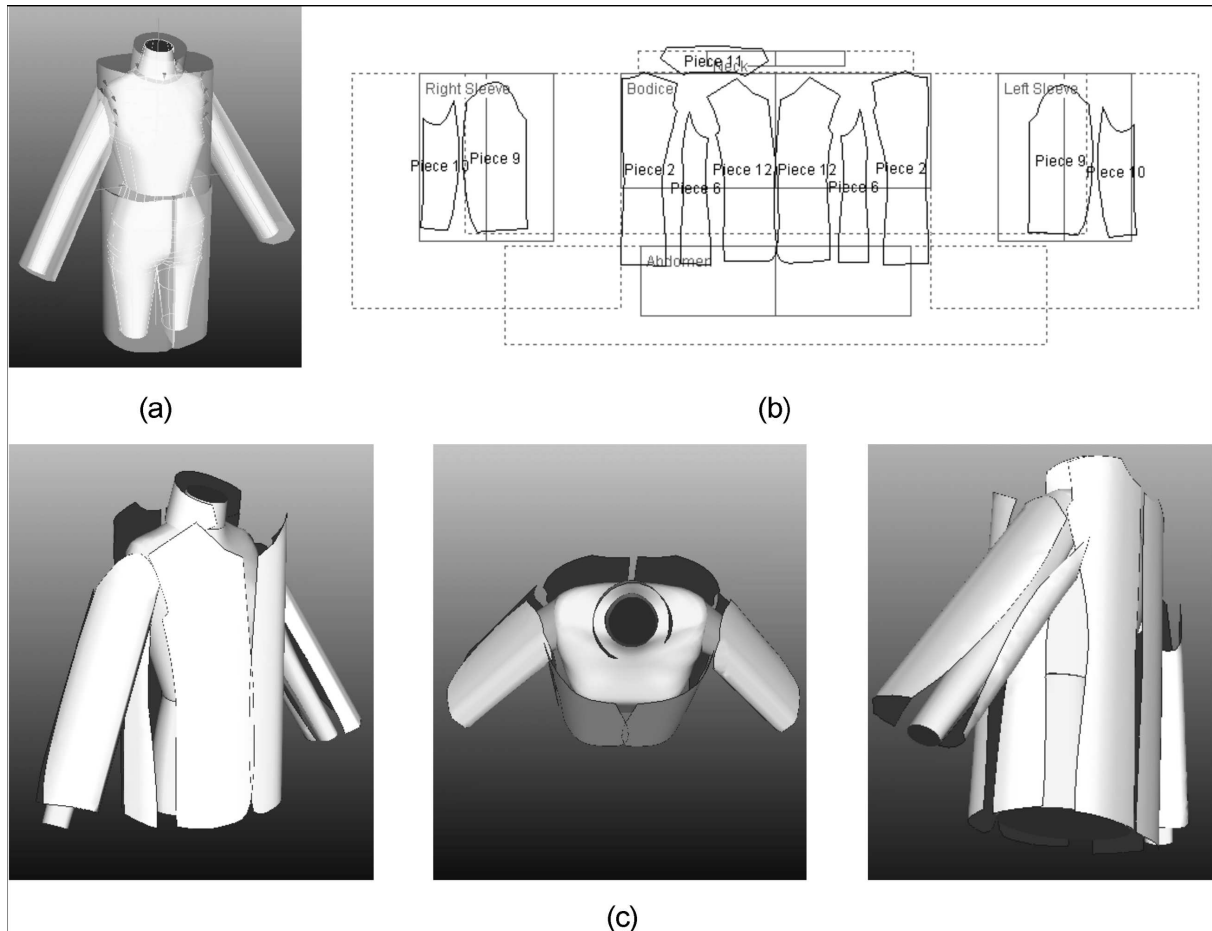


Figure 27.

Déformation d'un modèle paramétrique de corps humain

Hilton, Beresford, Gentils, Smith, Sun et Illingworth [25] proposent une technique de construction de modèle de personne à partir de 4 prises d'images orientées orthogonalement les unes par rapport aux autres en utilisant la technologie de caméra standard. Ils peuvent reconstituer des modèles de personnes entièrement vêtus et reconnaissables par la couleur. L'objectif est de reconnaître approximativement les formes et leur apparence et non pas de mesurer avec précision les dimensions du corps. L'algorithme de reconstruction modifie la forme et l'apparence d'un modèle humain générique, contenant la structure cinématique nécessaire à l'animation, pour s'adapter à la forme de la silhouette d'un individu particulier, ceci à partir de multiples images en suivant les règles de la "modélisation fonctionnelle" [28]. Ils font appel à un modèle générique basé sur le VRML.

Dans la base de données CAESAR, le repérage anthropométrique a été réalisé à l'aide des petits marqueurs attachés au corps humain. L'opération a été extraite semi-automatiquement et ces repères anthropométriques sont disponibles dans le cadre des données du projet CAESAR. Toutefois les marqueurs attachés à l'homme prennent du temps et est donc souvent omis dans les autres études. Suikerbuik, Tangelder, Daanen et Oudenhuijzen [29] ont élaboré et mis en

place un logiciel pour comparer les différentes approches de la fonctionnalité de détection. Il est possible de visualiser et d'exporter les résultats de toutes les méthodes exécutées. Elles sont portées sur trois approches différentes pour détecter correctement les repères : modèle d'appariement, modèle de bien aller et courbure de calcul. Ils se sont concentrés sur cinq points anthropométriques dont la malléole dans le sens latéral et médial et le sellion. Pour extraire les régions intéressantes situées à l'emplacement des repères, la méthode des "bounding boxes" a été utilisée. Les résultats des techniques présentées ont été comparés aux résultats des repères placés à la main. La comparaison des résultats des différentes méthodes démontrent que le modèle d'appariement fonctionne mieux, suivis par la courbure de calcul et, enfin, le modèle de bien aller.

Les travaux de Douros, Dekker et Buxton [30] ont présenté un scanner et ses capacités, en se fondant sur la position sensibles des détecteurs de photons, développé par Hamamatsu Photonics capable de fournir en quelques secondes avec une densité de 256x400 points, la représentation du corps d'une façon précise et rapide. Un algorithme proposé montre que les surfaces B-spline sont en liaison avec la méthode des moindres carrés. Les courbes B-spline sont très utiles pour l'habillage de la peau du corps issue des données scannées car elles permettent de faire face à des problèmes de bruit, d'artefacts mineurs, de défauts de la tête scannée, de mauvais échantillonnages dus à l'occlusion, de lissage des segments joignant la topologie. Les hypothèses sur la géométrie et la topologie du corps humain sont réalisées par un échantillonnage stratégique des courbes et ont un fort potentiel d'utilisation pour les développements futurs. Le résultat (Figure 28) représente une surface complexe, multi-segmentée, et lissée utile pour calculer le volume et la surface du corps.

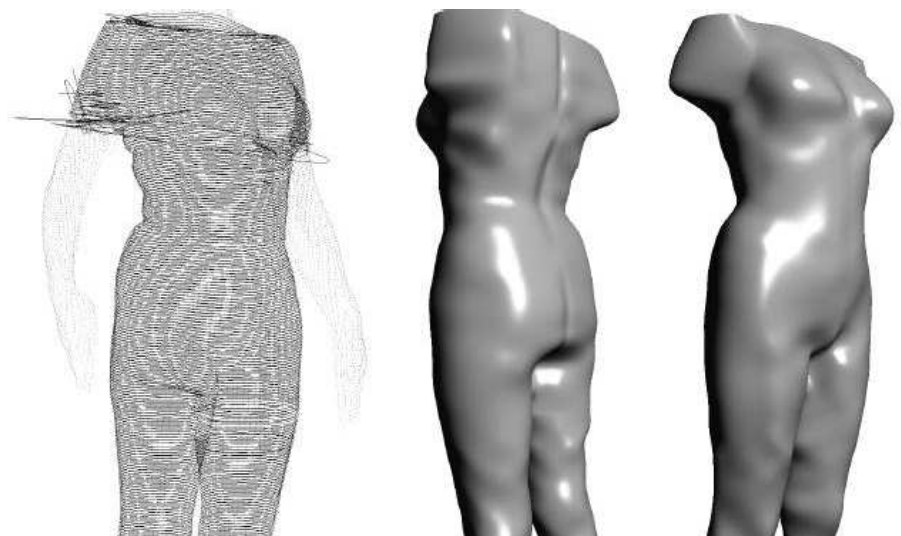


Figure 28.

Section des courbes par les moindres carrés, surface finale obtenue avec elles après interpolation

Ce travail démontre que la surface est grandement simplifiée si le corps est d'abord segmenté et si les courbes sont ajustées aux données de la surface réelle du corps.

II.4 Définition du modèle morphotype adaptatif

Le modèle adaptatif du corps humain présente de nombreux avantages par rapport au précédent modèle. Sa principale fonctionnalité est que la forme et la taille du modèle peut être changée facilement. En outre, un autre scan n'est pas nécessaire en cas de besoin d'un modèle proche essentiellement de celui de l'original. De plus, la taille des données du modèle est considérablement réduite par sa représentation surfacique et il est alors adapté à l'utilisation dans la simulation de drapé de vêtement. Cette représentation conduit à un environnement adaptatif qui contrôle cet ensemble de surfaces paramétriques sur lesquelles on peut s'appuyer pour générer les patronages en 3D.

Jones, Li, Brooke-Wavell et West [31] utilisent des fonctions splines cubiques pour définir un corps virtuel. L'article présente une génération de torse humain (Figure 29). Les courbes splines s'appuient de manière satisfaisante sur 16 points de contrôle pour représenter la moitié du corps horizontale de l'échantillon représentatif. L'autre moitié de la section transversale est une image miroir de la première moitié symétrique. En tant que référence morphologique, ils utilisent 8 des 32 lignes qu'ils considèrent nécessaires à la conception du corps.



Figure 29.

Rendu du modèle

Les autres lignes intermédiaires ont pour but d'augmenter la précision de l'interpolation, le rendu 3D du corps n'en est que plus amélioré. Cette technique permet de produire un modèle moyen de corps humain pour des vêtements à différentes tailles souhaitées. Cette forme matricielle est une méthode appropriée pour la représentation des formes 3-D du torse d'un corps humain. Cette capacité d'adaptation morphologique est très importante dans beaucoup d'applications. Elle permet de réduire les données scannées 3D d'une grande population à une

silhouette moyenne. Elle est utile si l'on souhaite mesurer et visualiser l'évolution de la taille et de la forme d'un corps qui a été mesuré à différents instants même s'il n'a pas été mesuré dans la même position ou posture. Elle conduit à la régénération de corps pour la conception de mannequins virtuel réaliste à mesures imposées, ou de double virtuel lorsque le scanner n'est pas disponible.

Cho, Okada, Park, Takatera, Inui, Shimizu [32] décrivent le développement d'un modèle interactif du corps humain qui peut être modifiée avec les différents contours du corps, et qui pourrait être utile pour le modélisme numérique 3D. Leur modèle de corps humain peut changer de volume et de longueur à partir de l'ensemble des lignes des sections du corps à traiter (Figure 30). Leur modèle est conçu à partir des sections du corps, organisés à intervalles réguliers et distants de 10 mm. L'intérêt de ce modèle est son aisance à contrôler la forme de la silhouette et de calculer les longueurs et périmètres associés.

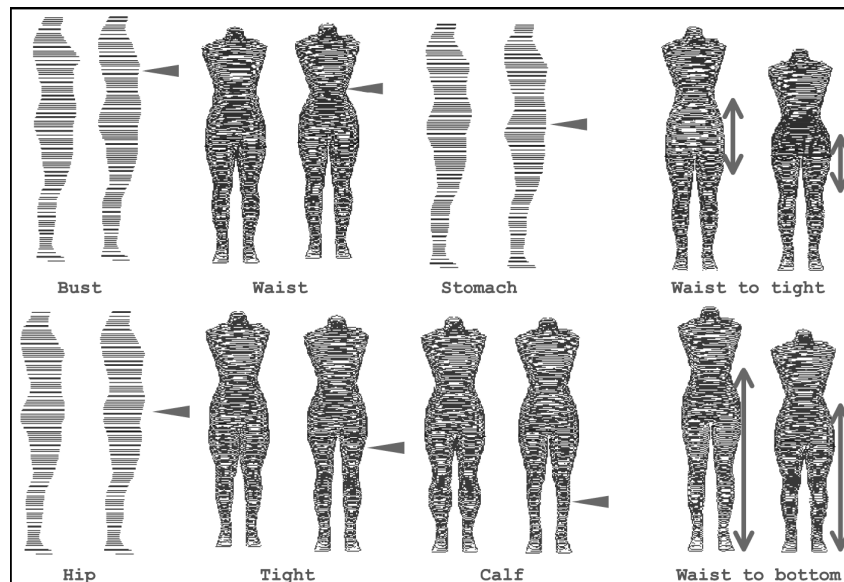


Figure 30.

Différents résultats d'évolution du corps humain

Ils emploient des lignes de forme SCL (Shape Control Ligne) qui modifie la morphologie du modèle afin de l'adapter aux différents corps à représenter. Les modifications de leur périmètre à chaque section transversale s'effectuent par une fenêtre interactive à partir de différentes positions du centre d'homothétie dans le plan horizontal dans un rapport adapté (Figure 31). Leurs résultats sont très prometteurs sur le réalisme du corps humain mais certains problèmes de liaison subsistent entre l'entrejambe et le bas, et de l'absence des membres supérieurs.

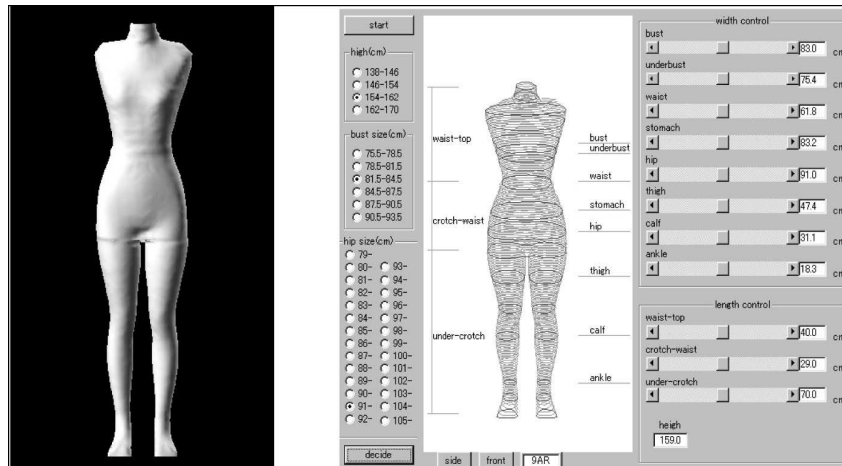


Figure 31.

Rendu et paramétrage du modèle du corps humain par
fenêtre interactif

Cette étude est particulièrement intéressante pour l'industrie du vêtement car la division du corps humain est réalisée en trois parties (torse, membres supérieurs, membres inférieurs). Cette faculté de contrôler séparément ces différentes parties du corps est très utile à cause des besoins de segmentation du corps nécessaires à la confection (membres inférieurs + partie torse pour la jupe ou pantalon, membres supérieurs + partie torse pour la robe ou le tailleur). Seo, Magnenat-Thalmann [33] propose un nouveau concept pour générer et modifier des modèles de corps d'entier en fonction de divers paramètres de contrôle (Figure 32). Leur contribution comprend une nouvelle représentation compacte et efficace pour modéliser le corps et une géométrie à partir d'une base de données évolutive utilisant une transformation de type réseau RDF (Radial Basic Function). Ainsi, pour modifier les modèles, ils utilisent un ensemble de mesures relatives entre deux points dont le repérage est déterminé à partir des normes. Ces modèles sont facilement utilisables dans un environnement de simulation ou de visualisation 3D. Cependant, dans certains exemples de modélisation synthétique, leurs résultats visuellement acceptables (concept de beauté) pour une représentation du corps ne reproduisent pas fidèlement les modèles compatibles avec les paramètres d'entrée.

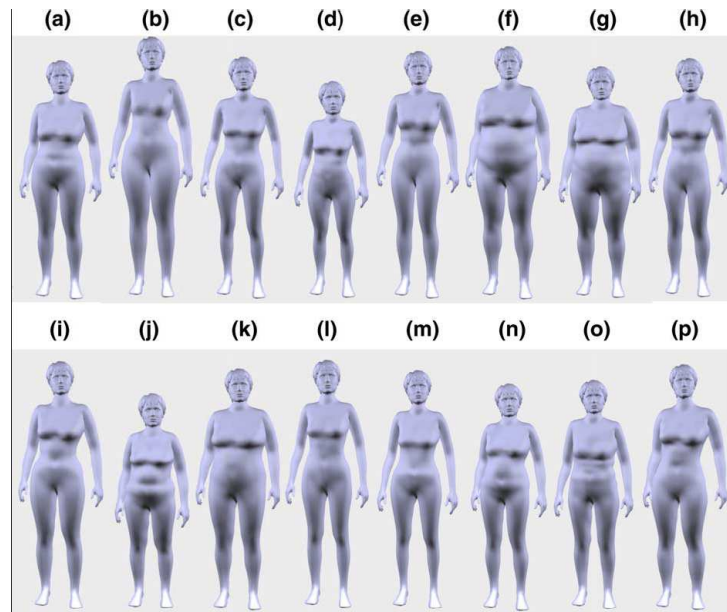


Figure 32.

Génération de modèles de femme à différents paramètres d'entrée

Une nouvelle fonctionnalité est présentée dans les travaux de Wang [34] qui est basée sur une approche paramétrique du corps humain directement à partir du nuage de points non organisés. Le paramétrage se compose d'une technique d'extraction de caractéristiques sémantiques qui est appliquée à la construction des fonctionnalités filaire d'un corps humain en 3D. Ensuite, la surface maillée des détails symétriques du corps humain est modélisé. En vue de générer des surfaces continues maillées issues de l'interpolation des courbes sur le réseau filaire ; les correctifs de Gregory sont utilisés et un algorithme à base de voxels (pixel 3D) ajoute des détails sur le lissage par le nuage de points.

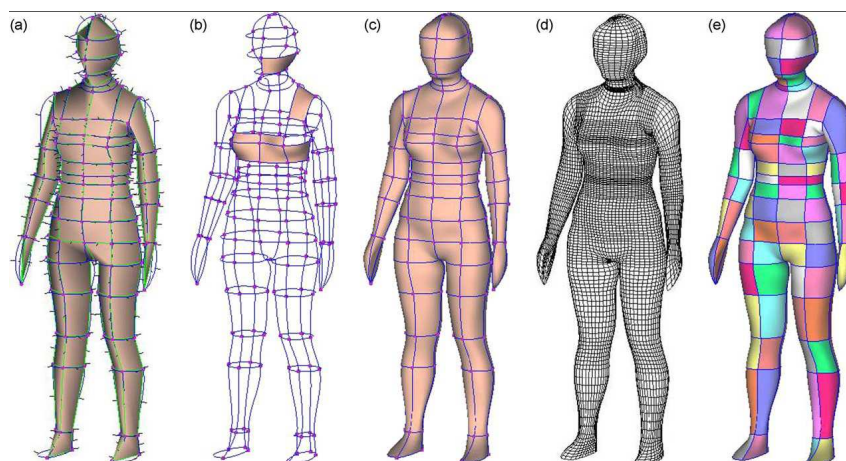


Figure 33.

Fonction de mise à jour automatique du correctif de Gregory : (a) topologie graphique des sections, (b) courbes et parcelles d'un corps humain, (c) l'ensemble des morceaux générés, (d) la structure maillée par morceaux (e) mannequin en morceaux pour vérifier la fonctionnalité des patronages.

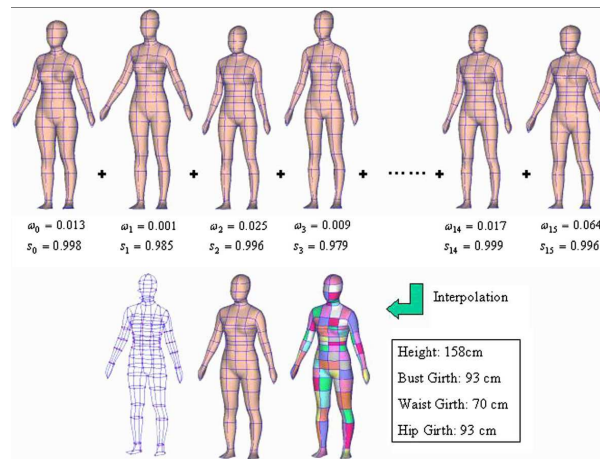


Figure 34.

Synthèse d'un corps humain.

Enfin, le maillage des surface est ajustée à devenir symétrique. L'approche paramétrique pour créer des corps parfait sur le plan esthétique synthétise des modèles échantillonnés paramétrés par rapport à un nouveau corps humain en fonction des données d'entrée de l'utilisateur sur la taille et le corps humain, une vaste gamme de dimensions peut être générée. L'avantage de ces méthodes souligné par l'auteur est que son modèle a généré des erreurs d'approximation minimisée. De plus tous les mannequins construits par cette approche ont des fonctionnalités compatibles, qui bénéficient de la conception automatique de vêtements personnalisés autour des corps humains.

Les travaux de Stylios, Han et Wan [35] sont consacrés à créer un système conçu pour s'interfacer avec le Ecommerce international par un modèle géométrique 3D paramétrique de corps humain virtuel en ligne, une image de la mesure et une gestion d'une base de données stockée sur un serveur SQL. La nouvelle approche de la modélisation du client repose sur un corps paramétré compact approprié à la communication en ligne, lequel est reconstruit en 3-D à partir de photos 2D par des techniques d'imagerie et changé facilement à partir des différentes données du corps humain. Les mensurations du corps humain en ligne et la reconstruction du corps intègre les éléments suivants: le traitement d'image et la reconnaissance des profils du corps 3D, un système de reconstruction du corps, une reconstruction de la tête de l'homme et le mapping du visage, le stockage des données et leur récupération. La base de données proposée se compose de nombreuses tables qui contiennent les informations individuelles sur le nom, le sexe, l'âge, la taille, l'image du corps 2D et les données de mensuration de l'image morphologique des contours de seins, de taille, etc. Les données de mensuration peuvent provenir d'une caméra ou d'un scanner 3D, qui peut fournir des données détaillées sur le modèle virtuel du corps humain pour sa construction.

II.5 Analyse anthropométrique

La conception d'un mannequin morphotype adaptatif doit suivre certains critères contribuant à la beauté du corps ainsi qu'à sa stabilité dynamique. Pour cela deux grandes lois doivent être omniprésentes pour suivre cette stratégie, celle qui respecte les lois de proportionnalité par son aspect dimensionnel et celle qui respecte la distribution des masses.

II.5.1 Les paramètres morphologiques :

L'analyse d'un morphotype requiert la connaissance de la morphologie et des proportions du corps humain étroitement liée à la notion de beauté [36][37][38]. L'étude de l'esthétique mène à l'anthropométrie. Une étude de la morphologie esthétique montre les liens éventuels avec le concept de Beauté. Pythagore, un austère philosophe, recommandait une mystique théorie des nombres il y a de nombreux siècles. Lui et ses élèves ont découvert une curieuse relation d'harmonisation entre deux parties d'un tout : "le rapport entre la plus grande de ces deux parties et la plus petite est égal au rapport entre le tout et la plus grande". Ce rapport est appelé "nombre d'or" (ou la "section d'or") et est égale à 1,618. Nombreuses proportions relatives au corps humain suivent cette théorie du "nombre d'or" : le rapport entre la stature et la hauteur du point ombilical, le rapport entre la stature moins la hauteur du point ombilical et la largeur des épaules... (Tous=8/5#nombre d'or). Actuellement, de nombreux anthropologues utilisent le rapport inverse 5/8 ou 62,5%. Néanmoins, tous ces proportions étaient extrêmement étudiées et ramenées relativement à la dimension de la stature : la tête = 13,5% de la stature, hauteur antérieure du tronc= 30,6%, le membre inférieur, mesuré à partir du pubis = 51,3%, La longueur du pied = 14,9%, le membre supérieur = 45,5%, la main = 10,9%, l'indice brachial = 74,7%. Beaucoup de ces proportions sont associées à la valeur du "nombre d'or". Le "moderne canon" (canon est un terme précis, une règle) a été établi de façon scientifique et est basé sur l'anatomie et la moyenne des proportions du corps humain. Le «canon des Ateliers» est due à Charles Blanc, mais d'autres proportions ont été décrites par les anatomistes : Quetelet (1871), Topinard (1885), Richer (1890). La notion importante qui se dégage de tous ces travaux est que "le beau" est très proche de la normale c'est-à-dire la moyenne. Cela a été vérifié par le célèbre biologiste italien Viola, après avoir élaboré le schéma corporel d'un italien qui respecterait des proportions moyennes dans l'ensemble. Il a relevé que les proportions de ce morphotype se trouvent dans les statues de l'Antiquité. Le plus parfait est certainement le canon de 7 têtes et demie. Lysippe, célèbre pour l'Apollon du Belvédère, utilisant la tête comme unité de mesure, traduisait 8 têtes dans le corps. Cette

approche ancienne est toujours d'actualité de nos jours si on analyse le processus de création de patronages. Cette analyse nous a permis d'identifier des « contours stratégiques » pour la morphologie d'un corps humain que l'on retrouve en analysant le processus de conception du vêtements. Par l'expression «contours stratégiques», on pense à des termes définis par les normes européennes CEN connu sous l'expression «mesures principales et mesures secondaires, ». Les modélistes ont décidé de choisir le canon proche de 8 têtes car il a l'avantage de simplifier la conception des patronages du vêtement [6][39], (Figure 35).

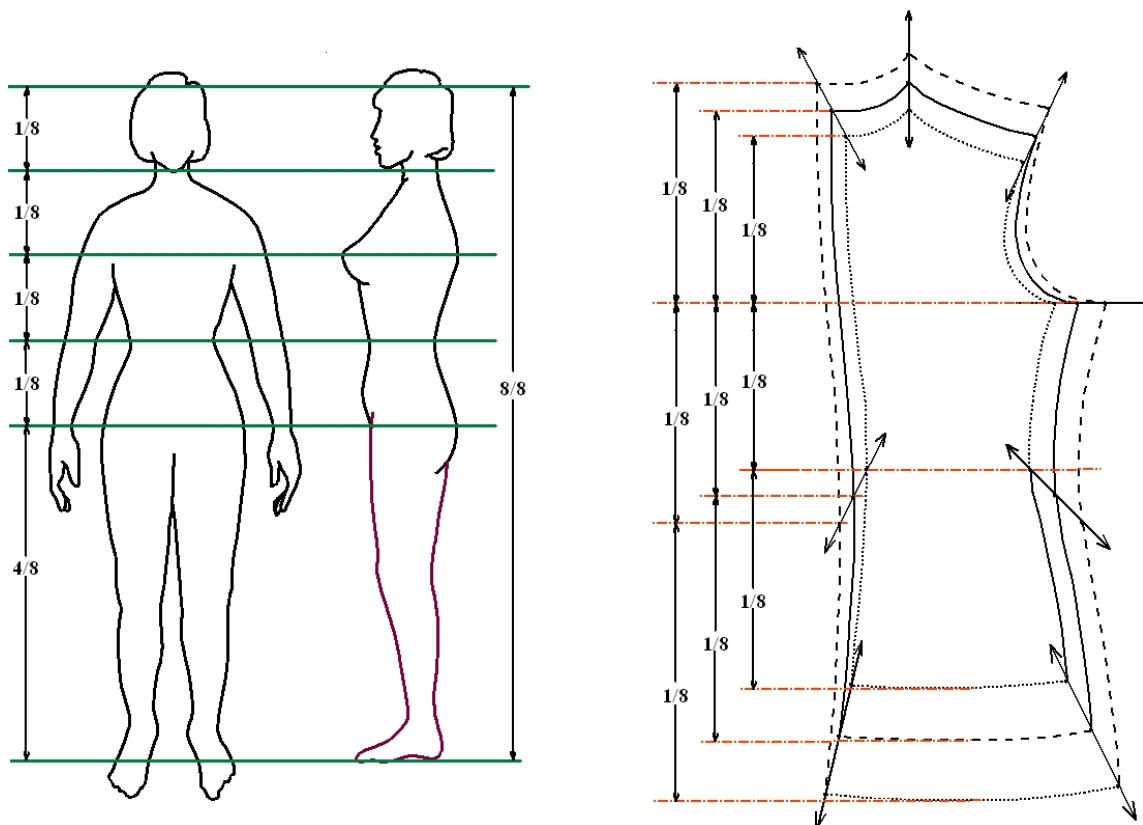


Figure 35.

L'approche de canon de 8 têtes liée à la définition des patronages

L'approche morphologique conduit à une classification pertinente sous forme de morphotypes paramétrés car elle traduit l'interface homme-vêtement en introduisant les termes "contours primaires" et "contours secondaires". Selon notre étude, les contours primaires sont associés à des mesures primaires positionnées dans la direction verticale du corps, et sont étroitement liés à la création des lignes du vêtement [40][41][42]. Les contours secondaires représentent les contours morphologiques complémentaires d'un corps humain nécessaires au processus de création du mannequin virtuel.

II.5.2 Les paramètres dimensionnels:

Les paramètres dimensionnels sont des données permettant de gérer le mannequin adaptatif de manière volumique. Ils sont associés à des contours qui doivent être choisis précisément sur le corps (selon des normes) en prévision de la future construction des surfaces d'un corps et du vêtement. Le contrôle dimensionnel d'un mannequin adaptatif repose sur le choix de deux paramètres de contrôle choisis parmi les paramètres dimensionnels (barèmes de mensuration) [6]. Le choix de chaque paramètre de contrôle doit respecter les règles suivantes :

- avoir la dimension la plus importante dans la direction qu'il contrôle,
- être positionnées dans deux directions perpendiculaires,
- être fortement corrélé avec les paramètres qui se trouvent dans sa direction de contrôle.

En prenant en compte ces remarques, le mannequin adaptatif est donc contrôlé par le contour de la poitrine et de la stature.

La biométrie humaine (l'anthropométrie) est une partie de la biologie qui analyse les mesures faites sur l'homme avec comme support mathématique : les statistiques. Par les mesures faites sur l'homme, on se concentrera ici sur les mensurations anthropologiques. Deux grandes lois mathématiques dominent notre problème et sont à la source de nombreuses applications pratiques :

- la loi de répartition - Les valeurs collectées en biométrie humaine ont des fréquences variables qui se répartissent suivant différentes lois : loi de Gauss, loi de Poisson, etc.....En morphologie, on rencontre seulement la loi binominale de Gauss. Celle-ci est bien connue, car elle correspond à la classique « courbe en cloche ».
- la loi de corrélations - Dans le corps humain les mensurations sont corrélées entre elles. La forme d'une partie est souvent fonction d'un tout. Quand une dimension augmente en même temps qu'une autre on dit qu'elle présente une corrélation directe (positive) ; au contraire si elle diminue quand l'autre augmente il y a corrélation inverse (négative).

Sachant que les lois d'évolution d'un corps peuvent être présentées sous la forme "d'une courbe normale", il existe une relation linéaire entre chaque contour (tour de poitrine, tour de taille, tour de hanche...). A partir d'un barème de mensuration proportionnellement gradé et tenant compte de la corrélation très significative entre le tour de poitrine et les autres contours de même direction, il ressort deux types d'équation linéaire donnant la loi d'évolution de chaque contour fonction du tour de poitrine. Ces lois anthropométriques dépendent du type de

contour. Lorsque le tableau de mensuration ne fait pas apparaître de taille de cassure (cas de la femme), les contours utilisent une première forme linéaire qui s'écrit simplement:

$$Y = A.x + B$$

dans laquelle,

y représente la valeur du tour du contour recherchée

x la valeur du tour de poitrine

A, B constantes

Dans le cas d'une rupture, le problème est différent. Analysant le tableau de mensurations de la Figure 36, on perçoit qu'il existe une taille (48) distinguant notre barème en deux parties. La différence de l'écart entre chaque taille peut être ramenée à un écart moyen (Figure 37, ligne rouge) avec un changement de repère sur la taille de cassure. Cette différence représente l'écart entre l'évolution moyenne et les évolutions réelles (Figure 37, ligne verte et bleue). Les contours utilisent alors une deuxième forme non linéaire qui s'écrit :

$$Y = A2.x + B2 + A3. |Pc - x|$$

dans laquelle,

Pc la valeur du tour de poitrine à la taille de cassure

A2,B2 constantes de la droite de pente moyenne

A3 constante traduisant l'écart entre la droite de pente moyenne et les droites réelles.

et telle que,

$$\frac{A + A1}{2} = A2, \quad \frac{B + B1}{2} = B2, \quad \frac{A1 - A}{2} = A3$$

	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54
Tour de poitrine	80	84	88	92	96	100	104	108	114	120	126
Tour de taille	58	62	66	70	74	78	82	86	91	97	103
Tour de bassin	84	88	92	96	100	104	108	112	117	122	127
Tour des petites hanches	73	77	81	85	89	93	97	101	106	111	116
Hauteur du bassin	19	19,25	19,5	19,75	20	20,25	20,5	20,75	21,25	21,75	22,25
Hauteur des petites hanches	8,4	8,6	8,8	9	9,2	9,4	9,6	9,8	10,3	10,8	11,3
Hauteur de poitrine	25,5	26	26,5	27	27,5	28	28,5	29	30	31	32
Ecart de poitrine	18,5										
Longueur taille dos	41,25	41,5	41,75	42	42,25	42,5	42,8	43	43,5	44	44,5
Longueur taille devant	44,2	44,8	45,4	46	46,6	47,2	47,8	48,4	49,4	50,4	51,4
carrure dos	34,5	35	35,5	36	36,5	37,5	38,5	39,5	40,5	41,5	42,5

carrure devant	33	33,5	34	34,5	35	36	37	38	39	40	41
Tour bas encolure	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Longueur d'épaule	13,4	13,6	13,8	14	14,2	14,4	14,6	14,8	15,2	15,6	16
Longueur du bras	59	59	59	59	60	60	60	60	61	61	61
Hauteur du bras au coude	35,5	35,5	35,5	35,5	35,5	35,5	35,5	35,5	35,5	35,5	35,5
Tour du bras	25,5	26	28	29	31,7	32	32,7	33	33,7	34,4	35,1
Tour du poignet	15	15,5	16	16	16,5	16,5	17	17	18	18	19
Longueur latérale à terre	99,75	100	100,25	100,5	100,8	101	101	101,5	101,75	102	102,3
Hauteur du montant	24,5	25	25,5	26	26,5	27	27,5	28	28,5	29	29,5
Hauteur du genou	57,95	58,05	58,15	58,25	58,35	58,45	58,6	58,65	58,75	58,85	58,95
Longueur d'enfourchure	59	61	63	65	67	69	71	73	75	77	79
Tour de cheville	20,5	21	21,5	22	22,5	23	23,5	24	24,5	25	25,5
Tour du genou	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
Tour de cuisse	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64

Figure 36. Tableau de mensuration avec taille de cassure en 48

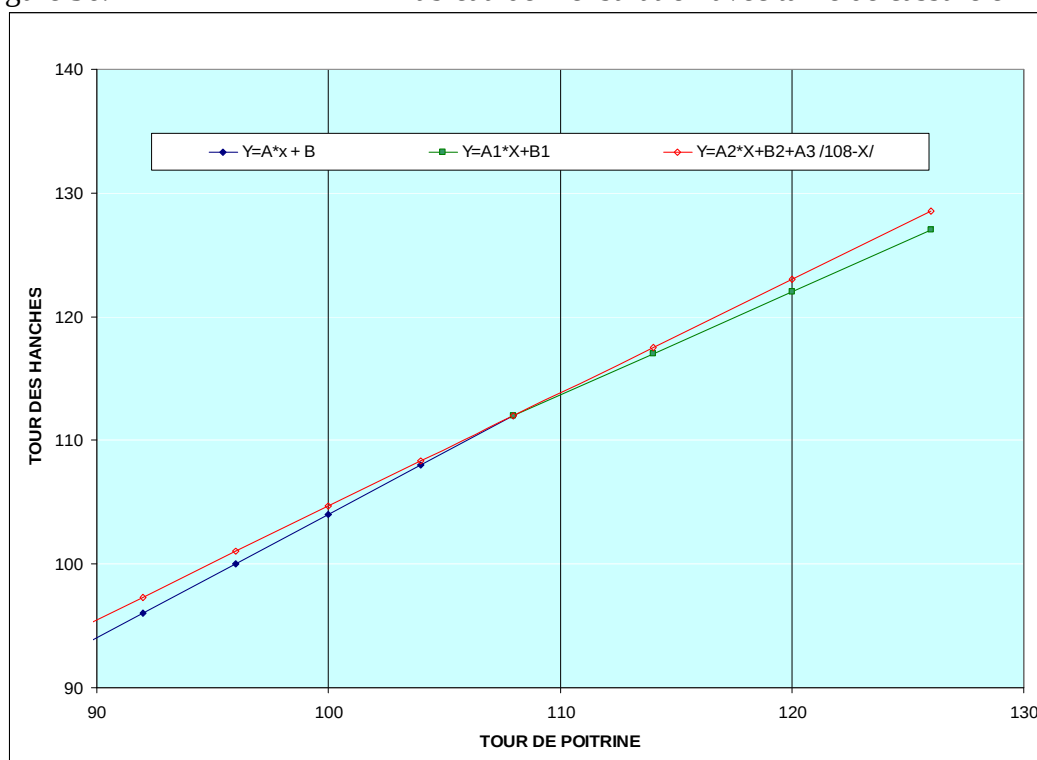


Figure 37. Lois de gradation ramenée sur la taille de cassure (cas de la poitrine)

II.5.3 Distribution devant/arrière

L'évolution massique d'un corps est régit par une loi de répartition des proportions du devant par rapport au dos [38]. Lorsqu'un contour augmente, il évolue de manière homothétique et centré sur un point de répartition définis à une position très précise et fonction du contour poitrine. Ce point doit être placé pour garantir que le devant représente 62,5% par rapport au dos 37,5%. Deux plans l'un de symétrie (plan sagittal), l'autre de répartition (plan frontal) se coupe à ce point précis (cf § II.1).

II.6 Mass customisation

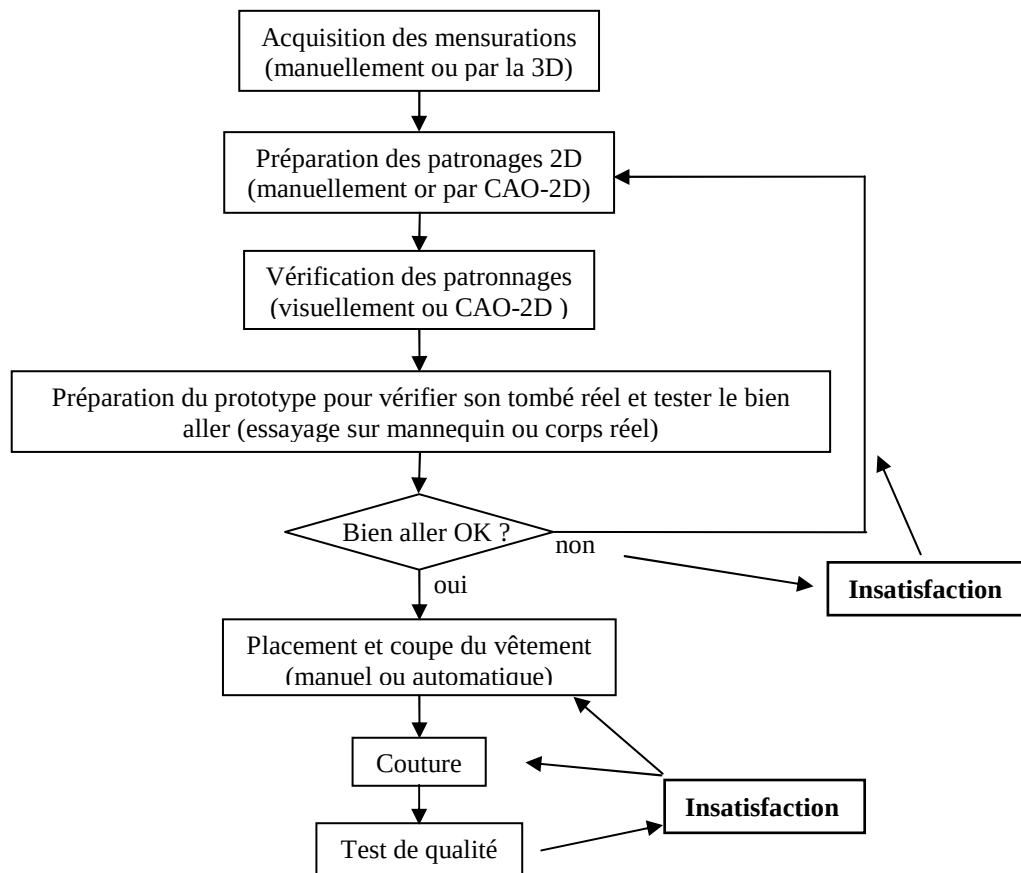
La demande des vêtements personnalisés est énorme. L'Institut Francais de la Mode a entrepris une étude en fév. 2006 au sujet de la demande du consommateur pour porter des vêtements parfaitement ajustés à leur mensuration. A partir d'un échantillon de 1209 hommes et femmes dans une gamme d'âge 18-64 ans et à l'aide de divers outils statistiques [44], quelques données intéressantes ont émergé. Le marché potentiel pour uniquement la personnalisation de la confection des hommes est estimé par un chiffre d'affaire de 1647 millions d'euros. Le marché de la mode pour le secteur de l'homme est régulièrement ignoré même s'il représente une niche d'investissement. En outre, la personnalisation de ce secteur est beaucoup plus facile que celui de la femme car la gamme est limitée à quelques modèles de base d'usage courant pour toutes occasions.

Cette étude intéresse également le domaine de la vente en ligne (e-commerce) car les vêtements conçus numériquement peuvent être employés pour un affichage plus réaliste et plus exact dans les magasins virtuels accessibles par Internet [45][46]. La question qui se pose en priorité est jusqu'où peut se faire l'automatisation du processus par les outils des logiciels courants. Entre autre, nous voyons clairement que le marché pour la personnalisation de masse est énorme mais entraîne quelques difficultés face à la vie moderne d'aujourd'hui. Ce concept est confronté :

- à l'exigence assortie de client avec la réalité opérationnelle estimée
- au E-commerce
- au changement à adopter par le producteur, fournisseur, détaillant.
- aux garanties de l'engagement de client à acheter.

L'enjeu de la personnalisation de masse nécessite une étude très spécifique car le développement de produit plus rapide demande d'adapter notre travail aux logiciels disponibles sur le marché de la CAO 3D. Cela entraine de tester également les capacités de

ces logiciels faces à des spécificités du métier de la confection telles que les plis ou les cols pliés en vérifiant le réalisme du résultat dans une plateforme de logiciels. Un juste compromis doit être effectué entre le temps de travail des personnes impliquées dans le domaine de la



création de vêtement adaptée aux besoins du client et le temps de réaction. Une simple perturbation du processus courant de développement de vêtement se répercute fortement dans les calculs de rendement.

Figure 38.

Organigramme du processus de création de vêtement du patronage jusqu'à la réalisation réelle du vêtement.

Etant données ces éventuelles perturbations et au regard de l'organigramme du processus de création de vêtement d'aujourd'hui (Figure 38), nous pouvons conclure que la majeure partie des processus et des procédures sont trop rigides et non adaptées à la mise en place d'une production de masse personnalisée. Toutefois une personnalisation de masse réussie défie ce processus rigoureux de la production de masse qui aurait besoin à son tour d'une restructuration complète, sur la méthodologie de design mais aussi sur son outil de production.

D'après Loker et Yun Jeong Oh [47], la mass customisation, stratégie de business sur les technologies pouvant répondre aux ordres de fabrication pour la personnalisation des

individus, est d'un intérêt particulier pour les industries de confection semblable à une stratégie de compétition, ce qui conduit alors à "la production de masse de produits fabriqués individuellement". Il déclare que cette stratégie nécessite l'utilisation de technologies qui délivrent des plus petites quantités à livrer dans le temps le plus court, afin que les clients soit satisfaits. L'utilisation de la technologie et l'apport de la personnalisation sont tous deux liés à la personnalisation de masse pour réaliser des produits personnalisés et des services. De plus, contrairement aux techniques traditionnelles de sur mesure qui s'effectue souvent manuellement et se concentre sur des caractéristiques uniques en son genre à n'importe quel coût, la personnalisation de masse utilise des technologies pour traiter le client qui exige des caractéristiques spécifiques à des prix relativement bas. Bien que la personnalisation de masse dans l'habillement et la plupart des autres industries en soit encore à ses balbutiements, la connexion entre la technologie et l'offre de personnalisation efficace est peut-être déjà sur le point d'affecter les variations des performances établies sur le temps de planification des travaux en cours et de la livraison.

La technologie de numérisation 3D du corps est ciblée pour être utilisée dans l'industrie du vêtement, en particulier pour automatiser l'ajustement personnalisé, la prédiction des tailles, le paramétrage du bien aller, l'essayage virtuel, le service clientèle personnalisé, la Co-conception de la personnalisation de masse, le développement de patronage customisé chez soi devant son ordinateur. Mais le succès final de ces applications commerciales basées sur l'exploitation des données du corps scanné sera validé par le consommateur et par l'utilisation des applications. Pour cela, Loker, Ashdown Cowie & Schoenfelder [48] ont sondé un échantillon de 203 femmes de 34 à 55 ans sur les intérêts commerciaux de ces six dernières applications après qu'elles ont été numérisées. Les résultats ont indiqué un grand intérêt par plus de 80% des échantillons de l'essayage virtuel, de la prédiction des tailles, de l'ajustement personnalisé, du service clientèle personnalisé. L'utilité des six applications commerciales avec des données de corps scanné a également été évaluée, et varie par objectif. L'enquête conduit aux résultats suivants : l'essayage virtuel a été choisi à 35%, tandis que l'ajustement personnalisé, la prédiction des tailles et le service clientèle personnalisé à 15-16% chacun. L'essayage virtuel contribue fortement à l'acte d'achat des vêtements sur Internet, pour vérifier le porter des habits sur soi même, ainsi que la customisation des vêtements qui correspondent mieux au concept Internet. Les femmes exprimant leur mécontentement aux produits du secteur du prêt-à-porter et ayant des revenus plus élevés seraient les futurs acheteurs potentiels par Internet si les avatars étaient disponibles commercialement. Des recommandations sont faites à la communauté scientifique sur l'expérimentation afin d'étudier

comment pourraient être stimulées les intérêts des consommateurs dans la cooptation de ces applications. La demande de vêtements personnalisés a été notée au premier plan alors que trouver des vêtements qui conviennent suite à des prévisions de taille était en second plan. Ces résultats suggèrent un grand potentiel d'utilisation des avatars fondées sur l'intérêt du client et indiquent les stratégies de marketing visant à répondre aux besoins du marché ciblés vers la mass customisation.

Dans l'analyse faite par Krueger [49], le concept de la mass customisation est devenu un enjeu essentiel pour de nombreuses industries profitant de cet essor informatique qui tirent la plupart des sociétés vers le modernisme numérique. Dans l'industrie de l'habillement le sujet a été largement débattu, et quelques sociétés américaines comme IC3D.com ou Made4Me.com ont relevé le défi de le mettre en place. Ce qui reste sans réponse est la question de la rentabilité. Cibler le coût constitue l'élément essentiel de base qui permet d'aborder cette question. L'article analyse le coût de la personnalisation de masse par la méthode des coûts cibles. Il est important de ne pas considérer le coût cible ponctuel comme un outil pour la planification des investissements et du coût. Il s'agit plutôt d'un processus qui est exécuté sur une base régulière, à long terme une entreprise tire un grand profit de la réalisation des effets d'apprentissage, par exemple en raison de la réactualisation continue des tableaux relatifs à la qualité des produits. Il convient de souligner que l'application des coûts cibles peut être beaucoup plus difficile à mettre en œuvre que l'exemple simplifié proposé dans leurs travaux. Les composantes de produits et le processus devront peut-être être beaucoup plus détaillés pour servir de base aux décisions d'investissement. Ainsi, il suppose que les mesures de réduction des coûts dans un seul processus n'ont aucune influence sur un autre processus, dans la réalité, ce qui est rarement le cas. Il émet aussi l'hypothèse qu'il faut également s'attendre à ce que la réponse des consommateurs à l'enquête initiale est de ne pas considérer pertinents et importants les aspects de coût. Lorsque ces facteurs sont compris dans les coûts cibles, le processus devient beaucoup plus compliqué, mais aussi beaucoup plus réaliste. Même si le coût cible peut apparaître comme un processus très sophistiqué, il est extrêmement utile pour les entreprises de l'industrie du vêtement. En particulier sous des objectifs de personnalisation de masse, où les entreprises ne s'orientent pas vers une segmentation de marché, mais plutôt vers l'individualisation, le coût cible est le moyen approprié pour garantir que les consommateurs reçoivent exactement le produit aux caractéristiques souhaitées à un prix qu'ils sont prêts à payer. Si cela peut être fait sur une grande échelle, il en résulte la définition exacte de la mass customisation.

Avec l'arrivée de la révolution industrielle et de pièces interchangeables, la fabrication passe de l'artisanat à l'ère de la production de masse. Mais aujourd'hui il y a une nouvelle ère qui émerge appelée mass customisation. Ce concept prend le meilleur de l'artisanat, lorsque des consommateurs avaient des produits construits à leurs spécifications que seule une certaine catégorie de population pouvait se l'approprier, alors qu'avec le meilleur de l'ère de la production de masse, tout le monde pouvait obtenir le même produit, car il était abordable. Le travail de Fralix [50] met en évidence le développement de la mass customisation et la position de l'industrie de la confection pour tirer partie d'elle. Comme les entreprises novatrices dirigent leurs concepts et techniques de production traditionnelle vers de nouvelles techniques de personnalisation de masse, le document permet de donner un aperçu de l'intégration des technologies de l'information, la mécanisation, et de la flexibilité des équipes de base de fabrication. Les technologies émergentes pour la personnalisation de masse telles que la mesure 3D du corps sans contact et de l'impression numérique sont discutées. Avec la mass customisation, il est également indispensable de prévoir les besoins en logiciel de l'industrie, il est nécessaire de comprendre les attentes des divers consommateurs qui influencent la chaîne d'approvisionnement. Certaines de leurs attentes résultent de caractéristiques comportementales de consommateurs qui ont changé au fil du temps. En analysant ces changements, il est possible de prévoir avec plus de précision les futures attentes. Fralix souligne que dans le passé, les clients étaient habitués à la sélection de marchandises dans la disponibilité du stock, et à avoir été un peu ou pas directement impliqués dans le choix et les fonctionnalités du produit. Aujourd'hui, le client veut plus de choix et s'impliquer plus dans les options qui lui sont disponibles. Il est connu que les technologies analogiques sont remplacées par des technologies numériques, du recodage numérique aux téléphones numériques, aux caméras numériques, à la conception de vêtements virtuels. La numérisation 3D du corps, l'impression numérique et la personnalisation de masse a alors d'importantes implications pour l'industrie du vêtement ajusté au corps et de nouveaux marchés peuvent se créer à la suite de ces technologies en accord avec la stratégie de l'entreprise. La génération automatique des patronages en 3D implique l'utilisation d'un système de CAO de vêtement très efficace et est nécessaire non seulement dans la production de masse, mais aussi dans la production personnalisée de vêtements. Le modèle du corps humain doit avoir la capacité de décrire l'individu, il est appelé "avatar" d'un modèle du corps humain, et le problème est profondément relié à la technique de mesure 3D.

Comme il a été mentionné dans [35], les trois domaines importants qui peuvent générer de nouvelles façons de concevoir, de vendre et de fabriquer des vêtements sont le drapé du vêtement et sa dynamique sur un mannequin animé, l'échange en ligne de données techniques et commerciales, et les données du modèle humain virtuel.

Xu, Huang, Yu et Chen [51] présentent la "mass customisation" comme de nouvelles tendances de fabrication dans laquelle le marché des produits de masse (par exemple les vêtements) est modifié rapidement en fonction des besoins des clients. C'est un moyen efficace de concurrencer les stratégies de fidélisation de clients par la satisfaction et de minimiser les coûts d'inventaire. Pour cette raison, ils énoncent qu'un système automatique de prise de mesures du corps est indispensable pour la personnalisation de masse des vêtements.

Gupta, Khas, Garg, Arora, et Priyadarshimi [52] rappellent qu'il existe de faible corrélation entre les mesures des longueurs et des circonférences d'un corps humain sauf dans le cas des dimensions majeures des circonférences, à savoir, entre la hanche, le tour de taille. Aussi, les auteurs développent des gabarits de mesures graphiques combinant les mesures des circonférences et des longueurs. Ils montrent que les exigences sont souvent contradictoires, comme celle d'essayer de fournir le meilleur ajustement en utilisant un nombre minimum de tailles. Le point fort en faveur de ce système de gabarit est qu'il définit exactement le nombre de personnes relevant de chaque catégorie de taille. Cela permet à un détaillant ou un fabricant de choisir la taille présentant un intérêt pour eux et de savoir à l'avance combien de pièces à fabriquer ou à stocker. Ces chiffres varient d'un magasin à l'autre et peuvent être calculé exactement en fonction du pays ou de l'emplacement du magasin. Le degré de validité de chaque mesure peut être variable. Elle peut être différente à chaque mesure en fonction du critère d'ajustement désiré à un élément particulier. Il est possible de changer la mesure et le nombre de mesures utilisées pour le regroupement. Les auteurs développent un algorithme pour trouver la taille des corps de façon à accommoder le nombre maximum de personnes sous les contraintes imposées par une fonction fitness. Pour obtenir des tailles de vêtements qui couvrent une grande partie de la population, ils ont élaboré un algorithme spécifique à l'ensemble de la population. Cet algorithme est interactif en mode réel car à chaque étape, il reprend la recherche de la taille des vêtements potentiels qui couvre le plus grand nombre de points non traités et s'arrête lorsqu'il a saisi le nombre de tailles autorisées. Pour les 20 tailles testées, dans le meilleur des cas, ils ont obtenu 51% de la population couverte, avec trois mesures prises en compte lors de la segmentation : la hanche, la taille et la hauteur.

Dans l'article de Wang [53] sont présentées les solutions techniques 3D automatique de sur-mesure de produits pour l'habillement. Des surfaces de forme libre sont adoptées pour

représenter la géométrie complexe des modèles de vêtements. Lors de la conception d'une surface complexe, les abstractions sont fixées en liaison avec les modèles utilisant une structure de données non-manifold (c.a.d bien définies). Les produits sont essentiellement conçus en fonction des caractéristiques du corps humain et, par conséquent, ont en commun un ensemble de caractéristiques associés à un modèle humain. La modélisation basée sur des fonctions paramétriques permet la génération automatique de vêtements montés sur différents corps (Figure 39).

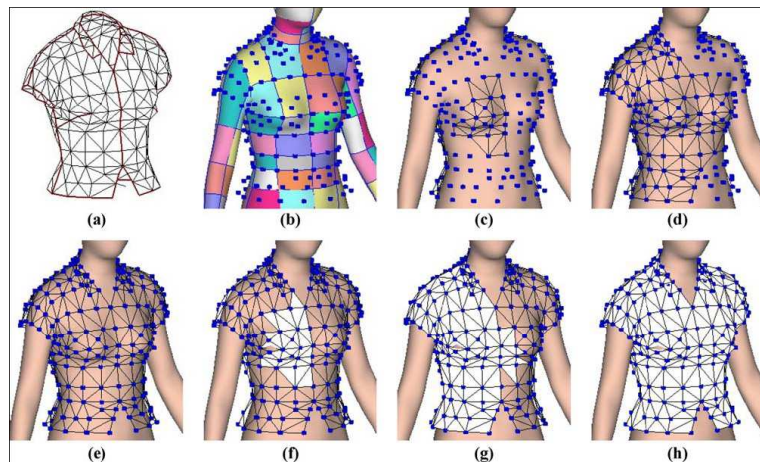


Figure 39.

Un exemple de diagramme topologique du processus de construction

Par cette approche, les différents produits d'habillement sont représentés chacun par une caractéristique particulière qui modélise la préservation des caractéristiques individuelles et du style. Lorsque la spécificité du modèle est encodée comme la fonction de patronage de l'équivalent du corps humain, il automatise la génération du vêtement sur-mesure. Le processus d'encodage est réalisé en 3D, ce qui permet de résoudre fondamentalement le problème de bien aller dans le montage et dans le processus d'élaboration de patronage. Cette étude donne une solution intégrée au-dessus de tous problèmes. Dans le détail, une structure de données non-manifold, une méthode de conception constructive, quatre outils de modification de forme libre, et une méthode de codage/décodage de modèle détaillé sont développés pour l'automatisation de conception personnalisée de produits d'habillement.

Cette proposition semble très intéressante surtout pour la vente en ligne par son changement automatique de taille.

Les travaux de Grob, Fuhrmann et Volker L. [54] proposent une méthode de pré-positionnement automatique de vêtements virtuels qui peuvent être utilisées dans une boutique virtuelle. Au cours de la simulation des vêtements pré-positionnés, les patronages

réels sont utilisés. Cela signifie que les modèles créés en 2D sont transformés en 3D. Il semble qu'il n'y ait pas de difficulté à positionner des patronages déjà prévus en 2D parce qu'ils intègrent les informations sur les dimensions humaines tout en prédéfinissant leur position sur le corps. L'algorithme de positionnement géométrique place plusieurs pièces de vêtements automatiquement et simultanément autour du corps humain (Figure 40).

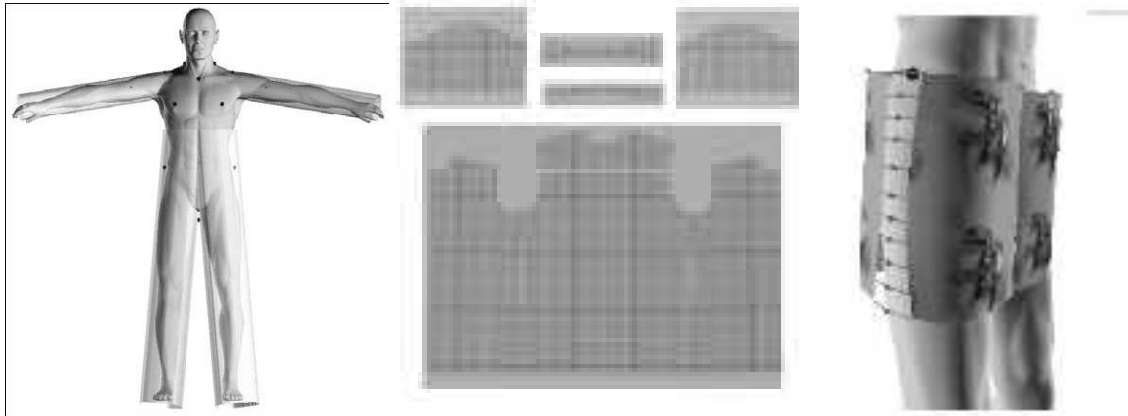


Figure 40. (a) Surfaces limites transparentes (cylindres) autour des bras et des jambes. (b) Mises à plat des patronages d'une chemise sur surfaces limites pour le haut du corps, le col et les bras. (c) Short pré-positionné.

Les patronages sont placés très près du corps de telle sorte que le bien aller final peut être calculé par un algorithme de façon efficace suite à la simulation du vêtement. L'énorme difficulté apparaîtra pour décrire un vêtement approprié selon les tissus utilisés.

Un système de CAO a été développé pour effectuer la création de vêtements en mode automatique avec la prédiction du drapé de leur forme finale conçus sur le corps humain [55] [56]. Un modèle de conception écrit en langage script a été créé pour développer un système automatique pour la réalisation des patronages de base des vêtements, et extraire les règles de gradation permettant de générer les différentes tailles des vêtements. Egalement un module de modification des patronages a aussi été élaboré en tenant en compte des fonctions spécifiques à l'habillement, tels que la génération des patronages auxiliaires, la création des lignes de couture, ainsi que la manipulation des pinces pour générer des patronages adaptatifs qui peuvent être utilisés dans le système de prédiction 3D de la forme des patronages.

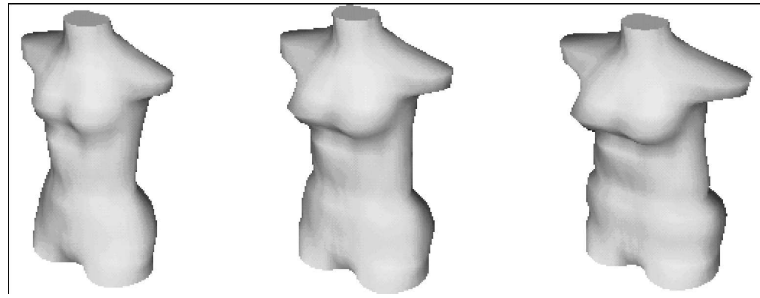


Figure 41. Exemples de modélisation des différentes tailles de torse

Ensuite, un modèle du corps humain a été mis en place pour draper le vêtement sur celui-ci (Figure 42). Les valeurs des sections transversales (cross-sections) issues des données anthropométriques ont été utilisées comme un standard pour l'accommodation de la taille, et pour créer un modèle du corps humain adaptatif réclamé pour la production de vêtements en masse avec différentes tailles de vêtements et diverses tailles de modèles du corps humain. Pour construire un système de prédiction de la forme drapée du tissu, ils ont utilisé une méthode d'analyse par éléments finis.

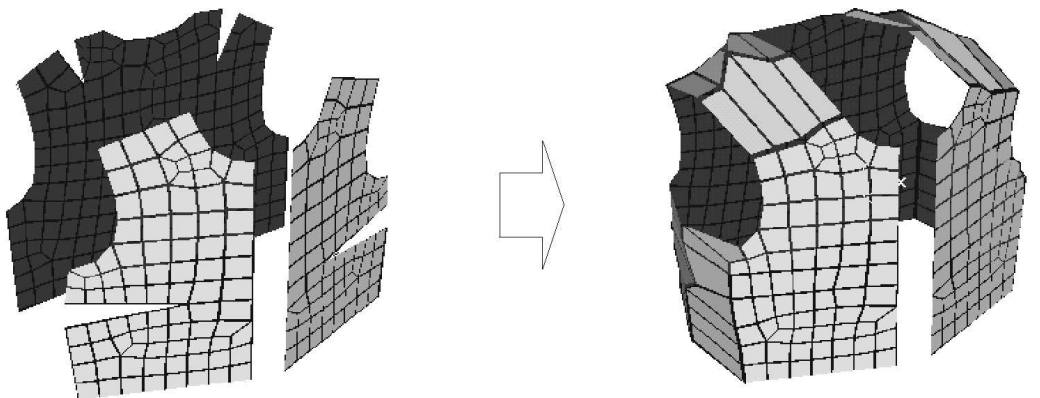


Figure 42. Diagramme schématique de structure virtuelle pour un gilet.

Les morceaux de vêtements à concevoir ont été divisés en éléments finis de type quadrilatère et spécialement codés en utilisant un programme de génération de maillage (Figure 42). Ensuite certaines spécificités mécaniques ont été appliquées sur la couture pour adapter les modèles de patronages 2D en 3D.



Figure 43. Les exemples de vêtements avec des formes prédites.

La forme finale drapée du vêtement a été déterminée à partir des solutions de l'état de contact avec le corps humain, des déformations du moulage, du poids des éléments constituant les patronages, ainsi que de la texture du tissu pour le style (Figure 43).

III Modélisation du vêtement

La simulation du vêtement est peut être l'un des problèmes les plus difficiles dans le secteur de l'ingénierie textile. Les travaux d'Imaoka [57] soulignent l'importance de mettre en place trois modèles de représentation pour effectuer la simulation de vêtements : modèle de vêtement, modèle du corps humain et modèle d'environnement. Cette idéologie conduit à développer le concept "interface homme-vêtement-environnement". Heureusement, la situation, et surtout les techniques de développement, sont bien meilleures qu'il y a 15 ans au début de la recherche dans ce domaine. Le but de la première génération de chercheurs était de montrer qu'il est possible de faire, maintenant le rôle de la seconde génération est de développer des techniques plus sophistiquées pour augmenter la réalité virtuelle.

De nos jours, l'internet et la réalité virtuelle sont présents à chaque étape de la vie d'un être humain : shopping, argent, jeux, films,... Pour la plupart d'entre elles, la dimension virtuelle nécessite des acteurs virtuels - les mannequins. En conséquence, une demande forte est omniprésente dans la conception de mannequin portant des vêtements présentant de plus en plus de réalisme, les vêtements virtuels de toute évidence. Dans des domaines tels que les films ou les jeux vidéos, il est possible de présenter à l'écran des vêtements virtuels très proches de la réalité en intégrant des simulateurs de tissus sophistiqués. Malheureusement, il est très difficile de les traduire en réalité industrielle liée à la production des vêtements nonobstant les problèmes de vêtements et de corps virtuels représentant les travaux de recherche de nombreuses équipes dans le monde entier.

III.1 Approches globales

Les aspects humains de l'utilisation de la Conception Assistée par Ordinateur ont fait l'objet de très nombreuses recherches depuis les années 80 [58][59]. Cependant, cette recherche s'est concentrée sur l'utilisation de la CAO comme outil de conception architecturale dans le domaine du génie industriel. L'utilisation de la CAO dans les industries de l'habillement et du textile a été un peu différente. Les précédents auteurs soulignent que l'accent est essentiellement mis sur l'esthétique fonctionnelle du produit, ce qui a abouti à la mise au point d'applications de CAO spécialisées pour l'industrie du vêtement et des textiles. Ces "nouvelles" demandes de l'illustration de la mode, du design textile et de l'optimisation de la planification de la coupe sont tout aussi importantes que les traditionnelles utilisations des dossiers techniques, de la modélisation mécanique 3D, de la conception de circuits imprimés ou d'architecture. Il s'ensuit donc que les utilisateurs potentiels de CAO peuvent avoir des origines très diverses. L'ingénieur de formation scientifique est un utilisateur de CAO potentiel tout comme le styliste dont l'expérience antérieure est axée sur la créativité et les compétences artisanales. Une enquête relativement récente sur les attitudes de ce groupe utilisant la CAO a été accomplie par Hardaker et Fozzard [60]. Un programme de formation CAO vêtement qui s'est tenu à l'Université De Montfort de Leicester a servi de base pour l'étude. L'étude a examiné l'influence des «variables de retour» ; l'âge, l'expertise de l'informatique sur les attitudes formées et les tests statistiques appropriés ont été utilisés pour identifier les principales tendances dans les données. L'étude comportementale fournit une mesure quantitative du comportement des designers de vêtement professionnel et des personnels sur les machines de découpe de patronages à l'égard de la CAO. Les résultats ont montré que le groupe de designers qui a pris part à l'étude ont été positifs sur l'utilisation de la CAO. En outre, il a été constaté que les designers âgés ou ayant l'expérience de l'informatique ne semblent pas influencer sur l'opinion générale, bien que certaines divergences dans l'opinion aient été enregistrées. Dans ces cas, les jeunes designers et ces designers qui ont préalablement expérience de l'informatique se sont prononcés en faveur de la CAO. L'ensemble des attitudes favorables envers la CAO semblent coïncider avec la perception générale de l'industrie de technologie. Il s'agit donc d'approfondir les recherches dans ce domaine pour déterminer la raison pour laquelle une plus grande proportion de fabricants de vêtements ne tire pas parti des techniques de la CAO 3D.

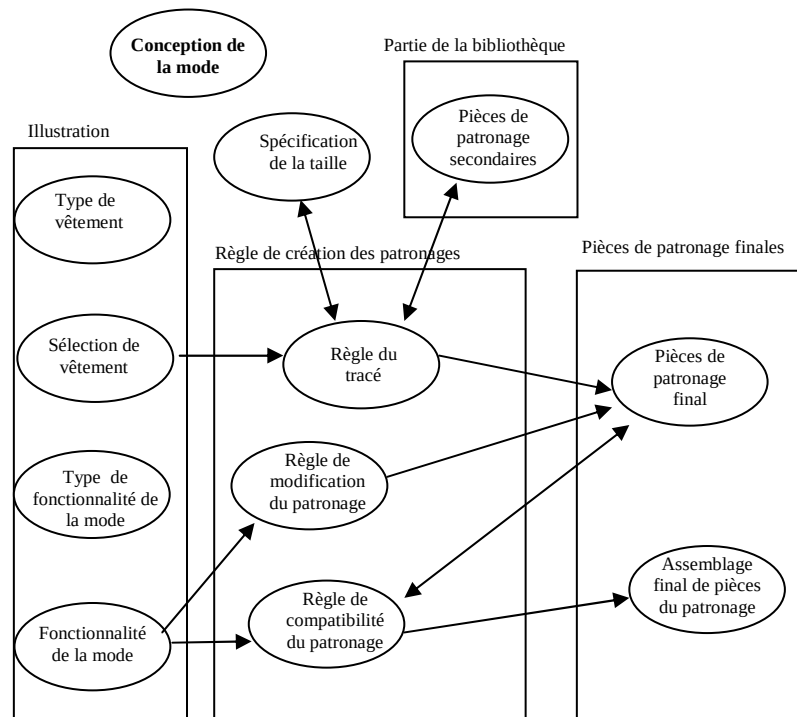


Figure 44. Schéma du processus de conception des patronages.

La Figure 44 montre le schéma du modèle de conception des patronages proposé par Koh et Lee [61] et conçu comme un système de spécifications des besoins. Ces spécifications définissent une première interprétation du processus en termes de comportements, les composantes du processus qui affichent ces comportements, et leurs relations et interactions les uns avec les autres. Ultérieurement, nous observerons que notre modèle de conception de pantalon en 3D s'appuie aussi sur cette méthodologie de travail avec quelques adaptations aux circonstances d'une réalité virtuelle.

Chiricota, Cochaux et Provost [63] exposent une méthode rapide de conception de vêtements 3D à partir de modèles à plats. Les images obtenues sont en étroite relation à des dessins techniques utilisés dans l'industrie du vêtement. Cette approche a été mise en œuvre dans un programme de CAO couramment utilisé dans l'industrie. Basé sur le paramétrage des courbes polygonales mises à plat et les mesures, une approximation géométrique du vêtement est réalisée par la retouche des surfaces en utilisant ces courbes comme points de départ. Les méthodes décrites ci-dessus ont été appliquées pour modéliser certains éléments inhérents au domaine de la conception de vêtements, tels que les cols, les revers et les ceintures. De plus le caractère automatique de l'algorithme de modélisation conduit à la conception d'un programme avec une interface simple. La nature de l'approche géométrique est déterministe, et permet donc de contrôler la position des éléments modélisés. En utilisant les mesures, la position exacte du col ou du revers peut être calculée à partir du modèle original à plat. De

plus, il n'est pas nécessaire à l'utilisateur de manipuler des objets dans un environnement en 3D. Enfin, l'apport de la simulation par un modèle géométrique associé à un système de masses-ressorts, augmente de façon significative le réalisme.

L'exemple de l'habillement contribue à solutionner les applications pour les jeux comme on peut le trouver dans les travaux de Torques, Cani et Hughes [62]. Ils présentent une méthode qui permet l'obtention d'un vêtement virtuel créé sur un mannequin virtuel à partir de ses esquisses 2D. Les résultats présentés semblent corrects sur les photos, malheureusement, cette méthode ne peut pas être adaptée à la conception de vêtements pour notre usage.

Une récapitulation au sujet de la recherche dans le domaine des vêtements virtuels a été mentionnée par Magnenat-Thalmann et son équipe [33][64][65][66][67][68]. Toute cette littérature est consacrée à une méthode de conception de vêtements utilisant un logiciel capable d'ajouter automatiquement les lignes de couture des patrons 2D. Il est évident que ces lignes de coutures seront jointes correctement selon le modèle de vêtements pendant la procédure de la création du vêtement autour du corps virtuel. Cette méthode semble être très utile pour les applications web comme le magasin virtuel sur Internet. La clientèle visualise une image très réaliste du vêtement présenté et la réalité obtenue peut attirer des clients et les influencer sur leur acte d'achat. Mais là encore, ce processus ne peut pas être adapté directement à la réalité industrielle comme la fabrication sur mesure ou aidé une entreprise de confection de vêtements en raison du processus de conception de patronages 2D utilisé qui ne prend pas en compte les détails indispensables.

Dans une autre approche, Carigan, Yang, Magnenat-Thalmann et Thalmann [69] présente une autre utilisation possible de modèles de vêtements pour habiller les acteurs virtuels. Dans ce papier, différents mannequins habillés sont présentés. Cependant, il n'y a pas de détails sur la réalisation de vêtements en plus de l'information selon laquelle ils travaillent comme un tailleur en posant les pièces des patronages 2D directement autour du mannequin. Ce qui ressort de plus intéressant pour nous est le paragraphe qui concerne la réponse aux collisions, en particulier la détection de collision indispensable à la facilité de conception. Leur étude pose comme hypothèse que les forces engendrés par ce phénomène sont essentielles pour monter les pièces ensemble au cours de la couture et comment ces forces sont liées et influencées par le corps. Ils doivent considérer que l'étude de la réponse aux collisions nécessite également des connaissances sur le bien aller du vêtement pour détecter leur position exacte sur le corps habillé. Mais malgré la richesse d'informations sur ces forces mises sur la matière afin de l'animer avec réalisme, il n'y a pas d'informations en ce qui concerne la technique pour définir la distance entre le tissu et le corps. Nous pouvons voir que

les problèmes de contraintes de coutures sont mis sur les pièces 2D, c'est à dire qu'ils expliquent seulement que, par exemple, ce panneau doit être cousu avec cet autre panneau en choisissant la couture en fonction du modèle de vêtement. Les auteurs évitent de définir la valeur de l'aisance et essaient de la décrire comme une distance suffisante autorisant et forçant les points de vêtement et le corps à se rencontrer.

Les travaux de Kim et Kang [70] tiennent compte de la question de l'alignement du corps et du vêtement. Ils proposent une simple solution consistant en 2 étapes. Dans la première étape, un alignement initial des centres de gravité des sections du corps et les parties propres du vêtement sont effectués. La forme du vêtement proposé est conçue en fonction de sa position sur le corps. Ensuite, en utilisant la méthode de génération de l'enveloppe convexe locale, les contours sont superposés mais il n'y a pas les détails sur les valeurs d'aisance.



Figure 45.

Modèle d'aisance proposé

Parce que le vêtement est conçu pour de zones particulières sur le corps humain simultanément, les valeurs de l'aisance sont également proposées afin d'assurer un bien aller du vêtement sur la silhouette (Figure 45). Cela montre une fois encore qu'il est indispensable d'avoir des connaissances sur le tombé de vêtement en raison du décollement du vêtement par rapport au corps ou le bien aller.

Wang, Wang et Yuen [71] présentent une nouvelle approche basée sur la caractérisation pour modéliser intuitivement en 3D le vêtement sur un mannequin 3D en utilisant des patronages 2D. Leur approche est basée sur le concept interface homme-vêtement à partir des caractéristiques prédéfinies, la construction des surfaces du vêtement est liée aux

caractéristiques du modèle humain (Figure 46). Pour cela, une étape de création d'un modèle 3D du vêtement personnalisé est tout d'abord définie en fonction des caractéristiques d'un modèle humain. Ensuite, le profil des vêtements en 3D est spécifié par des esquisses en 2D. Finalement les surfaces des vêtements interpolent les profils 3D spécifiés (Figure 47). Le maillage résultant des surfaces servent alors à la mise à plat de ces surfaces pour l'obtention des patronages 2D utiles à la fabrication. Ce qui est intéressant et représente une avantage dans ce travail est que cette approche fournit un outil de conception 3D pour créer des modèles de vêtements directement dans un environnement 3D à travers des patronages en 2D, caractéristique non disponible dans d'autres CAO de vêtements. Les auteurs soulignent aussi que les modèles de vêtements peuvent être régénérées automatiquement lorsque l'on crée le même style de vêtements pour d'autres modèles. Cependant il manque une évaluation des résultats obtenus par rapport à l'état existant de l'industrie de confection. Pour cela, une comparaison avec les patronages industriels serait intéressante ainsi que la possibilité de générer les différents modèles gradués directement sur un mannequin adaptatif permettant le changement de taille automatiquement.

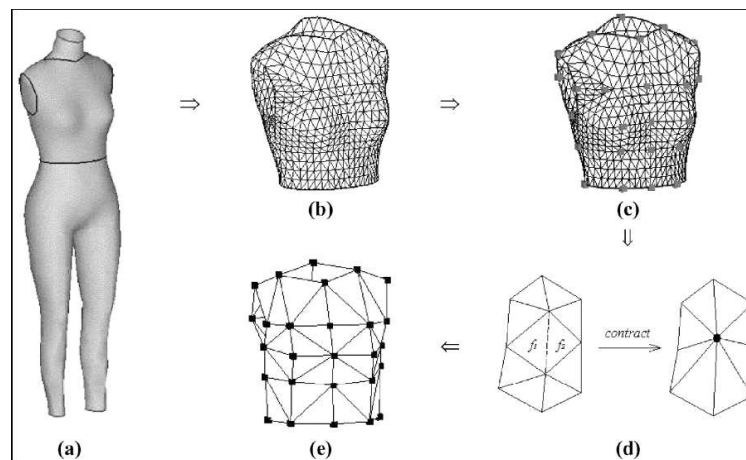


Figure 46.

Approche graphique semi-automatique de la construction topologique

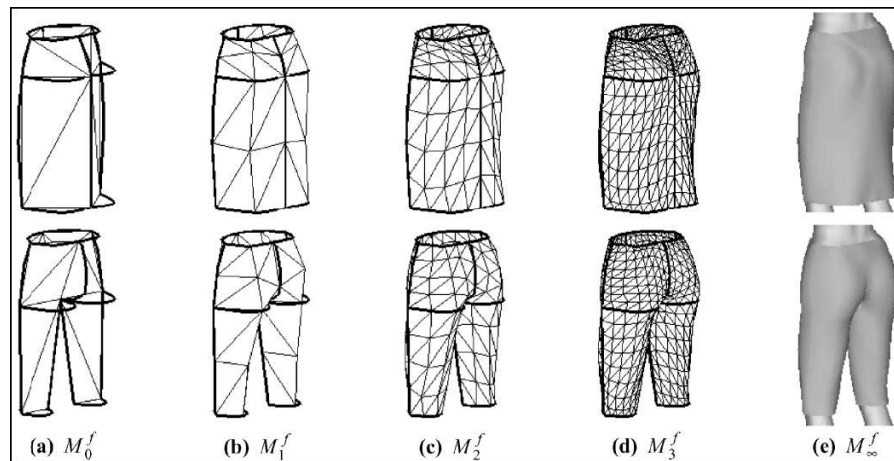


Figure 47.

Evolution progressive des résultats.

Volino, Cordier et, Magnenat-Thalmann dans [72], présente un projet élaboré dans MIRALab en Suisse. Les auteurs l'ont décrit comme une application de prêt à porter dans le domaine de la simulation de vêtements pour l'infographie et également destiné directement à la conception et au prototypage de vêtement pour l'industrie. Leur cadre de travail qui s'appelle "Virtual try-on" est mis en place pour essayer des vêtements virtuels pour les clients via internet. Les patronages 2D associés avec une vue 3D du bien aller du vêtement sur un corps humain virtuel semblent très prometteur pour la visualisation des résultats effectués soit en 2D ou en 3D. La segmentation des couches de tissu proposée tient compte des différentes façons de les positionner sur le corps. Plusieurs catégories de couches de vêtements semblent être incomplètes en raison du problème de leur bien-aller du vêtement sur un corps humain pour les différents types de vêtements. Cela signifie que tous les types de vêtements comme le pantalon ou la blouse ont besoin d'une définition particulière de ses positions autour du corps du client. De plus pour les cas particuliers un modèle du pantalon a la valeur exacte d'aisance définie par les concepteurs (designers) au cours du processus de conception. Ce fait est essentiel non seulement pour les processus de fabrication, mais aussi pour le shopping électronique afin de rendre possible d'essayer les différents modèles de pantalons avec leur bonne valeur d'aisance.

Aua et Yuenb [73] présentent l'intérêt d'utiliser des techniques du "reverse engineering" sur un mannequin. Le document examine le tronc d'une personne décrit à partir du nuage des points obtenus par un appareil de mesure de coordonnées 3D. La référence du modèle physique représentant un mannequin de taille 38 (norme française) est utilisée pour construire le modèle de représentation générique. Les fonctionnalités du modèle de mannequin se composent des principales caractéristiques du torse pour la conception de vêtements. Ces

caractéristiques sont extraites du nuage de points par comparaison avec le modèle de représentation générique. Une association est alors mise en place entre les nuages de points et les facettes du mannequin. Le bien aller entre le modèle de représentation générique et le nuage de points permet d'obtenir le modèle spécifique du mannequin d'une personne précise. Ce résultat est obtenu en optimisant la distance entre le nuage de points et les facettes des surfaces, sous réserve de respecter la continuité des surfaces. L'approche est utile dans la mesure du torse pour la conception de vêtements.

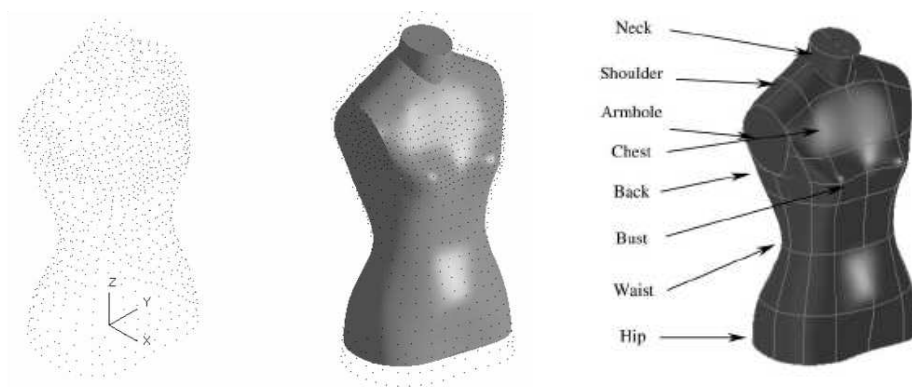


Figure 48. (a) Nuage des points, (b) nuage de points sur le modèle de représentation générique, (c) modèle fonctionnel du mannequin.

Avec l'algorithme de reconnaissance fonctionnelle proposée, le modèle de mannequin caractérisant les mensurations du torse est créé avec des résultats satisfaisants. Cet algorithme fournit une base pour la CAO. Un modèle paramétrique est utilisé pour la production de masse de vêtements avec des tailles standards. L'algorithme de reconnaissance fonctionnelle peut être utilisé dans la conception de vêtements sur-mesure.

III.2 Interface de mise à plat 3D ➡ 2D

Nous allons nous intéresser maintenant aux différentes techniques d'interface d'environnement entre le 2D et le 3D. Jusqu'à présent, la génération de patronages en mode traditionnel, prend un temps considérable et utilise une main-d'œuvre qualifiée. Entre autre, le processus de mesure anthropométrique par des outils traditionnels [6] est très délicat car il dépend de la personne qui mesure. En conséquence, la génération de la mise à plat des patronages nécessite de l'expérience, du savoir faire et une phase d'interprétation que possèdent uniquement les modélistes.

La possibilité de modifier interactivement des patronages 2D de vêtements en mode direct en 3D a été présentée par Gang Luo et Yuen [74]. Ils proposent un nouveau logiciel qui est capable de transférer toutes modifications apportées sur les patronages 2D et de reproduire ces variations sur le résultat de la simulation 3D de vêtement. Les patronages sont décrits sous la forme de maillages triangulaires illustrés par une matrice de 2 facteurs : l'un met en relation les sommets et bords des triangles, et l'autre conserve la liste des positions géométriques des sommets de (R^d). Chaque ajustement présenté par le concepteur consiste à calculer simultanément les nouvelles positions des sommets avec une topologie invariante du maillage. Cette approche permet d'éviter la répétition des itérations sur l'ensemble du maillage en se concentrant uniquement sur la zone de déformation.

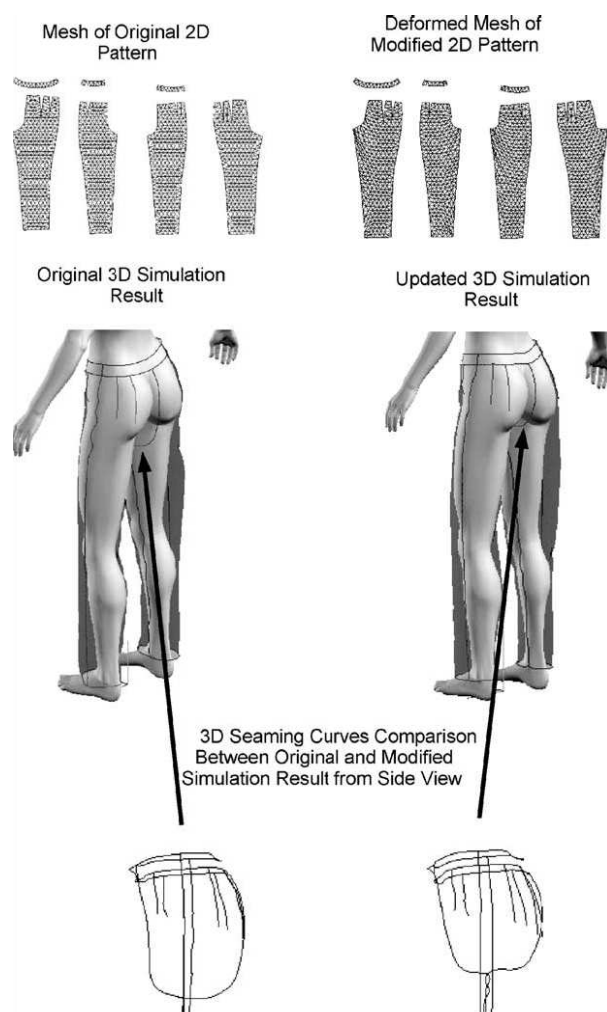


Figure 49.

Modification de l'entrejambe du pantalon.

Les résultats présentés dans ce document montrent qu'il est possible de modifier les patronages, mais nous n'avons pas la possibilité de voir les variations qui sont faites (Figure 49). De plus il n'a pas été prouvé que les nouvelles modifications conduisent à améliorer le design du pantalon et engendrent le bien-être et le confort à l'utilisateur.

Chiricota, Cochaux et Provost [63] présentent un algorithme de modélisation géométrique pour générer approximativement une forme 3D de vêtements en utilisant des patronages 2D. Les images obtenues sont étroitement liées aux dessins techniques utilisés dans l'industrie du vêtement. Cette approche a été implémentée dans un logiciel de CAO utilisés actuellement dans l'industrie. Basé sur le paramétrage des courbes polygonales de la mise à plat et les mensurations, une approximation géométrique du vêtement a été réalisée par remodelage des surfaces en utilisant ces courbes comme points de départ. Les méthodes décrites ont été appliquées sur certaines parties de vêtements inhérents au domaine de la confection de vêtements, tels que les cols, les revers et les ceintures.

Les auteurs McCartney, Hinds, Seow et Gong [75] considèrent d'une très grande importance le sujet consacré à la modélisation 3D de vêtements dans une CAO. Ils ont souligné que les spécificités de ces systèmes sont nécessaires pour convaincre l'industrie de l'habillement. Il faut prendre en compte que la simulation numérique du vêtement et sa conception ne représente plus de nouveaux défis car de nombreuses équipes de chercheurs travaillent sur ce sujet. Lors de la conception des surfaces, les designers créent des vêtements et définissent à la fois intelligemment la bonne position de celui-ci sur le mannequin. Cela signifie que le processus de création dépeint une allure générale du vêtement ainsi que la façon dont il va tomber sur le corps. De plus, l'interface intelligente de conception ainsi que le système intelligent pour le patronage 2D sont en mesure d'établir une conformité entre les patronages modélisés en 3D et le processus de mise à plat des patronages.

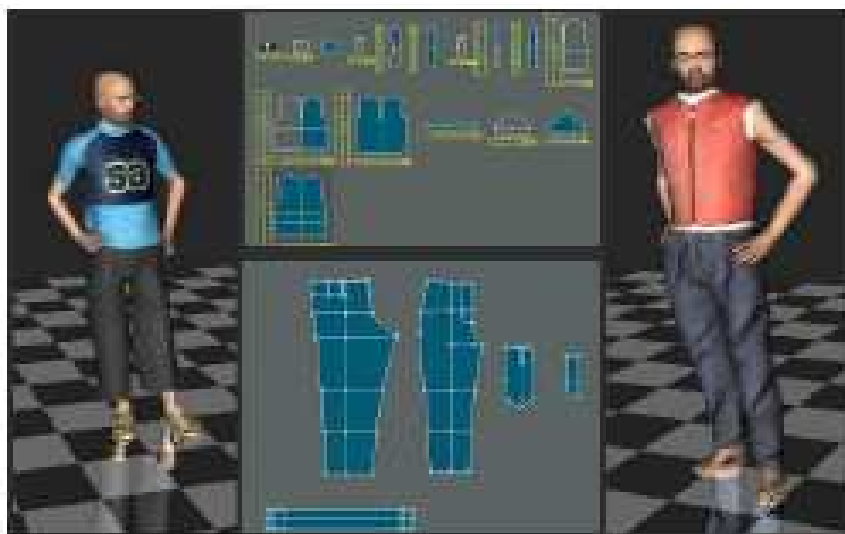


Figure 50.

Simulation de patronages et de vêtements virtuels.

Un algorithme de modélisation géométrique 3D basé sur le "mapping" d'objets 2D sur un modèle 3D a été proposé par Chiricota [76]. Sa méthode peut être appliquée à la modélisation automatique d'un grand nombre de pièces secondaires du vêtement comme les cols, les ceintures, les poches, etc. Il a montré aussi que les résultats obtenus sont précis par rapport au patronage original. L'approche présentée est orientée vers l'automatisation du processus de modélisation du vêtement 3D en utilisant les patronages mis à plat. Le défi de ce processus consiste à minimiser l'intervention de l'utilisateur dans le processus de modélisation avec une interface intuitive pour les stagiaires ou les apprentis. De plus, il semble possible d'adapter cette méthode aux d'autres éléments du vêtement.

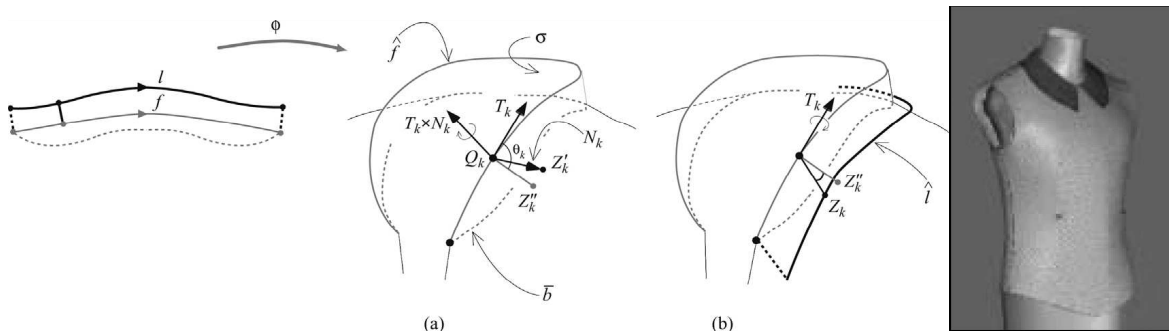


Figure 51.

a) Modélisation du col en 3D (b) rendu virtuel du col

Les travaux de Kang et Kim [77] ont été de mettre au point un système de génération de patronages de vêtement automatique en utilisant un modèle de corps humain mesuré en trois dimensions. Ce modèle est généré à partir des données anthropométriques qui sont corrigées pour obtenir une forme similaire convexe à celui-ci afin qu'il s'intègre dans le processus de création de vêtements. Ils développent un algorithme pour obtenir un ajustement optimal du vêtement et adapter la forme du vêtement en fonction du modèle du corps individuel et ce à partir de l'analyse d'image et de la stéréoscopie. Un autre algorithme générateur de patronages 2D est mis au point pour projeter la mise à plat des patronages du modèle de vêtement ajusté en 3D, en tenant compte des propriétés mécaniques du tissu,. Tenant en compte du fait que les modèles générés par cette méthode semblent très différentes de celles élaborées par la méthode manuelle, ils ont pu constater qu'il aurait été difficile d'exprimer la complexité de la géométrie optimale du vêtement par des méthodes traditionnelles uniquement (Figure 52).

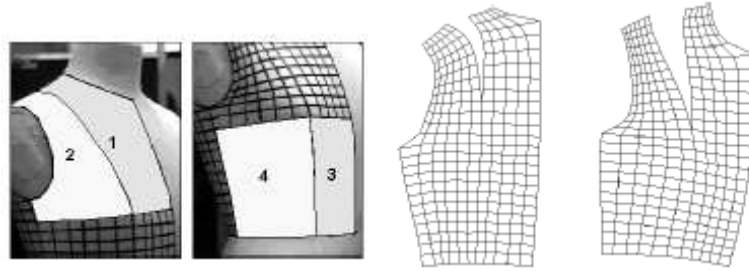


Figure 52.

(a) Schéma de la segmentation de la surface sur le modèle de mannequin. (b) Ajustement des lignes de patronages.

III.3 Modèle d'aisance

Les relations entre le corps et le vêtement sont complexes et souvent ambiguës, de plus la conception de patronages est un processus difficile à analyser. Les méthodes actuelles d'analyse du bien-être de vêtement sont obtenues à partir de mesures linéaires du corps. Bien que, traditionnellement, ces méthodes sont utiles dans l'évaluation du bien-être du vêtement, elles ne sont pas suffisantes pour enquêter sur les complexités relationnelles multiformes entre le corps et le vêtement. D'autre part, à l'heure actuelle, le scanner a la capacité d'obtenir des données précises de la surface du corps humain en 3 dimensions, qui fournissent des informations efficaces pour améliorer le bien-être du vêtement. Ces technologies de numérisation 3D d'un corps humain recueillent suffisamment de données qui peuvent être analysées par des méthodes non linéaires en s'appuyant sur des informations de type surfacique, volumique, ou des données issues des "cross-sections" d'un corps humain. Cet ensemble informel peut être en mesure d'améliorer le traitement global des problèmes de bien-être de vêtement. Pour cela, certains travaux en cours montrent la nécessité de s'engager dans une étude approfondie du concept interface homme-vêtement qui met en œuvre un modèle d'aisance en interactivité forte avec un modèle de vêtement.

Le degré d'aisance d'un vêtement qui est un critère de choix important pour le consommateur intervient dans le processus de construction des patrons d'un vêtement. Pour concevoir un vêtement confortable, avec un bien aller ajusté au porteur, il est nécessaire de déterminer les valeurs appropriées des paramètres d'aisance. Actuellement, bien qu'il y ait beaucoup de méthodes de génération de patrons, elles ne déterminent généralement pas une bonne estimation du degré d'aisance qui est fortement lié aux mouvements du porteur ainsi qu'à la matière utilisée.

Le concept de modèle d'aisance a été mentionné par Kang et Kim [77] après avoir généré leurs patronages. Malheureusement les auteurs n'indiquent pas les détails à propos de la répartition des valeurs d'aisance du vêtement (Figure 53).



Figure 53. Vêtement fini avec l'aisance proposé par Kang

Bily-Czopowa et Mierowska [79] considèrent que les valeurs d'aisance sont en étroite relation avec la fonctionnalité du vêtement, le type du vêtement, le tissu utilisé, la morphologie du corps humain et le style de la mode en cours. Cette relation peut être représentée par l'équation suivante :

$$d_c = d_f + d_r + d_t + d_w + d_g + d_m$$

avec,

d_c – l'aisance globale définie par la modéliste,

d_f – l'aisance fonctionnelle dépendant de l'application du vêtement (sport, travail),

d_r – l'aisance en fonction du type de vêtement (chemise, veste, par-dessus),

d_t – l'aisance matière dépendant des caractéristiques matériaux utilisées, de son épaisseur, de sa visco-élasticité,

d_w – l'aisance en fonction des matières annexes rajoutées (thermocollant, ouatine, plastron, épaulette, doublure),

d_g – l'aisance dépendant de la classe morphotype, avec une règle empirique de valeurs d'aisance plus grandes pour les personnes fines, et plus faibles pour les personnes fortes,

d_m – l'aisance du style dépendant des tendances de la mode, c'est une valeur très aléatoire en fonction des saisons et des années.

Mais peu de chercheur ont essayé de quantifier les paramètres d'aisance. Aussi, Chen, Zeng, Happiette et Bruniaux [78][81][82][83][84][85], ont développé une étude très complète afin de définir et quantifier les trois niveaux différents mais complémentaires du degré d'aisance d'un vêtement : l'aisance standard, l'aisance mouvement et l'aisance matière. Pour cela, ils ont comparé dans une première phase deux techniques traditionnelles de conception de vêtement: le drapé et la mise à plat 2D. C'est à partir de ce travail qu'ils ont mis en place leur premier modèle automatique d'aisance flou lié au drapé (DBFEA : Draping Based Fuzzy Ease Allowance). Celui-ci permet de traiter l'influence des variables d'entrée conditionnant le bien

aller d'un vêtement et de simuler les connaissances des experts. Il est composé d'un modèle d'apprentissage (Figure 54) et du modèle général (Figure 55).

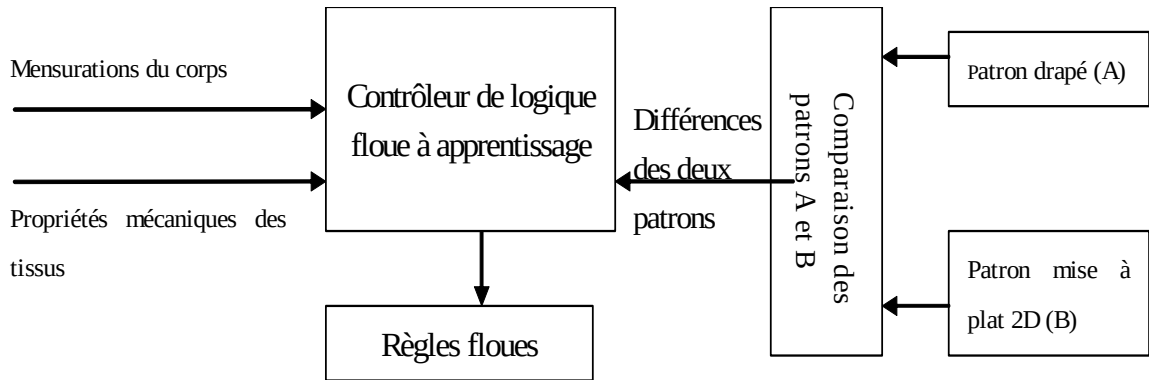


Figure 54. Schéma d'apprentissage du modèle DBFEA

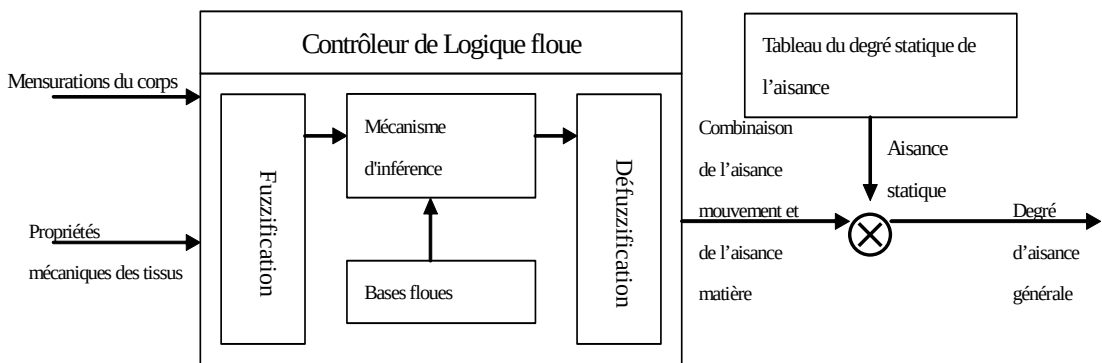


Figure 55. Schéma général du modèle DBFEA

Ensuite, pour tenir compte des sensations du consommateur, ils proposent un concept original (SEBFE : Sensory Evaluation Based Fuzzy Ease) d'estimation du degré d'aisance d'un vêtement constitué à la fois à partir d'une méthode floue et d'évaluation sensorielle.

Cette approche composée de trois étapes se traduit par la construction successive de trois modèles. L'objectif de cette évolution est d'améliorer le confort du vêtement. Le premier modèle flou (SEBFE1) sélectionne les mensurations du corps les plus pertinentes et prend en compte en entrée du contrôleur flou, l'évaluation sensorielle des porteurs (Figure 56).

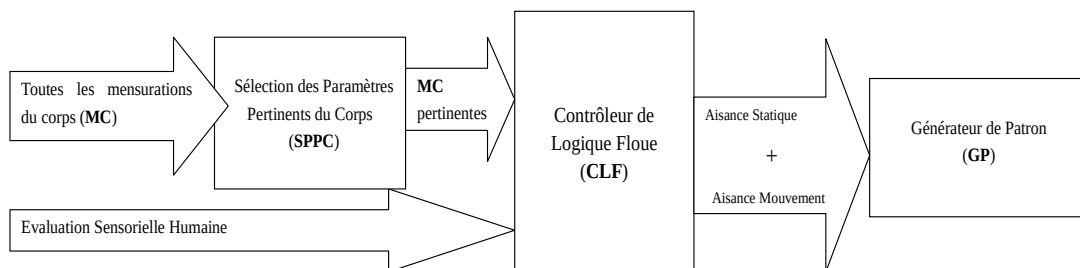


Figure 56. Schéma général du modèle SEBFE

La méthode de sélection des mensurations du corps, relativement par rapport au critère de sensibilité des données, est ensuite améliorée avec le deuxième modèle (SEBFE2), ceci en appliquant la méthode ACP (Figure 57).

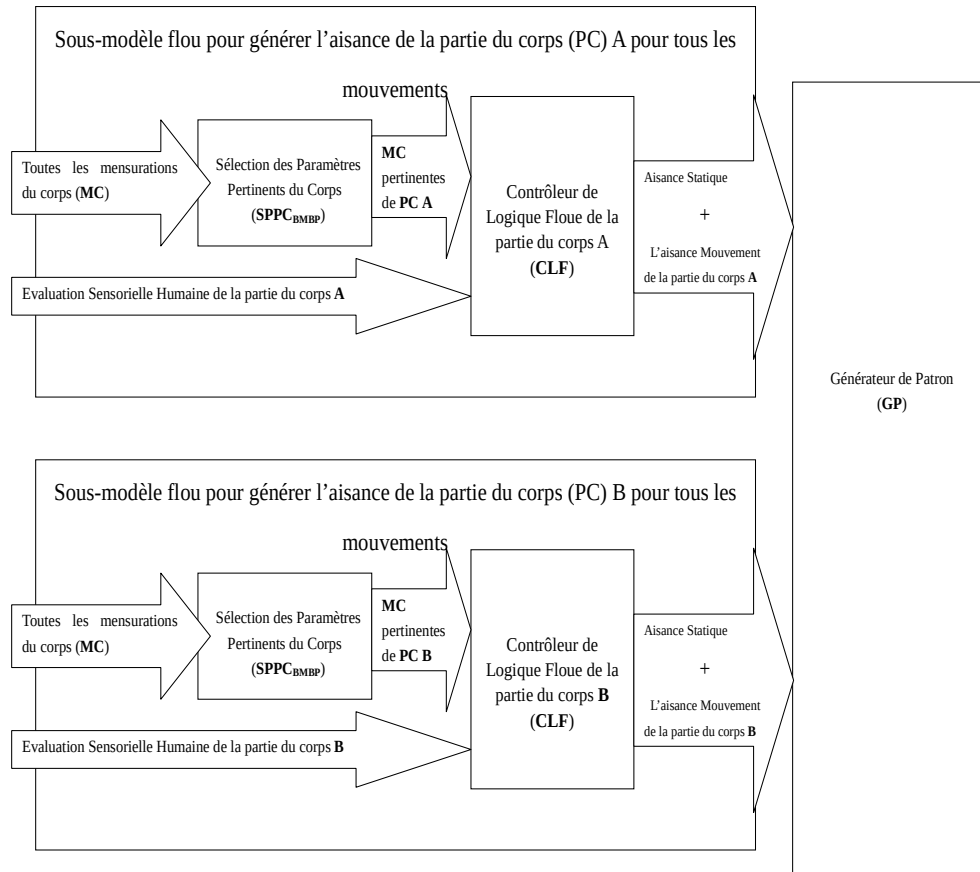


Figure 57.

Schéma général du modèle SEBFE2

Enfin, en introduisant la notion d'agrégation des degrés d'aisance sur des mouvements différents, le troisième modèle (SEBFE3) définit des patrons différents par leurs fonctions "actions" (Figure 58). Le pantalon jeans a servi de vêtement de base pour l'ensemble de l'étude.

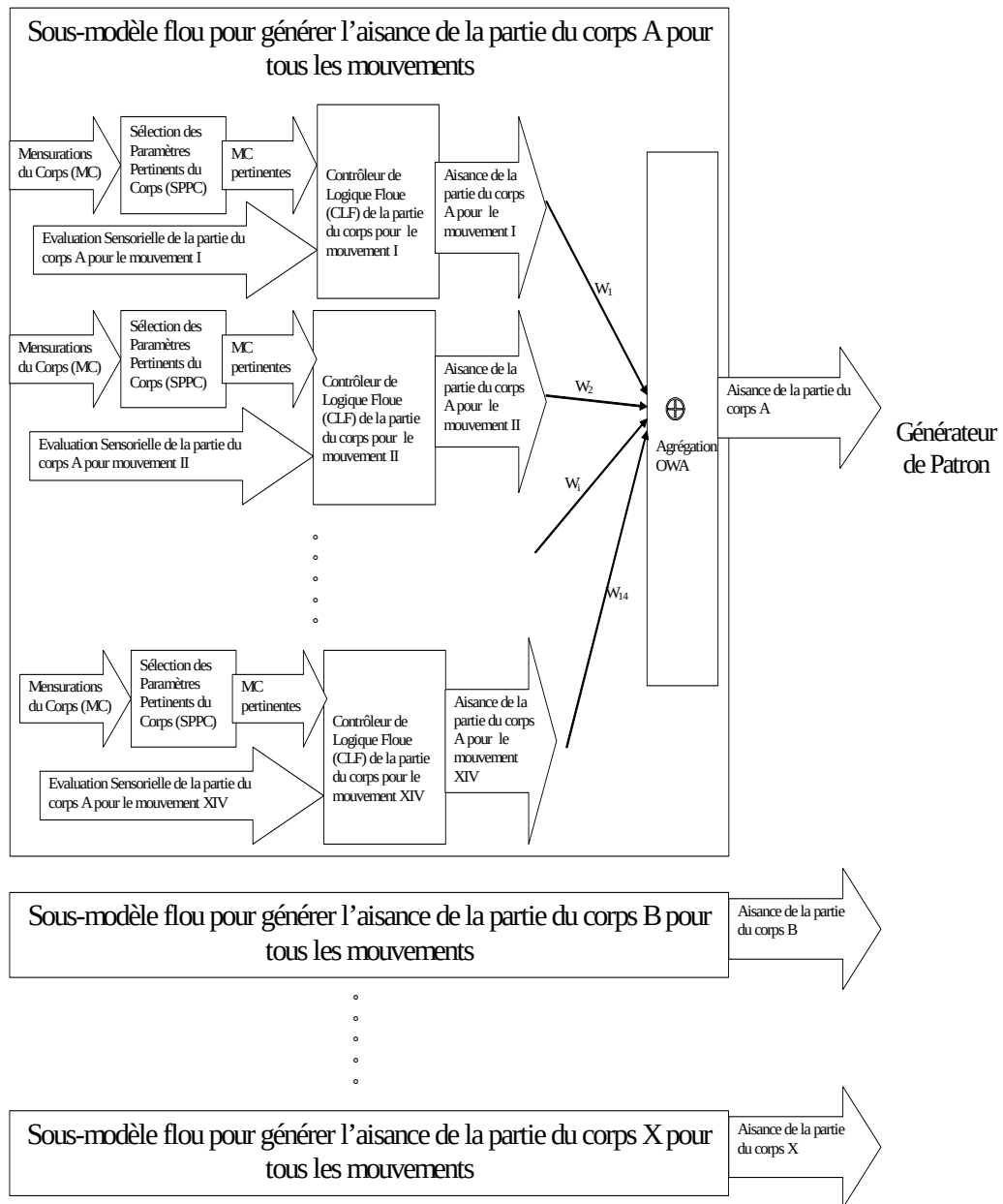


Figure 58.

Schéma général du modèle SEBF3

Les auteurs énoncent que les résultats expérimentaux ont prouvé que le patron généré par le deuxième modèle flou est plus sensible aux variations des mensurations du corps que celui généré par les modèles classiques en appliquant la méthode de mise à plat 2D et le degré d'aisance standard. Ils comparent également les patrons de types différents (types classique et floue); les résultats montrent les avantages des modèles flous par rapport aux aspects géométrique et sensoriel. Le pantalon fabriqué à partir des patrons du deuxième modèle permet d'offrir au porteur un meilleur aspect esthétique et confort de mouvement. Ce qui peut être reprochable dans ces travaux est que l'étude est uniquement réalisée en 2D et donc ne

prend pas en compte la notion de morphotype qui conduit à travailler sur le volume et non les surfaces.

Par contre, les travaux de Wang, Ng, Newton et Zhang [86] sont orientés vers une voie globale et volumique qui a notre avis semble très prometteuse pour l'avenir. Ils ont présenté une méthode permettant de modéliser la distribution de l'aisance du vêtement à partir de l'écart entre la forme des sections horizontales du vêtement et du mannequin à des altitudes différentes. Pour saisir les formes des sections horizontales, ils utilisent un scanner du type TC2 pour la numérisation, à différentes niveaux, des coupes d'une veste portée sur un mannequin. Les points numérisés de la ligne du tour de poitrine, de la ligne du tour de taille, de la ligne des hanches ont été interpolés et traduits par des courbes "splines". Différents tissus ont été utilisés pour tester l'influence de la matière sur la forme des contours circonférences. Afin d'améliorer leur modèle de représentation des sections transversales, une étude paramétrique a été réalisée en rajoutant la largeur de la section horizontale, le nombre de plis et l'amplitude de ces plis (Figure 59). Le changement de la circonférence de la veste et de la rigidité en flexion du tissu traduit l'influence de ces facteurs sur la forme des sections transversales. Les résultats montrent que le grand axe des contours (Figure 60) a augmenté en fonction de l'augmentation des circonférences et de la rigidité en flexion. Ce phénomène se retrouve aussi sur le nombre et l'amplitude des plis, mais avec une rigidité de flexion qui diminue. Leur modèle est composé de 2 modules élémentaires exprimant la morphologie moyenne des contours sur laquelle est rajoutée les effets des plis des sections transversales (Figure 59). Les contours des sections ont été exprimés par un modèle polynômial du second ordre intégrant les paramètres de la mesure des circonférences et de la rigidité de flexion du tissu. Pour vérifier leur modèle théorique, ils ont comparé par superposition les courbes expérimentales et les courbes théoriques. Les résultats prouvent que les contours et les plis des sections horizontales ont été correctement représentés en utilisant le modèle théorique pour différents tissus. Ce modèle permettant de définir une relation entre la distribution d'aisance et les mensurations de la veste avec des différents tissus fournit de précieuses informations pour la conception de patronages de vêtements. L'étude présentée semble intéressante par rapport à l'analyse de l'interface homme-vêtement et à l'intégration dans la modélisation de la notion de tombé de tissus, la distribution des plis étant liée à la rigidité en flexion du tissu utilisé. Cependant d'un point de vue de la conception d'un vêtement, le modèle d'aisance proposé n'est pas approprié de part ces valeurs utilisées. On n'imagine pas une veste avec une valeur d'aisance sur la taille de 31 cm, ou encore une valeur de 20 cm pour

le contour poitrine. Un problème de sensibilité de mesure risque d'exister avec des valeurs réelles de confection.

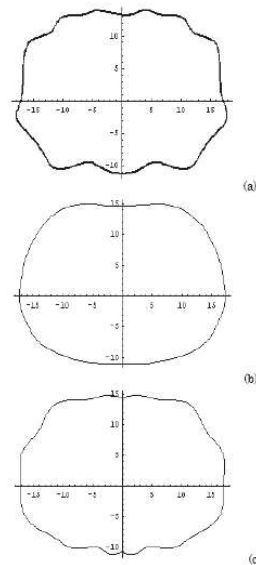


Figure 59. Prédiction de la forme des sections horizontales du vêtement, (a) forme expérimentale, (b) forme prédite sans facteur de plis, (c) forme prédite avec facteur de plis

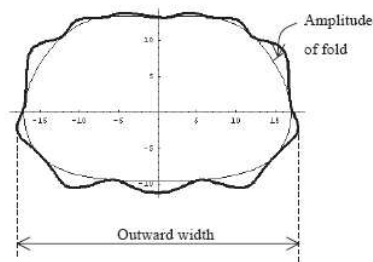


Figure 60. Méthode de mesure du grand axe de la section

Dans d'autres travaux équivalents, ces mêmes auteurs [87] analysent plus en détail la distribution de l'aisance en fonction de la taille (Figure 61, Figure 62) ou de la matière utilisée. Pour ce travail, ils ont fabriqué 10 vestes à taille variable en utilisant une méthode du drapé. Malheureusement les auteurs n'expliquent pas plus en détail la conception des patronages, surtout pour les grandes tailles. Cela justifie nos précédentes critiques sur la conception de vêtement de différentes tailles par la technique de drapé en utilisant qu'un seul mannequin, ce concept n'est pas envisageable en confection industrielle. De plus il ne faut pas oublier qu'en règle générale, pour les personnes fortes, la tendance est de proposer des valeurs d'aisance faibles par rapport aux aisances définies pour les personnes normales. Par contre, l'idée de mesurer la distribution de l'aisance par un scanner est très intéressante si le vêtement est parfaitement ajusté au corps d'une personne pour une base donnée.

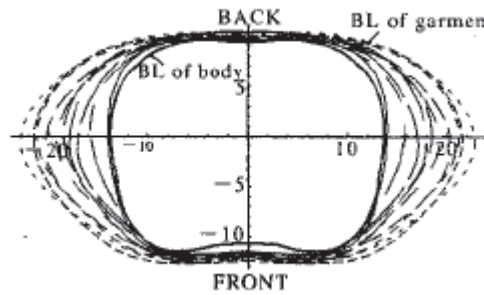


Figure 61.

Coupe du tour de poitrine avec différents tailles de vêtements

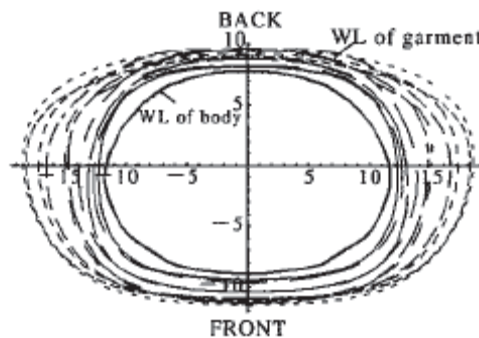


Figure 62.

Coupe du tour de taille avec différents tailles de vêtements

III.4 Modèle de vêtement pour l'essayage virtuel

Le défi de l'essayage virtuel intervient dans la conception d'un vêtement car, de nos jours, il représente la moitié du coût d'un vêtement qui dépend des décisions prises au cours de la phase de la conception. En conséquence, l'essayage virtuel représente une étape fondamentale dans le succès d'une collection. Les technologies 3D représentent des facteurs clé pour stimuler l'ensemble du secteur de la mode. Ce travail a pour objectif d'analyser les différents logiciels présents sur le marché industriel qui traite de la modélisation dynamique des tissus qui intègre la phase finale du processus de création de vêtement, c'est-à-dire : l'essayage virtuel.

Une équipe de Hong-Kong de la société TPC [88] ont mis au point une méthodologie novatrice dans le domaine de la CAO de 3D/2D interactive, pour créer des vêtements en 3D sur un corps virtuel, en générant instantanément des patronages 2D. Ce concept est composé de deux modules: le modeleur volumique de corps humain (Parametric Human Modulator), le générateur paramétrique de patronage (Parametric Pattern Generator) (Figure 63). L'objectif du premier module est de récupérer le nuage de points sorti d'un scanneur et d'extraire les mesures nécessaires. Les lignes des vêtements importantes pour leur construction sont

superposées sur le corps virtuel, ensuite la peau est ajoutée et le corps est conçu symétriquement pour simplifier la production de vêtements.

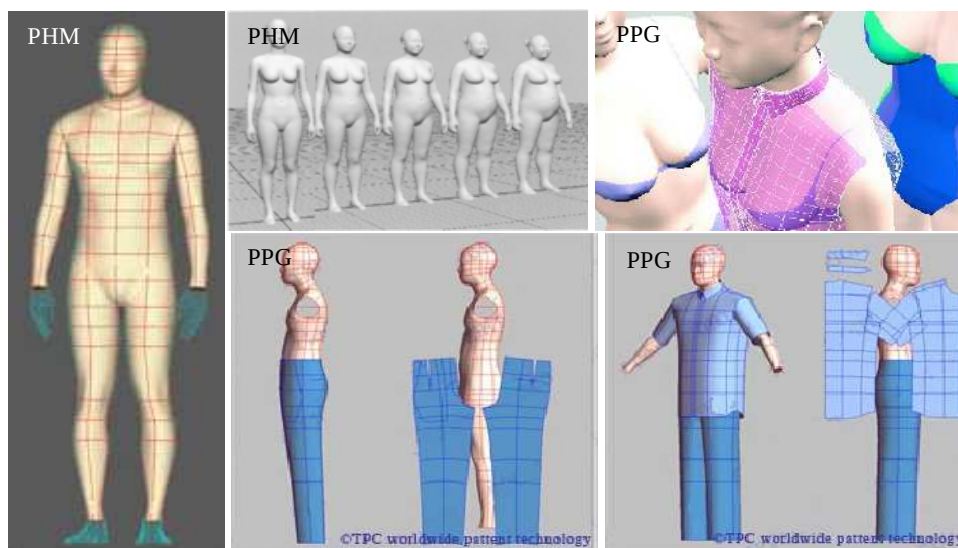


Figure 63.

Modélisation du vêtement par TPC

Ensuite, le corps virtuel est transféré au second module pour être habillé. La forme du vêtement est affichée sur le corps et en même temps on peut visualiser le patronage à plat. Toutes les modifications apportées au modèle 3D donnent son effet sur les patronages 2D en temps réel. Un certain nombre de différents types de vêtements sont actuellement disponibles avec PPG, tels que le pantalon, la chemise ou la veste. Les développements récents comprennent aussi la lingerie et les maillots de bain. Le vêtement est modélisé en tant qu'élément surfacique sur lequel il est nécessaire d'indiquer l'aisance entre le vêtement et le corps. Une caractéristique intéressante de la combinaison PHM et PPG est la capacité de mettre en place une gamme de mouvements et d'effet du mouvement sur le patronage 2D. Pour les t-shirts, les bras du corps virtuel peuvent être déplacés vers l'avant ou vers l'arrière, levés ou baissés entraînant alors la modification de la forme du modèle 3D, à nouveau immédiatement affichées sur le patronage 2D. Cette capacité d'examiner la posture et le mouvement ouvre les possibilités de diverses études dans les différentes performances de porter. Une fois le design et le bien-aller d'un vêtement dans la taille de base approuvés, il est possible de les visualiser avec d'autres tailles. Pour obtenir une gamme de vêtements complète, les tailles extrêmes peuvent être modifiées pour assurer le bien-aller. Toutes les tailles intermédiaires seront ensuite créées par interpolation entre les tailles ajustées. Bien que le résultat de ce processus soit évalué, il ne propose pas la gradation du patronage au terme du sens traditionnel, mais une évolution de taille avec pour base un corps virtuel 3D. La critique

de ce concept est que la modélisation est entièrement géométrique, une simulation dynamique le validerait en tant que procédé idéal.

Dans le cadre des développements de la société américaine GERBER [89] est apparu V-Stitcher, logiciel de visualisation de vêtements en 3D interfacé directement avec le logiciel de patronages. Il fournit en temps réel le modèle virtuel des vêtements et la simulation de leur bien-aller afin de réduire le cycle de développement des produits, leur coût et augmenter les ventes. Ce logiciel permet d'échanger très rapidement avec AccuMark pour l'accès aux patronages. Suite à une création de patronages 2D dans AccuMark, la visualisation est quasi immédiate dans une vue 3D de V-Stitcher avec une interface unique (Figure 64. On peut modifier les patronages d'un vêtement dans AccuMark et avoir sa simulation directe dans V-Stitcher sans remontage de celui-ci. Pour cela, par un modèle inverse, il suffit de dessiner les modifications de conception en créant des lignes sur le vêtement simulé en 3D et le résultat est directement obtenu en 2D. L'interactivité est intéressante. Des outils de bien-aller sont intégrés pour évaluer le niveau de confort du vêtement dans différents matériaux avec des outils d'analyse 3D. Deux autres points forts qu'on lui accorde est la qualité du rendu réaliste des produits et le nombre important d'avatars (supérieur à 100).

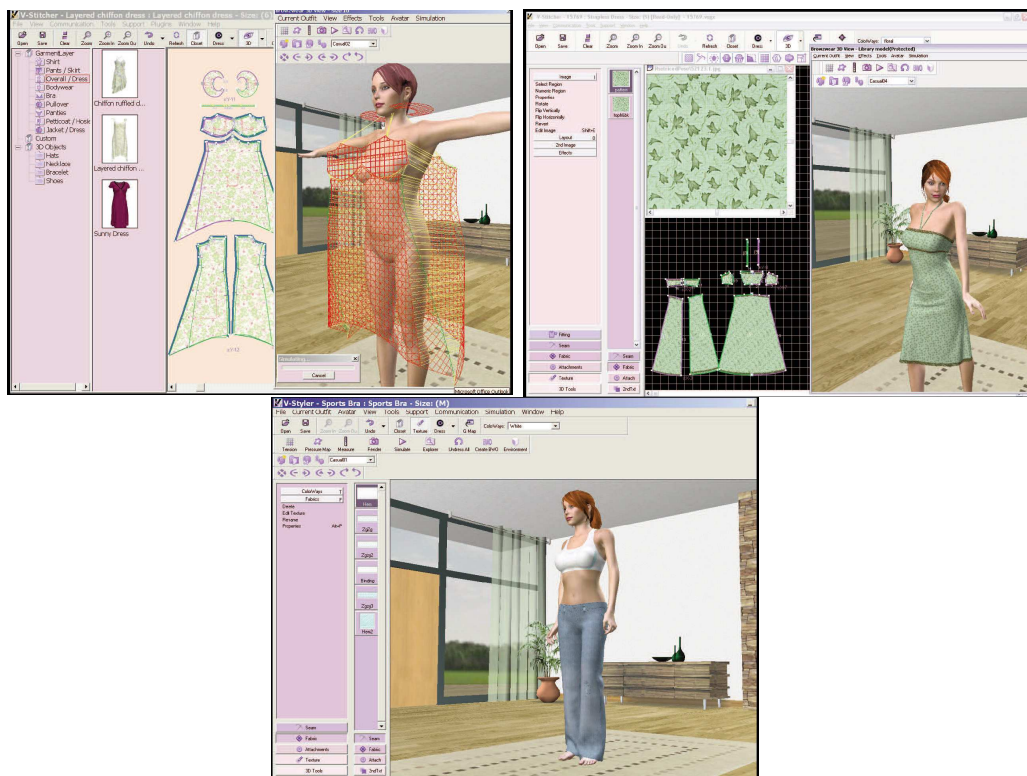


Figure 64.

Modélisation du vêtement par GERBER

OPTITEX[™] [90] se spécialise dans le développement de technologies innovantes avec un concept de création ou d'importation de patronages 2D intégrant la notion d'aisance en 2D, associé à un logiciel de Design en 3D. OptiTex 3D Runway intègre un système d'architecture largement équipé d'une multitude d'importation/exportation de formats permettant aux utilisateurs de s'interfacer avec un large éventail de logiciels et de matériels d'autres constructeurs. Cette société a été la première à proposer un logiciel complet qui intègre les deux modes de travail (conception de patronages 2D et simulation de vêtement 3D) dans le même logiciel pour délivrer des produits finis virtuellement (Figure 65).

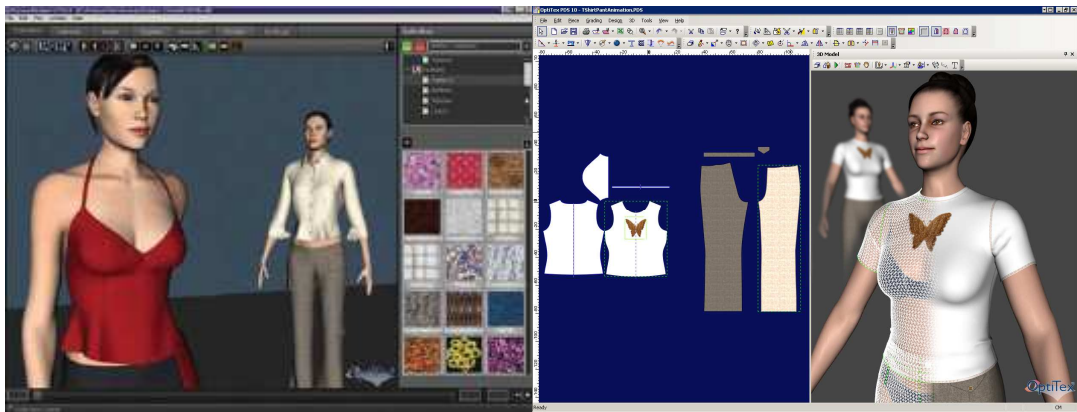


Figure 65.

Modélisation du vêtement par OPTITEX

Lors de l'utilisation de PDS (logiciel de patronages 2D) avec OptiTex 3D Runway, il est possible de draper les patronages sur un des nombreux modèles inclus dans le logiciel ou un des modèles propres à l'utilisateur (plus de 40 points de mesure sur les mannequins à postures variables). Les points forts de ce logiciel sont la qualité de rendu réaliste sur les produits conçus avec intégration d'une dynamique type défilé virtuel, une grande résolution de simulation avec la possibilité de contrôler les attributs des pièces (poids, flexion, les forces de traction en X/Y, cisaillement, etc...) et des coutures (rétrécissement et élargissement, etc...).

Les développeurs de la société LECTRA [91] ont présenté récemment leur dernière innovation en termes de prototypage virtuel 3D pour l'habillement. Modaris 3D Fit est une pointe significative dans la technologie CAO et le plus puissante sur le marché selon Lectra. Grâce à sa visualisation puissante et ses outils de rendu réaliste des matériaux de qualité, le logiciel permet de vérifier le bien-être des vêtements en utilisant des modèles virtuels en trois dimensions. En associant les informations mécaniques propres aux tissus (obtenues par la chaîne de Kawabata, 120 tissus caractérisés), les patronages 2D et les modèles humains virtuels 3D (standard et personnalisables), ce logiciel permet la simulation réaliste et la visualisation de modèles de vêtements en trois dimensions, avec leurs différentes matières, des motifs et de gammes de couleurs.



Figure 66.

Modélisation du vêtement par LECTRA

Cette solution permet de vérifier le bien-être du vêtement approprié dans différents matériaux et tailles, de vérifier le confort (la distribution du confort, des lignes anthropométriques, la déformation du tissu à la fois en directions chaîne et trame, etc...), de tester l'aplomb (les lignes droites en directions chaîne et trame, équilibre des lignes, etc.), de vérifier les proportions du vêtement, de tracer des lignes pour contrôler les mesures finales des produits. La validation du vêtement peut alors être considérée comme complète pour le métier de la confection avec cet ensemble de test.

IV Conclusion

Ce chapitre présente les principales techniques de modélisation du corps humain à partir de notions de mensurations corporelles liées à l'analyse morphologique de celui-ci, ainsi que les techniques de mesure 3D manuelles ou automatiques associées à leurs différents moyens de mesure. L'analyse bibliographique montre l'importance des points ou courbes anthropométriques pour la suite de l'étude.

Ensuite, une partie de l'étude est concentrée sur la définition du concept de mannequin adaptatif et non adaptatif avec son influence sur la conception et la vocation du vêtement, orienté prêt-à-porter ou mass customisation. On perçoit une philosophie de travail identique en début d'étude.

Le modèle du prêt-à-porter est très orienté car il doit permettre de définir sur celui-ci le modèle de vêtement. Cela conduit à travailler avec des contours morphologiques à destination vestimentaire ou purement morphologique pour le respect de l'esthétique du mannequin. Nous sommes maintenant prêts à mettre en place le modèle du corps humain en suivant ces grandes lignes.

Chapitre 2

Modélisation du corps humain

I Introduction [92]

La nouvelle dynamique du commerce mondial réclame des changements dans les méthodes traditionnelles de conception de la mode. La nouvelle génération de créateurs est motivée par les forces de la mondialisation et des échanges de rythme dans la chaîne d'approvisionnement globale, l'évolution démographique et les formes du corps; la croissance des demandes de bon bien-être et la taille bien adaptée, et des changements plus rapides dans les tendances de la mode alimenté par l'apparition de nouveaux supports comme Internet. L'une des conséquences est qu'à peu près chaque pièce d'équipement dans tout aspect du monde de l'habillement et du textile est connectée à un ordinateur dans certain façon. Les concepteurs de cette nouvelle époque auront la possibilité de concevoir de nouveaux produits sur un mannequin virtuel utilisant l'ordinateur. Comme son client peut avoir n'importe quelle forme, taille et origine, basé partout dans le monde entier, le créateur va travailler avec des mesures du corps saisis par un scanner et par la communication électronique il va adapter son mannequin virtuel aux nouvelles mesures. Pendant ces 15 dernières années, on a observé des changements dans le commerce mondial. La nouvelle dynamique du commerce mondial exige des changements dans les méthodes traditionnelles de conception de patronages. Certains changements dans le contexte mondial de la mode déterminant de cette évolution sont les suivants:

1. La mondialisation: Alors que le monde devient de plus en plus un village planétaire, la localisation des concepteurs, des fabricants et des acheteurs a cessé d'être une contrainte. Ils peuvent tous être situés dans différentes parties du monde. L'échange d'informations se fait par transfert électronique (Internet), qui n'est tout simplement pas possible lorsque vous travaillez sur une planche à dessin.
2. La mass customisation : Le marché de la mode suit une simple modèle pyramidale dont le sur-mesure se trouve au sommet, le prêt-à-porter au milieu perturbé par la grande distribution en bas. Depuis la fin des années 1980, toutefois, le luxe du privé des maisons de couture cotées en bourse a évolué, la couture est devenue un exercice à l'image de marque à vendre des logos de rouge à lèvres, des parfums et des sacs à main pour tous. Avec la montée en flèche des prix, le nombre de femmes pour des achats de tailleurs sur-mesure (à partir de \$

20000) a évolué de plusieurs milliers dans les années 1960 à 200 aujourd'hui. La couture semble être commercialement morte.

3. Les changements plus vite dans les tendances de la mode: La tendance Fashion est en train de changer plus rapidement que jamais. Les détaillants ne veulent pas que de collections par saison, mais aussi que leur offre au consommateur pour une saison particulière soit également évolutive durant la saison. Il y a des entreprises nommées "la mode rapide" qui peuvent fournir de nouvelles lignes de vêtements dans leurs magasins toutes les quatre à six semaines, qui déplacent les concepteurs traditionnels de haut de gamme de prêt-à-porter.

4. Nouveaux médias: les magazines de la mode qui auparavant était le moyen de fournir l'accès aux consommateurs aux dernières tendances de la mode ont été remplacés par de nouveaux supports comme l'Internet et les chaînes de la mode sur la télévision qui fait la même chose tous les jours ou plutôt toutes les heures. Les collections sont sur internet en quelques minutes et montrent les différentes semaines de la mode à travers le monde. Les tendances sont rapidement repérées et les entreprises de "mode rapide" ont leur knockoffs prêt dans leurs magasins après quelques jours. Internet a également ouvert la possibilité de la vente de la mode au détail directement aux consommateurs partout dans le monde, à travers le commerce électronique B2C. De nouvelles compétences pour l'élaboration de "merchandising visuel" et de nouveaux outils sont nécessaires pour les concepteurs pour faire face aux nouveaux supports.

5. Les populations ont changé: les concepteurs de mode continuent à faire des vêtements sur la base de la traditionnelle morphologie 8-10 têtes, des silhouettes sabliers. Les cartes des tailles de la population et même les mannequins ont été établis il y a plusieurs décades. Cependant la taille de la population a changé, comme cela a été indiqué par les nouvelles campagnes de mensuration accomplies utilisant le scanneur pour la numérisation de milliers de personnes aux États-Unis, Royaume-Uni, la France et de nombreux autres endroits. La silhouette des femmes actuelles a beaucoup changée en passant de la forme rectangulaire, à la forme de poire ou de triangle inversé. En outre, les corps humain aujourd'hui vont plus près de l'échelle de 7,5 têtes. C'est la raison pour laquelle les vêtements de prêt-à-porter se portent bien pour de très petites parties de la population.

Ce bilan montre que le développement de mannequins morphotypes adaptatifs ou de mannequins personnalisés est un challenge complémentaire industriel mondial indispensable pour le domaine du prêt à porter et de la mass customisation.

II Modèle adaptatif d'un corps humain

Le mannequin morphotype paramétré s'appuie sur un modèle de représentation surfacique défini à partir de nombreuses courbes issues des sections d'un corps humain scanné. La notion de modèle morphotype paramétré intervient dans le choix et la position de ces courbes, leurs paramétrages, les liens entre-elles et les données de la campagne de mensuration. Entre autre, ce modèle doit s'associer parfaitement à une méthodologie de conception numérisée.

Le modèle est géré par différents types de paramètres en lien direct avec les courbes contrôlant le monde surfacique. Ces paramètres ont pour objectif de gérer la morphologie du modèle 3D et son dimensionnement. Cette morphologie peut varier en fonction :

- des paramètres morphologiques gérant la longueur des membres ou hauteur de la personne,
- des paramètres morphologiques gérant le volume,
- des paramètres de commande,
- des paramètres de distribution volumique entre le devant et le dos d'une personne

Paramètres morphologiques gérant la hauteur

Afin de respecter en partie le concept de la beauté, l'analyse et la mise en place d'un morphotype requiert des connaissances à la fois sur le respect des formes et le respect des proportions du corps humain (cf. §II.5.1). Le bilan d'une approche morphologique montre que le modèle du corps humain est géré par deux classes de paramètres définissant la position des contours stratégiques du corps scanné :

- les paramètres primaires liés aux contours qui respectent la règle du nombre d'or et du canon moderne (Figure 67), et qui est en relation avec les lignes de construction du vêtement lors de sa création. Ces paramètres gèrent la position verticale de la prise de mesure,
- les paramètres secondaires liés aux contours qui représentent les contours morphologie complémentaires et intermédiaires traduisant le concept beauté du modèle. Ces paramètres caractérisent la morphologie de chaque muscle et contribuent à la notion de morphotype. Ils dépendent des paramètres précédents

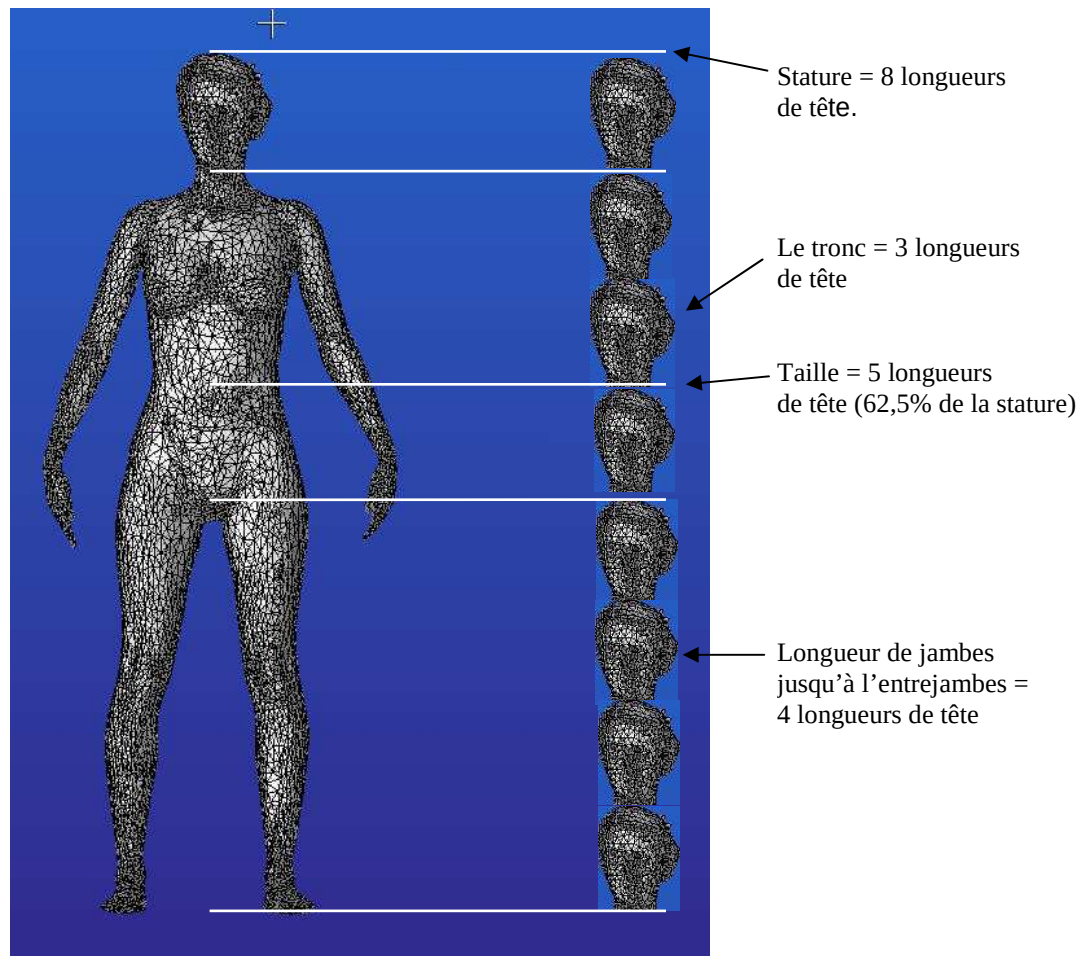


Figure 67.

Canon à huit têtes de notre mannequin

Paramètres morphologiques gérant le volume

Ces paramètres dimensionnels doivent être en relation directe avec les données de la campagne de mensuration et permettent de contrôler le volume d'un corps humain automatiquement. La biométrie humaine (anthropométrie) est une partie de la biologie qui analyse les mesures faites sur l'homme à partir de lois statistiques (cf. §II.5.2). Par mesures réalisées sur l'homme, on se concentrera ici sur les mesures anthropologiques. Deux lois mathématiques importantes dominent notre problème et sont à la source de nombreuses applications pratiques :

- loi de distribution
- loi de corrélation

Dans notre étude, deux cas ont été étudiés, le premier tient compte des tableaux de mensuration alors que le second suit une loi de proportionnalité contrôlée par le contour poitrine.

J. Patrick Turner and T. Bond [88] recommandent d'utiliser par défaut les tableaux de mensurations plutôt que les formules mathématiques d'interpolation des tailles dédiées aux patronages sur mesure. Selon eux, un système informatique qui produit des patronages sur mesure devrait avoir la capacité de déterminer automatiquement les mesures manquantes des clients lors d'une saisie de données spécifiques.

Paramètres de commande

Le nombre important de paramètres nécessite de mettre en place une procédure adaptative pour contrôler ce modèle de prédiction avec un minimum de paramètres d'entrée. En quelque sorte, les paramètres morphologiques font apparaître deux types de variables : les variables internes et les variables de commande. Les variables internes sont donc définies et corrélées en fonction de la règle du nombre d'or et des liens anthropométriques alors que les variables de commande, au nombre de deux (cf. §II.5.2), doivent suivre certaines règles d'évolution et de proportion dans un espace en 3D, c'est à dire :

- d'avoir la dimension la plus importante dans la direction qu'elle commande;
- d'être placées dans deux directions perpendiculaires;
- d'être fortement corrélées avec les paramètres qui sont dans la direction de commande.

Ces remarques prises en considération, le corps humain adaptatif peut être commandé par le paramètre stature dans la direction verticale et par le paramètre contour de poitrine (relatif au taille : 34, 36, 38,...) dans la direction horizontale (personne debout face à nous).

Plan de répartition

La masse portée sur le devant d'une personne n'est pas la même que celle portée sur le dos, ce qui a amené à définir une loi de répartition entre le devant et le dos (cf. §II.5.3). Un plan de répartition permet de gérer ce concept. Il est défini afin de garantir que l'avant représente 62.5% du volume total du corps et que le dos représente 37.5%, calcul effectuée sur le contour poitrine. Ce plan frontal est positionné perpendiculairement à la section horizontale de la poitrine en respectant ces proportions. L'intersection de ce plan et du plan de symétrie du corps humain définit un axe d'homothétie. Cet axe permet de faire évoluer homothétiquement les différents contours du corps en fonction des lois de répartition volumique gérées par les paramètres morphologiques respectifs.

Le schéma de la Figure 68 montre le concept de modélisation d'un morphotype humain adaptatif dans lequel les variables d'entrée, relatives au corps réel suivant une morphologie donnée, sont issues d'un scanner après un filtrage sur le logiciel Rapidform. Lors de la mise

en place du modèle adaptatif morphotype, il est nécessaire de vérifier le suivi morphologique géré par les variables présentées précédemment. Pour cela, le mannequin virtuel créé pendant le processus de modélisation est comparé avec le mannequin natif réel servant de base morphotype. Cette boucle de retour nous permet de rechercher les erreurs procédurales et valide le nouveau mannequin virtuel adaptatif.

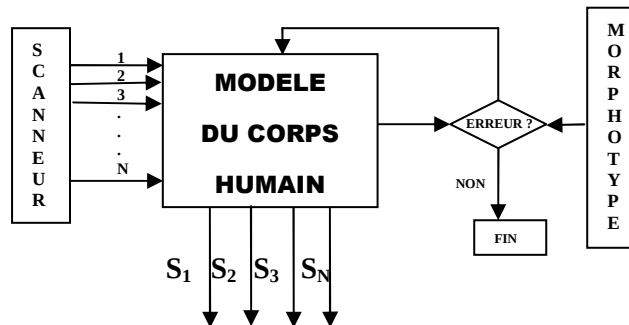


Figure 68. Schéma bloc du modèle adaptatif morphotype

L'outil de numérisation utilisé pour extraire les données pertinentes du corps humain est le body scanner de la société LECTRA. L'intérêt de ce système est son lien direct avec l'outil informatique Design concept 3D dans lequel a été développé le modèle de représentation du corps humain.

Ensuite, nous passons à l'importation de ce mannequin morphotype dans ce logiciel (figure 3a). Ce mannequin détermine l'allure générale (morphologie) du futur mannequin paramétrique. Ceci signifie qu'il a été choisi parmi un ensemble d'avatars humains respectant les mensurations de la taille de base pour une population donnée. Il est important de le symétriser en amont de cette étape afin d'éliminer les défauts de posture vertical comme le montre la Figure 69. Ce défaut peut être corrigé dans le logiciel Design concept 3D. Dans cette position, le repère de travail doit être défini tel que le plan XY soit face à l'utilisateur en position basse.

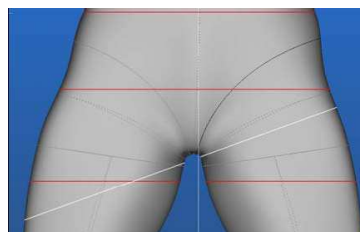


Figure 69. Défaut de posture - décalage de l'axe médian

II.1 Modélisation du buste et des jambes

Pour définir la position des contours primaire, il est nécessaire de mettre en place une base de données dans laquelle on place les paramètres de contrôle du morphotype mannequin (Figure 70.a: hip, waist ...). Ces paramètres représentent la position de chaque partie en fonction de la stature h (Figure 70.b).

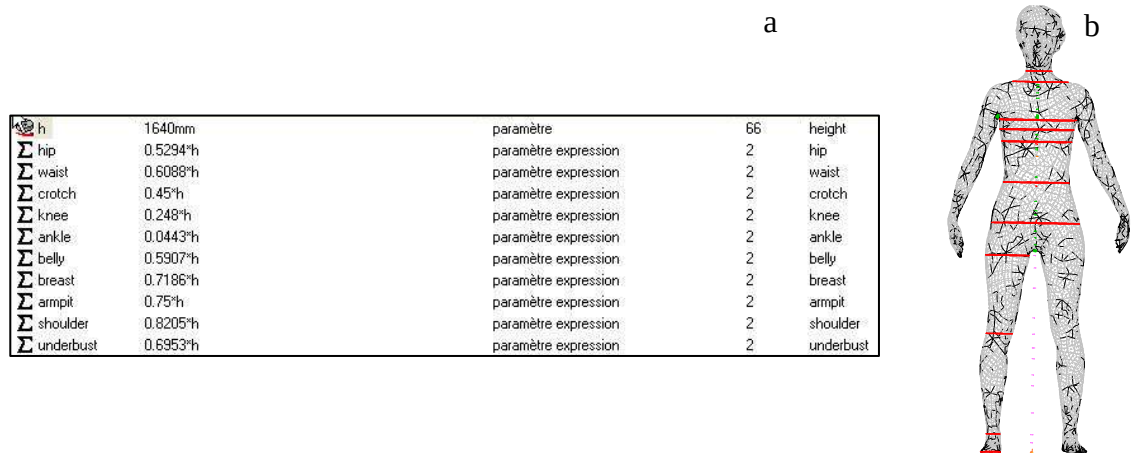


Figure 70.

(a) Paramètres de contrôle, (b) Mannequin morphotype avec ses contours primaires

Les contours sont nécessaires à la construction des vêtements. Mais, si l'on veut respecter la morphologie du corps humain, d'autres contours secondaires doivent être créés. Ils sont proches d'une articulation dans le cas d'une jonction de jambe ou de bras, ou entre deux contours primaires afin d'affiner la représentation des muscles (Figure 71b). Les paramètres sont également contrôlés par h (Figure 71a: neck1, neck2 ...).

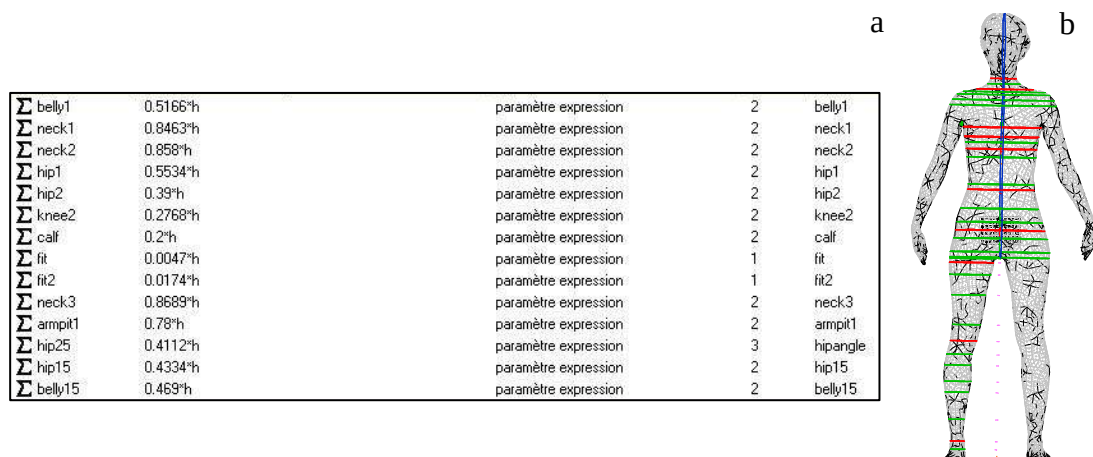


Figure 71.

(a) Paramètres de contrôle, (b) Mannequin morphotype avec ses contours secondaires

Les données d'entrée qui nous sont utiles sur le mannequin morphotype sont les paramètres de mesure de chacun des contours primaires et secondaires (Figure 72).

A ce stade du processus, il nous est possible de créer le mannequin paramétrique morphotype. Pour cela, nous extrayons par une translation associative les différents contours primaires et secondaires (Figure 73)

per1	550.219068532mm	paramètre longueur	2	per1
dcuis	535.807805904mm	paramètre longueur	2	dcuis
cuis	512.848217295mm	paramètre longueur	2	cuis
scuis	479.287301287mm	paramètre longueur	2	scuis
petcuis	420.485867715mm	paramètre longueur	2	petcuis
dgen	334.167291061mm	paramètre longueur	2	dgen
gen	312.19463958mm	paramètre longueur	2	gen
sgen	292.713446473mm	paramètre longueur	2	sgen
dmol	307.455805297mm	paramètre longueur	2	dmol
mol	301.062136476mm	paramètre longueur	2	mol
smol	271.239348364mm	paramètre longueur	2	smol
dchev	197.951070881mm	paramètre longueur	2	dchev
chev	200.21417621mm	paramètre longueur	2	chev
schev	293.050737308mm	paramètre longueur	2	schev

Figure 72.

Paramètres de mesure primaires et secondaires

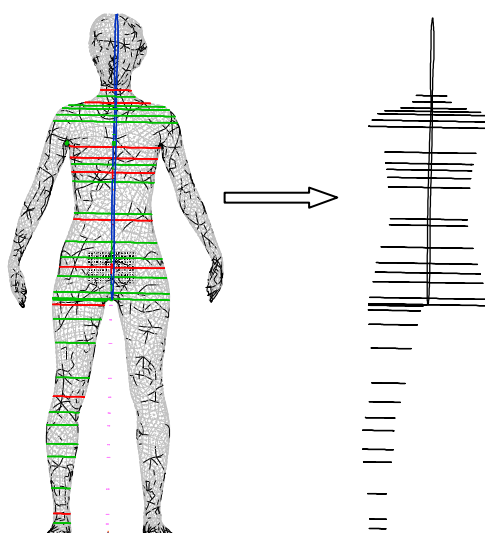


Figure 73.

L'extraction des contours primaires & secondaires par translation

L'étape suivante permet de symétriser le mannequin. Pour cela, par l'intermédiaire d'un plan de symétrie judicieusement choisi, nous créons les demi-contours de chacun des précédents contours (Figure 74a). Ces derniers sont ensuite symétrisés et recousus pour définir de nouveaux contours symétriques (Figure 74b). Cette opération n'est effectuée que pour le tronc.

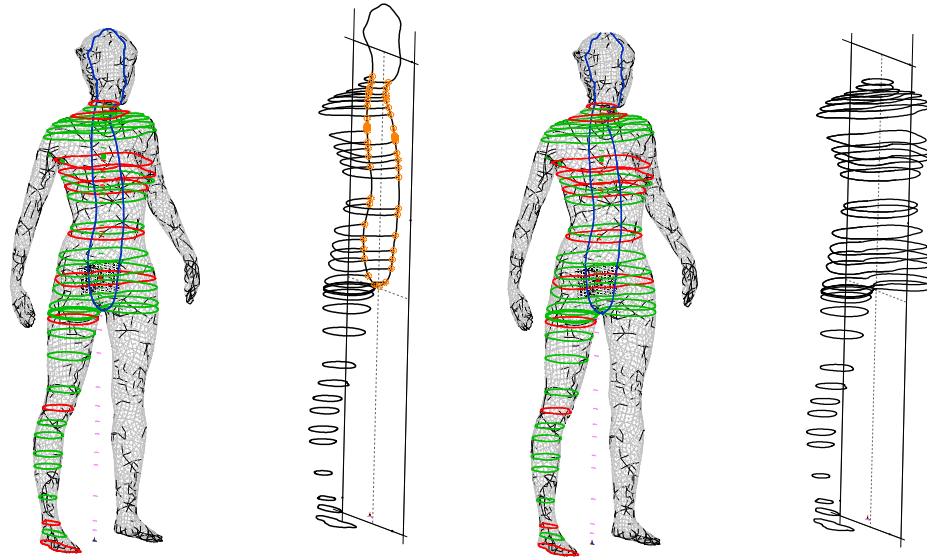


Figure 74.

Les demi-contours & contours symétriques

Une étape délicate a été d'assembler l'un des membres (la jambe) au tronc. Les contours secondaires obliques permettent de prendre en compte ces liaisons de type rotule que l'on retrouve dans le cas d'un mannequin dynamique. Un contour de type liaison tronc jambe est créé (Figure 75b). Pour cela, un demi-contour a été défini à partir d'un des contours obliques et de deux lignes de jonction liant les contours obliques (Figure 75a). Ce dernier a ensuite été symétrisé et nous nous sommes appuyés sur ces deux nouveaux éléments pour créer le contour oblique final.

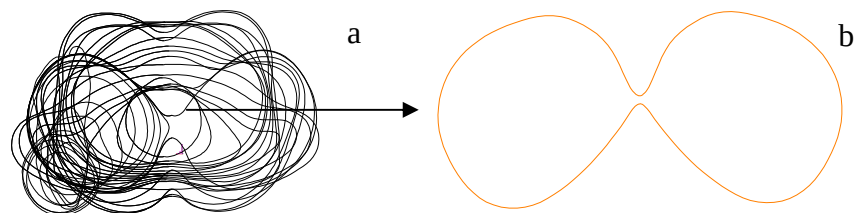


Figure 75.

Création des contours secondaires de jonction

La répartition du devant/dos a été définie par rapport au plan facial (Figure 76a) associé à une ligne de répartition. Cette ligne est délimitée par les points d'extrémité des demi contours du tronc (Figure 10b). L'information issue des paramètres de mesure des demi contours a permis de créer un point de répartition sur cette ligne positionnant ce plan de répartition.

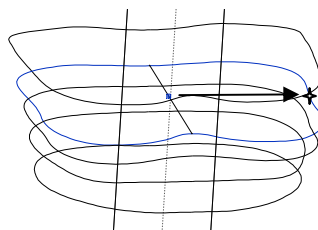


Figure 76.

Distribution devant/dos

Afin de dissocier le mannequin morphotype et le mannequin paramétré, il est nécessaire de translater sur le plan 0 l'ensemble des contours utiles (Figure 11). Cette procédure nous permet de les repositionner selon les tables de paramètres de contrôle précédentes gérées par la stature h .

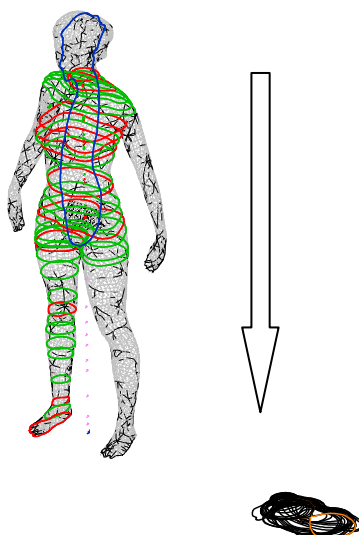


Figure 77. Dissociation paramétrique du mannequin morphotype

La Figure 78 montre à la fois les contours issus du mannequin morphotype et les nouveaux contours du mannequin paramétré par une stature H différente de h_a .

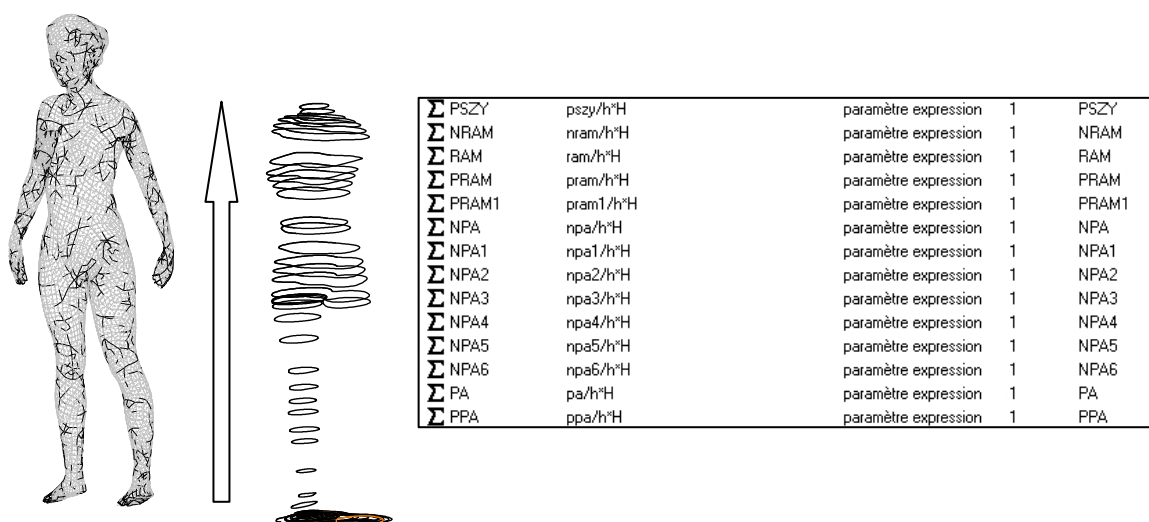


Figure 78.

Contours paramétrés par H

A ce stade de la conception, nous pouvons intégrer les règles anthropométriques sous la forme de paramètres anthropométriques. Par une homothétie centrale, dont le centre se situe au milieu des deux plans de symétrie et de répartition, et de rapport paramètre

anthropométrique/paramètre mesuré, nous créons les contours associés à une nouvelle taille gérée par le tour de poitrine P en mode linéaire ou B en mode non linéaire (Figure 79).

	P	910mm	paramètre	52	param de controle Poitrine (init 910)
	DCOU	dcou/p*P	paramètre expression	1	DCOU
	COU	cou/p*P	paramètre expression	1	COU
	SCOU	scou/p*P	paramètre expression	1	SCOU
	DACROM	dacrom/p*P	paramètre expression	1	DACROM
	ACROM	acrom/p*P	paramètre expression	1	ACROM
	SACROM	sacrom/p*P	paramètre expression	1	SACROM
	SACROM1	sacrom1./p*P	paramètre expression	1	SACROM1
	DAISS	daiss/p*P	paramètre	15	B
	DAISS1	daiss1/p*P	paramètre expression	1	HI
	DAISS2	daiss2/p*P	paramètre expression	2	NE
	DAISS3	daiss3/p*P	paramètre expression	3	SH
	DAISS4	daiss4/p*P	paramètre expression	1	AR
	DAISS5	daiss5/p*P	paramètre expression	1	UN
			paramètre	1	WA
			paramètre expression	0	BE
			paramètre expression	1	TH
			paramètre expression	2	KN
			paramètre expression	1	BR
			paramètre expression	1	KN4
			paramètre expression	1	KN3
			paramètre expression	1	KN2

Paramétrage linéaire

Paramétrage non linéaire

Figure 79.

Règles anthropométriques linéaires et non linéaires

Avant de commencer à créer les surfaces de mannequin, il est impératif de vérifier l'alignement des origines et le sens identique des contours (Figure 80a) pour éviter les défauts de surface au cours de leur création (Figure 80b).

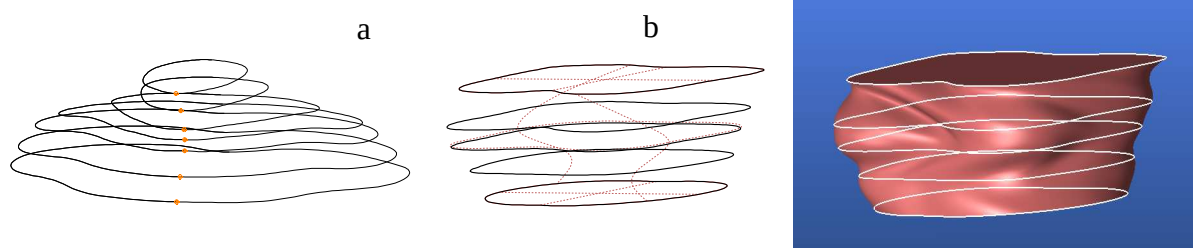


Figure 80.

a) Origines et sens des contours, (b) défauts engendrés lors de la création des surfaces

Les surfaces du mannequin adaptatif sont générées à partir de ces courbes par un outil du modeleur surfacique appelé gabarit. Cette fonction sera utilisée sur les contours du torse et de la jambe de manière séparée. Cette dernière sera dupliquée symétriquement par rapport au plan de symétrie (Figure 81). Le problème de l'entrejambe est réglé en créant une surface limitée par les contours d'entrejambe séparée et le contour global issue de ces deux contours (Figure 82).

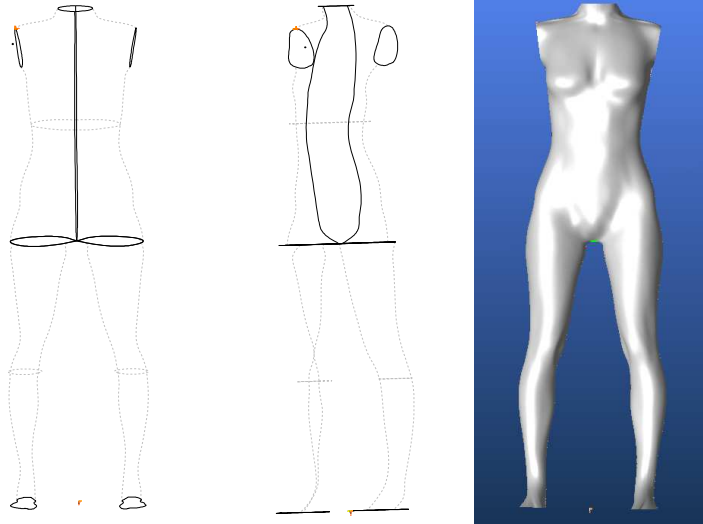


Figure 81.

Modélisation surfacique du mannequin

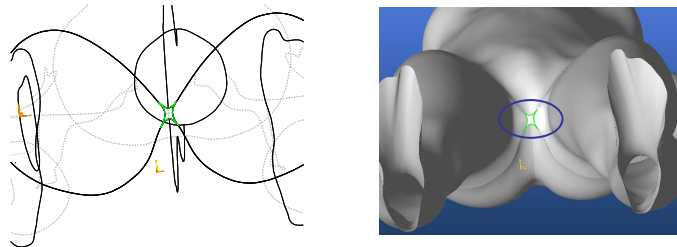


Figure 82.

Création des contours de l'entrejambe

II.2 Modélisation des bras

C'est uniquement à ce stade de la modélisation qu'il est possible de modéliser le bras car il est dépendant de l'évolution du torse, ce qui complique la procédure de travail. Cette procédure suit malgré tout celle qui est utilisées pour construire le mannequin virtuel sans bras. Une première translation associative des contours morphologique du bras du morphotype réel est effectuée pour en extraire les différents contours primaires et secondaires (Figure 83). Ensuite, le positionnement relatif du bras sur le torse nous amène à contrôler trois types d'évolution spatiale : dans le sens transversal de la carrure, dans le sens vertical de la stature, dans la direction du bras.

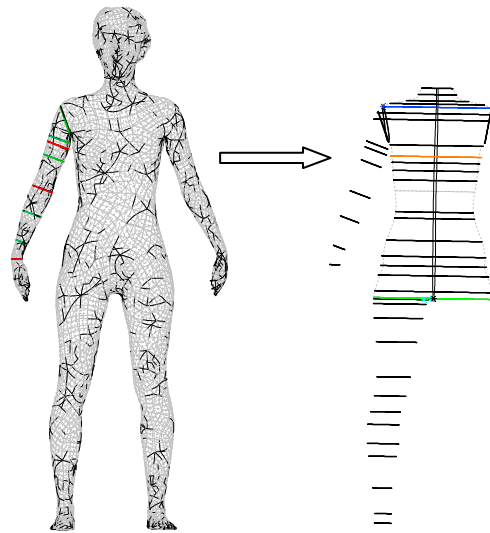


Figure 83. Extraction des contours primaires et secondaires du bras

Pour ces deux dernières évolutions, un point spécifique doit être créé sur lequel sera positionné trois repères nécessaires au déplacement du bras lors du contrôle du torse. Ce point est un point anthropométrique très important : l'acromion. Le premier repère (noté 1) permet de sectionner le bras pour l'isoler ou encore définir le segment supérieur du corps, le second (noté 2) gère l'évolution de la longueur du bras dans la direction de celui-ci, le dernier (noté 3) contribue au positionnement du bras dans le sens vertical lorsque le mannequin change de stature.

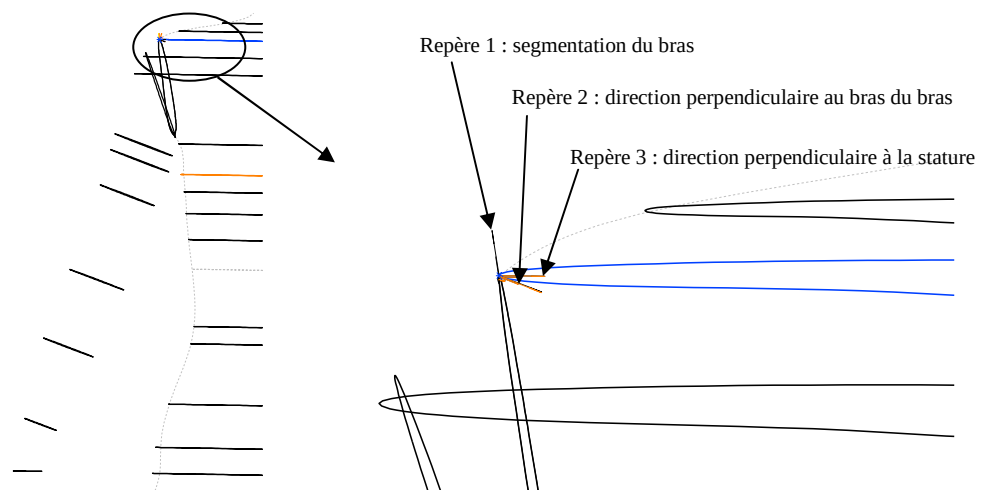


Figure 84. Repère d'évolution sur le point d'acromion

Suite à la mise en place d'un tableau de mesure calculant la distance entre les contours du bras et le plan du repère 2, une translation (Figure 85: t_1) permet de projeter sur ce plan ces mêmes contours dans l'alignement du bras (ex : 20°). Dans cette condition, il est possible de prendre en compte les règles anthropométriques définissant le volume du bras. Une homothétie

(Figure 85: h_1) est alors réalisée par rapport à la ligne d'intersection des plans de symétrie et de répartition. Une autre translation (Figure 85: t_2) opposée est ensuite effectuée sur ces nouveaux contours dans laquelle est redéfinie leurs nouvelles positions en prenant en compte les paramètres de contrôle (Figure 85) gérés par la hauteur R.

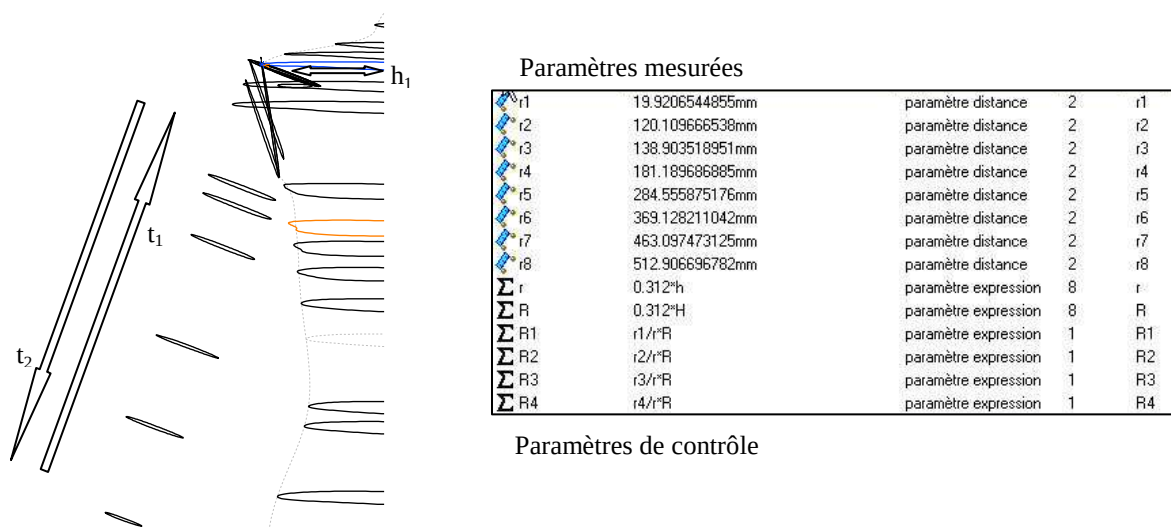


Figure 85.

Contrôle de la longueur, du volume et paramètres gérant la longueur du bras

A cette étape de l'étude, il est nécessaire de prendre en compte, l'évolution du bras dans le sens vertical pour suivre la variation du paramètre de la stature. Pour cela, une translation (Figure 86.a: t_1) dans le sens vertical avec projection sur le plan du repère 3 est effectuée, suite à la mise en place d'un nouveau tableau de mesure calculant la distance entre les derniers contours de bras et le plan du repère 3 pour réajuster la nouvelle position de ces contours (Figure 86 .a: t_2) relativement aux variations de stature H (ou longueur de bras M).

Enfin, les surfaces du mannequin morphotypes adaptatifs sont générées à partir de ces courbes pour l'outil surfacique gabarit (Figure 86.b). Le bras gauche est obtenu par symétrie comme la jambe. L'ensemble des surfaces sont cousus en finalité.

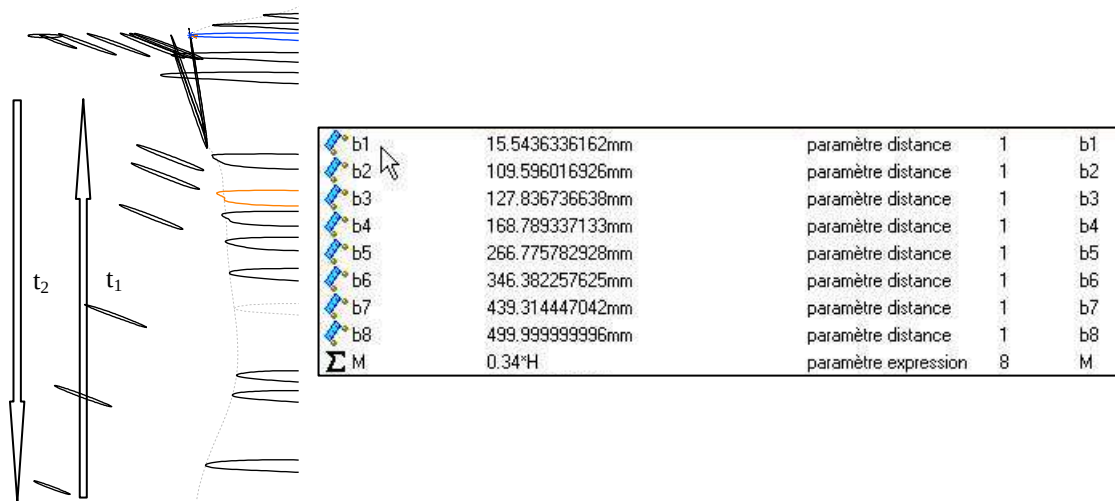


Figure 86.

Contrôle vertical et paramètres gérant la hauteur du bras

III Résultats et conclusion

Les résultats de notre modèle de mannequin morphotype adaptatif sont présentés sur la Figure 87. Il est remarqué que, selon la stature en mm (1640, 1800, 1800 et 1640), la circonférence respective de la poitrine en mm (910, 910, 1000 et 1000), le contrôle du processus de création, la morphologie du mannequin suit le morphotype issu du scanner et ce malgré de forte variation imposée.

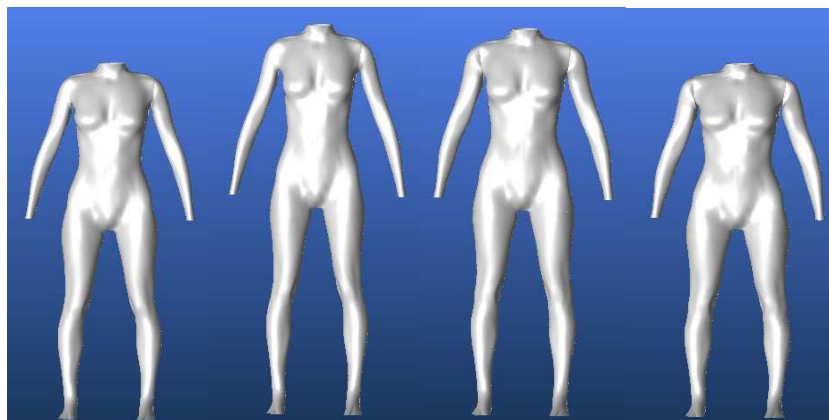


Figure 87.

Mannequin morphotype paramétré

Ce mannequin est dédié pour le secteur du prêt-à-porter pour tout type de vêtement sauf les secteurs très proches du corps (aisance=0 ou négative) comme la corsetterie, car dans ce cas particulier il est nécessaire de prendre en compte l'évolution de la poitrine pour la femme. Le concept de création peut s'appliquer aisément pour l'homme. Son grand intérêt est qu'il suit les idées émises de la campagne de mensuration.

Chapitre 3

Modélisation du vêtement et de l'interface homme/vêtement

I Introduction

Ce chapitre décrit l'étude du développement de modèles de vêtement dans un environnement de calcul 3D. Jusqu'à maintenant, ce processus de création était effectué par de nombreux ajustements précis et répétitifs lors de l'étape de drapage sur un mannequin en bois ou réel, laquelle nécessitait le savoir-faire manuel d'expert. Cependant la demande toujours croissante de l'unicité et du développement de produit rapide pour la réduction du temps de réactivité a conduit au développement de nouveaux logiciels et matériels pour ces nouveaux marchés en vogue. Cette étude peut être considérée comme un nouveau concept méthodologique accessible à n'importe quel utilisateur qui vise à développer un vêtement en 3D adapté à l'industrie. Dans ce contexte, nous avons travaillé dans deux directions : le prêt-à-porter ou la mass customisation. Pour le prêt-à-porter, nous utilisons le modèle de mannequin du chapitre 2 pour développer le modèle de vêtement dans le cas d'un pantalon afin d'étudier la segmentation inférieure du corps en liaison étroite avec le bas du torse. Alors que dans le cadre de la mass customisation, nous travaillons sur la segmentation supérieure du corps associée au haut du torse avec comme base de vêtement à étudier la chemise. Ces différentes représentations de vêtement s'appuient sur des modèles adaptatifs en fonction de la personne ou de l'environnement. Les paramètres de commande sont contrôlés judicieusement par un modèle d'aisance dynamique. Les exemples choisis sont très ouverts à d'autres catégories de vêtements d'une autre classe, mais de segmentation identique. L'étude est très fascinante dans le domaine de la personnalisation de masse car ce processus est non seulement rapide mais extrêmement précis car le développement et les essais virtuels des modèles sont effectués en continu sur différentes plateformes de logiciel ne présentant pas de problème d'importation de données. Entre autre, un deuxième aspect intéressant se situe dans l'analyse et la technique utilisée afin de définir la valeur des paramètres spatiaux du modèle d'aisance dans cet environnement 3D. Ce travail s'appuie sur l'analyse et le traitement d'image de l'écart optimal entre le corps et le vêtement, données essentielles de l'étude pour caractériser le bien-être du vêtement. Nous avons testé deux méthodes pour calculer l'aisance spatiale lors d'une phase

statique d'essayage. Ces deux concepts sont basés et utilisent les mesures obtenues à partir d'un modèle inverse de conception de vêtement. L'objectif de ce chapitre est d'apporter aussi les réponses aux questions de bien aller de vêtement numérique développé dans un environnement 3D pour un public ciblé, c'est-à-dire les chercheurs, les industriels et les utilisateurs de logiciel (pour la méthodologie) et les développeurs de logiciel (pour éliminer les barrières technologiques).

II Modèle du vêtement pour le prêt à porter

Dans une première approche, nous avons travaillé dans le domaine du prêt-à-porter pour mettre en place le modèle virtuel de vêtements en 3D. A partir des besoins stratégiques liés à la mass production, au commerce électronique et à l'innovation numérique dans le domaine de la confection, nous avons défini un modèle virtuel pour l'industrie du vêtement et une méthodologie de la procédure permettant à la conception virtuelle de vêtements directement sur un mannequin morphotype adaptatif en 3D. Une courte introduction de la description du modèle globale du processus de création de vêtement est présentée. Pour expliquer la méthode générale, nous prenons comme base élémentaire le pantalon classique.

Le diagramme de la Figure 88 présente le synoptique du modèle globale du processus de création de vêtement sans tenir compte du modèle de tissu. Ce concept est développé dans un mode statique et sera vérifié ultérieurement en mode dynamique. Le processus est multi-entrées/multi-sorties de part la complexité du problème. Différentes boucles de retour sont mise en œuvre pour traduire les phénomènes internes engendrés par l'interface homme/vêtement traduisant la notion de bien aller. Le modèle global est composé de 3 modèles internes disposés en cascade : le modèle du corps humain, le modèle d'aisance et le modèle de vêtement. Le plus important est le modèle d'aisance car il est indispensable au processus de modélisation du vêtement et à sa validation. Une description très précise de celui-ci est donnée à la suite précisant chaque élément qui agisse sur le processus global. Le modèle de vêtement intègre différents sous-modèles en fonction du produit à confectionner. Par exemple, dans le cas du pantalon, deux sous-modèles sont nécessaires. Ils sont liés à la position des patronages sur le modèle du corps humain, l'un est associé à la morphologie du devant, alors que l'autre à la morphologie de l'arrière avec des valeurs appropriées de l'aisance. Ces deux sous-modèles sont fortement reliés l'un à l'autre, à l'instar de l'effet de rétroaction provenant d'interdépendances des patronages avant et arrière.

Afin d'identifier la valeur des paramètres d'aisance, une procédure d'identification a été mise en place pour minimiser le critère de bien aller qui se traduit par la superposition des

patronages de l'industrie et ceux créés pour le modèle de vêtement 3D et qui valide en partie les patronages 3D. Pour cela, un observateur du modèle 3D est utilisé pour obtenir la conversion des patronages 3D en 2D. Suite à l'ajustement de l'erreur de patronage, nous devons contrôler aussi les résultats de cet observateur lors de la déformation de la matière pendant une mise à plat des patronages. Un estimateur de déformation est utilisé pour contrôler la faisabilité de la mise à plat des patronages afin d'agir en conséquence sur le modèle de vêtement, comme nous le faisons aussi lors des contrôles des patronages 2D par le biais du modèle d'aisance.

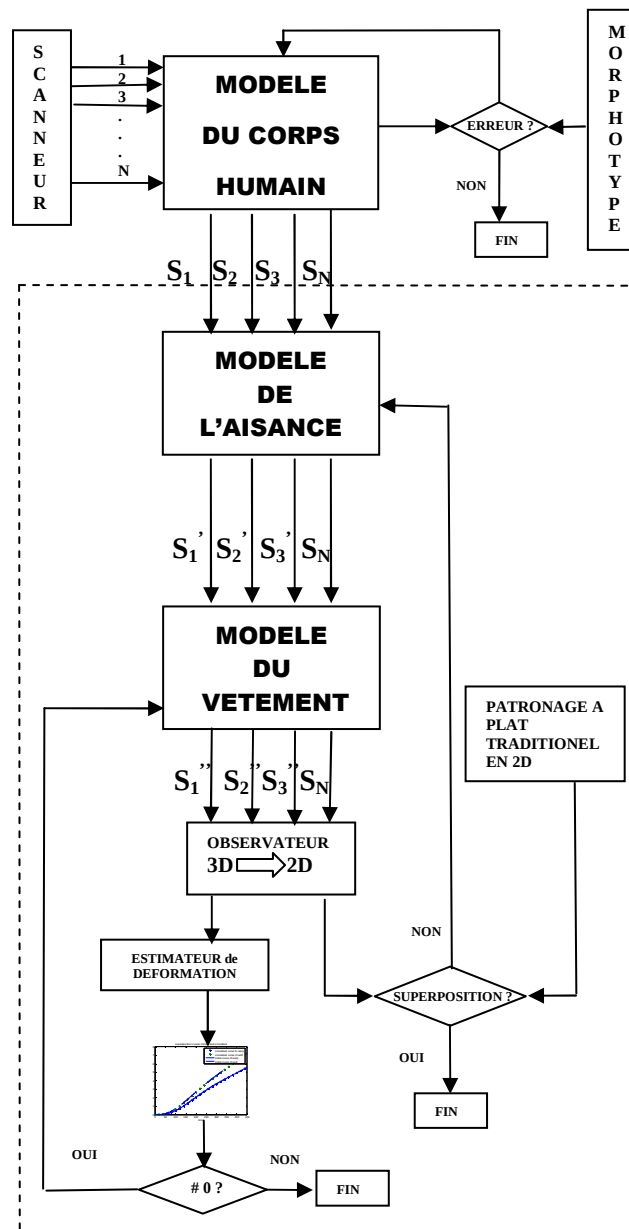


Figure 88.

Modèle globale

II.1 Modèle d'aisance 2D

Alors que la conception du mannequin morphotype adaptatif est achevée en suivant la stratégie de modélisation du corps humain, la prochaine étape consiste à utiliser au mieux les variables de sortie de ce modèle pour alimenter le modèle d'aisance (Figure 89).

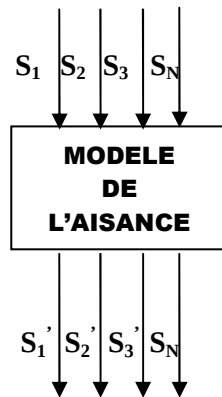


Figure 89.

Modèle d'aisance

Pour cela, nous utilisons la forme des contours morphologiques de la précédente phase du processus en tant que paramètres d'entrée du modèle d'aisance. Cela signifie que ce dernier peut être considéré comme le noyau central du modèle de vêtements virtuels. Ainsi, à chaque altération du modèle d'aisance, le modèle de vêtement est influencé directement par les liens paramétriques. En accord avec le type de vêtements et suite à une segmentation du corps humain, il est important de choisir les bons contours morphologiques. En outre, dans la majorité des cas, les vêtements consistent en une combinaison de différents contours qui figurent au moins dans deux segments du corps. Par exemple, les vêtements destinés à la partie supérieure du corps humain, comme les t-shirts, utilisent les membres supérieurs et le torse. L'exemple plus complexe, comme une veste de smoking, comprend trois segmentations, les membres inférieurs sont rajoutés au cas précédent. Dans le cas du pantalon, les contours morphologiques des membres inférieurs et du bas du torse sont nos paramètres d'entrée. La gestion du modèle d'aisance est réalisée avec un nombre important de paramètres d'aisance inter-corrélé. Ces paramètres de contrôle sont affectés aux contours utiles du corps humain par l'intermédiaire de points de contrôle positionnés sur ces contours à des endroits bien définies et appropriés au modèle et au style de pantalon. La répartition de ces points de contrôle est essentielle afin de faciliter la gestion du modèle d'aisance. De plus, comme le corps humain est un ensemble de formes très complexes, il est prioritaire de placer plus de points aux endroits de courbure qu'aux endroits rectilignes. La Figure 90 montre un exemple

de distribution spatiale et linéaire des points de contrôle sur les contours morphologiques du modèle de pantalon.

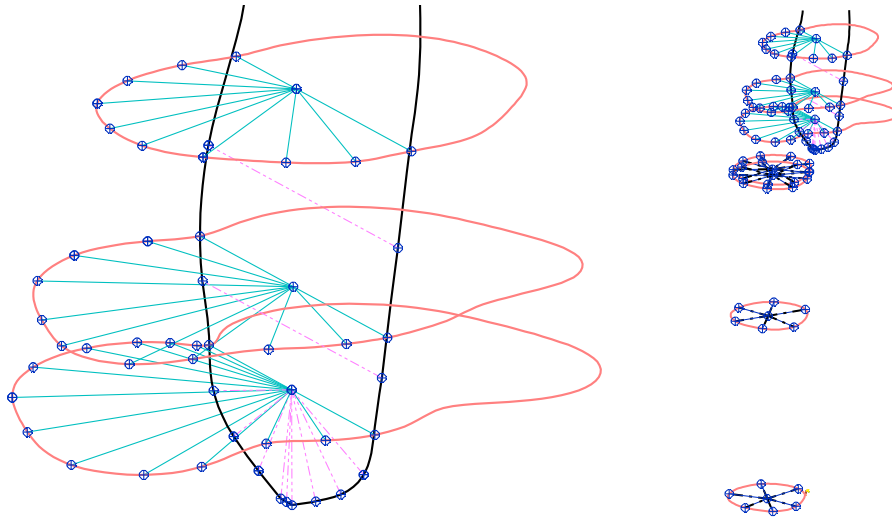


Figure 90.

Distribution des points de contrôle associés aux contours morphologiques

La grande difficulté du modèle d'aisance se situe sur le choix des contours morphologiques humains car la valeur des paramètres d'aisance définissent ou non les zones de contact entre le vêtement et le corps. Aussi, dans le cas de non contact, il est nécessaire d'interpréter le tombé de la matière et d'extrapoler la position statique finale du vêtement. Par exemple, dans le cas du pantalon, les contours morphologiques de la jambe doivent être modélisés de telles sortes qu'ils suivent des hypothèses de forme. A contrario, dans le cas de contact, les contours de la partie supérieure du pantalon sont directement obtenus par les coupes transversales du corps humain. Entre autre, le protocole de numérisation du scan 3D impose des conditions draconiennes sur la posture initiale du corps humain qui peut influencer la forme finale des patronages. Par conséquent, il n'est pas possible d'utiliser complètement l'original de la posture du corps humain virtuel, dans le cas du pantalon le problème se pose au niveau des jambes. Mais dans la conception de vêtements, d'autres facteurs extérieurs interviennent que l'on doit intégrer dans la modélisation. Par exemple, le tombé d'une jambe de pantalon est en aplomb dans une direction verticale jusqu'au cheville. L'hypothèse de recopier les contours morphologiques de la cuisse aux niveaux de la cheville et du genou suit alors les critères de confort, de bien aller et de l'aplomb, et est donc justifiée (Figure 91).

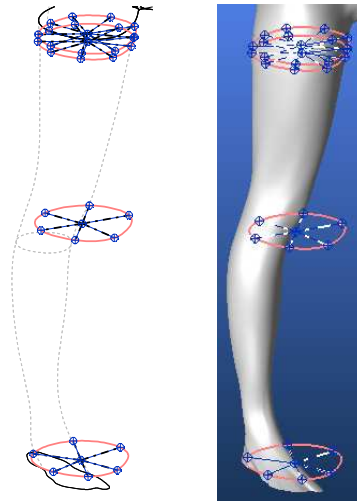


Figure 91.

Conception de la jambe du pantalon

Une autre difficulté qui doit se traiter dans le cadre du modèle d'aisance est d'assurer le design parfait du modèle de vêtement en intégrant des contours secondaires. Cette notion est similaire à celle du respect de la beauté que l'on retrouve dans le modèle humain. Outre l'ajout de ces courbes secondaires et de leurs points de contrôle, il était nécessaire de les mettre dans les endroits qui sont essentiels pour le modèle de base choisi. Dans notre cas, les deux contours supplémentaires sont situés entre la ligne de ceinture et de hanche pour le premier, et au-dessous de la ligne de cuisse pour le second. Dans la même optique, le fessier nécessite des lignes complémentaires et points de contrôle accrochés aux contours morphologiques pour le respect des courbures du corps humain.

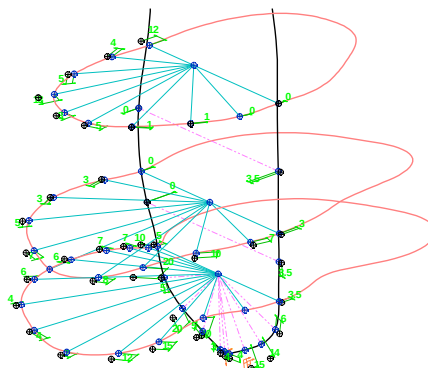


Figure 92.

Modèle d'aisance du pantalon

Le modèle d'aisance complet pour le pantalon de base de la femme est présenté sur la Figure 92. Ce modèle est constitué en sortie de points d'aisance obtenues par le décalage des points de contrôle créent sur les contours morphologiques associées, dont la valeur de décalage est géré par les paramètres d'aisance spatiaux. Ces paramètres sont implémentés sous la forme de côte de pilotage verte, positionnant les points d'aisance. Chaque point est décalé

indépendamment dans la direction définie par lui-même et le centre de gravité de la surface du contour fermé. La valeur des paramètres d'aisance vont évoluer lors des phases de validation dans chacune des boucles de retour. On peut assimiler cette procédure à un asservissement de volume de la carcasse du vêtement contrôlé par l'ajustement du tombé et le bien aller du vêtement.

II.2 Modèle de vêtement 3D

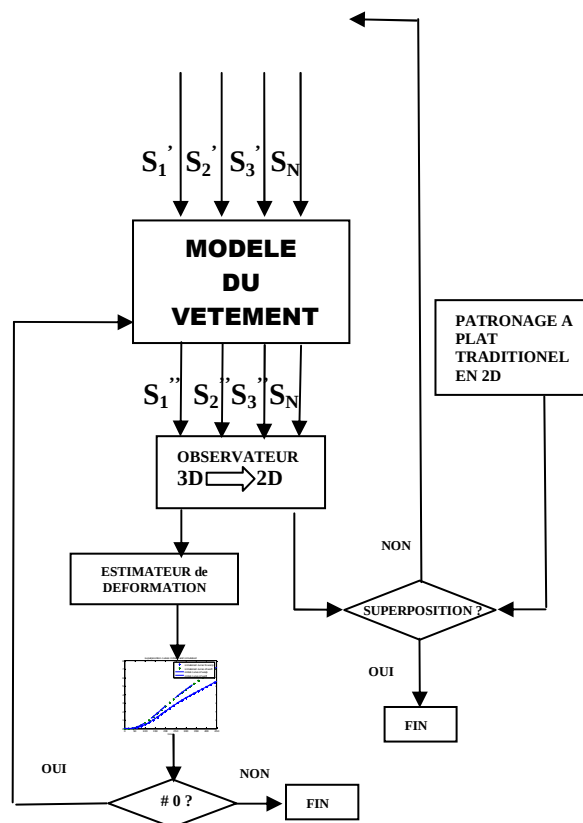


Figure 93. Modèle de vêtement

Le modèle de vêtement utilise en entrée les points d'aisance du modèle d'aisance sur lequel va s'appuyer une structure filaire ou le squelette du vêtement. Ces nouveaux points permettent de tracer les nouveaux contours avec facilité. Cette technique présente l'avantage d'ajuster l'aisance du devant et du dos de manière indépendante pour optimiser le critère de bien aller. Ce critère est prioritaire dans le cas de personnes fortes.

La modélisation du vêtement utilise les techniques de drapé et se traduit par le positionnement des lignes de couture (intérieure et extérieure), le pincement de la ligne de taille associé à la

phase de moulage et le repérage finale des lignes de commande définissant le modèle de vêtement.

Le positionnement de la couture latérale revient à (Figure 94.1) :

- Équilibrer le droit fil de la toile avant et arrière
- Épingler la toile avant et arrière de la ligne d'entrejambe à la ligne de taille en moulant le côté

Le pincement de la ligne de taille s'effectue dans un premier sur l'avant du pantalon. La procédure est la suivante (Figure 94.2) :

- Mouler la toile suivant la ligne de taille avant et insérer une pince d'aisance (0.6cm) sur la ligne de taille avant près de la couture de côté
- Epingler et diviser l'excès de matière en 2 pinces de taille vers l'avant
- Placer la 1ère pince à l'intersection de la ligne de taille et de la ligne "coupe princesse"
- Placer la 2ème pince au milieu de la pince précédente et de la ligne de côté

Nous appliquons une procédure similaire pour le pincement de la ligne de taille dans le dos (Figure 94.3) :

- Mouler la toile suivant la ligne de taille arrière et insérer une pince d'aisance (0.6cm) sur la ligne de taille avant près de la couture de côté
- Epingler et diviser l'excès de matière en 2 pinces de taille vers l'arrière
- Placer la 1ère pince à l'intersection de la ligne de taille et de la ligne "coupe princesse"
- Placer la 2ème pince au milieu de la pince précédente et de la ligne de côté

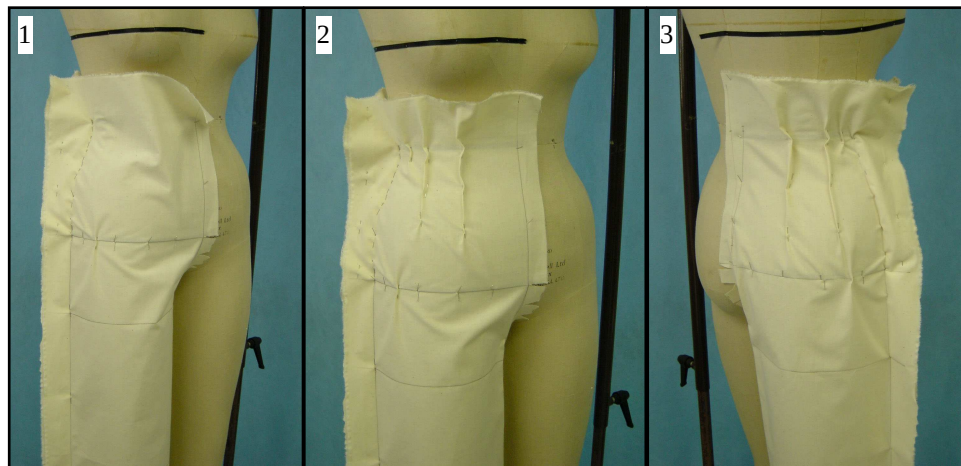


Figure 94. Positionnement de la couture latérale, Pincement de la taille

Afin de draper parfaitement la toile sur le mannequin au niveau de la taille, nous devons :

- Mouler la toile suivant la ligne de taille avant et épingler ligne de taille avant et cranter la partie supérieure de la taille à intervalle de 1.2cm (Figure 95.1)

- Mouler la toile suivant la ligne de taille arrière et épingler ligne de taille arrière et cranter la partie supérieure de la taille à intervalle de 1.2cm
- Rebâtir la couture de côté et la couture intérieure de la ligne d'entrejambe jusqu'à la ligne de cheville en respectant le droit fil (Figure 95.2)

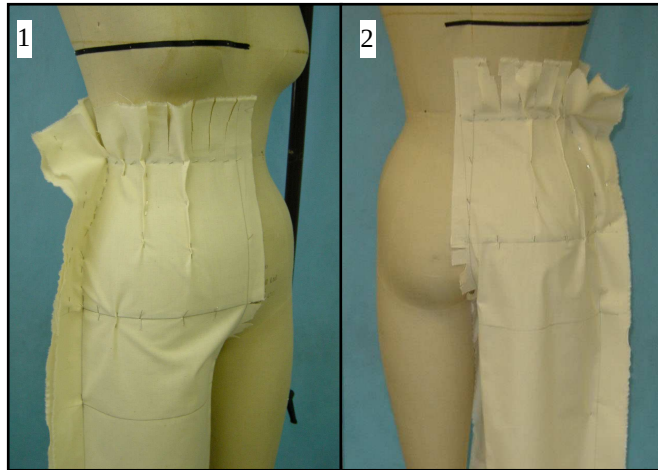


Figure 95.

Drapé de la ligne de taille

La Figure 96.1 montre le résultat final du modèle de pantalon mis à plat après avoir retracé en 3D la ligne de taille, les courbes avant et arrière d'entrejambe, les lignes de côté et couture intérieure, les lignes de pinces avant et arrière. A chaque contour, il a été rajouté une valeur de couture de 2.5cm afin de rebâtir le modèle avant et arrière fini en 3D pour contrôler le tombé (Figure 96.2).

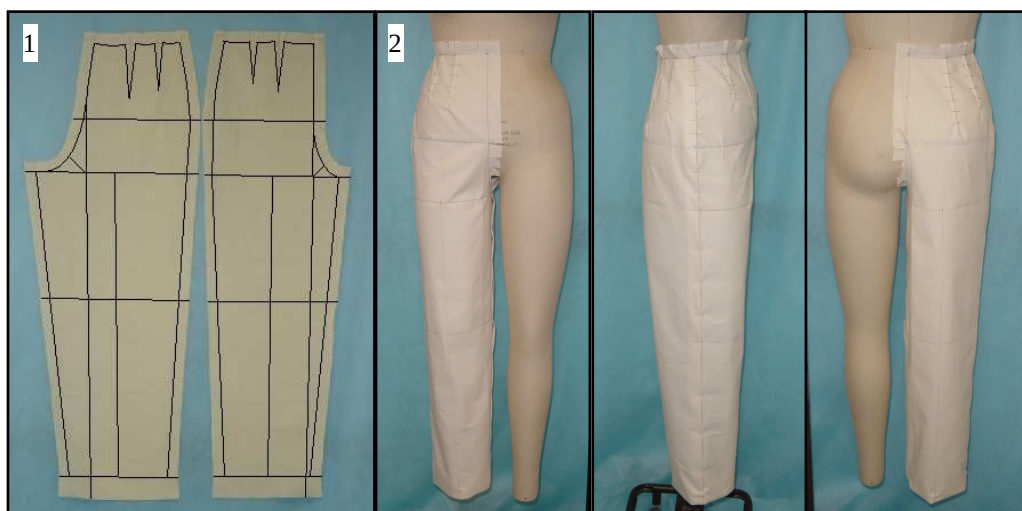


Figure 96.

Patronage 2D et 3D du pantalon fini

Le modèle numérique retraduit ce concept de création basé sur le moulage 3D de la toile. C'est à partir des contours issus des points d'aisance que nous avons définis la position des coutures latérales intérieures et extérieures (Figure 97.1). Leur position est gérée suivant l'axe

Z par deux repères indépendants (repère marron et noir Figure 97.2). Nous utilisons le plan XY de ces deux repères pour rechercher les points d'intersection des contours du modèle avec ces plans. Ces nouveaux points permettent de tracer la couture extérieure (repère rouge) et la couture intérieure (repère rouge). La position de ces lignes de couture est décisive car elles conditionnent fortement la morphologie du modèle de pantalon lors de sa mise à plat. On peut gérer le rapport de surface entre le devant et le dos. Entre autre, Il est très important d'avoir la possibilité de programmer les positions de coutures, en raison des besoins des créateurs de libérer leur créativité. L'importance des coutures sur les vêtements a été présentée par Hu, Chung et Lo [94]. Les auteurs déduisent une grande influence du type de couture, sur la position et la forme du vêtement lors de son drapé sur le corps.

Le moulage revient à créer les surfaces du devant et du dos contrôlées par les différents contours d'aisance, les précédentes lignes de couture et les lignes secondaires. Rappelons que ces dernières ont pour objectif de contribuer au respect de la morphologie du pantalon en 3D comme on le retrouve sur le modèle anthropométrique 3D. La Figure 97.2 montre qu'au niveau de la taille, la valeur de l'aisance devra être ramenée à zéro afin de prendre en compte le pincement de celle-ci. Cette phase mérite une attention particulière car avec la méthode de drapé nous intégrons immédiatement les pinces pour effectuer cette opération d'aisance 0.

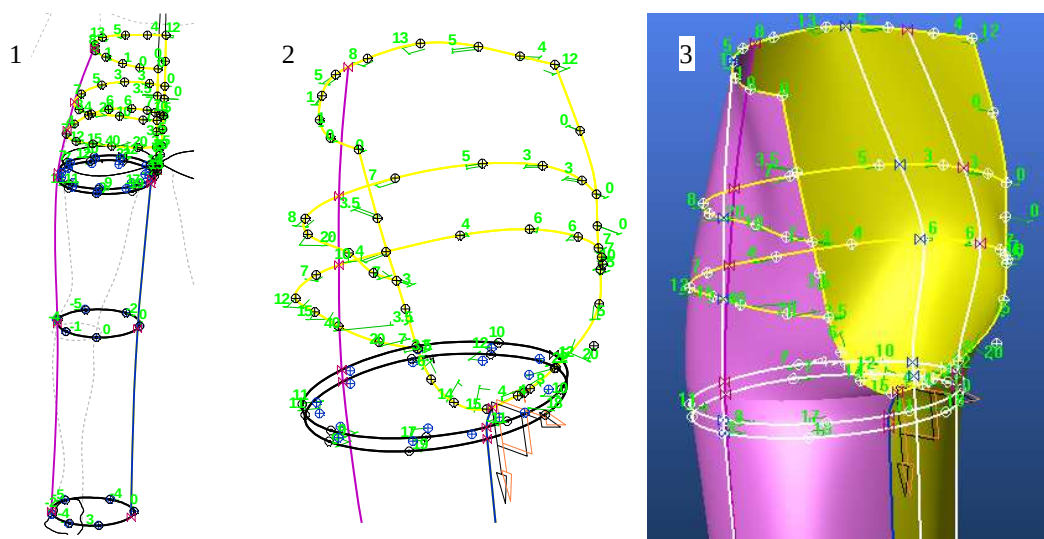


Figure 97.

Positionnement des lignes de couture, moulage du pantalon

A ce stade de l'étude, différentes phase de validation du processus doivent être effectuée. La première consiste à définir les bonnes valeurs du modèle d'aisance par la boucle de retour droite du modèle globale. Dans ce cas, nous devons tenir compte des patronages existants utilisés par l'industrie du prêt-à-porter, pour être cohérent avec la cible de population visée.

Cela nous permettra ensuite d'ajuster ce modèle à la morphologie du porteur. Le sous chapitre suivant détaille cette procédure de validation dite statique du vêtement.

II.3 Procédure de validation statique du vêtement

Le modèle du vêtement a été judicieusement conçu afin d'éviter les problèmes d'identification de l'aisance. La division en sous-modèle devant/dos est stratégique, non seulement parce qu'elle permet l'identification du vecteur paramètre du modèle d'aisance dans son ensemble, mais également en raison de la spécificité des processus de conception de vêtements.

Le contrôle de l'aisance 3D s'effectue suivant une procédure comportant différentes étapes. La première consiste à mettre en place, dans un monde 2D, un modèle de patronage adaptatif défini par les techniques de mise à plat de l'académie internationale de coupe de PARIS [edition Vauclair]. Le résultat, donné en Figure 98.1, montrent qu'il est possible d'ajuster ce patronage par les paramètres de contrôle (vert) en fonction des mensurations de la personne scannée.

Ensuite, nous identifions les différentes valeurs d'aisance, contour après contour, avec un contrôle régulier du rapprochement des patronages issues du concept 3D (Figure 98.2) associé à la mise à plat 2D (contour bleu avec fond maillé) et de la méthode Vauclair (contour bleu ou rouge) (Figure 98.3). Dans notre cas, l'identification a été effectuée en plusieurs étapes. La première a été d'identifier les paramètres du sous-modèle relatifs à l'avant du pantalon (Figure 98). La deuxième correspond à l'identification des paramètres du sous-modèle relatifs à l'arrière du pantalon.

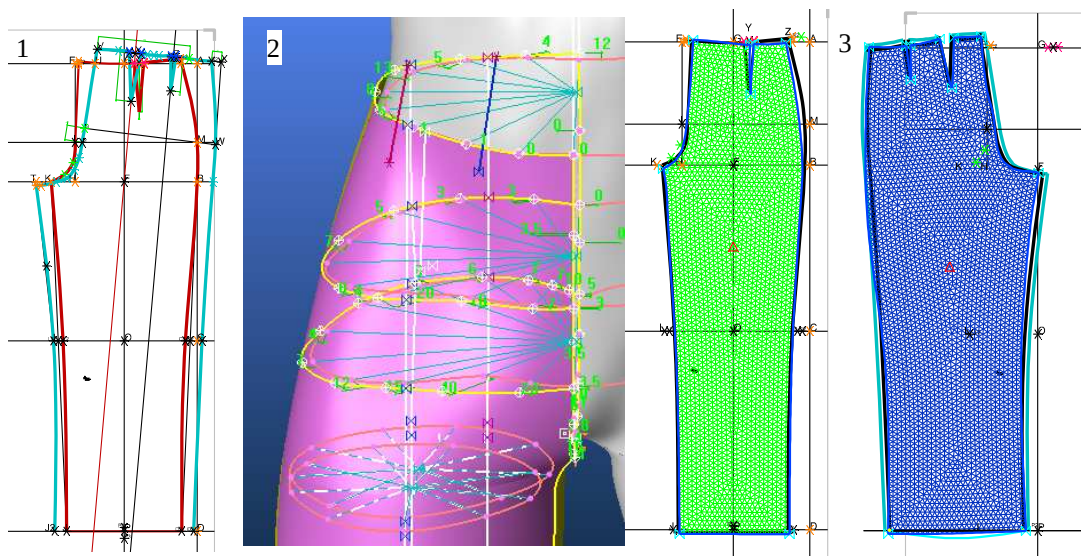


Figure 98.

Modèle de patronage adaptatif pour contrôler l'aisance par la mise à plat.

Le diagramme de la Figure 99 rappelle la méthodologie décrite pour identifier la valeur des paramètres d'aisance :

- Analyse de l'avant du modèle de vêtement afin de préparer ce modèle vers le design souhaité en utilisant son savoir faire.
- Initialisation du premier vecteur de paramètres d'aisance nécessaires au démarrage de l'identification pour le devant uniquement.
- Contrôle du design des surfaces du pantalon afin d'éviter des déformations exagérées ou entrainer des impossibilités de construction.
- Contrôle du design des surfaces de l'arrière du pantalon. En raison des corrélations entre le devant et l'arrière du pantalon, chaque changement de l'aisance sur le devant, en particulier, près des coutures intérieure et latérale, influence la surface de l'arrière du pantalon.
- Contrôle des paramètres de la mise à plat. Il est recommandé de diminuer la taille des triangles pour affiner le maillage et lisser les contours des patronages mis à plat.
- Superposition des patronages de la méthode Vauclair et ceux issus de la mise à plat. Ce test de superposition nous permet de valider ou non le modèle de vêtement virtuel. Si validation, les valeurs d'aisance sont corrects. Si non validation, on reprend la procédure à son étape de modification du vecteur paramètre.
- Présentation des résultats obtenus par superposition des patronages des deux méthodes

Le tableau de la Figure 100 donne en fonction des différents contours morphologiques les différentes valeurs du vecteur d'aisance pour l'état initial du modèle de pantalon 3D, pour la méthode Vauclair et pour le modèle de pantalon customisé.

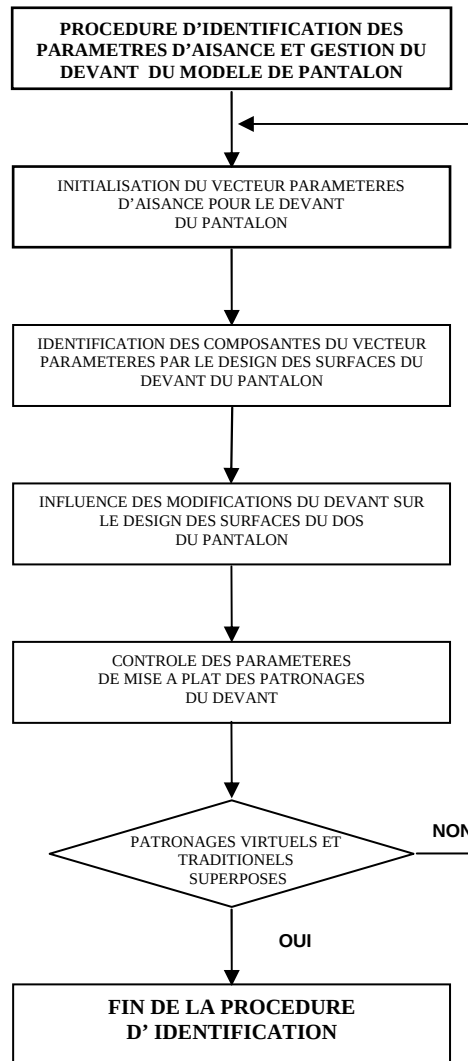


Figure 99.

Procédure d'identification du modèle d'aisance

Fourche	milieu devant	points intermédiaire															milieu dos	
Valeurs aisance initiales	0	3,5	3	3,5	3,5	6	11	14	6,5	7	6	5	0	5	2	1	1	6
Valeurs aisance "Vauclair"	0	2	2	2	4	6	14	15	4	4	3	5	5	6	3	2	1	0
Valeurs aisance customisé	0	0	0	0	0	0	5	9	2	2	2	4	2	6	2	0	0	0

taille	milieu devant	points intermédiaires								milieu dos
valeurs aisance initiales	0	0	1	1	4,5	6	9	5	4	6
valeurs aisance "Vauclair"	0	0	1	1	5	8	13	5	4	12
valeurs aisance customisé	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

petite hanche	milieu devant	points intermédiaires								milieu dos
valeurs aisance initiales	3	7	20	20	12	8	9	6	6	1
valeurs aisance "Vauclair"	3	3	7	10	20	8	7	5	3	0
valeurs aisance customisé	0	2	10	5	2	2	2	2	2	0

bassin	milieu devant	points intermédiaires												milieu dos
valeurs aisance initiales	3,5	20	40	15	12	7	8	8	6	6	9	15	20	5
valeurs aisance "Vauclair"	3,5	20	40	15	12	7	4	4	6	6	7	7	10	5
valeurs aisance customisé	0	10	26	4	4	4	4	4	4	4	4	4	8	6

Figure 100.

Valeur du vecteur d'aisance des différents contours
morphologiques

La superposition des contours montrent que ce nouveau processus global de conception est non seulement cohérent avec les techniques utilisées dans le prêt-à-porter (méthode de mise à plat Vauclair), mais est aussi fidèle avec un processus de mass customisation.

La deuxième phase de validation consiste à valider le caractère quasi-statique du problème, c'est-à-dire l'état de déformation de la matière lors de sa mise à plat. Dans ce cas, nous utilisons un post traitement pour contrôler les déformations engendrées par le passage en 2D.

II.4 Procédure de validation quasi-statique du vêtement

L'objectif de l'observateur est de nous renvoyer les contraintes matières mécaniques lors de la mise à plat des patronages 3D en patronage 2D. Dans notre cas, nous contrôlons l'état de compression de la matière lors du resserrement de la taille par un post-traitement mécanique. Ce contrôle permet de définir s'il faut mettre une pince à un endroit donnée lorsque le tissu est lâche ou s'il existe une zone de tension. Dans ce dernier cas, un choix de matière est nécessaire pour supporter cet état d'élongation. La Figure 101 montre que le devant ne nécessite pas de pince sur la ligne de taille car la coloration blanche au niveau de la taille définit un état de compression/élongation nulle. De même l'arrière nous conduit au même résultat.

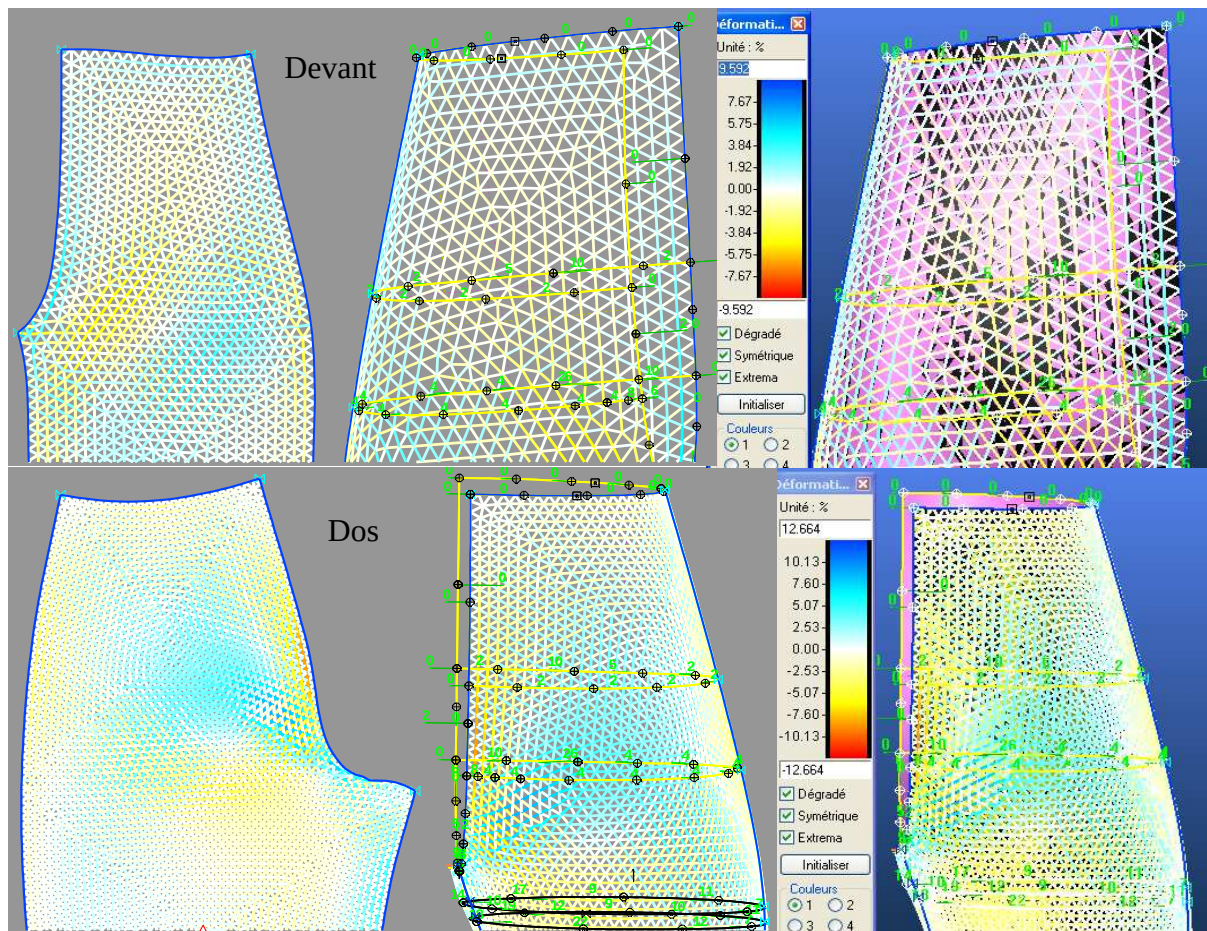


Figure 101.

Analyse des déformations de la matière au niveau de la taille

II.5 Procédure de validation dynamique du vêtement

L'étape a consisté à valider le modèle d'aisance dans une dynamique de tombé. Une boucle de contre-réaction existe entre ce modèle et la phase dynamique du tombé du vêtement. La Figure 102 permet de comparer différentes techniques de patronages. La première technique (Figure 102a) utilisée est industrielle, on peut y remarquer des erreurs de patronage en fonction du consommateur, c'est à dire que le pantalon tombe trop bas en dessous de la taille, il penche sur le devant ce qui amène à quelques plis perceptibles sur ce devant. La seconde technique (Figure 102b) est issue de notre processus de conception 3D, on retrouve le même problème car nous avons essayé de nous rapprocher de la première méthode pour valider la première étape du processus (Cf. § II.3). Pour cela, nous avons mis les paramètres d'aisance à zéro sur la taille et imposé des pinces. Sur le dernier patronage (Figure 102c) dont le tombé est parfait, la différence par rapport au précédent patronage, nous n'avons pas mis de pince. Cette hypothèse a été justifiée par le processus de validation précédent détectant les déformations lors de la mise à plat (Cf. § II.4). Dans notre cas, aucune déformation de la

matière pendant ce processus n'est apparue, d'où la non nécessité de créer une pince pour ce modèle, ce type de matière et ce consommateur.

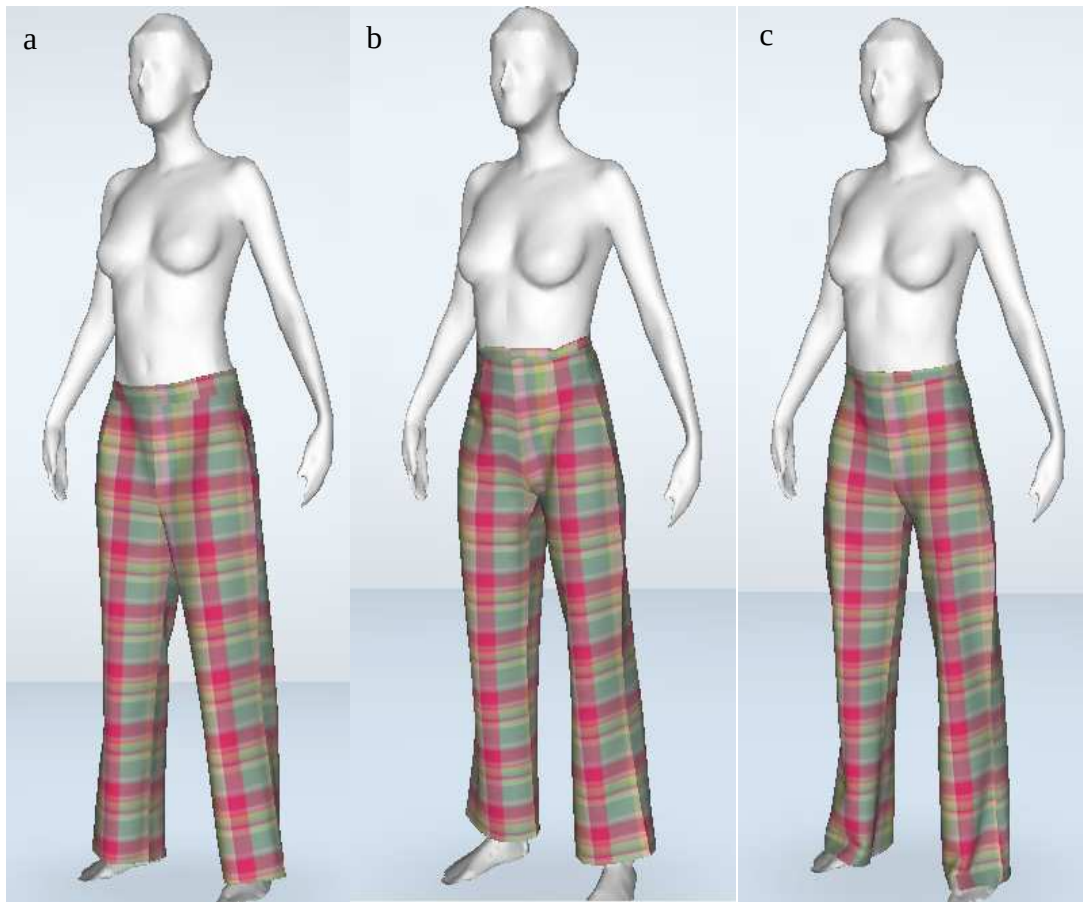


Figure 102.

Tombé de pantalon à partir de 3 techniques de patronages différentes

Une autre étape a été de définir la matière adaptée à ce patronage. Différents tissus de rigidité variable ont été testés avec le patronage mass customisé sans pince (Figure 103). Ce choix a permis de vérifier virtuellement l'impact du tissu sur le rendu final d'un modèle de vêtement et de montrer à la fois la grande difficulté de prédire l'état final du vêtement proposé, et en conséquence la responsabilité de faire un bon choix de tissu par rapport au modèle désigné. Dans notre cas, la matière qui semble la plus adapté à notre patronage est le lin car il a un beau tombé ce qui valide le choix des valeurs d'aisance pour le confort au porter (Figure 104). Mais là encore, ce jugement est personnel ce qui prouve la nécessité de monter en étape finale le produit. L'essayage virtuel permet d'éliminer de nombreuses boucles d'essayage réel nécessaire à la validation du patronage en fonction de la morphologie du consommateur et de la matière utilisée, que l'on retrouve dans l'industrie.



Figure 103.

Tests du patronage mass customisé sans pince en fonction de différentes matières.

Modèle du pantalon	matière nom commercial	tour de taille de mannequin, mm	valeur d'aisance 2D niveau tour de taille, mm	valeur d'aisance 3D niveau tour de taille, mm	tour de hanches de mannequin, mm	valeur d'aisance 2D niveau tour de hanches, mm	valeur d'aisance 3D niveau tour de hanches, mm
M.Vauclair	Coton67% PES23%	715,89	0	0	917,93	31,76	32,1
M.Vauclair	Worsted 100%	715,89	0	0	917,93	28,44	28,92
M.Vauclair	Viscose 100%	715,89	0	0	917,93	22,68	23,69
M.Vauclair	Canvas coton 100%	715,89	0	0	917,93	34,55	34,84
M.Vauclair	Lin 100%	715,89	0	0	917,93	35,15	37,89
M.Vauclair	PES 100%	715,89	0	0	917,93	34,52	34,99
M.Vauclair	Soie 100%	715,89	0	0	917,93	35,38	35,56
M.Vauclair	Denim Coton 100%	715,89	0	0	917,93	21,49	22,1
M.Vauclair	Acrilic50% Viscose 50%	715,89	0	0	917,93	26,28	26,51
M.Vauclair	Tricot Coton 100%	715,89	0	0	917,93	10,88	17,4
MC sans P	Coton67% PES23%	715,89	1,43	4,59	917,93	6,5	6,84
MC sans P	Worsted 100%	715,89	-13	-1,97	917,93	-0,35	2,31
MC sans P	Viscose 100%	715,89	-18,39	-3,79	917,93	-3,42	0,67
MC sans P	Canvas coton 100%	715,89	13,25	13,39	917,93	16,12	16,14
MC sans P	Lin 100%	715,89	-9,42	4,21	917,93	3,03	4,64
MC sans P	PES 100%	715,89	-5,8	3,21	917,93	7,58	9,53
MC sans P	Soie 100%	715,89	-8,66	7,53	917,93	3,13	5,3
MC sans P	Denim Coton 100%	715,89	-17,54	-1,96	917,93	-3,92	0,71
MC sans P	Acrilic50% Viscose 50%	715,89	-9,82	-3,32	917,93	-4,71	-1,54
MC sans P	Tricot Coton 100%	715,89	-32,31	-1,32	917,93	-13,21	4,39
MC avec P	Coton67% PES23%	715,89	61,16	61,41	917,93	69,88	70,33
MC avec P	Worsted 100%	715,89	-10,33	4,44	917,93	26,62	27,24
MC avec P	Viscose 100%	715,89	-23,96	-1,13	917,93	20,44	21,51
MC avec P	Canvas coton 100%	715,89	29,79	31,32	917,93	49,6	49,78
MC avec P	Lin 100%	715,89	64,8	65,1	917,93	80,34	80,67
MC avec P	PES 100%	715,89	54,55	54,79	917,93	71,2	72,13
MC avec P	Soie 100%	715,89	23,83	27	917,93	48,07	48,4
MC avec P	Denim Coton 100%	715,89	-22,08	-3,13	917,93	12,9	14,32
MC avec P	Acrilic50% Viscose 50%	715,89	13,79	21,81	917,93	32,76	34,73
MC avec P	Tricot Coton 100%	715,89	-25,67	-0,25	917,93	8,83	16,32

Figure 104. Tableau récapitulatif des essais d'essayage virtuel pour différentes matières (Méthode Vauclair, Mass Customisée sans et avec Pinces)

II.6 Résultats de simulation conclusion

Cette étude présente les principes généraux de la modélisation de vêtements et montre la difficulté de le concevoir sur un corps en 3D car nous devons prendre en considération de nombreux critères de validation du modèle. La mise en place des différentes boucles de contrôle est indispensable à cette opération. On perçoit que le modèle d'aisance est le plus délicat à paramétrer à cause de l'interaction des différents patronages entre eux et que peu de chercheurs ont travaillé sur ce problème. Entre autre, la notion de design intervient dans le processus de validation, qui est un critère subjectif. Par contre, une fois fixée, ces paramètres seront définis pour tout type d'individu évoluant avec cette morphologie. Pour cela, nous devons nous appuyer sur le modèle de mannequin morphotype adaptatif. La Figure 105 montre que le morphotype a évolué en stature et qu'automatiquement le pantalon a suivi la progression volumique. De plus, les nouveaux patronages issus de cette évolution ont l'avantage d'être mis en fabrication instantanément grâce à l'importation vers d'autres modules de CAO compatible.

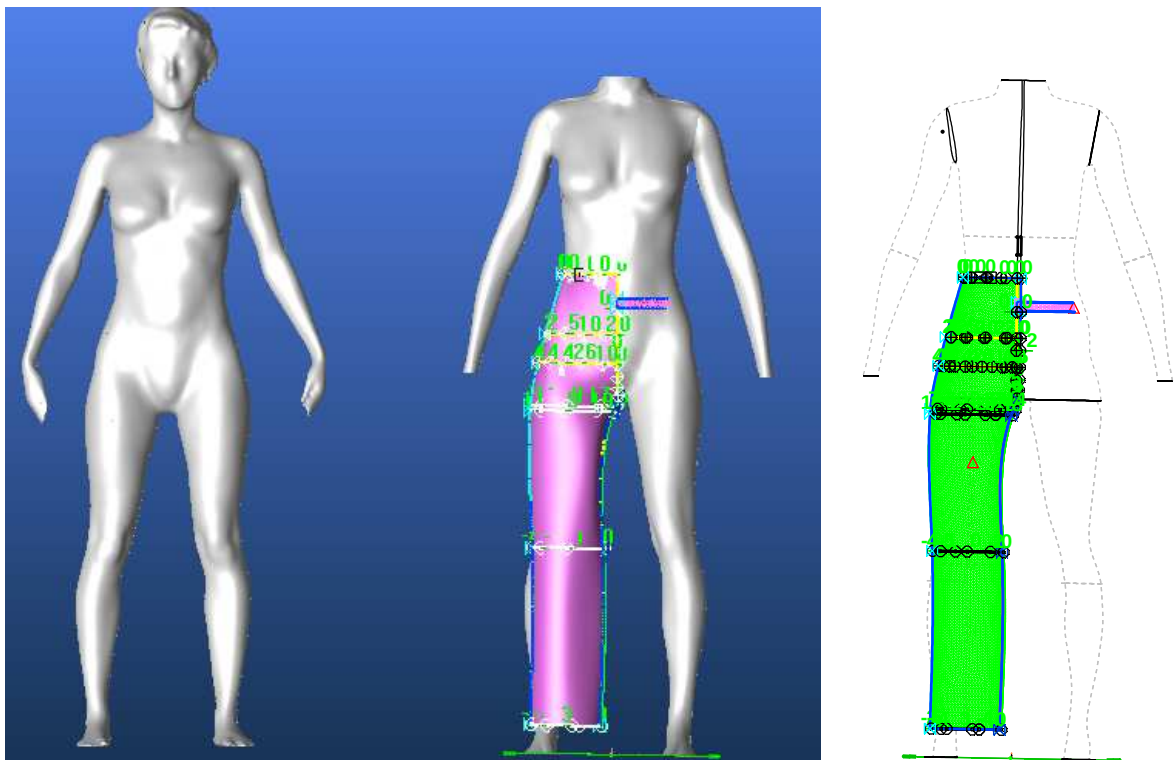


Figure 105.

Vêtement automatique lors de l'évolution du mannequin morphotype adaptatif

Ainsi, les différentes variantes du modèle de vêtements conçues à partir de cette base auront la possibilité de s'adapter au corps d'un mannequin suite à un changement de ces dimensions. La Figure 106 montre que ce principe nous conduit à une gradation adaptative en fonction de

la stature (à gauche), volume et stature (à droite), le modèle virtuel (milieu) valide le caractère dynamique de la première évolution.



Figure 106.

Gradation automatique du modèle

III Modèle du vêtement pour la mass customisation

La modélisation du vêtement pour la mass customisation suit un modèle similaire à celui du prêt-à-porter (Figure 88). Le modèle de corps humain ne subit aucun traitement spécifique car il est transmis directement au modèle d'aisance. Seul le nettoyage dans rapidform est effectué. Par contre, une des particularités la plus importante dans l'exemple de la segmentation supérieure (ex : la chemise) est dans la mise en place du modèle d'aisance qui s'effectue en 3D contrairement à la segmentation inférieure. Pour cela, une nouvelle stratégie de calcul des paramètres d'aisance a été définie qui permet de se rapprocher plus près du corps pour le bien aller avec la possibilité de prendre en compte plus facilement d'autres problèmes de conception dans le cadre de la mass customisation tels que l'asymétrie que l'on retrouve.

III.1 Définition de la symétrie et de l'asymétrie du corps humain

Les proportions du corps humain sont essentiellement régies par les relations mathématiques qui montrent des résultats remarquables sur le respect des proportions constantes. Un aspect important de l'organisation du plan du corps qui fournit des informations significatives est la symétrie de sa forme [3]. Webster définit la symétrie comme "la correspondance dans la taille, la forme et la position relative des pièces des côtés opposés à une ligne de séparation... autour d'un centre ou d'un axe". La symétrie implique un équilibre ou une égalité de forme et de proportion des côtés opposés pour un objet par rapport à un plan. Si nous découpons un

objet symétrique dans la moitié, la moitié droite et la moitié gauche seront des images "miroir" de l'un et l'autre. Si la symétrie implique l'équilibre, alors un objet asymétrique est un objet qui manque d'équilibre. Il n'y aura aucune correspondance des structures de chaque côté d'un objet asymétrique. Il y a eu des recherches assez poussées dans le passé et des faits fascinants liés au nombre d'or (Figure 107) ont émergé. Cependant le fait d'une telle existence de symétrie peut être dérangentant, surtout l'affirmation que les deux moitiés du corps sont des images "miroir" de l'un et l'autre, c.-à-d. validé l'existence de symétrie bilatérale.

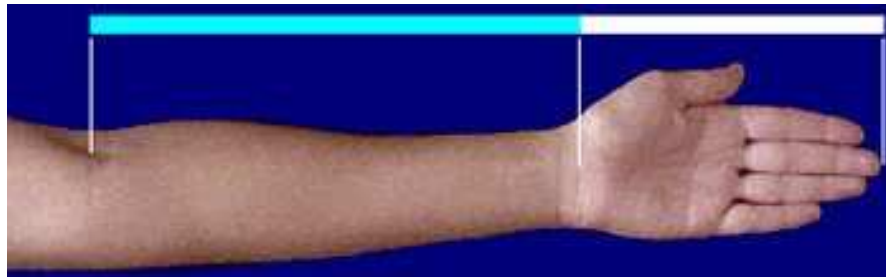


Figure 107. Votre main suit la règle du nombre d'or par rapport à votre bras, le rapport de votre avant-bras à votre main est égal à 1.618.

Normalement l'être humain peut être classé par les données biométriques de sa morphologie. Des systèmes basés sur la géométrie de la main et l'information du visage 3D ont été étudiés et utilisés pour le même objectif assez souvent. La performance de tels systèmes biométriques est de mesurer empiriquement sans mesurer explicitement l'information disponible contenue en biométrie. Cependant, bien qu'une telle similitude mathématique de proportionnalité existe, on peut voir apparaître dans le corps humain quelques défauts d'asymétrie plus ou moins prononcée.

III.2 Analyse de l'asymétrie du Corps [7]

Cette section traite l'aspect de l'asymétrie dans le corps humain. Toutefois, au-delà de la fascination du concept de la symétrie lié au nombre d'or, le corps humain présente des irrégularités et n'importe quel développement de produit, particulièrement dans le domaine de la personnalisation, devra tenir compte de ces irrégularités ou imperfections de ce corps.

La théorie de base est que le corps fonctionne comme une simple entité avec beaucoup de composants. Chaque composant influence et est influencé par d'autres composants. Une dynamique efficace et normale se produit de l'intégration et de l'enchaînement complexe de tous les composants. Le mouvement humain est réalisé par les relations de la chaîne cinétique. La chaîne cinétique inclut tous les os, muscles et articulations du corps humain, mais plus spécifiquement la moitié inférieure ; les pieds, les chevilles, les jambes, les genoux,

les hanches, le bassin, et le bas dos. Ce système interconnecté se compose de beaucoup d'éléments, chacun avec ses propres caractéristiques. Ces caractéristiques sont semblables à ce que l'on pourrait trouver pour certaines pièces d'une machine. D'une certaine manière, le corps humain peut être considéré comme une machine. Cependant, à la différence d'une machine qui est composée d'angles droits, d'écrous, de boulons, le corps humain a la capacité de s'adapter et de compenser une partie des défauts de fonctionnement, et dans la plupart des cas ou secteurs. Le corps humain cherche l'équilibre afin de ne pas compromettre sa stabilité et sa santé. Alternativement, il agit fortement sur la biomécanique du mouvement humain, qui affectera considérablement son exécution. Le corps humain est un "parfait compensateur". Il cherchera et suivra le chemin de moindre résistance. Le but de chaque mouvement est de rechercher la quantité minimum de dépense énergétique et maximum de stabilité simultanément. Ainsi beaucoup de mouvements répétitifs par exemple, dans le cas d'exercices lourds ou de sports extrêmes entraîneront des changements, sur une certaine période de temps, de la structure des différents composants du corps par leur affinement ou accroissement.

Pour traiter du sujet de l'asymétrie propre à chaque corps une étude a été élaborée en utilisant le scan 3D du corps d'un homme sportif qui est devenu notre base mannequin dans cette étude spécifique. Après ce premier scan du corps, on peut d'ores et déjà remarquer des irrégularités. Il est important de prêter attention à la Figure 108 qui contient un échantillon des données de mensuration prises automatiquement suite au balayage du corps (3030, 3031 et 3910, 3911).

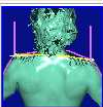
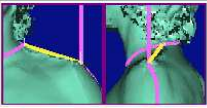
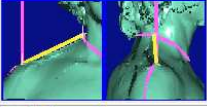
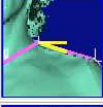
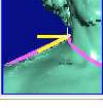
(Top)	Body	Head/Neck	Torso	Shoulder	Bust/Breast	Back	Waist	Hip	Arms	Legs	Other
							3010 Cross shoulder over neck			41.7 cm (16.42 in)	
							3030 Shoulder width left			12.4 cm (4.87 in)	
							3031 Shoulder width right			13.9 cm (5.46 in)	
							3910 Shoulder angle left			17.7 °	
							3911 Shoulder angle right			26.8 °	

Figure 108.

Données du balayage du corps d'un mâle, différence apparente dans les mesures 3031, 3030 et 3910, 3911.

Ces données montrent que l'asymétrie est stupéfiante, et joue un rôle également prédominant dans la structure du corps humain. Il est frappant que ces variations aient été trouvées non seulement à l'épaule mais également au périmètre de poignet, au niveau des mains et d'autres endroits encore. Un autre exemple qui peut être noté et corrélé avec la portée actuelle de l'étude concerne les paramètres physiques tels que l'obésité, un défaut de forme à la naissance, des défauts de forme accidentels etc.... comme cas extrêmes de l'asymétrie. A ce stade de la discussion il est possible de présenter le concept de la personnalisation et de la personnalisation de masse attrait à notre étude. Aujourd'hui les compagnies offrant des marchandises, des services ou les deux sentent de plus en plus la nécessité de fournir une gamme plus étendue d'articles personnalisés ou un service fortement orienté besoin du client. Les paradigmes de l'engagement client, du changement de l'interaction du client, la dynamique de la chaîne d'approvisionnements, la réorganisation du modèle de production..., le changement des mentalités du producteur et du consommateur, seront certains des facteurs importants qui doivent être pris en compte aussitôt que possible. Dans le prochain chapitre nous analysons donc le modèle de la personnalisation dans le domaine du vêtement, en particulier dans l'exemple de la chemise de base d'homme.

III.3 Importance du bien aller

Il est important de noter que la majorité des vêtements qui nous sont disponibles sur le marché provenant du secteur prêt à porter découlent d'un processus sans retour d'information sur le bien aller de ce vêtement et comment le porter. Nous voyons aussi que depuis l'arrivée du concept de prêt-à-porter des vêtements, lesquels confectionnés rapidement et avec un moindre coût, nous avons un bon feedback pour confirmer l'importance du nombre de paramètres d'un vêtement ajusté. Ceci est en corrélation avec notre style de vie actuel dans lequel on détecte le besoin d'obtenir rapidement un produit sur présentoir. Cependant, avec l'arrivée des technologies avancées de l'information et la nécessité des humains de se différencier des autres, ou en d'autres termes, la "soif pour la personnalisation" a provoqué le concept de la personnalisation et de la personnalisation de masse. La personnalisation peut non seulement être considérée comme moyens d'augmenter l'individualité mais aussi comme besoin dans l'ère d'aujourd'hui de la spécialisation accrue. L'importance d'un vêtement parfaitement adapté trouve ainsi beaucoup de pertinence dans la vie moderne d'aujourd'hui aussi bien que dans le marché moderne. Ceci est non seulement lié à la plus grande importance d'incorporer la bonne esthétique mais aussi à la qualité de vie des personnes qui est directement lié au confort.

Pour élaborer le fait mentionné ci-dessus, un questionnaire mis en ligne sur internet a été proposé par un expert indien avec lequel nous avons travaillé, pour obtenir une vue d'ensemble de la condition réelle d'une chemise adaptée aux besoins d'une clientèle homme. Dans ce questionnaire, deux points clés d'une chemise parfaitement adaptée ont été étudiés. Le but était d'étudier finement les paramètres jumelés, c'est à dire : les paramètres d'ajustement approprié (esthétique), les paramètres de confort qui sont directement liés aux paramètres du bon ajustement [8]. Dans cet esprit, des essais ont été proposés dans lesquels nous avons mesuré, à travers une échelle subjective définie par très bon, bon, moyen, mauvais et très mauvais, le niveau de satisfaction ou de mécontentement parmi une population d'hommes par rapport au confort. La Figure 109 élabore les essais dans lesquels la chemise était évaluée en fonction de la posture du corps. La région indiquée en blanc est le secteur de tension maximum conformément à la posture relative du corps.



Figure 109.

Postures du corps et zones d'inconfort maximum (blanc)

De même une analyse de l'ajustement a été réalisée qui a une conséquence directe sur l'esthétique du vêtement (Figure 110). Les chiffres indicatifs d'individu suivant ont formé les bases pour l'essai.

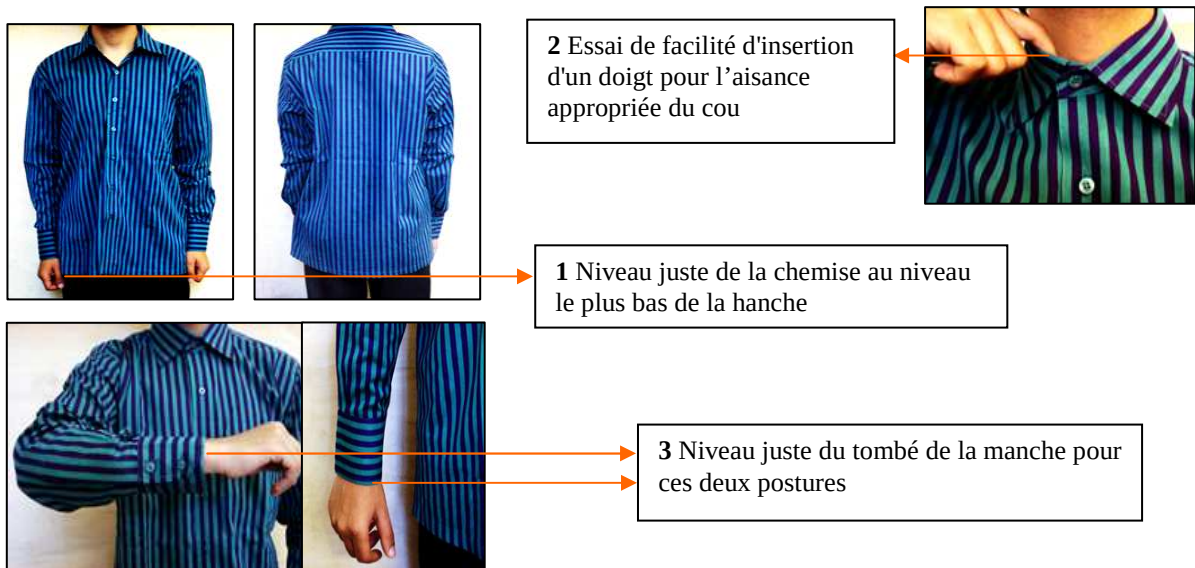


Figure 110.

Postures et régions du corps indiquant l'ajustement approprié du vêtement

Les porteurs ont été instruits à utiliser parmi leur panoplie la chemise la mieux adaptée pour répondre au questionnaire. Pour chaque personne, nous avons demandé leur nationalité et la taille de la chemise utilisée pour réaliser les essais. Après ce test comportant une taille d'échantillon de 25 hommes, la plupart du temps d'origine indienne, nous avons recueilli les données statistiques qui ont formé la base de notre étude préliminaire sur cet axe de recherche. La suite des résultats nous amène également à considérer que la portée d'une telle étude peut être d'un grand intérêt pour les deux niveaux de scénarios de d'industrie et du marché.

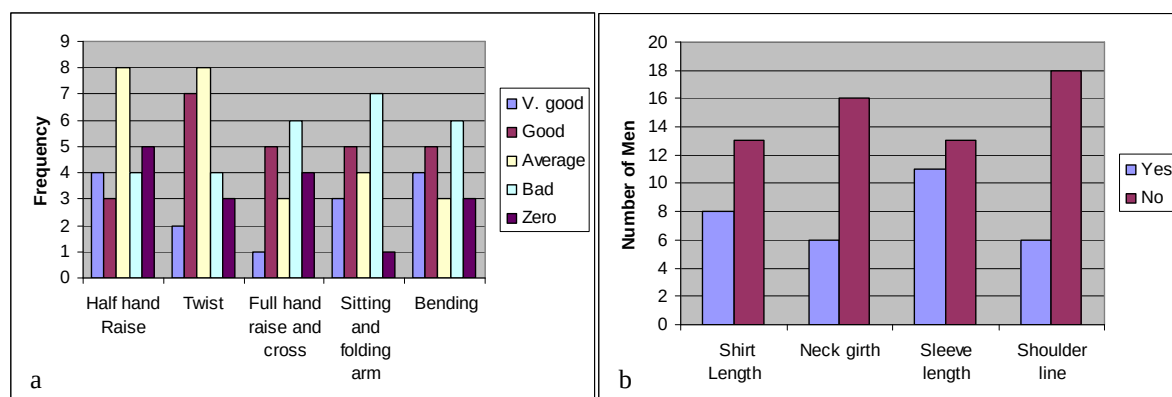


Figure 111. (a) Niveau de confort dans une posture donnée en fonction de la fréquence du niveau de confort des porteurs (b) Nombre de porteur en accord ou non fonction des paramètres convenables de leur chemise

Les résultats des questionnaires sont donnés en Figure 111. Ils montrent que le nombre de personnes exprimant leur mécontentement sur ce produit textile est grand. C'est également notable pour trouver une grande proportion de personnes exprimant le même problème du mauvais ajustement particulièrement pour les lignes d'épaules et la longueur des manches. Ceci achève notre étude préliminaire et nous encourage à explorer ce sujet qui est loin d'être saturé d'idées nouvelles.

III.4 Des patronages industriels 2D aux patronages personnalisés

Afin de valider et de comparer les résultats du modèle développé dans environnement 3D, il est d'abord nécessaire de produire un patronage 2D adaptée à l'individu sous différentes contraintes et de le valider par un essayage réel sur cette personne. La mise à plat des patronages 3D correspondant à une technique similaire permette de valider notre travail. À cet effet, il devient important de rendre adaptatif la méthode industrielle [9] conformément à la mesure de notre sujet que nous voulons intégrer à la personnalisation. La Figure 112 présente

les étapes importantes du tracé de l'avant, de l'arrière et des manches d'une chemise. Nous notons également deux critères importants ici qui sont, en premier lieu, que nous devons faire le devant gauche et droite, l'arrière gauche et droit différemment, car les mesures ne sont pas symétriques en gardant à l'esprit la première asymétrie observée dans la mesure lors de la numérisation.

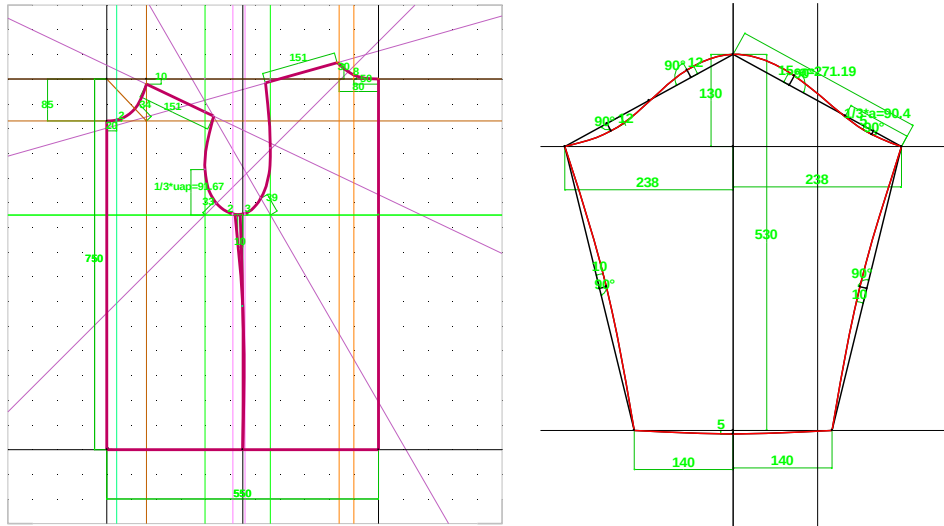


Figure 112. Conception du corsage et de la manche dans la fenêtre 2D de Design Concept

Afin de conserver un élément de symétrie, nous avons ignoré les quelques écarts dans la variation de l'inclinaison entre les deux épaules. Cette section ne concerne donc que les changements que nous avons appliqués aux patronages industriels pour la fabrication de patronage adapté à l'individu. Cela peut être une approche idéalisée de la personnalisation de masse pour la mise en place de degrés de personnalisation. Ici, nous faisons les patronages directement dans la fenêtre 2D du logiciel Design Concept 3D. Cela est utile car ces patronages peuvent être conçus dans la même fenêtre de conversion 3D en 2D que celle dans laquelle nous avons mis à plat les patronages 3D venant directement du corps de l'individu numérisé. Ainsi, nous pouvons comparer les deux patronages afin de détecter les erreurs facilement. Les patronages du corsage devant et arrière, et de la manche sont montrées ci-dessous.

Lors de la construction des patronages 2D dans Design Concept, il convient de préciser qu'il est conseillé de travailler avec l'aide de lignes paramétrique comme dans le précédent chapitre du prêt à porter. Ceci est important afin que toute modification soit transmise automatiquement dans le processus de création sur les étapes ultérieures, sans distorsion de la géométrie des patronages lors de la modification de la nouvelle valeur du paramètre dans le

tableau. La principale différence, comme le montre la Figure 113 réside dans la longueur de l'épaule droite et gauche et la hauteur de la tête de manche gauche et droite. La courbe pointillée intérieure représente l'emmanchure de l'épaule gauche dont la longueur est de 12,4 cm et la courbe pointillée extérieure représente l'emmanchure de l'épaule droite dont la longueur de la numérisation est observée à 13,9 cm.

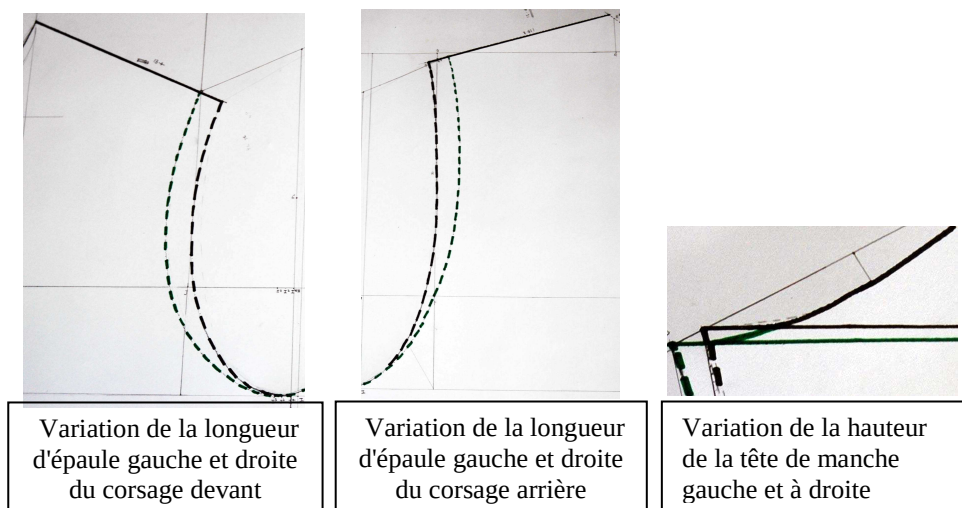


Figure 113.

Asymétrie des patronages du corps droit et gauche

Correspondant à la variation entre les manches, la hauteur de tête de manche droite est .6 cm de moins que la hauteur de tête de la manche gauche. Il s'agit là d'une étape cruciale qui nous permet de mettre en place le degré de personnalisation.

III.5 Modèle d'aisance 3D

Après avoir scanné le corps, celui-ci est importé dans RapidForm pour être nettoyé afin que le modèle d'aisance ait un modèle surfacique lisible par les logiciels de CAO. La mise en place du modèle d'aisance suit une procédure stricte et relativement précise.

La première étape est de positionner des points de repère directement sur les facettes définissant l'enveloppe corporelle humaine (Figure 114). Ces points représentent des points de référence pour la création du vêtement mais aussi pour définir le lieu des contours anthropométriques. La position précise est obtenue manuellement par les "landmark" que l'on utilise lors de la numérisation du corps humain.

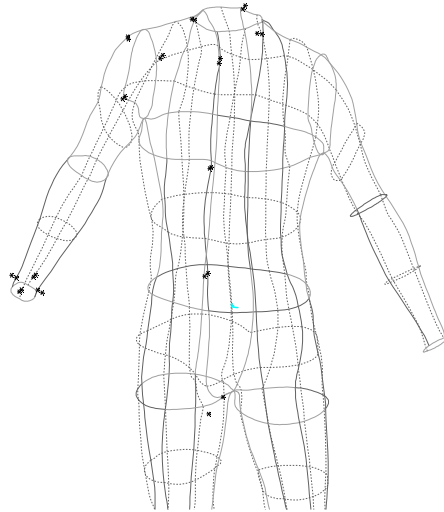


Figure 114. Positionnement des points de référence sur le corps

Ensuite, nous effectuons la construction des contours anthropométriques en passant par ces repères et issue de la section du corps (Figure 115).

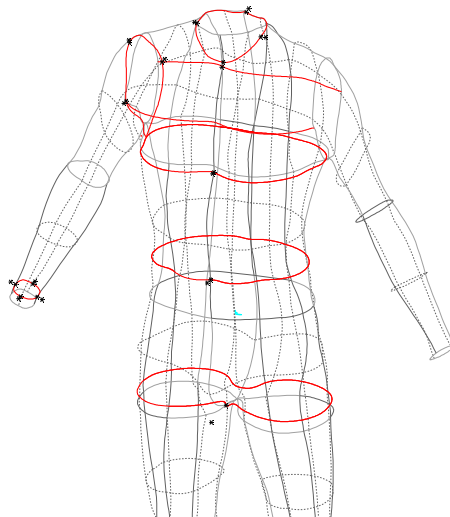


Figure 115. Conception des contours anthropométriques sur le corps

A ce stade de la procédure, nous devons rajouter les points de contrôle des contours anthropométriques comme sue le modèle de vêtement du prêt-à-porter (Figure 116).

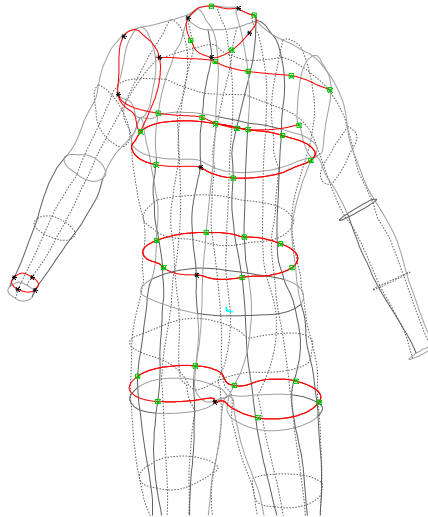


Figure 116.

Ajout des points de contrôle sur le contour

Le barycentre de l'ensemble de ces points est calculé pour chaque contour. Cela permet de définir les lignes barycentres qui définissent les directions principales d'évolution des points d'aisance (Figure 117).

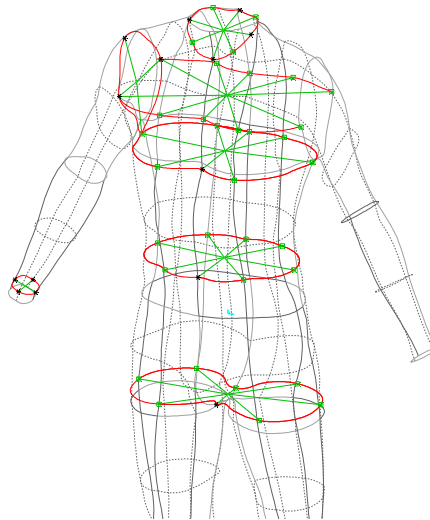


Figure 117.

Obtention du 'Barycentre' des points sur le contour.

Une projection dans l'espace est alors nécessaire pour obtenir les points d'aisance relativement aux points de contrôle. Pour cela, il suffit de dupliquer par translation les points de contrôle dans la direction des lignes barycentres (Figure 118).

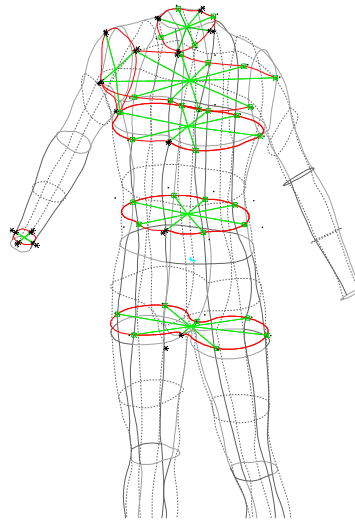


Figure 118. Création des points d'aisance

Afin de modifier les paramètres d'aisance facilement en fonction de la demande, ils sont définis dans une table associée aux côtes de pilotage (Figure 119).

Nom	Valeur	Type	Utilisa...	Désignation
knee	0.263*bodyheight	paramètre expression	0	knee
ease_chest3	10mm	paramètre	0	ease_chest3
ease_chest2	10mm	paramètre	0	ease_chest2
ease_chest	10mm	paramètre	0	ease_chest
ease_chest4	10mm	paramètre	0	ease_chest4
waist_right_middle_front	35mm	paramètre	1	waist_right_middle_front
waist_right_FrontBack	45mm	paramètre	1	waist_right_FrontBack
waist_right_middle_back	45mm	paramètre	1	waist_right_middle_back
waist_back	45mm	paramètre	1	waist_back
waist_back_left_middle	45mm	paramètre	1	waist_back_left_middle
waist_left	45mm	paramètre	1	waist_left
waist_front_left_middle	45mm	paramètre	1	waist_front_left_middle
waist_right_front	15mm	paramètre	1	waist_right_front
bottom_front	80mm	paramètre	1	bottom_front

Figure 119. Table de paramètres d'aisance

Afin de suivre la logique de notre stratégie de modélisation, les points d'aisance définissent les sorties du modèle d'aisance. L'étape suivante est donc de bâtir le modèle de vêtement.

III.6 Modèle de vêtement 3D

Le modèle de vêtement débute par la construction des contours primaires à partir des points d'aisance. Pour cela, nous devons choisir chaque point projeté et les joindre successivement par une courbe de type spline en mode fermé pour respecter les continuités des courbes entre le premier et dernier. Cette procédure met en place le squelette du vêtement. Nous avons suivi la même stratégie du prêt-à-porter pour définir les lignes de couture et les lignes secondaires de design.

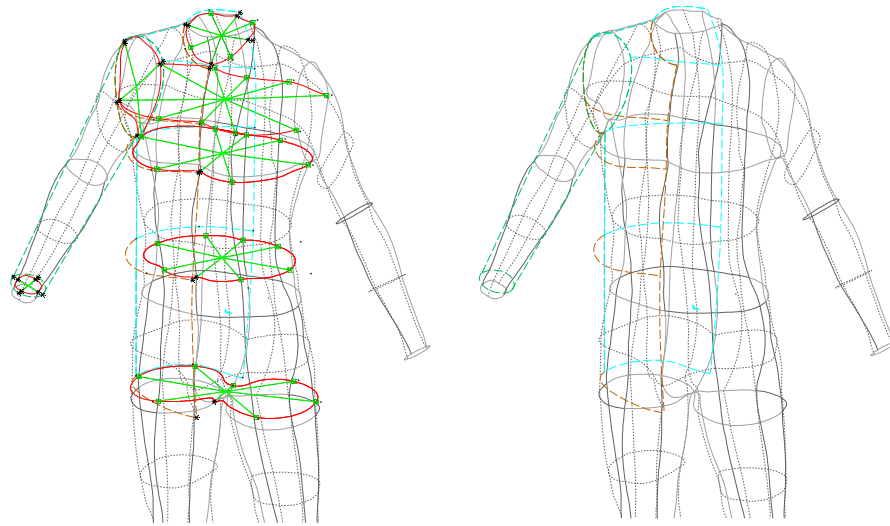


Figure 120.

Création des contours et lignes secondaires en 3D

Il nous reste maintenant à créer les surfaces composant le vêtement en s'appuyant sur ce réseau de courbes. Nous utilisons un autre type de fonction pour modéliser la surface, c'est-à-dire l'outil "Patchwork".

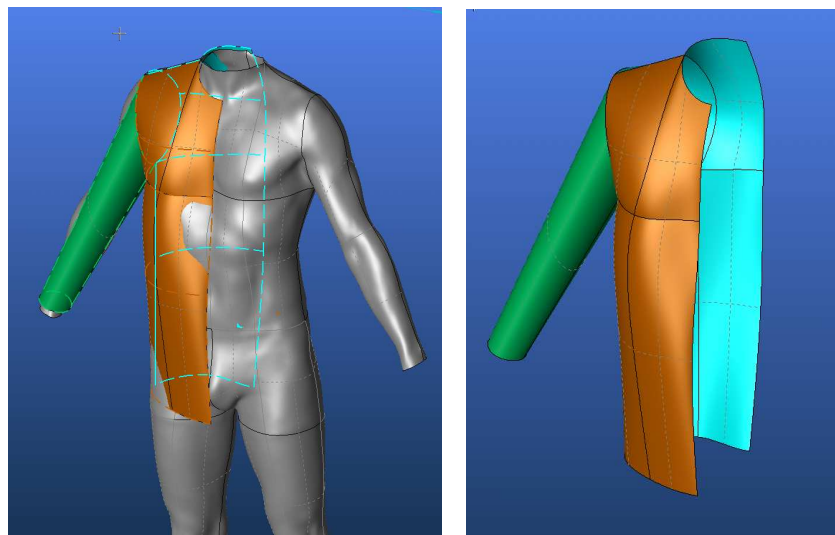


Figure 121.

Création des surfaces pour le devant, l'arrière et la manche

A ce stade de l'étude, nous devons effectuer les différentes phases de validation du processus. La première consiste à vérifier la cohérence des valeurs du modèle d'aisance par la boucle de retour comparant les méthodes traditionnelles.

III.7 Procédure de validation statique du vêtement

Rappelons que cette étape a pour but de vérifier le bon contrôle de l'aisance du vêtement. La boucle de retour permet de corriger les valeurs des paramètres en fonction de l'analyse des résultats de comparaison entre le mode de conception 2D et la mise à plat des patronages 3D. Les patronages du dessus représentent les patronages issus de la mise à plat du vêtement 3D et ceux du dessous sont ceux que nous avons réalisés à partir des méthodes de conception 2D. Les patronages réalisés en 2D sont considérés justes car ils ont été testés par des techniques manuelles de drapé. Après un grand nombre d'essais de mise à plat en modifiant différents paramètres tels que la valeur d'aisance, nous constatons qu'il est vraiment difficile de se rapprocher des patronages originaux.

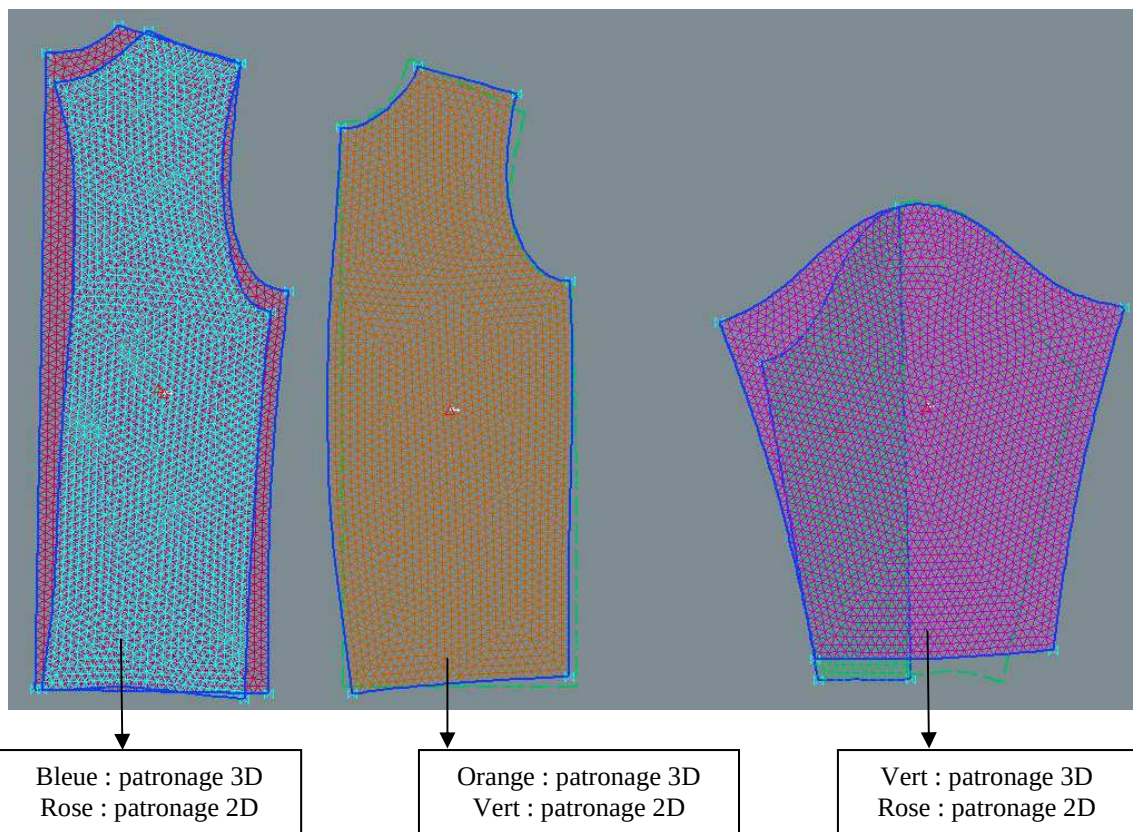


Figure 122.

Analyse des patronages issus des méthodes 3D et 2D

La principale raison de cette variation peut être attribuée à l'une des principales causes qui entravent tout processus de conception de vêtements en 3D qui est le manque de connaissance de la distance précise de la translation des points de l'espace autour du corps depuis les points sur les contours du corps. En d'autres termes, nous pouvons affirmer que le problème se pose en raison de l'absence de connaissance des paramètres d'aisance du vêtement autour du corps. C'est la raison pour laquelle, une étude approfondie de l'aisance 3D a été réalisée à la fin de ce chapitre. Dans la section suivante, nous effectuons une série de test de drapé de vêtements

afin de vérifier comment se comporte celui-ci par rapport au corps humain dans un environnement 3D. Dans cette phase, nous essayons de mettre en place une méthode d'essayage ou de prototypage virtuel pour vérifier le tombé et le bien aller du vêtement dans un environnement numérique 3D. Nous souhaitons aussi pondérer le feedback 3D provenant des erreurs de conception en amont du processus de modélisation. Par exemple, nous aimerions vérifier si le manque de carrure du modèle 3D à l'arrière du vêtement est bien perceptible lors de l'essayage comme nous le remarquons sur la carcasse 3D de notre modèle. Ce problème provient d'un manque incontestable de points d'aisance dans les zones à défauts 3D. Dans ce cas, le contrôle du vêtement est insuffisant.

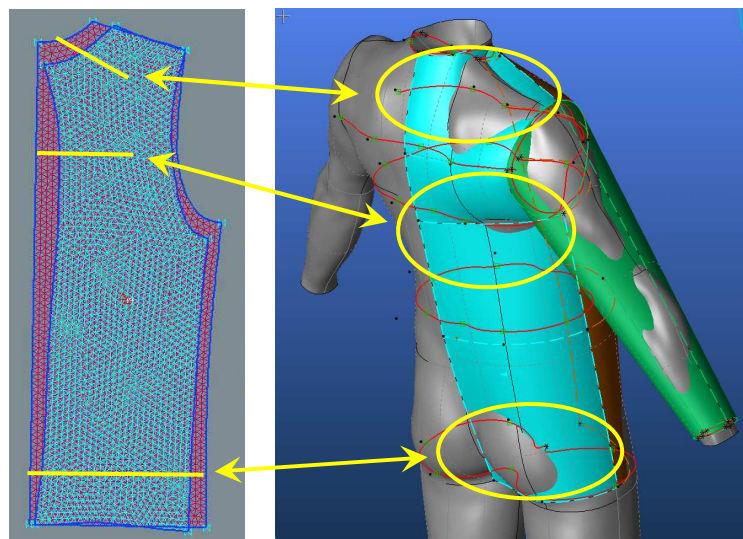


Figure 123.

Problème de sous dimensionnement du nombre de points d'aisance

III.8 Procédure de validation dynamique du vêtement

La simulation dynamique de la veste montre bien les différents défauts détectés mais de manière moins marquée. Cette constatation peut être justifiée car les patronages établis dépendent de la matière utilisée. Une analyse fine montre aussi que les difformités d'asymétrie du corps sont perceptibles car un léger déséquilibre existe entre les deux épaules. On peut expliquer facilement le défaut du col qui a tendance à faire une pointe dans le dos, dû au creusé en haut de la ligne milieu dos (Figure 123). Bien entendu, ces défauts peuvent être évités avec une veste non symétrique dans un contexte mass customisation.



Figure 124.

Analyse des proportions de la veste

III.9 Etude approfondie de l'aisance 3D par traitement d'images

Dans le chapitre suivant nous traitons un autre aspect important de l'étude qui est la détermination de l'espace d'aisance entre le mannequin et le vêtement. La distance entre le point spatial (vêtement) et le point de contour (corps) est d'une grande importance au cours de notre phase de conception car à ce stade de l'étude, nous avons ajouté ces points avec beaucoup trop d'approximation. Toutefois, dans de nombreux cas complexes de conception de vêtements, celle-ci apparaît comme une source de problème industriel qui est fortement associée à une interprétation subjective du concepteur. Ainsi, pour fournir une solution à ce problème de positionnement des points d'aisance nous avons mis en place une méthode d'aide à la décision. Elle doit aider non seulement dans le processus de calcul de l'espace autour de la zone corporelle, mais aussi avoir de l'importance dans le calcul de nombreux paramètres de conception de vêtement 3D. La stratégie de la méthode est qu'elle est basée sur le concept du "reverse engineering". Des travaux sur le "reverse engineering" ont été réalisés dans certaines études, toutefois nous utilisons le traitement d'image pour traiter ce problème.

III.9.1 Conception d'aisance spatiale

Selon la conception classique de l'aisance, elle a toujours été définie comme le complément matière nécessaire lors de la fabrication du vêtement, afin d'ajouter la dimension esthétique et de confort à ce vêtement. L'aisance est ajoutée au cours de la phase d'élaboration du vêtement. Cependant, nous devons définir une nouvelle méthode pour la prise en compte du

facteur d'aisance étant donné que la phase de modélisme se déroule maintenant dans un environnement 3D et le facteur programmant la distance entre le vêtement et le corps doit être pris en compte. Comme la nature de notre travail porte sur le développement 3d, nous allons dans cette section définir un nouveau moyen d'ajouter l'aisance spatiale. Ce concept peut être une tâche très complexe si les facteurs humains tels que la posture, la stimulation du corps pendant des conditions environnementales externe et de mouvement et surtout la nature du matériau utilisé sont présents.

Dans le présent scénario, nous prenons en compte qu'un nombre limité de facteurs étant donné que le principal objectif de notre étude est l'élaboration d'un patronage et que ce processus se déroule essentiellement dans la phase statique. Certains facteurs que nous considérons sont que tous les scans sont pris sous des conditions normales de laboratoire, que le comportement dynamique du vêtement lors de la numérisation est écarté de l'étude, que seule la chute libre du vêtement provoquée par la force gravitationnelle est considérée. Nous supposons aussi que les deux scans utilisés pour le traitement d'images ont été pris dans une posture considérée identique. Des soins particuliers lors de la prise de mesure doivent être pris.

III.9.2 Description du processus

Comme il a été mentionné dans la section précédente, nous utilisons le traitement d'image à des fins de calcul de l'espace d'aisance. La méthode globale est présentée en Figure 125.

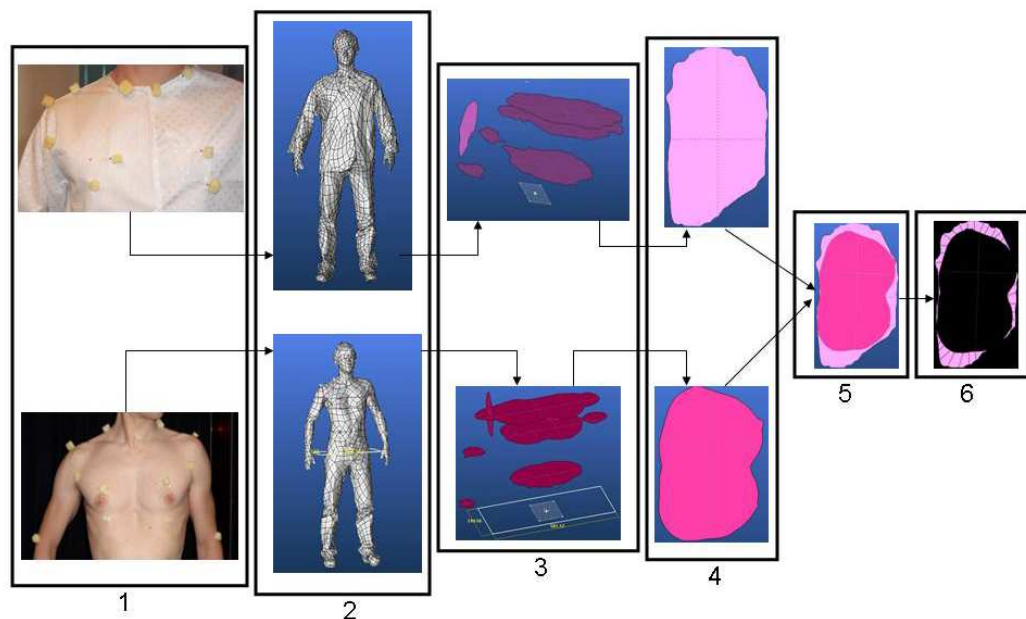


Figure 125.

Schéma global du concept

Avant tout, le tombé du vêtement doit être parfait avec un bien aller correct pour pouvoir prendre les mesures optimales qui nous intéressent. Ensuite, nous obtenons le premier balayage de la personne avec les bonnes conditions d'essai. Sur ce test de bien aller, nous marquons sur le vêtement les points qui sont en contact avec le corps. Un minimum de trois points doit être placé sur le vêtement conformément à une logique de plan spécifique au produit à porter. Ces plans de coupe sont prédéfinis sur des zones importantes comme la poitrine, le dessous de bras, le plus haut point de l'épaule, le coude et le poignet.

Le processus est le suivant :

- 1 Nous devons scanner le corps avec et sans le vêtement. Les marques sont utilisées pour les besoins de repérage des points de contact du corps avec le vêtement. Les scans sont toutefois pris au mieux dans la même posture. Ces marques sont nécessaires dans les étapes suivantes afin de nous aider dans le réajustement de la position de la section transversale du corps par rapport à la section transversale du vêtement. Le concept graphique est donné dans la Figure 126.

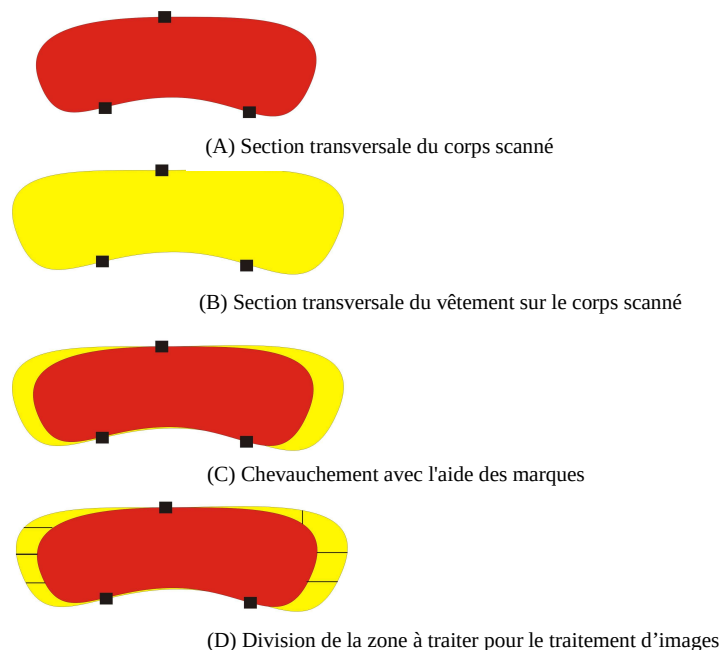


Figure 126.

Stratégie pour réajuster les figures scannées

- 2 Après numérisation du corps avec et sans vêtement, nous travaillons les scans de la même façon que mentionnée auparavant dans Rajiforme et ensuite les exportons dans Design Concept 3D. Les étapes 2 de la Figure 125 sont traitées pareillement.
- 3 Maintenant, puisque nous avons mis des marques sur le corps avec et sans vêtement à des endroits et des niveaux identiques pour les deux scans, nous utilisons celles-ci pour couper les surfaces parallèles similaires parallèlement au sol afin d'obtenir

les sections appartenant au même plan. La troisième étape de la Figure 125 montre la section plane de la poitrine, du dessous de bras, du poignet, du coude et des épaules. Comme on l'a vu précédemment, la section plane de l'épaule est coupée perpendiculairement aux autres en raison des besoins de l'étude (tête de manche).

4 Après ces images sont traitées afin de les nettoyer de certaines coupes supplémentaires jugées inutiles par le niveau de la section auquel elles ont été réalisées. Par exemple, l'image de la poitrine comme indiquée ci-dessous a dû être soigneusement nettoyées dans Photoshop dans le but de représenter la vraie coupe.

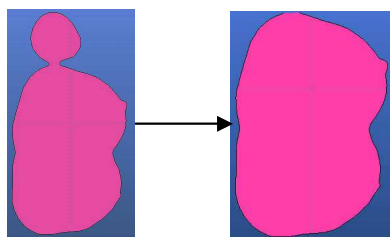


Figure 127.

Traitement de la coupe de la poitrine

5 La prochaine étape consiste à ajuster les deux figures avec précision à l'aide des marques issues de la première étape. Ceux-ci montrent clairement de légères distorsions de l'image le long de l'arête de contour. Par conséquent, il est conseillé d'utiliser des marqueurs de taille suffisante pour garantir une représentation claire.

6 La dernière étape du processus avant d'importer les données dans Matlab est de marquer par des lignes noires l'écart entre le corps et le vêtement. Il s'agit là d'une étape très cruciale et doit se faire en tenant compte de la procédure de traitement d'images qui doit être effectuée sur l'image. Il y aura quelques considérations importantes à garder à l'esprit, tels que notre objectif dans le traitement d'images dépendant fortement de la qualité de positionnement des ellipses sur les régions divisées Figure 128. Cette ellipse doit se positionner de telle sorte que son axe principal s'oriente de lui-même perpendiculairement au contour de la surface représentative de la coupe du corps. À cette étape, il est conseillé de travailler avec une résolution maximale dans Photoshop comme indiqué sur la figure ci-dessous. Aussi pour obtenir une bonne précision des résultats, nous devrions diviser la zone en autant de parties que possible. Ce processus s'explique clairement lorsque la méthode de construction d'une manche est développée en détail (section suivante).

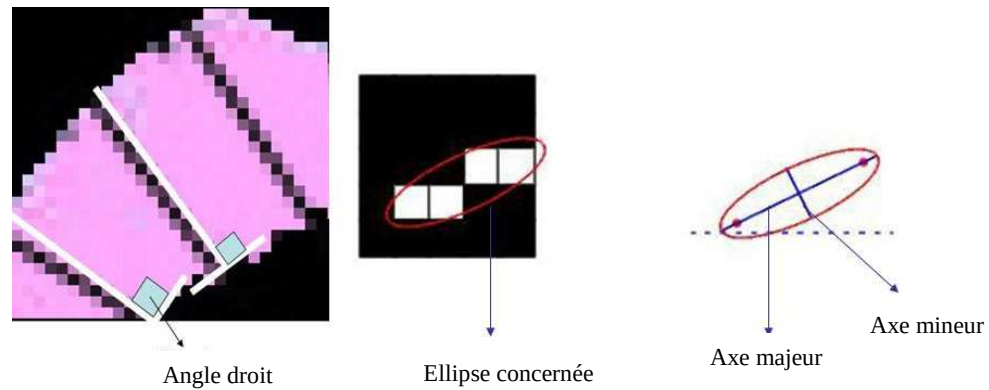


Figure 128.

Division de l'espace d'aisance par technique d'ellipse

À la fin des six étapes l'image est prête à être analysée par le traitement d'images.

III.9.3 Calcul de la distance spatiale entre le bras et la manche par traitement d'image

Une analyse minutieusement est effectuée sur les paramètres spatiaux intervenant entre la manche et le bras. Dans le contexte actuel, nous avons constaté qu'il suffit de calculer ces paramètres uniquement pour les trois sections du poignet, du coude et l'épaule (Figure 129).

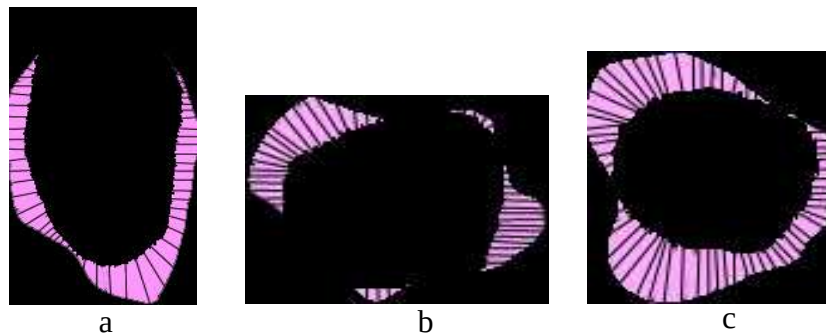


Figure 129.

a) coupe de l'épaule, b) coupe du coude, c) coupe du poignet

Le processus pour obtenir les différentes longueurs d'aisance entre l'empreinte de la manche et celle du corps (départ sur le poignet), en utilisant les images évoquées ci-dessus est le suivant :

- chargement de l'image (1)
- binarisation de l'image (2)
- calcul du nombre de régions (3)
- Conversion de l'image en image labellisée (4)

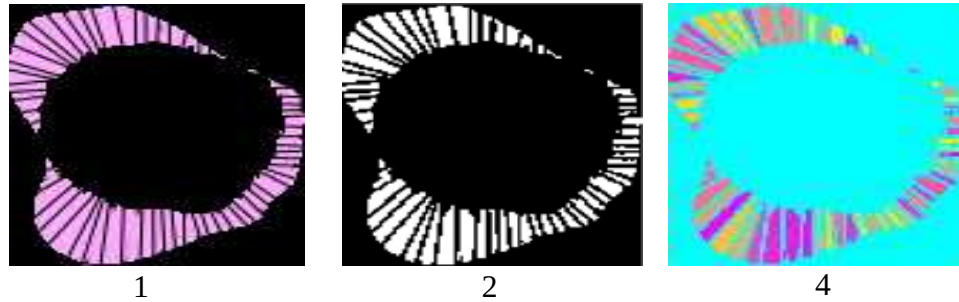


Figure 130.

Traitement de la coupe du poignet dans Matlab

Après avoir terminé les étapes mentionnées ci-dessus pour effectuer le calcul de l'obtention des Longueurs Grand Axe, nous obtenons cette information sous la forme d'un tableau composé de valeurs en pixels correspondant aux différentes longueurs. Par exemple, dans l'image courante il y a 66 sections et nous obtenons 66 valeurs correspondantes pour les Longueurs Grand Axe. Ces valeurs peuvent être exportées vers Microsoft Office Excel. A ce stade, il est possible d'organiser ces valeurs et d'appliquer le facteur de conversion pour obtenir la valeur en cm. Si nous traçons les courbes de distribution normale, nous pouvons clairement observer le mode de répartition de l'aisance. Ceux-ci sont donnés par les graphiques des Figure 131, Figure 132, Figure 133.

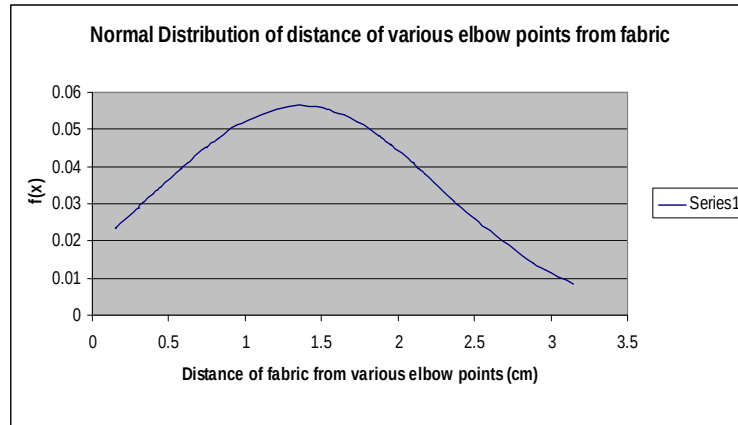


Figure 131.

Distribution normale de la distance spatiale entre le vêtement et le coude

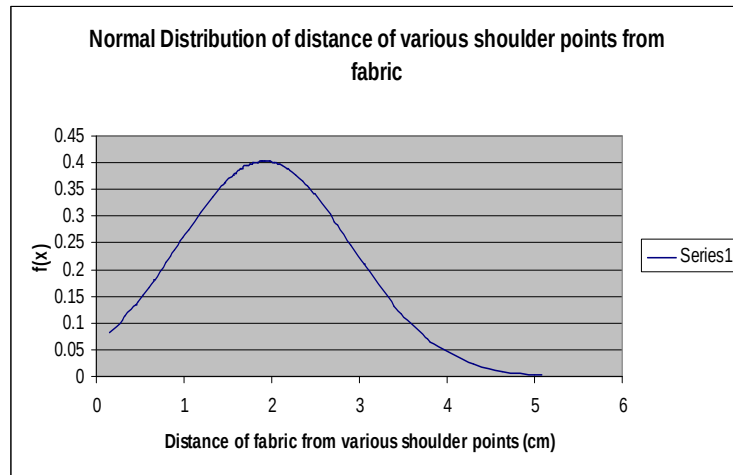


Figure 132. Distribution normale de la distance spatiale entre le vêtement et l'épaule

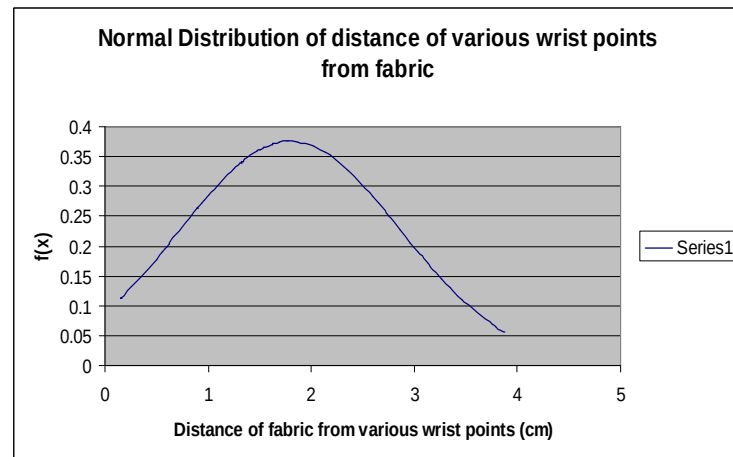


Figure 133. Distribution normale de la distance spatiale entre le vêtement et le poignet

De ce qui précède, nous concluons que la portée maximale de la variation de la distance spatiale pour les trois sections varie comme décrit dans la Figure 134.

Section	Longueur spatiale max (cm)	Longueur spatiale min (cm)
Poignet	3.87	0.14
Coude	3.14	0.14
Epaule	5.08	0.14

Figure 134. Maximum et Minimum de la distance spatiale pour chaque coupe

Réduction du nombre de longueurs d'aisance à 20 valeurs

Dans la deuxième phase, nous avons pris 20 valeurs par figure, c'est à dire du poignet, du coude et de l'épaule et essayé de faire une nouvelle manche avec ces paramètres. Cette manche était proche des résultats de simulation car elle a été faite avec les valeurs d'origine obtenues à partir des données issues du traitement d'image de la manche d'origine. C'était une étape d'essai nécessaire afin de valider nos valeurs calculées par rapport aux valeurs réelles. Les figures détaillant cet aspect, ainsi que les résultats sont données en Figure 135.

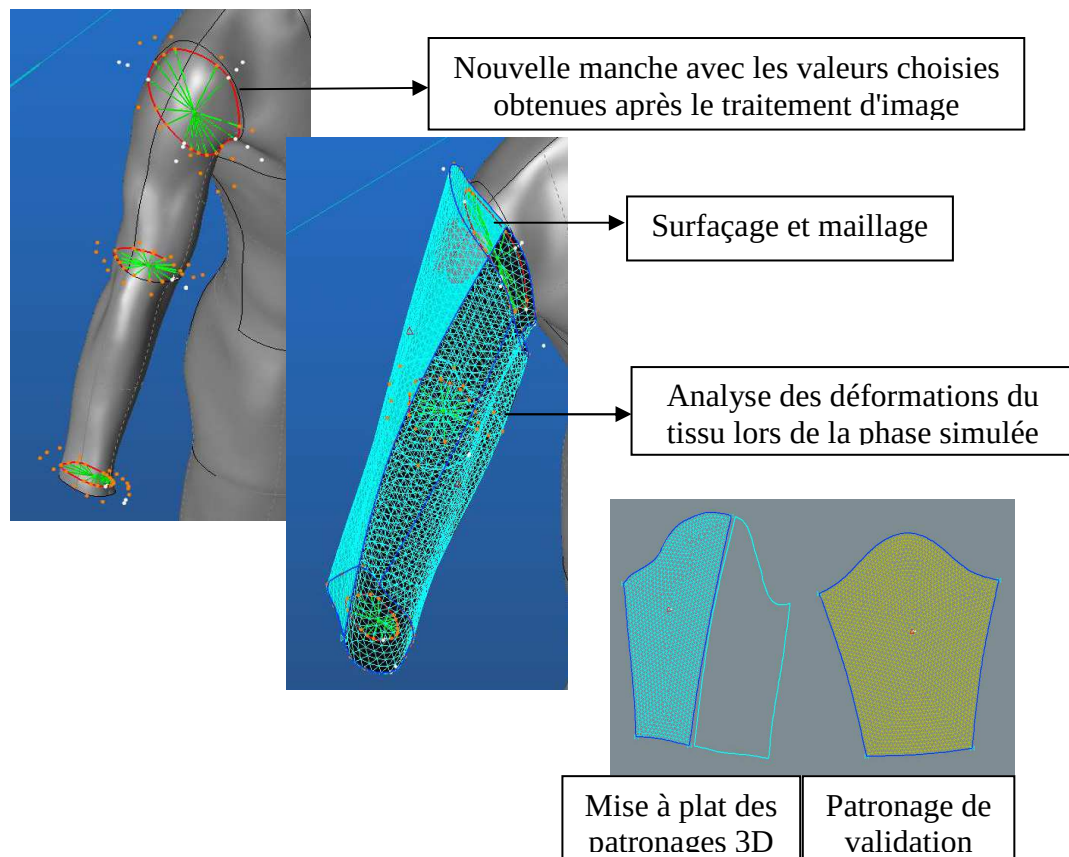


Figure 135.

Construction de la nouvelle manche avec les valeurs

III.9.4 Optimisation du nombre de longueurs d'aisance pour chaque section

Après le calcul et la validation de la valeur des diverses longueurs de la section précédente, nous pouvons les utiliser pour reconstruire la manche de la même manière qu'elle tomberait dans la méthode simulée mais en optimisant le nombre de longueur.

Maintenant puisque nous avons un certain nombre de mesures pour la phase simulée, si nous convertissons un contour simulé par un contour plus symétrique en gardant le même périmètre nous pouvons arriver aussi près que possible de la phase statique de design (Figure 136).

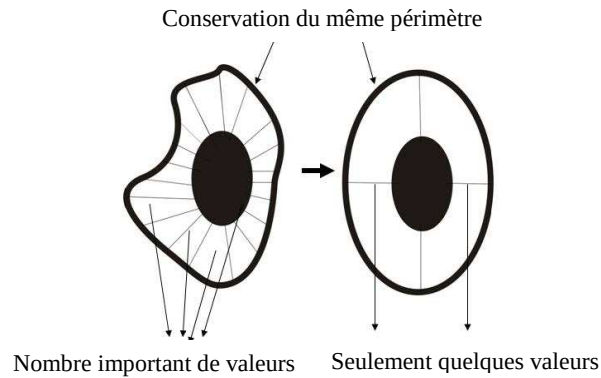


Figure 136.

Description du concept

Nous voudrions rappeler que nous suivons un processus de "reverse engineering". Par conséquent nous suivrons un processus inverse dans laquelle nous essayons d'aller de la phase simulée à la phase statique de style. Nous faisons ceci afin d'obtenir ces paramètres (distance de projection des points sur la surface du corps scanné 3D) lesquels une fois utilisés dans la phase statique de design correspond exactement au résultat obtenu après que le design soit simulé. Pour le même but mentionné ci-dessus nous avons examiné un concept spécifique. La figure ci-dessous montre les objectifs et résultats du concept que nous avons l'intention de mettre en place.

En se concentrant seulement sur le développement de la manche à ce stade, nous allons considérer maintenant les trois coupes du poignet, du coude et de l'épaule. Nous prendrons individuellement les photos correspondantes pour chacune des parties du corps mentionnées ci-dessus et utiliser le traitement d'image pour calculer les quatre valeurs optimales ce qui nous aidera à définir les points spatiaux d'aisance avec exactitude.

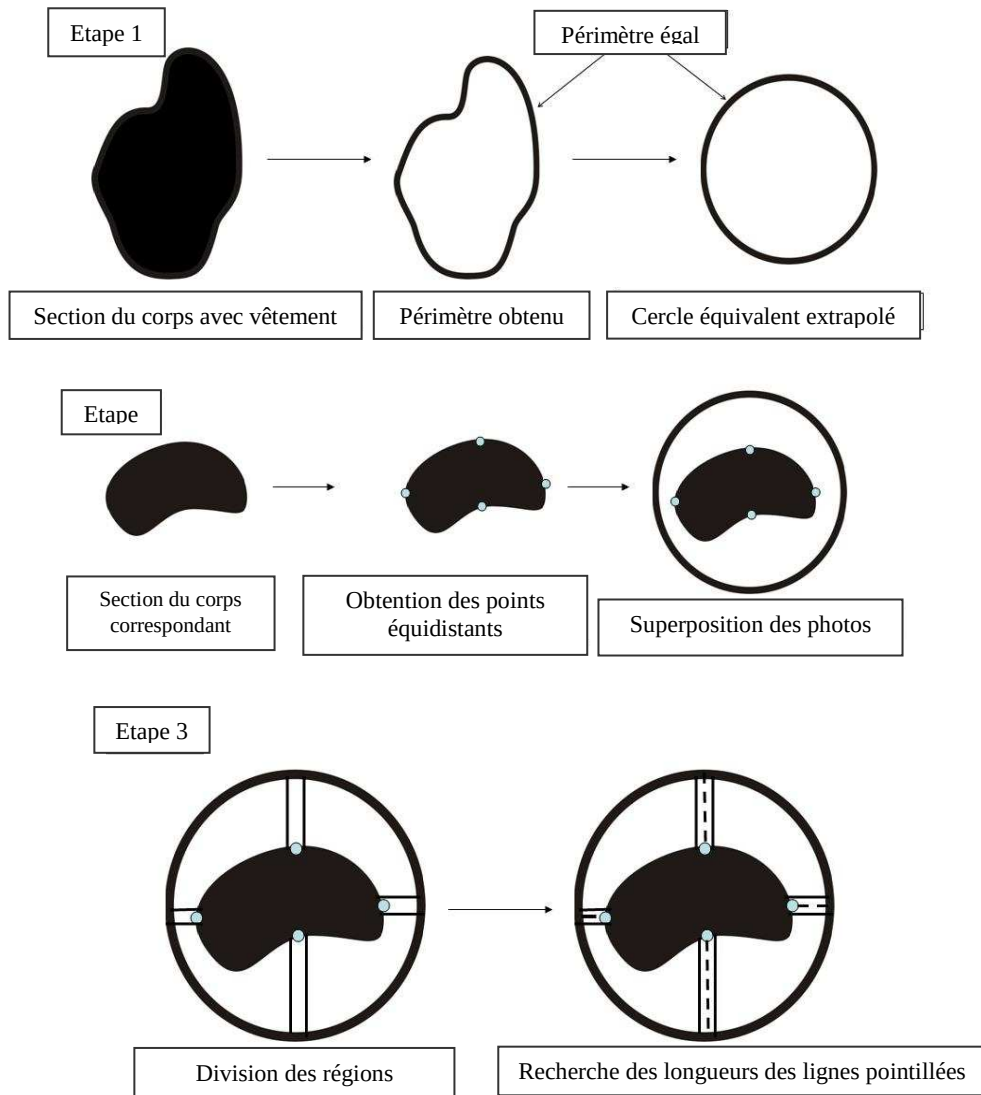


Figure 137. Méthodologie par étapes pour obtenir quatre valeurs optimales pendant le design de la phase statique

Traitement d'image pour la coupe du poignet, du coude et de l'épaule

Le traitement suit une procédure simple (Figure 138):

- Chargement de l'image origine (1)
- Conversion l'image origine en image binarisée (2)
- Calcul du périmètre de l'image (3)

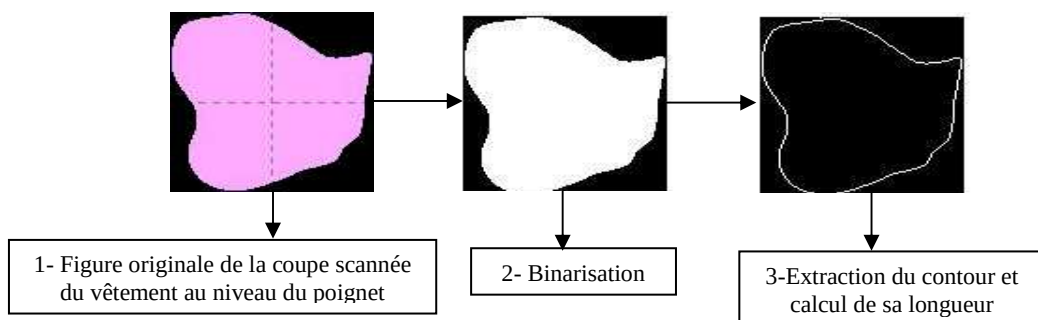


Figure 138. Calcul du périmètre du contour de la coupe du poignet



Figure 139.

Calcul du périmètre du contour de la coupe du coude

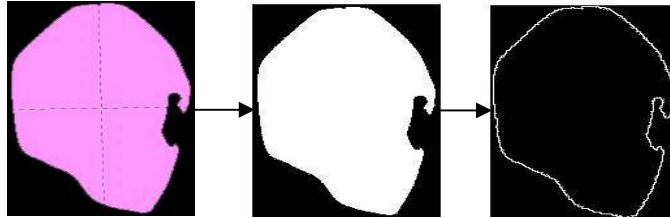


Figure 140.

Calcul du périmètre du contour de la coupe de l'épaule

Après le calcul des périmètres respectifs nous avons les résultats suivants :

Coupe à considérer	Périmètre en pixels	Périmètre en cm
Coupe de poignet	256	33.20
Coupe de coude	325	42.15
Coupe d'épaule	428	55.51

Figure 141.

Valeurs calculées pour des périmètres des coupes respectives

Le calcul du cercle équivalent pour les trois coupes nécessite d'employer le "pdetool" de Matlab. Ceci ouvre un GUI où les propriétés désirées de la figure soient données et la figure faite. Après le calcul du cercle, nous plaçons la figure de la coupe du corps à l'intérieur du cercle ou de l'ellipse (car l'ellipse est plus appropriée pour la coupe d'épaule) et calculons les quatre valeurs optimales. On devrait se rappeler qu'il n'importe pas nécessairement que nous choissions un cercle ou une ellipse étant donné que notre besoin est surtout d'obtenir une surface homogène pendant la phase statique de design.

Dans les mêmes figures il est recommandé de placer seulement une distance de Pixel entre les lignes perpendiculaires. Il est recommandé de travailler à la résolution maximum de Photoshop. Les points pour le placement des lignes de division perpendiculaire peuvent être facilement configurés car ce sont les mêmes points qui ont été projetés lors de la phase statique de design. Les trois images finales ainsi obtenues sont données en Figure 142

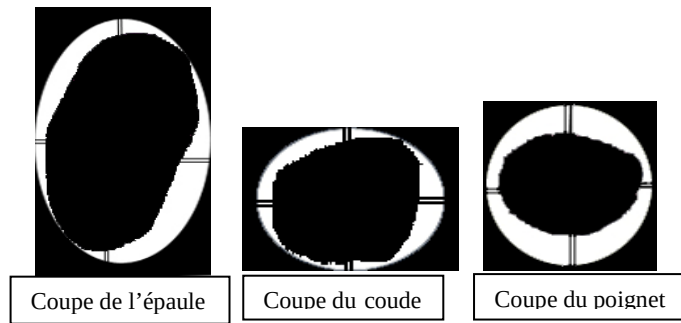


Figure 142. Calcul des valeurs spatiales optimales de l'aisance

Maintenant nous pouvons calculer ces valeurs à l'aide du traitement d'image et pratiquer le design de la manche avec ces valeurs pour leur validation. Ici pendant la division de ces figures, il est important de se maintenir à l'esprit le principe plus tôt que de construire des lignes perpendiculaires à la surface qui sont relativement proches, on conseille de nouveau de fonctionner dans la résolution maximum. Nous avons récapitulé ces valeurs sous la table de la Figure 143.

Les images finales pour ce principe sont données en Figure 144.

Coupe de corps	Points à considérer	Longueur principale de l'axe (pixels)	Longueur principale de l'axe (cm)
Coupe de l'épaule	Point 1	17.828	2.312
	Point 2	24.249	3.145
	Point 3	10.392	1.347
	Point 4	9.2376	1.198
Coupe du coude	Point 1	9.2376	1.198
	Point 2	15.011	1.946
	Point 3	5.7735	0.748
	Point 4	9.2376	1.198
Coupe du poignet	Point 1	21.409	2.776
	Point 2	6.9282	0.898
	Point 3	24.249	3.145
	Point 4	8.0829	1.048

Figure 143. Distance de translation des points pendant le design de la phase statique

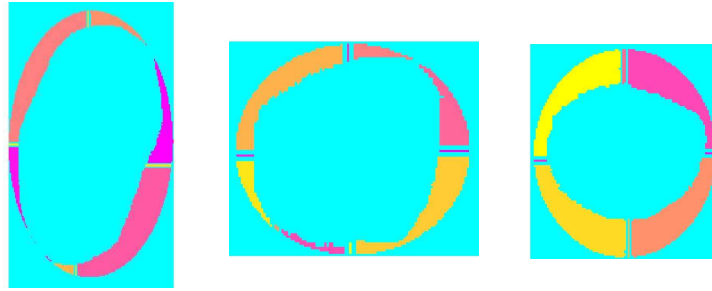


Figure 144.

Images finales marquées pour le calcul

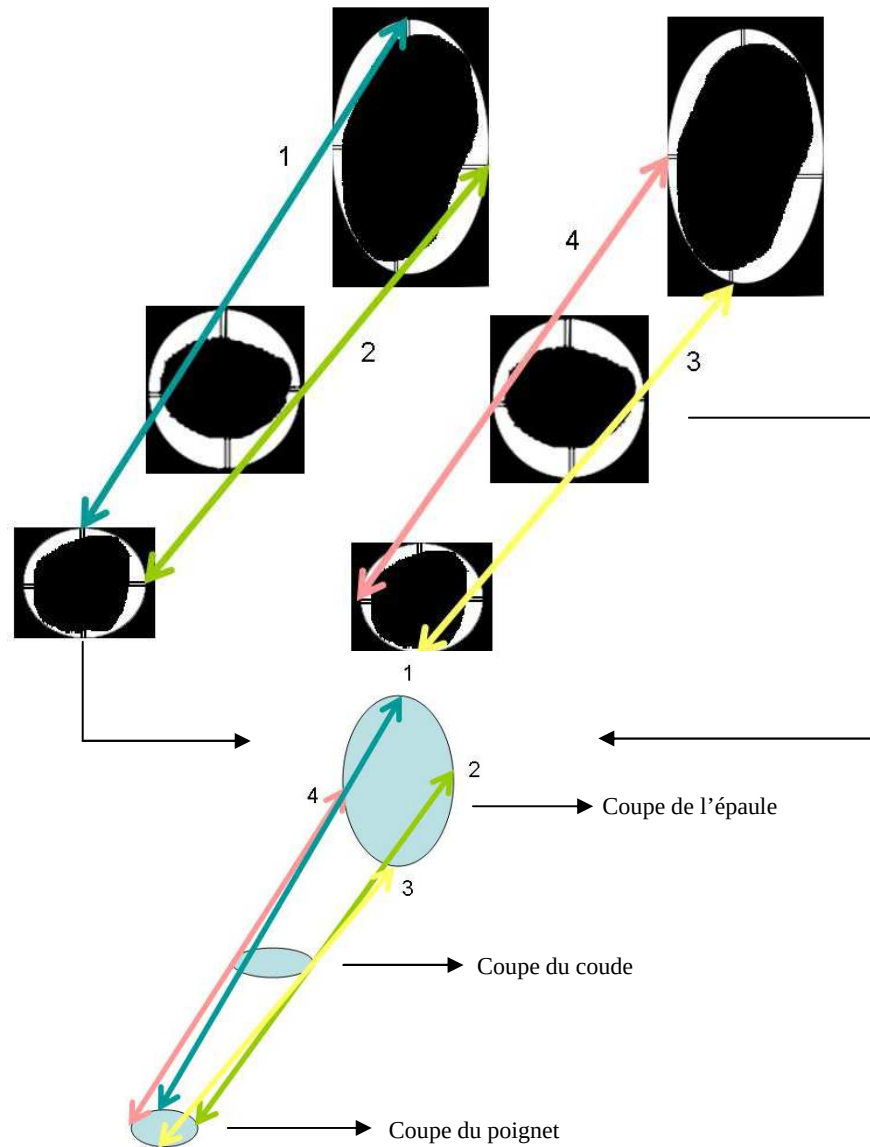


Figure 145.

Schéma pour la reconstruction de la manche

En utilisant ces valeurs nous créons le design de la manche finale dans la phase statique de design et vérifions notre résultat en simulant son tombé dans Modaris 3D Fit. La méthodologie de reconstruction et les résultats sont montrés ci-dessous.

III.9.5 Validation du résultat en mode dynamique

La manche créée avec ces nouvelles techniques de paramétrage d'aisance montre un tombé très satisfaisant. Mais cette technique ne pourra s'appliquer que sur certaines pièces ne nécessitant pas d'ajustement fin.



Figure 146.

Patronage 3D de la manche en mode dynamique

IV Conclusion

Ce chapitre a présenté une nouvelle technique de conception et de modélisation de vêtements directement sur un mannequin mis dans une réalité virtuelle. Le choix des points et des contours les plus pertinents du modèle de corps humain a servi à bon escient pour concevoir le squelette de base du vêtement, ils peuvent servir aussi pour d'autres modèles basiques. Les différents exemples utilisés ont été choisis afin de travailler sur les différents segments du corps. Les techniques de création du prêt-à-porter et de la mass customisation peuvent être similaires sauf au niveau du choix des paramètres d'aisance car le deuxième cas nécessite plus de précision, d'où les développements spécifiques apportés à l'étude. La mise en place des boucles de retour sur le modèle d'aisance ou le modèle de vêtement a permis de valider l'ensemble de la modélisation. Il s'avère que le test dynamique constitue aussi une autre boucle de retour qui peut contrôler les deux modèles précités en fonction des objectifs visés. Un grand défi a été réalisé qui est la gradation automatique par l'utilisation d'un mannequin morphotype adaptatif.

Chapitre 4 :

Modélisation et identification d'un nouveau modèle de traction de tissu par algorithme génétique

L'objectif de ce chapitre est de présenter la modélisation d'un nouveau modèle de comportement dynamique de tissus, soumis à de fortes contraintes en traction, dans le but d'analyser les problèmes liés à la déformation. Nous avons utilisé la machine de traction bi axiale permettant de générer les sollicitations de tissus dans les deux directions. L'étude théorique est basée sur le développement d'un modèle de représentation permettant les simulations de déformations dans le sens de la chaîne et de la trame. Ce modèle est décrit de manière détaillée dans ce chapitre. Il est composé de deux sous modèles interconnectés, le premier est utilisé pour exprimer les phénomènes liés aux fils de chaîne et le second pour ceux liés aux fils de trame. Les deux sous modèles sont interconnectés par les boucles de retour décrivant les effets d'interactions entre les fils de chaîne et de trame générés par les contacts dans la structure du tissu.

Dans la deuxième partie de ce chapitre, une stratégie d'identification innovante est proposée dans le but de déterminer les paramètres des sous modèles. Le nombre important de ces paramètres nous a conduit à utiliser l'algorithme d'identification basé sur la théorie des Algorithmes Génétiques. Cependant, cette technique d'optimisation n'étant pas suffisante pour identifier tous les paramètres des sous modèles nous avons été contraints de l'adapter à la structure spécifique de notre système.

Un bref aperçu de la problématique de modélisation et de celle d'identification & optimisation, notamment par la technique des Algorithmes Génétiques, est donné dans les premiers paragraphes. Les deux derniers paragraphes sont consacrés à la présentation de notre modèle global de tissu et à l'identification avec la présentation des résultats.

I La modélisation

La modélisation est une méthode parmi d'autres pour concevoir ou étudier un système mécanique. Dans notre cas, il s'agit de modéliser un phénomène physique et plus particulièrement les déformations mécaniques d'un tissu. La modélisation informatique n'est pas un substitut aux expérimentations réelles mais un outil complémentaire qui permet de

diminuer au maximum les expériences qui sont parfois très coûteuses. Un modèle efficace peut apporter un gain de temps et une économie substantielle dans la conception d'un dispositif. Mettre au point un modèle mathématique concernant un problème donné implique de suivre un certain nombre d'étapes :

- Identifier les grandeurs les plus significatives du problème et ensuite émettre des hypothèses sur la manière dont ces grandeurs sont reliées. Cela nécessite généralement de simplifier le problème d'origine pour accentuer les caractéristiques qui sont susceptibles d'être les plus importantes.
- Introduire des symboles pour désigner les différentes quantités et ensuite écrire les hypothèses sous forme d'équations mathématiques.
- Résoudre les équations et interpréter leurs solutions comme des réponses au problème d'origine.
- Vérifier les résultats obtenus pour voir s'ils paraissent plausibles et, si possible, pour déterminer s'ils semblent en accord avec les données expérimentales.

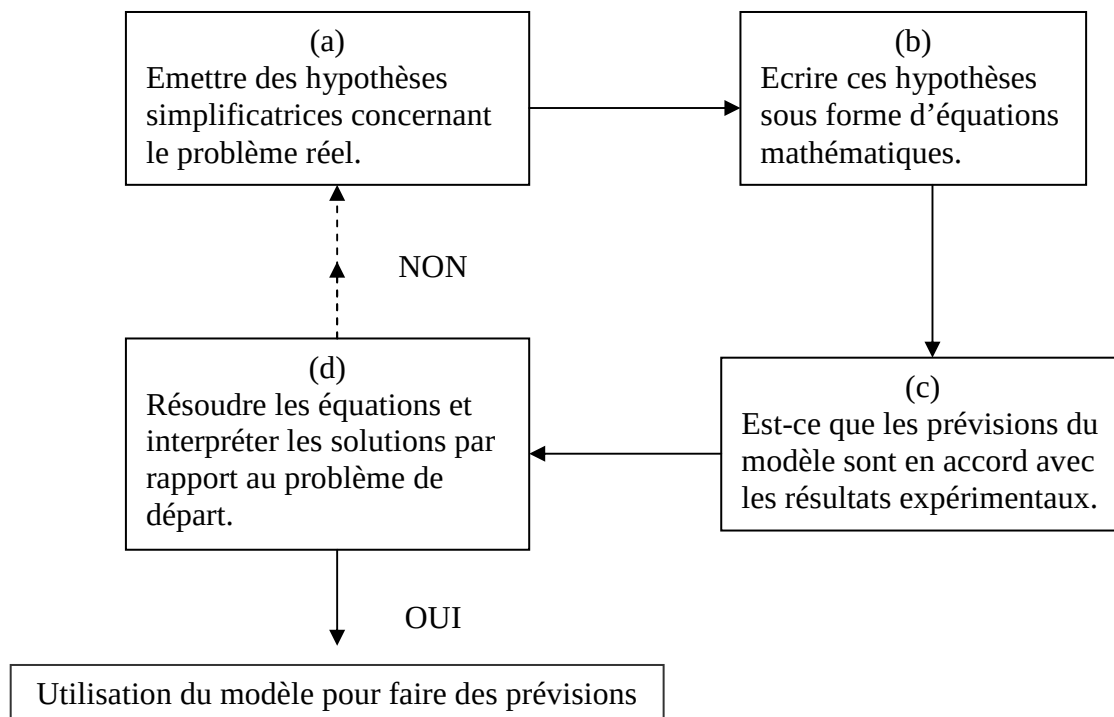


Figure 147.

Cycle de modélisation

La Figure 147 illustre la nature cyclique du processus de modélisation. En effet, le processus peut échouer à l'étape (c) si les équations sont trop compliquées à résoudre. Dans ce cas, il faut revenir à la première étape et essayer de simplifier les hypothèses pour avoir des équations plus simples à résoudre. Il peut également arriver qu'à l'étape (d), les résultats

obtenus avec le modèle ne soient pas en adéquation avec les résultats expérimentaux. Si tel est le cas, il faut également repartir à l'étape (a) pour essayer de faire des hypothèses plus réalistes. C'est donc la première étape qui est déterminante et qui est donc la plus laborieuse pour la mise au point d'un processus de modélisation.

II Identification par l'optimisation paramétrique [95]

Le processus d'optimisation comprend 3 étapes : l'analyse, la synthèse et l'évaluation. Tout d'abord, il convient d'analyser le problème et d'opérer un certain nombre de choix préalables :

- les variables du problème : quels sont les paramètres intéressants à faire varier ?
- l'espace de recherche : dans quelles limites faire varier ces paramètres ?
- les fonctions objectif : quels sont les objectifs à atteindre ?
- la méthode d'optimisation : quelle méthode choisir ?

Il faut choisir une méthode adaptée au problème. Les méthodes d'optimisation peuvent être classées de différentes manières, par exemple les méthodes déterministes et les méthodes non-déterministes. Les méthodes déterministes sont généralement efficaces quand l'évaluation de la fonction est très rapide, ou quand la forme de la fonction est connue a priori. Les cas plus complexes (temps de calcul important, nombreux optima locaux, fonctions non-dérivables, fonctions fractales, fonctions bruitées...) seront souvent traités plus efficacement par les méthodes non-déterministes.

II.1 Méthodes déterministes

La recherche des extrema d'une fonction f revient à résoudre un système de n équations à n inconnues, linéaire ou non :

$$\frac{\partial f}{\partial x_i}(x_1, \dots, x_n) = 0 \quad (1)$$

On peut utiliser des méthodes classiques telles que la méthode du gradient mais l'utilisation de ces méthodes nécessite comme étape préliminaire la localisation des extrema. Celle-ci peut être faite, par exemple, sur un graphique ou par une discrétisation fine de l'espace de recherche. La fonction à optimiser est évaluée en chacun des points de discrétisation. La valeur maximale est alors considérée comme une bonne approximation de l'optimum de la

fonction. Cette méthode est brutale et le temps de calcul augmentera exponentiellement en fonction du nombre de variables.

II.2 Méthodes non-déterministes

Ces méthodes font appel à des tirages de nombres aléatoires. Elles permettent d'explorer l'espace de recherche plus finement. Parmi les méthodes existantes, on peut citer :

- les méthodes Monte-Carlo : la fonction est évaluée en un grand nombre de points choisis de manière aléatoire.
- les méthodes hybrides : on peut par exemple utiliser une méthode classique mais en partant d'un grand nombre de points choisis aléatoirement. On peut ainsi espérer déterminer au fur et à mesure tous les optima locaux de la fonction.
- le recuit simulé : on effectue des déplacements aléatoires à partir d'un point initial. Si un déplacement mène à une plus grande valeur de la fonction, il est accepté. Sinon, il est accepté avec une probabilité :

$$p = \exp\left(-\frac{|\Delta f|}{kT}\right)$$

où Δf est la variation de la fonction, T est assimilé à une température qui décroît au cours du temps et k est une constante.

Cette méthode est fondée sur une analogie avec les processus de recuit utilisés en métallurgie et qui visent à atteindre une configuration d'énergie minimale.

- les algorithmes génétiques : le principe est de simuler l'évolution d'une population d'individus divers auxquels on applique différents opérateurs génétiques et que l'on soumet à chaque génération à une sélection. Ces algorithmes sont de plus en plus utilisés dans l'industrie.

C'est cette méthode d'optimisation que nous avons choisie dans la mesure où les algorithmes génétiques sont particulièrement adaptés aux problèmes d'optimisation comportant de nombreux paramètres.

III Méthode des algorithmes génétiques [96]

Les algorithmes d'optimisation sont généralement limités à des fonctions régulières convexes. Cependant, de nombreuses fonctions sont multi modales, discontinues et non dérivables. Les algorithmes génétiques permettent de résoudre les problèmes liés à certaines fonctions qui ne possèdent pas de propriétés telles que la continuité ou la dérivabilité.

III.1 Définition et Terminologie

Les algorithmes génétiques sont des méthodes de recherche stochastiques reposant sur les mécanismes de sélection naturelle et sur le principe fondamental de Charles Darwin : la survie du plus robuste.

Le vocabulaire employé a ainsi été directement emprunté à celui de la théorie de l'évolution et de la génétique :

- les *chromosomes* sont les éléments à partir desquels sont élaborées les solutions,
- la *population* est l'ensemble des chromosomes et les populations sont également appelées des générations,
- la *reproduction* est l'étape de combinaison des chromosomes,
- la *mutation* et le *croisement génétiques* sont des méthodes de reproduction.

En revanche, d'autres notions sont propres au domaine des algorithmes génétiques :

- l'*indice de qualité*, également appelé *indice de performance* (ou *fitness* en terminologie anglo-saxonne) est une mesure abstraite permettant de classer les chromosomes par ordre décroissant en tant que solution à un problème,
- la *fonction d'évaluation* est la formule théorique qui permet de calculer l'indice de qualité d'un chromosome.

III.2 Fonctionnement des Algorithmes Génétiques

Ces algorithmes "manipulent" une population (ou une famille) de solutions et mettent en place un système de survie de la stratégie la plus appropriée pour la recherche des meilleures solutions. Plus précisément, les algorithmes génétiques recherchent l'espace de solutions d'une fonction à travers l'utilisation d'une évolution simulée c'est-à-dire la survie de la meilleure stratégie. En général, les individus les plus robustes de la population ont tendance à se reproduire et à survivre jusqu'à la génération suivante, améliorant ainsi les générations successives. Cependant, des individus « inférieurs » peuvent aussi parfois survivre et se reproduire. Il a également été démontré que les algorithmes génétiques pouvaient résoudre des problèmes linéaires et non linéaires en explorant toutes les régions de l'espace et en exploitant de manière exponentielle les zones les plus prometteuses grâce à la mutation, au croisement et à des opérations de sélection appliquées aux individus de la population.

La procédure suivante formalise le mécanisme général de fonctionnement des algorithmes génétiques :

- ① Création de la population initiale P_0 de N individus et apport des valeurs des fonctions correspondantes
- ② Incrémentation de la population vers l'étape suivante : $i \leftarrow 1$
- ③ Procédure de sélection des individus de la population $P_i - 1$:
 $P_i' \leftarrow \text{fonction_de_sélection}(P_i - 1)$
- ④ Procédure de reproduction de la population P_i' :
 $P_i \leftarrow \text{fonction_de_reproduction}(P_i')$
- ⑤ Evaluation de P_i : $\text{évaluation}(P_i)$
- ⑥ Incrémentation de la population vers l'étape suivante : $i \leftarrow i + 1$
- ⑦ Si le critère d'arrêt est atteint, l'algorithme génétique s'arrête ; sinon, l'algorithme retourne à l'étape ③
- ⑧ Obtention de la meilleure solution ou du meilleur chromosome produit

L'utilisation des algorithmes génétiques nécessite donc la détermination de 6 éléments fondamentaux : la représentation des chromosomes, la fonction de sélection, les opérateurs génétiques qui constituent la fonction de reproduction, la création de la population initiale, le critère d'arrêt et la fonction d'évaluation. Ces paramètres sont décrits ci-après.

III.3 Représentation de la Solution

Quelque soit l'algorithme génétique, la représentation du chromosome est nécessaire pour décrire chaque individu de la population étudiée. Le schéma de représentation détermine comment le problème va être structuré dans l'algorithme génétique et permet de connaître les opérateurs génétiques qui vont être utilisés. Chaque individu ou chromosome est constitué d'une séquence de gènes venant d'un certain alphabet. Un alphabet peut correspondre à des chiffres binaires (0 et 1), des nombres réels, des entiers, des symboles (tels que A, B, C, D,...), des matrices,...

L'algorithme génétique de base mis au point par Holland [97] repose sur la représentation binaire : les chromosomes sont représentés par des chaînes de bits. Le parallèle structurel entre les bits et les bases azotées constituant l'ADN rend plus aisée la compréhension des transformations telles que le croisement et la mutation génétiques.

Cependant les nombres binaires sont pour nous bien moins évocateurs que les nombres réels. La représentation binaire demande donc un effort supplémentaire : l'espace des solutions potentielles doit être transposé dans un espace de solutions binaires en entrée de l'algorithme, et la solution obtenue en sortie doit être reconvertie en une solution réelle afin de pouvoir être interprétée. Ces opérations de conversion sont coûteuses en temps-machine et sont répétées un grand nombre de fois à chaque génération. On discerne donc ici les limites de la représentation binaire.

Depuis lors, le problème de la représentation a été l'objet de nombreuses recherches. Il a été ainsi démontré que des représentations plus "naturelles" sont plus efficaces et donnent de meilleurs résultats. Une représentation utile d'un individu ou d'un chromosome pour la fonction d'optimisation concerne des gènes ou des variables venant d'un alphabet de nombres réels dont les valeurs sont comprises entre les limites inférieure et supérieure des variables. Michalewicz a fait des recherches poussées pour comparer les représentations binaires et en nombres réels des AG ont montré que la représentation réelle est plus efficace en termes de temps de calcul. Cette représentation offre également l'avantage d'une meilleure précision avec des résultats plus cohérents en ce qui concerne la reproduction.

Dans le cadre de notre étude, les paramètres qui interviennent dans le modèle qui a été établi ont été optimisés en utilisant la représentation réelle des chromosomes.

III.4 Fonctions de Sélection

La sélection des individus pour produire les générations successives joue un rôle extrêmement important dans les algorithmes génétiques. Une sélection probabiliste est réalisée et est fondée sur la performance (ou la qualité) d'un individu de telle sorte que les meilleurs individus ont plus de chances d'être sélectionnés. Un individu d'une population peut être choisi plus d'une fois et tous les individus d'une population ont une chance d'être sélectionnés pour se reproduire à la génération suivante.

Il existe différentes méthodes en ce qui concerne le processus de sélection :

- la méthode de "la roulette de casino": chaque chromosome occupe un secteur de la roulette dont l'angle est proportionnel à son indice de qualité
- les techniques d'échelle
- la sélection par tournoi
- les modèles élitistes

- les méthodes de classement (classement linéaire ou classement géométrique)

Une méthode de sélection courante attribue une probabilité de sélection P_j à chaque individu, j étant basé sur l'indice de performance. Différentes méthodes existent pour assigner des probabilités aux individus : la roulette de casino, le classement linéaire et le classement géométrique.

La méthode de la **roulette de casino**, développée par Holland [97], a constitué la première méthode de sélection. La probabilité P_i pour chaque individu est définie par :

$$P[\text{Individu } i \text{ choisi}] = \frac{F_i}{\sum_{j=1}^{\text{taille pop}} F_j} \quad (2)$$

où F_i représente l'indice de qualité de l'individu i .

En revanche, les méthodes de classement nécessitent uniquement la fonction d'évaluation pour classer les solutions selon une série ordonnée. Dans ce cas, l'attribution de P_i est fondée sur le rang de la solution i quand toutes les solutions ont été classées.

Le **classement géométrique normalisé** définit P_i par la relation suivante :

$$P[\text{Sélection du } i^{\text{ème}} \text{ individu}] = q' (1 - q)^{r-1} \quad (3)$$

où :
 q = probabilité de sélection du meilleur individu
 r = classement de l'individu, 1 étant le meilleur classement
 P = taille de la population

$$q' = \frac{q}{1 - (1 - q)^P}$$

La **sélection par tournoi** requiert, comme les méthodes de classement, la fonction d'évaluation pour classer les solutions mais cependant, elle n'attribue pas de probabilité aux individus. Cette méthode consiste à sélectionner j individus au hasard dans la population et à insérer le meilleur de ces j individus dans la nouvelle population. Cette procédure est renouvelée jusqu'à ce que N individus aient été choisis.

III.5 Opérateurs Génétiques

Les opérateurs génétiques fournissent le mécanisme de recherche de l'algorithme génétique. Les opérateurs sont utilisés pour créer de nouvelles solutions basées sur les solutions existantes dans la population. Il y a deux types fondamentaux d'opérateurs : le croisement et la mutation. Le croisement prend deux individus et crée deux nouveaux individus alors que la mutation modifie un individu pour produire une seule nouvelle solution. L'application de ces deux types d'opérateurs et de leurs dérivés dépend de la représentation des chromosomes

utilisée. Soient $\bar{X}$ et $\bar{Y}$ deux vecteurs de dimension m correspondant à des individus (parents) de la population.

Si $\bar{X}$ et $\bar{Y}$ sont **binaires**, on définit les opérateurs suivants : la mutation binaire et le croisement simple.

La **mutation binaire** permute chaque bit pour chaque individu de la population avec une probabilité p_m selon l'équation (I.69).

$$x_i' = \begin{cases} 1 - x_i, & \text{si } U(0,1) < p_m \\ x_i, & \text{autrement} \end{cases} \quad (4)$$

Le **croisement simple** génère un nombre aléatoire r à partir d'une distribution uniforme de 1 à m et crée deux nouveaux individus ($\bar{X}'$ et $\bar{Y}'$) selon les équations (5) et (6).

$$x_i' = \begin{cases} x_i, & \text{si } i < r \\ y_i, & \text{autrement} \end{cases} \quad (5)$$

$$y_i' = \begin{cases} y_i, & \text{si } i < r \\ x_i, & \text{autrement} \end{cases} \quad (6)$$

Les opérateurs pour les représentations réelles, c'est-à-dire un alphabet de nombres réels, ont été développés par Michalewicz. Pour $\bar{X}$ et $\bar{Y}$ **réels**, on définit les opérateurs suivants : la mutation uniforme, la mutation non uniforme, la mutation non uniforme multiple, la mutation bornée, le croisement simple, le croisement arithmétique et le croisement heuristique. On appelle respectivement a_i et b_i les bornes inférieure et supérieure pour chaque variable i .

La **mutation uniforme** sélectionne au hasard une variable, j , et la rend égale à un nombre aléatoire uniforme $U(a_i, b_i)$:

$$x_i' = \begin{cases} U(a_i, b_i), & \text{si } i = j \\ x_i, & \text{autrement} \end{cases} \quad (7)$$

La **mutation bornée** sélectionne au hasard une variable, j , et la rend égale soit à la borne inférieure soit à la borne supérieure, et où $r = U(0, 1)$:

$$x_i' = \begin{cases} a_i, & \text{si } i = j, r < 0,5 \\ b_i, & \text{si } i = j, r \geq 0,5 \\ x_i, & \text{autrement} \end{cases} \quad (8)$$

La **mutation non uniforme** sélectionne au hasard une variable, j , et la rend égale à un nombre aléatoire non uniforme :

$$x_i' = \begin{cases} x_i + (b_i - x_i) f(G), & \text{si } r_1 < 0,5 \\ x_i - (x_i - a_i) f(G), & \text{si } r_1 \geq 0,5 \\ x_i, & \text{autrement} \end{cases} \quad (9)$$

où :

$$f(G) = \left[r_2 \left(1 - \frac{G}{G_{\max}} \right) \right]^b \quad (10)$$

r_1, r_2 = nombre aléatoire uniforme compris entre 0 et 1
 G = génération courante
 $G_{\max}$ = nombre maximum de générations
 b = paramètre de forme

L'opérateur de **mutation non uniforme multiple** applique l'opérateur non uniforme à toutes les variables du parent $\bar{X}$.

Le **croisement simple** appliqué à la représentation réelle est identique à la version binaire présentée ci-dessus à travers les équations (5) et (6).

Le **croisement arithmétique** génère deux combinaisons linéaires complémentaires des parents, où $r = U(0, 1)$:

$$\bar{X}' = r \bar{X} + (1 - r) \bar{Y} \quad (11)$$

$$\bar{Y}' = (1 - r) \bar{X} + r \bar{Y} \quad (12)$$

Le **croisement heuristique** produit une extrapolation linéaire de deux individus. C'est le seul opérateur qui utilise l'information de l'indice de performance. Un nouvel individu, $\bar{X}'$, est créé en utilisant l'équation (13), où $r = U(0, 1)$ et $\bar{X}$ a un meilleur indice de performance que $\bar{Y}$. Si $\bar{X}'$ est infaisable, c'est-à-dire que la faisabilité est égale à 0 comme indiqué dans l'équation (15), alors il faut générer un nouveau nombre aléatoire r et créer une nouvelle solution en utilisant l'équation (13), sinon on s'arrête. Pour s'assurer de la fin de la procédure, il faut définir une valeur t telle que, après t échecs, les enfants soient égaux aux parents et ensuite on s'arrête.

$$\bar{X}' = \bar{X} + r (\bar{X} - \bar{Y}) \quad (13)$$

$$\bar{Y}' = \bar{X} \quad (14)$$

$$faisabilité = \begin{cases} 1, & \text{si } x_i' \geq a_i, \ x_i' \leq b_i \quad \forall i \\ 0, & \text{autrement} \end{cases} \quad (15)$$

Initialisation, Arrêt et Fonctions d'Evaluation

Les algorithmes génétiques doivent être pourvus d'une population initiale comme on l'a indiqué dans l'étape ① de la procédure décrivant le mécanisme de fonctionnement des algorithmes génétiques. La méthode la plus courante est de générer des solutions au hasard pour l'ensemble de la population. Toutefois, comme les algorithmes génétiques sont capables d'améliorer de façon itérative les solutions existantes, la population de départ peut contenir quelques bonnes solutions potentielles avec le restant de la population qui comprenne des

solutions générées de manière aléatoire. L'algorithme génétique se déplace de génération en génération en sélectionnant et en reproduisant les parents jusqu'à ce que le critère d'arrêt soit atteint. Le critère d'arrêt le plus fréquemment utilisé est la détermination d'un nombre maximal de générations. Une autre stratégie d'arrêt consiste en un critère de convergence de la population. En général, les algorithmes génétiques obligent la population entière à converger vers une solution unique. Quand la somme des écarts entre individus devient plus faible qu'un seuil prédéfini, l'algorithme peut s'arrêter. L'algorithme peut également se terminer en raison d'un manque d'amélioration de la meilleure solution sur un nombre spécifié de générations. Une autre possibilité est d'établir une valeur cible pour l'évaluation de la mesure, valeur basée sur un seuil arbitraire. Plusieurs stratégies peuvent être utilisées conjointement. Des fonctions d'évaluation de différentes formes peuvent être utilisées dans des algorithmes génétiques, avec pour seule nécessité que la fonction puisse classer la population en une série ordonnée. Cette fonction d'évaluation est indépendante des algorithmes génétiques et permet de rendre compte de la performance de chaque série de solutions générée pendant la recherche.

IV Modélisation de tissu – Approche globale

La caractérisation d'un tissu est souvent effectuée en le soumettant à des contraintes mécaniques diverses. Les dispositifs utilisés pour générer ces contraintes sont par exemple le banc de traction uni axial, la machine de traction bi axiale, le drapéomètre et autres systèmes mécaniques capables de réaliser les flexions, torsions etc. Le test le plus important pour notre étude consiste en l'utilisation de la machine de traction bi axiale dans le but de générer les contraintes de traction dans les sens de la chaîne et de la trame à vitesse constante et jusqu'à la rupture de tissu. L'existence des contraintes spatiales dans un même plan nous permet de modéliser la dynamique globale de tissu.

IV.1 Modèle global

Le schéma du modèle global est proposé dans le diagramme de la Figure 148 où on peut observer un système MIMO (multi input multi output). Les entrées sont désignée par E1 et E2 et les sorties par S1 et S2. Les entrées et les sorties sont interconnectées par deux boucles de retour (FB1 et FB2) modélisant les interactions au niveau interne du tissu.

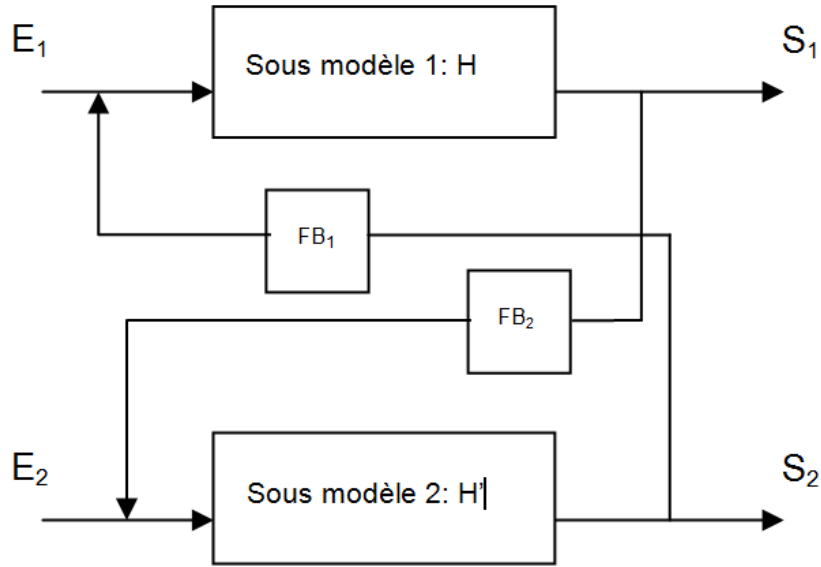


Figure 148.

Modèle global de tissu

IV.2 Comportement bi axial

Le modèle global de tissu est composé de deux sous modèles H et H' en parallèle. Le premier sous modèle H décrit les déformations dans le sens "chaîne" uniquement et le deuxième H' dans le sens de la "trame". Cependant, pendant le processus de tissage les intersections entre les fils de chaîne et de trame sont générées en fonction de la structure du tissu (armure). La contre réaction créée par les deux fonctions de transfert FB1 et FB2 est donc indispensable afin de modéliser le tissu entier. Ces fonctions de transfert prennent en compte les comportements visqueux élastiques des fils. D'un point de vue mécanique, les deux représentations sont possibles en mettant en parallèle les éléments élastique et visqueux (modèle de Kelvin Voight). Dans le second cas, la modélisation est réalisée en mettant en série l'élément élastique et visqueux (Maxwell). Séparément, ces modèles peuvent être assimilés à des systèmes de premier ordre (Figure 149) définis ci-dessous :

$$\sigma_1 = E_1 \cdot \varepsilon_1 + \frac{\eta_1 \cdot d\varepsilon_1}{dt} \quad (16)$$

$$\sigma_2 = E_2 \cdot \varepsilon_2 \cdot e^{\left(\frac{t \cdot E_2}{\eta_2} \right)} \quad (17)$$

Kelvin Voight's model Maxwell's model

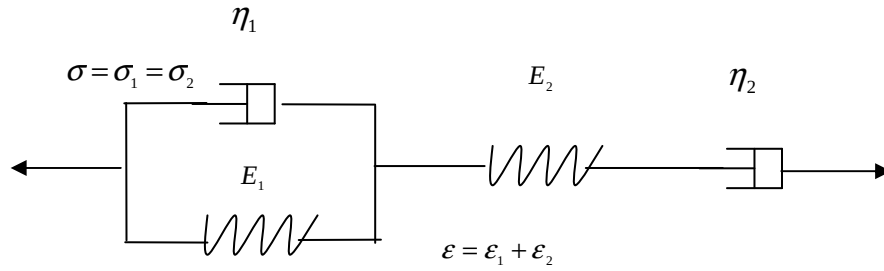


Figure 149.

Modèles mécaniques viscoélastiques

où
 $\sigma, \sigma_1, \sigma_2$ = les contraintes,
 $\varepsilon, \varepsilon_1, \varepsilon_2$ = les déformations,
 E_1, E_2 = les éléments élastiques,
 η_1, η_2 = les éléments visqueux.

Les résultats expérimentaux du diagramme effort-allongement montrent que le modèle le mieux adapté est celui du second degré. Il peut être obtenu en mettant en série les modèles de Kevin Voight et de Maxwell. Ce modèle est donné sur la Figure 149. La fonction de transfert équivalente s'écrit :

$$H(s) = \frac{\sigma(s)}{\varepsilon(s)} = \frac{(E_1 + \eta_1 s)\eta_2 E_2}{E_1 E_2 + E_2 \eta_2 s + E_1 \eta_2 s + E_2 \eta_1 s + \eta_1 \eta_2 s^2} \quad (18)$$

ou

$$H(s) = \frac{(E_1 + \eta_1 s)K}{1 + \frac{2\mu}{W_n} s + \frac{s^2}{W_n^2}} \quad (19)$$

avec

$$\begin{cases} \frac{1}{W_n^2} = \frac{\eta_1 \eta_2}{E_1 E_2} \\ \frac{2\mu}{W_n} = \frac{\eta_1}{E_2} + \frac{\eta_2}{E_2} + \frac{\eta_1}{E_1} \\ K = \frac{\eta_2}{E_1} \end{cases} \quad (20)$$

Pour le modèle global nous devons distinguer deux sous modèles H et H' définis ci-dessous :

- Sous modèle 1 : H(s)

$$H(s) = \frac{(1 + Bs)A}{1 + Ds + Cs^2} \quad (21)$$

- Sous modèle 2 : H'(s)

$$H'(s) = \frac{(1 + B's)A}{1 + D's + C's^2} \quad (22)$$

En intégrant les deux boucles de retour FB1 et FB2 [97], [99] et en développant les équations précédents dans le but d'exprimer S1 et S2 en fonction de E1 et E2 nous obtenons :

$$\begin{aligned}
 S_1 &= \frac{-A(Bs+1)(C's^2 + D's+1)}{(Cs^2 + Ds+1)(C's^2 + D's+1) - AA'FB_1FB_2(Bs+1)(B's+1)} E_1 + \\
 &\quad \frac{-AA'FB_2(Bs+1)(B's+1)}{(Cs^2 + Ds+1)(C's^2 + D's+1) - AA'FB_1FB_2(Bs+1)(B's+1)} E_2 \\
 S_2 &= \frac{-A(B's+1)(Cs^2 + Ds+1)}{(Cs^2 + Ds+1)(C's^2 + D's+1) - AA'FB_1FB_2(Bs+1)(B's+1)} E_2 - \\
 &\quad \frac{-AA'FB_1(Bs+1)(B's+1)}{(Cs^2 + Ds+1)(C's^2 + D's+1) - AA'FB_1FB_2(Bs+1)(B's+1)} E_1
 \end{aligned} \tag{23}$$

Le modèle défini contient 10 paramètres à identifier: A, B, C, D, A', B', C', D', FB1, FB2. La technique d'optimisation basée sur les algorithmes génétiques et adaptée à notre modèle est présentée dans le paragraphe suivant.

V Stratégie d'Identification

L'identification des paramètres des sous modèles est réalisée en deux phases. La première consiste en l'optimisation globale par la technique d'Algorithmes Génétiques. La seconde est utilisée pour affiner les résultats en se basant sur la décomposition du modèle global en deux sous modèles. Le tissu que nous avons utilisé est caractérisé ci dessous avec les conditions d'essais.

Masse surfacique Tissu testé		
N° échantillon	Masse(g)	Masse surfacique (g/m2)
1	3,39	339
2	3,365	336,5
3	3,374	337,4
4	3,36	336
5	3,35	335
Moyenne	3,37	336,78
Ecart type	0,015139353	1,513935269
CV%	0,449532416	0,449532416
Précision%	0,558882882	0,558882882

Test	Norme	Résultat	Unité.	Résultats		
				S	CV%	P%
Fil						
Nature Chaîne		100% Polyester				
Nature Trame		100% Polyester				
Titrage chaîne	NF G 07.101	126,87	Tex	0,83	0,66	0,47
Titrage trame	NF G 07.104	114,19	Tex	0,3	0,26	0,18
Retrait	NF G 07.101	2,55	%	0,19	7,49	5,21
Embuvage	NF G 07.104	6,5	%	0,24	3,64	2,60
Résistance chaîne	NF G 07.002	24,837	N	0,747	3	3,72
Allongement chaîne		36,3	%	1,5	4,13	3,63
Résistance trame		27,014	N	0,841	3,11	2,74
Allongement trame		35,3	%	1,1	3,11	2,74
Tissu						
Armure		Toile				
Masse surfacique	NF G 07.150	336,78	g/m2	1,51	0,44	0,55
épaisseur	NF G 07.153	3,11	mm	0,0404	1,29	0,89

V.1 Méthode d'Identification Directe

La fonction de fitness dans notre exemple est définie ci après. Les sorties réelles S1, S2 sont comparées aux sorties simulées. (Figure 150).

$$f(A, B, C, D, A', B', C', D', FB_1, FB_2) = \sum_{t=0}^{450} (y_{s_1} - \hat{y}_{s_1})^2 + \sum_{t=0}^{450} (y_{s_2} - \hat{y}_{s_2})^2 \quad (24)$$

De nombreux tests ont été réalisés dans le but de déterminer les paramètres du modèle. Les valeurs obtenues relativement proches à la réalité sont données ci-dessous :

$$\left(\begin{array}{l} A = 22.7, B = 0.5, C = 2734, D = 38, A' = 31.1, B' = 0.85, \\ C' = 2260, D' = 43.7, FB_1 = 0.0035, FB_2 = 0.0042 \end{array} \right) \quad (25)$$

Dans la 0, on peut observer la variation de la fonction de fitness pour les populations initiales aléatoires composées de 1000 chromosomes avec les valeurs +/- 5% et +/- 10% des valeurs finales.

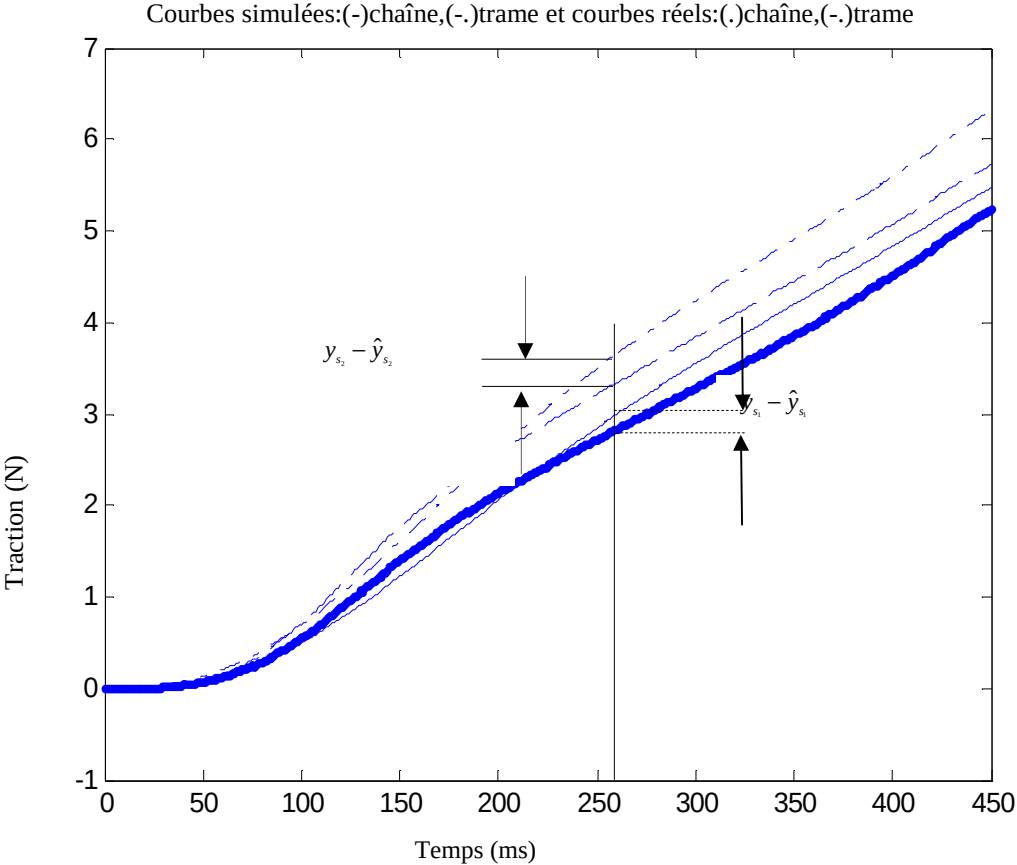


Figure 150.

Fonction fitness

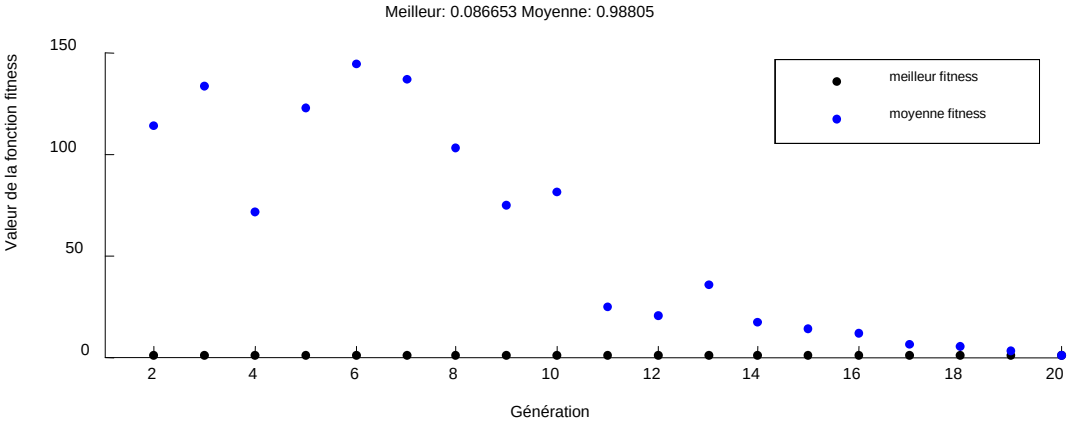


Figure 151.

Evolution de la fonction fitness

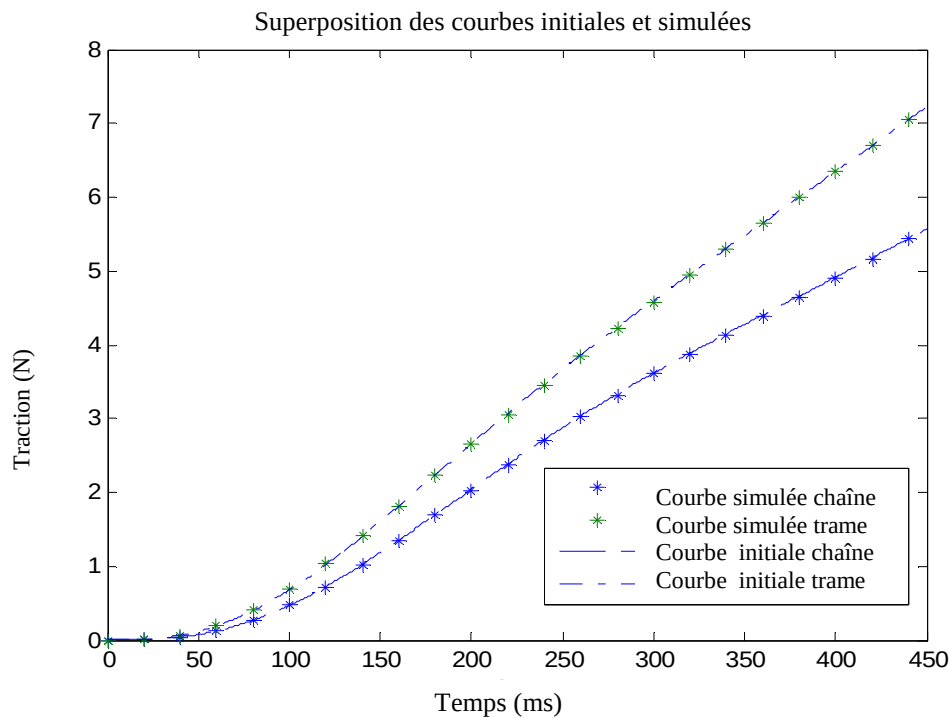


Figure 152.

Comparaison des résultats mesurés et simulés

La méthode d'identification a été testée en utilisant les résultats de simulation assimilés aux résultats expérimentaux (avec les paramètres prédéfinis) et les résultats de simulation obtenus avec des paramètres issus de l'identification à base des Algorithmes génétiques. Malgré la fonction fitness proche de zéro les valeurs des paramètres identifiés n'étaient pas acceptables. Après avoir analysé les pourcentages d'erreur relatifs à chaque paramètre, comparé à la valeur initiale, nous avons remarqué que certains paramètres pouvaient être compensés par d'autres [100]. Par exemple, le tableau résumant tous les résultats (Figure 159) montre que pour la valeur de la fonction de fitness de 0.086, certains paramètres (B, B', FB1, FB2) peuvent fortement déviés de leurs valeurs simulées.

Ce phénomène de compensation montre une faible différence entre les courbes simulées qui ont été assimilée à des tests réels et des courbes simulées obtenues en utilisant les paramètres identifiées par la méthode des Algorithmes Génétiques (Figure 152).

Ainsi, nous avons réalisé l'analyse de la sensibilité des courbes pour tous les paramètres séparément en fonction de notre critère d'erreur. Cette analyse a montré que certains paramètres ne sont pas sensibles comparés aux autres en justifiant l'effet de compensation paramétrique.

Aussi, nous avons décidé d'augmenter la richesse de données utilisées dans le cadre du processus d'identification. Cela a été réalisé en séparant le modèle global en sous modèles et en utilisant en plus de machine de traction bi axiale les bancs de traction uni axiaux (cf. § V.2).

V.2 Méthode d'Identification Indirecte

La séparation du modèle global en sous modèles est très utile dans le processus d'identification paramétrique à condition que les sous modèles soient observables. Dans notre cas (matériaux textiles), le test de traction peut être réalisé dans les directions chaîne et trame de manière simultanée (traction bi axiale), mais aussi de manière indépendante (tractions uni axiales dans les sens chaîne et trame).

Comparé à notre modèle global, cela signifie que nous observons les sorties $S1$ et $S2$ en fonction des entrées $E1$ et $E2$, mais uniquement une sortie en fonction d'une entrée à la fois, même si le système est en configuration en boucle fermée interconnectée.

Il est donc possible d'identifier successivement le sous modèle chaîne et le sous modèle trame et ensuite le modèle global dans une configuration en boucle fermée. Ces trois phases ont été réalisées de la manière suivante :

- identification des paramètres A, B, C, D du sous-modèle $H(s)$,
- identification des paramètres A', B', C', D', D du sous-modèle $H'(s)$
- identification des paramètres $FB1, FB2$ en utilisant les paramètres déjà identifiés.

Les Figure 153, Figure 155, Figure 157 montrent que les fonctions de fitness convergent pour chaque phase d'identification. De plus, les courbes de simulation assimilées aux tests réels et les courbes de simulation obtenues en utilisant les paramètres identifiés (Algorithmes Génétiques) sont similaires pour toutes les phases d'identification (Figure 154, Figure 156, Figure 158).

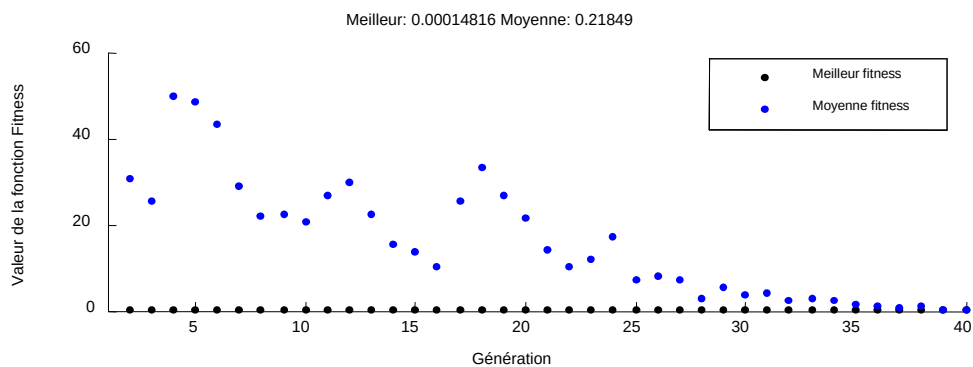


Figure 153. Evolution de la fonction fitness pour une exploration du champ des paramètres +/- 10% (chaîne)

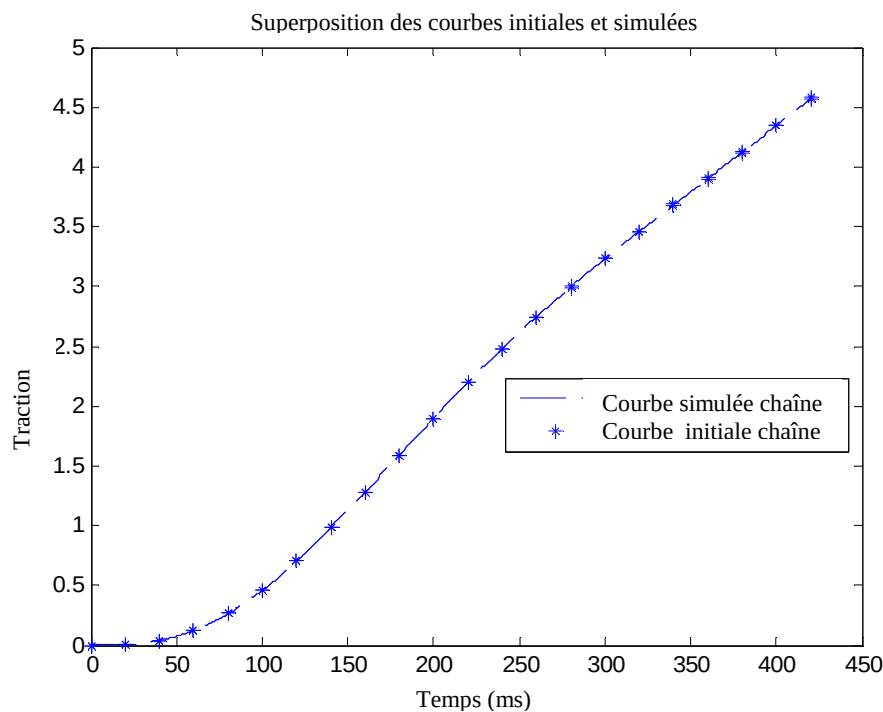


Figure 154. Résultats de l'identification – courbe de traction simulée et réelle (chaîne)

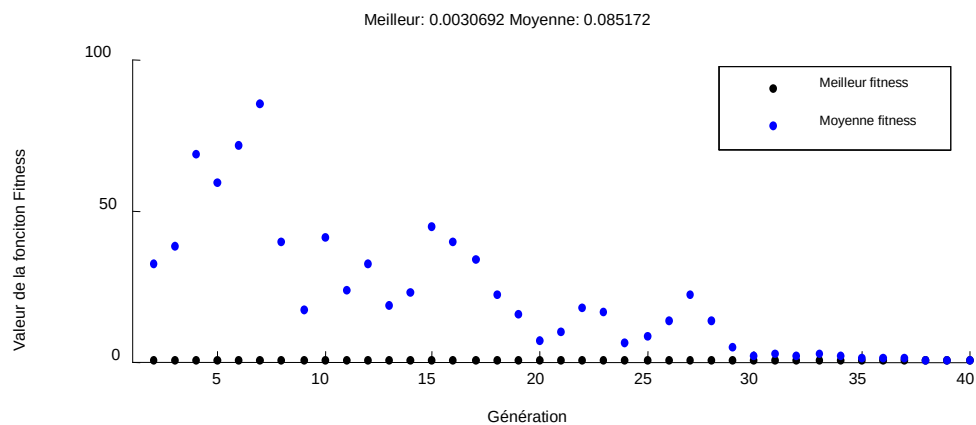


Figure 155. Evolution de la fonction fitness pour une exploration du champ des paramètres +/- 10% (trame)

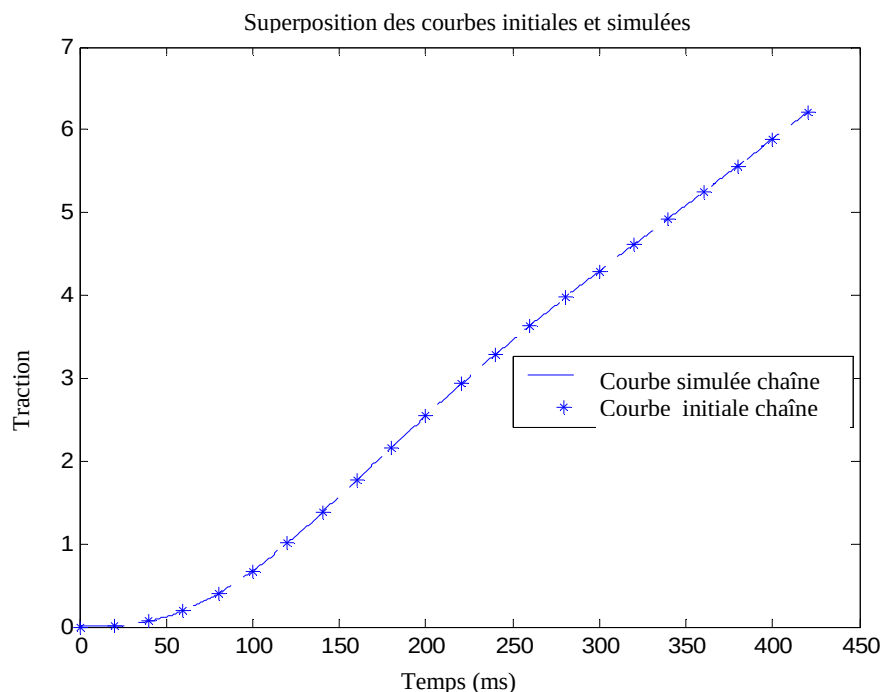


Figure 156. Résultats de l'identification – courbe de traction simulée et réelle (trame)

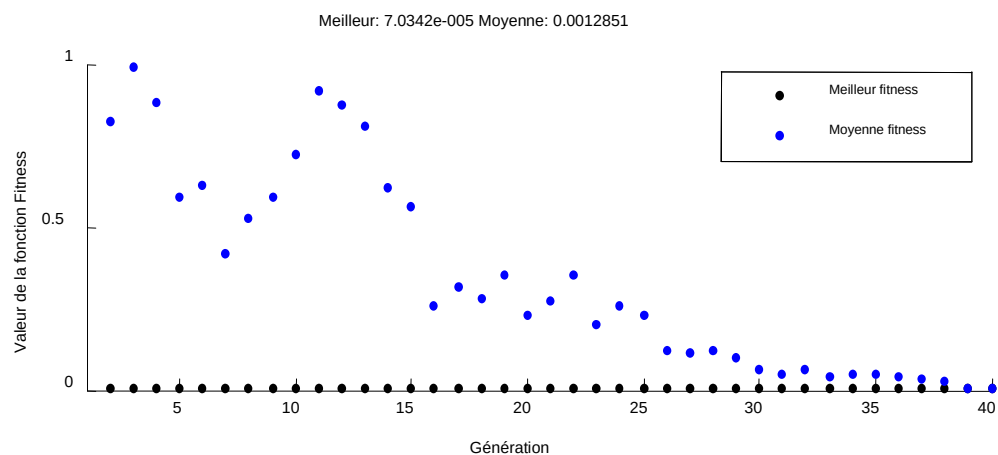


Figure 157. Evolution de la fonction fitness pour une exploration du champ des paramètres +/- 10% (boucle de retour)

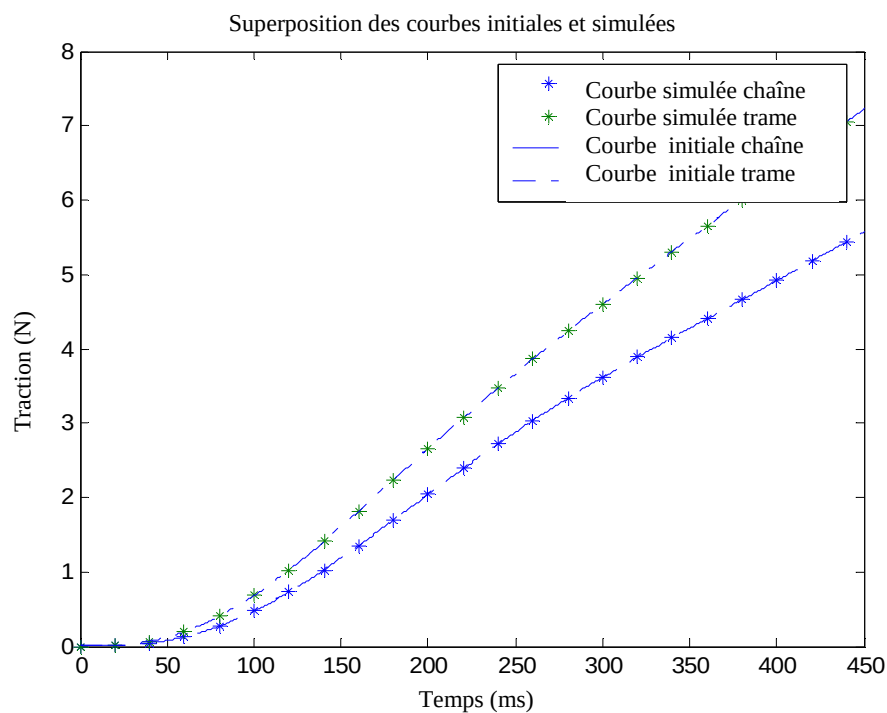


Figure 158. Résultats de l'identification – courbe de traction simulée et réelle (boucle de retour)

Les résultats de l'identification sont donnés dans la table de la Figure 159. Nous voyons que les valeurs des paramètres convergent vers l'optimum (méthode directe).

	Méthode directe				Méthode indirecte			
	+/-5%		+/-10%		+/-5%		+/-10%	
A	0,944	Valeur de la fonction fitness 0,0056861	1,171	Valeur de la fonction fitness 0,086652	0,370044	Valeur de la fonction fitness 0,003	0,251	Valeur de la fonction fitness 1,48E-04
B	15		7,640		1		0,8	
C	0,331		1,285		0,884784		0,250	
D	0,805		2,618		1,289474		0,589	
A'	0,575		0,942		0,575563	Valeur de la fonction fitness 0,009	0,064	Valeur de la fonction fitness 0,003
B'	7,647		17,764		3,294118		5,294	
C'	1,262		3,411		1,261947		1,145	
D'	0,016		4,629		0,016018		1,098	
FB1	7,745714		4,448		0,028571	Valeur de la fonction fitness	0,114	Valeur de la fonction fitness
FB2	6,761905		9,126		0,142857	7,93E-05	0,009	7,03E-05

Figure 159.

Valeurs des paramètres du modèle global

VI Conclusion

Un modèle innovant de tissu basé sur le modèle de traction bi axiale est présenté dans ce chapitre. Il comporte deux boucles de retour interconnectant deux modèles de traction uni axiaux selon les directions "chaîne" et "trame" intégrant également la notion de cisaillement du tissu. L'intérêt scientifique de cette approche réside dans la possibilité d'identifier tous les paramètres du modèle global à partir des tests uni axiaux. La technologie d'optimisation basée sur les Algorithmes Génétiques montre ces limites et a été adaptée afin d'obtenir avec précision les résultats d'identification.

CONCLUSION GENERALE

Dans le domaine de l'habillement, nous avons remarqué qu'il est courant que le prototypage et la structure du processus de conception soient en fait un processus intuitif qui dépend de la compétence du concepteur et de son expérience. Pour cette raison, il est très difficile de modéliser son travail méthodologique qui pourrait être défini par cette simple expression "le savoir faire de sa profession". De plus, une fois la conception du vêtement terminée, le processus d'élaboration du modèle n'est pas requis. Bilan, le savoir acquis par l'expérience n'est donc pas mémorisé.

L'analyse industrielle que nous avons réalisée montre que, généralement, ce travail est réalisé par une modéliste tout d'abord en 2D en utilisant habituellement un logiciel de CAO. Il ne semble pas nécessaire de mentionner que ce processus est très laborieux et ardu. D'ailleurs, souvent, il y a beaucoup de problèmes en matière de communication, entre le designer styliste et le modéliste, en raison d'erreurs d'interprétation qui apparaissent au cours du processus de lecture des croquis. Il existe aussi la technique de drapage très complète qui intègre la notion d'aisance 3D, de porter du vêtement, de bien aller. C'est la méthode qu'utilise la plupart des grands créateurs car elle représente non seulement la noblesse du métier mais conduit surtout au meilleur résultat. Beaucoup de pratiques et de compétences sont nécessaires pour être en mesure de créer directement sur un mannequin avec une matière donnée. Ce métier est dédié en général à la haute couture car le concept de création est très coûteux et conduit généralement au sur-mesure.

Notre schéma global de modélisation du processus de création de vêtement s'appuie sur une méthodologie de création utilisant des logiciels qui fonctionnent en 3D. Ce concept peut aider à résoudre le malentendu entre le styliste et le modéliste en agissant conjointement de manière interactive sur le modèle 3D. Entre autre, la virtuel 3D est par excellence le moyen unique de mémoriser le savoir faire humain. De plus, étant donnée que la méthode 3D est reconnue comme la plus apte à suivre un corps humain, notre modèle global de conception a donc été stratégiquement orienté vers ce concept. Pour cela, il a été nécessaire d'acquérir des connaissances scientifiques très diverses que l'on retrouve au fil des chapitres. Par contre, ses besoins pourraient être un frein dans ce métier.

Le premier chapitre montre que tous les êtres humains sont de forme différente. La mass production a eu tendance à regrouper en peu de classes la population. Mais on remarque que de nos jours, le brassage ethnique, l'évolution humaine, la mondialisation... beaucoup de facteurs conduisent à évoluer vers une classification plus fine. Ce travail morphologique

conduit à la notion de morphotype humain associé à des tables de mensuration propres. Plus spécifiquement, la classification de l'individu, conjointement au métier de l'habillement, entraîne à une subdivision affinée relative à la segmentation du corps. Bien entendu, parler de morphologie demande à étudier l'antropométrie. Le premier chapitre est donc fortement consacré à cet état d'esprit nécessaire à la construction d'un vêtement. Car ce dernier est lié de manière associative à cette forme humaine. Mais nous avons tenu à montrer aussi l'importance de tenir compte de l'interface homme-vêtement en analysant l'aisance du vêtement en lui associant le ressenti du consommateur pour le porter et le bien aller de celui-ci. On perçoit qu'un ajustement précis de l'aisance peut conduire à la mass customisation des produits. Les connaissances de base pour développer notre modèle de conception à double vocation, prêt à porter ou sur-mesure, sont principalement acquises par l'état de l'art de ce chapitre.

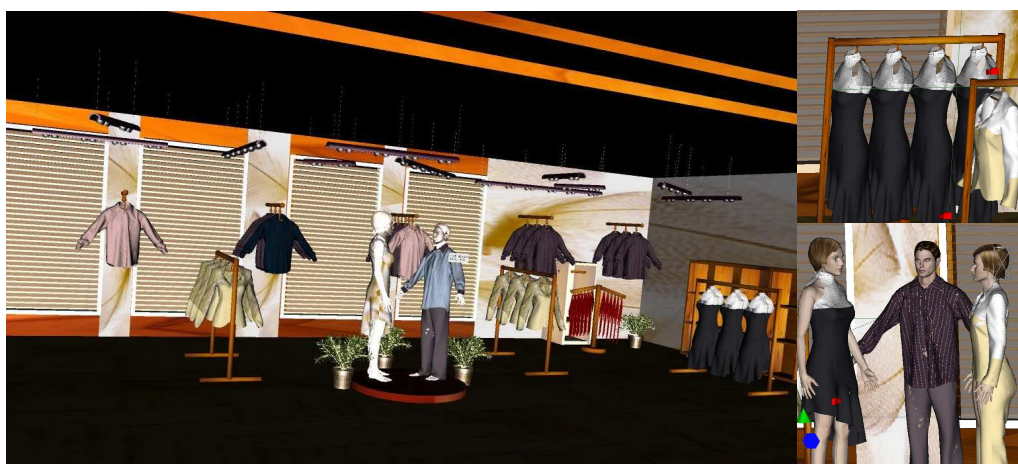
Le deuxième chapitre explique les grandes stratégies de l'avenir de la confection face au problème de la mondialisation. Aussi, la priorité est de développer des mannequins virtuels 3D pour le secteur de la grande distribution qui intègre la notion du E-commerce. Ces mannequins doivent être adaptatifs et suivre différentes morphologies en phase avec les données des différentes campagnes de mensuration internationales. Mais il ne faut pas négliger les autres marchés en vogue tel la mass customisation. C'est pour cela que nous avons développé aussi une stratégie similaire de mannequin dans ce secteur.

Le troisième chapitre explique étape par étape comment à partir des mannequins adaptatifs ou non, il est possible de créer un vêtement en 3D. Le schéma conceptuel du modèle présenté en début de chapitre a été défini avec différentes boucles de retour pour valider étape par étape les différentes phases de conception. En premier, il a été nécessaire de se positionner par rapport à l'industrie en comparant avec un observateur les patronages de leur méthode de conception 2D et les nôtres issus de la mise à plat des pièces de vêtement 3D. On remarque que le vecteur d'aisance est une priorité dans cet ajustement. Ensuite, l'étape de validation de la mise à plat par un estimateur a permis de contrôler aisément les déformations. Cet outil est indispensable pour définir la matière appropriée lors d'élongation trop importante ou de positionner une pince au bon endroit pour absorber les effets de compression (pli). Enfin, le patronage est validé dans son comportement dynamique lors de l'essayage virtuel. Il est vrai que cette étape demande non seulement du savoir faire métier, mais aussi de l'analyse intuitive lors de l'observation 3D du porter du vêtement. L'observateur humain doit être entraîné pour valider un produit dans ce monde virtuel, ce qui n'est pas à la portée de tous. Ce chapitre montre que le tailleur numérique est possible, il conduit au concept de mass

customisation. Il est bâti sur des techniques de conception proches du domaine du prêt à porter. Mais surtout il utilise les mêmes outils. Dans ce cadre d'étude, nous avons affiné le modèle d'aisance étant donné les besoins du consommateur d'avoir un vêtement parfaitement ajusté.

Le chapitre final représente notre contribution dans le domaine de la simulation numérique du tissu nécessaire à l'essayage virtuel. On remarque que les modèles industriels sont en général linéaires et il est difficile de définir le paramétrage du modèle de tissu. Il nous a semblé utile d'évoluer vers un modèle non linéaire en abordant dans une première phase le sous modèle de traction. Dans notre cas, il intègre les interactions de contact des fils provenant de leur entrecroisement. Pour résoudre la grande difficulté d'identifier les nombreux paramètres du sous modèle en évitant au mieux les compensations paramétriques, nous utilisons les algorithmes génétiques avec une méthodologie adaptée au processus à identifier et à la mesure. Les résultats sont très prometteurs pour l'industrie.

En conclusion, cette stratégie globale est très appréciée de l'industrie car elle est novatrice. Peu de chercheurs travaille en création directe sur mannequin virtuel. La modélisation globale était nécessaire. Une modélisation en série permet l'associativité et d'automatiser le processus du mannequin jusqu'au produit final, les différents patronages. Non seulement, le coût de création va chuter obligatoirement, mais le savoir faire va être mémorisé. Les malentendus entre le créateur et le concepteur n'existeront plus, voire jusqu'à réduire le nombre potentiel de personne dans le bureau d'étude. La communication internationale sera améliorée par le transfert des données 3D par le web. Cette liste d'avantages n'est bien sûr pas exhaustive.



Les développements futurs seront dans la continuité de créer une base de données vêtements (carcasse 3D), de tester notre modèle sur des produits d'une autre classification (ex: par dessus). Mais on peut élargir le domaine de travail en se positionnant par rapport au concept

«interface homme-vêtement-environnement». Le challenge est de relier par une mise en cascade appropriée de modèles adaptatifs à commutation les bureaux d'étude travaillant sur la partie «homme-vêtement» et le secteur de la vente par internet qui se préoccupe de la partie «homme-vêtement» dans son «environnement», c'est à dire la boutique virtuelle. L'avantage de cette chaîne virtuelle d'importation VRML est de pouvoir augmenter le potentiel de création par 5 comme des études l'ont démontré dans le secteur de l'ameublement et de créer un interface intelligent intégrant une base de style cohérente avec les besoins du consommateur.

Références Bibliographiques

1. Polska Norma P-84500 "Pomiary ciała ludzkiego" (Mesurage du corps humain) ustanowiona przez Polski Komitet Normalizacji, Miary i Jakości 26 lutego 1982 r. (Dz. Norm i Miary nr 6/1982, poz.14) i obowiązująca od 1 stycznia 1983.
2. J.M.Winks "Clothing Sizes International Standards" The Textile Institute International Head Quarters in Manchester, Redwood Books, UK, 1997.
3. "Résultats de la Campagne Nationale de Mensuration, Conférence de presse, Salon PRET à PORTER PARIS®, le 2 février 2006.
4. J.Pycock & J.Bowers "Getting Others To Get It Right: An Ethnography of Design Work in the Fashion Industry" Computer Supported Cooperative Work '96, Cambridge MA, USA, 1996.
5. L.Chi & R.Kennon "Body scanning of dynamic posture" International Journal of Clothing Science and Technology, vol. 18, No. 3, pp. 166-178, 2006.
6. M.Bily-Czopowa & K.Mierowska "Krój i modelowanie odzieży lekkiej Warszawa, 1991.
7. TC2 <http://www.tc2.com/index.html>
8. Lectra http://www.lectra.com/binaries/bodyscanner_retailing_pdf_tcm22-56573.pdf
9. CAESAR <http://www.sae.org/technicalcommittees/caesar.htm>
10. <http://www.newscientist.com/article.ns?id=dn3820> Sergio Pistoï, Rome Exclusive from New Scientist Print Edition. Subscribe and get 4 free issues, June 2003.
11. <http://www.trendhunter.com/trends/silhouettemobile>
12. http://www.retailhero.com/barcode_scanners.aspx
13. <http://www.handyscan3d.com/fr/description/index.php>
14. D.Protopsaltou, Ch.Luible, M.Arevalo & N.Magnenat-Thalmann, "A body and garment creation method for an Internet based virtual fitting room". Advances in Modeling, Animation and Rendering, J. Vince and R. Earnshaw, eds., Springer-Verlag, pp. 105-122, 2002.
15. X.Ju, N.Werghi & J.P.Siebert "Automatic segmentation of 3d human body scans", Proc. IASTED Int. Conf. on Computer Graphics and Imaging 2000 (CGIM 2000), Las Vegas, USA, 2000.
16. Z.B.Azouz, M.Rioux, C.Shu & R.Lepage "Analysis of Human Shape Variation Using Volumetric Techniques", 17th Annual Conference on Computer Animation and Social Agents (CASA2004). Geneva, Switzerland. July 7-9, 2004.

17. E.Paquet & H.L.Viktor, "Anthropometric Calibration of Virtual Mannequins through Cluster Analysis and Content-based Retrieval of 3-D Body Scans" IMTC 2005 – Instrumentation and Measurement Technology Conference Ottawa, Canada, 17-19 May 2005.
18. S.J.Ulijaszek & D.A.Kerr "Anthropometric measurement error and the assessment of nutritional status", British Journal of Nutrition, No. 82, pp. 165–177, 1999.
19. J.Molenbroek & R.de Bruin "Enhancing the use of anthropometric data" accessible sur <http://www2.io.tudelft.nl/research/ergonomics/AED/publications/enhancing%20anthropometry.pdf>
20. O.Abdali, H.Viktor, E.Paquet & M.Rioux "Exploring anthropometric data through cluster analysis" Society of Automotive Engineers transactions, vol. 113, no 1 pp. 241-244, New York, USA, 2004.
21. F.Dieval, D.Mathieu, K.Herve & B.Durand "Voluminal reconstruction of the bodies applied to the cloth trade", International Journal of Clothing Science and Technology, Vol. 13 No. 3/4, pp. 208-216, 2001.
22. F.Scheepers, R.E.Parenty, W.E.Carlson & S.F.Mayz "Anatomy-Based Modelling of the Human Musculature" SIGGRAPH'97, pp163-172, L.A., USA, 1997.
23. H.Seo, L.Yahia-Cherif, T.Goto & N.Magenat Thalmann "GENESIS: Generation of E-Population Based on Statistical Information", Proceedings of the Computer Animation, IEEE Computer Society, pp. 81-85, 2002.
24. C.Y.Yua, Y.H.Loia & W.K.Chiou "The 3D scanner for measuring body surface area: a simplified calculation in the Chinese adult" Applied Ergonomics vol. 34 pp.273–278, 2003.
25. A.Hilton, D.Beresford, T.Gentils, R.Smith & W.Sun "Virtual People: Capturing human models to populate virtual worlds", Proceedings of Computer Animation, pp. 174-185, 1999.
26. A.Hilton, D.Beresford, T.Gentils, R.J.Smith, W.Sun & J.Illingworth "Whole-body modelling of people from multiview images to populate virtual worlds" The Visual Computer, Vol. 16 No. 7, pp. 411-436, 2000.
27. S.Kim & Ch.K.Park "Parametric Body Model Generation for Garment Drape Simulation" Fibers and Polymers, Vol.5, No.1, pp. 12-18, 2004.
28. D.Terzopoulos, "From physics-based representation to functional modeling of highly complex objects" In NSF-ARPA Workshop on Object Representation in Computer Vision, pp. 347-359, 1994.

29. R.Suikerbuik, H.Tangelder, H.Daanen & A.Oudenhuijzen “Automatic Feature Detection in 3D Human Body Scans”, SAE International, 2004.
30. I.Douros, L.Dekker & B.F.Buxton “Reconstruction of the surface of the human body from 3D scanner data using B-splines”, Proceedings of the International Society of Optical Engineering, Vol. 3640, pp. 234–245, 1999.
31. P.R.M.Jones, P.Li, K.Brooke-Wavell & G.M.West “Format for human body modelling from 3-D body scanning”, International Journal of Clothing Science and Technology, Vol. 7 No. 1, pp. 7-16 1995.
32. Y.Cho, N.Okada, H.Park, M.Takatera, S.Inui & Y.Shimizu “An interactive body model for individual pattern making”, International Journal of Clothing Science and Technology Vol. 17 No. 2, pp. 91-99, 2005.
33. T.Seo & N.Magnenat-Thalmann “An example-based approach to human body manipulation Graphical Models, Vol. 66, pp. 1-23, 2004.
34. C.C.L. Wang “Parameterization and parametric design of mannequins”, Computer-Aided Design Vol. 37 pp. 83–98, 2005.
35. G.K.Stylios, F.Han & T.R.Wan “A remote, on-line 3-D human measurement and reconstruction approach for virtual wearer trials in global retailing”, International Journal of Clothing Science and Technology, Vol. 13 No. 1 pp. 65-75, 2001.
36. G.Olivier “Morphologie et types humains”. Vigot Freres Editeurs Paris, 1967.
37. E.Schreider “Les types humaines” Paris Herman 1937-39.
38. J.Chiappetta “La coupe à plat. La lingerie féminine et le maillot de bain”. Les Presses du midi, 1999.
39. G.Cooklin “Pattern Grading for Women Clothes”. BDP Professional Book 1990.
40. NF EN 13402-1, “Désignations des tailles de vêtements - Partie 1 : termes, définitions et procèdes de mesurage du corps” Juin 2001.
41. NF EN 13402-1, “Désignations des tailles de vêtements - Partie 2 : mesures primaires et secondaires” Juin 2001.
42. NF EN 13402-3 “Désignation des tailles de vêtements - Partie 3 : mesures et intervalles” Février 2005.
43. J.Chiappetta “La coupe à plat. Prêt-à-porter et sur-mesure pour dame”. Les Presses du midi, 2000.
44. E.Chabalier, L.Raoul “The mass-customization; Survey: the market of mass-customization in France“. Institut Francaise de la mode: study for UP-tex 2006.

45. F.Cordier, H.Seo & N.Magnenat-Thalmann “Made-to-measure technologies for an online clothing store”, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 23, No.1, pp. 38-48, 2003.
46. G.A.Kartsounis, N.Magnenat Thalmann & H.C.Rodrian “Integration of 3d scanners, cad and virtual try on technologies for online retailing of made to measure garments“, http://www.congenio.it/india/e-Tailor_Paper.pdf
47. S.Loker & Y.J.Oh “Technology, customization and time-based performance in the apparel and sewn products industry”, Journal of textile and apparel, technology and management, vol. 2, issue IV, 2002.
48. S.Loker, S.P.Ashdown, L.Cowie & K.A.Schoenfelder “Consumer interest in commercial applications of body scan data”, Journal of textile and apparel, technology and management vol. 4, issue 1, 2004.
49. A.Krueger “Target costing and mass customization” Journal of textile and apparel, technology and management vol. 5, issue 1, 2006.
50. M.T.Fralix “From mass production to mass customization” Journal of textile and apparel, technology and management vol. 1, issue 2, 2001.
51. B.Xu, Y.Huang, W.Yu & T.Chen “Body scanning and modelling for custom fit garments” Journal of Textile and Apparel, Technology and Management, vol. 2 Issue 2, spring 2002.
52. D.Gupta, H.Khas, N.Garg, K.Arora & N.Priyadarshimi “Developing body measurement charts for garment manufacture based on a linear programming approach” Journal of Textile and Apparel, Technology and Management, vol. 5 Issue 1, winter 2006.
53. C.L.Wanga, Y.Wangb, M.F.Matthew & B.Yuen “Design automation for customized apparel products” Computer-Aided Design 37 pp. 675–691, 2005.
54. C.Grob, A.Fuhrmann & L.Volker “Automatic pre-positioning of virtual clothing” Proceedings of the 19th spring conference on Computer graphics, pp. 99 - 108, Budmerice, Slovakia, 2003.
55. T.J.Kang & S.M.Kim “Development of three-dimensional apparel CAD system, Part 1: flat garment pattern drafting system” International Journal of Clothing Science and Technology, Vol. 12 No. 1, pp. 26-38, 2000.
56. T.J.Kang & S.M.Kim “Development of three-dimensional apparel CAD system Part II: prediction of garment drape shape” International Journal of Clothing Science and Technology, Vol. 12 No. 1, pp. 39-49, 2000.
57. H.Imaoka “Three models for garment simulation” International Journal of Clothing Science and Technology, Vol. 8 No. 3, pp. 10-21, 1996.

58. A.Majchrzak, T.Chang, W.Barfield, R.Eberts, & G.Salvendy “Human Aspects of Computer Aided Design”, Taylor and Francis, Philadelphia, PA and London, 1986.
59. J.R.Wilson “Critical human factors contributions in modern manufacturing”, International Journal of Human Factors in Manufacturing, Vol. 1, No.3, pp. 281-97, 1991.
60. C.H.M.Hardaker & G.J.W.Fozzard “Computer-aided designers? A study of garment designers’ attitudes towards computer-aided design” International Journal of Clothing Science and Technology, Vol. 7 No. 4, pp. 41-53, 1995.
61. T.H.Koh & E.W.Lee “An object-oriented model of apparel pattern making”, International Journal of Clothing Science and Technology, Vol. 9 No. 5, pp. 367-379. 1997.
62. Torques E., Cani M-P., Hughes J.F. “Sketching garments for virtual characters” EUROGRAPHICS Workshop on Sketch-Based Interfaces and Modeling, 2004.
63. Y.Chiricota, O.Cochaux & A.Provost “Geometrical modelling of garments” International Journal of Clothing Science and Technology”, vol. 13, No. 1, pp.38-52, 2001.
64. N.Magnenat-Thalmann, P.Volino, F.Cordier “Avenues of Research in Dynamic Clothing” (CA 2002) IEEE Proceedings of the Computer Animation, pp. 193-202, 2002.
65. F.Cordier, H.Soe, N.Magnenat-Thalmann “ Made-to-measure technologies for online clothing store” IEEE CG&A special issue on “Web Graphics”, pp. 38-48, 2003.
66. N.Magnenat-Thalmann, H.Soe & F.Cordier “Automatic Modeling of Animatable Virtual Humans – A survey” (3DIM’03) IEEE Proceedings of the Fourth International Conference on 3D Digital Imaging and Modeling, pp. 2-10, 2003.
67. F.Cordier & N.Magnenat-Thalmann “Real-time animation of dressed virtual humans”, Computer Graphics Forum, Blackwell Publishers, vol. 21, issue 3, pp. 327–335, 2002.
68. P.Volino, N.Magnenat-Thalmann, S.Jianhua & D.Thalmann “The Evolution of a 3D System for Simulating Deformable Clothes on Virtual Actors”, MIRALab Copyright Information 1998.
69. M.Carigan, Y.Ying, N.Magnenat–Thalmann & D.Thalmann “Dressing animated synthetic actors with complex deformable clothes” Proceedings of the 19th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp. 99-104, 1992.
70. S.M.Kim & T.J.Kang “Garment pattern generation from body scan data. Computer-Aided Design Vol. 35, pp. 611-618, 2002.
71. C.L.Wang, Y.Wang & M.M.F.Yuen “Feature based 3D garment design through 2D sketches” Computer Aided Design Vol. 35, pp. 659-672, 2002.
72. P.Volino, F.Cordier & N.Magnenat-Thalmann “From early virtual garment simulation to interactive fashion design” Computer Aided Design Vol. 37, pp. 593-608, 2005.

73. C.K.Aua & M.M.F. Yuenb “Feature-based reverse engineering of mannequin for garment design”, *Computer-Aided Design* Vol. 31 pp. 751–759, 1999.
74. Z.GangLuo, M.M.F.Yuen “Reactive 2D/3D garment pattern design modification” *Computer Aided Design* 37, pp. 623-630, 2005.
75. J.Mc.Cartney, B.K.Hinds, B.L.Seow & D.Gong, “Dedicated 3D CAD for garment modelling” *Journals of Materials Processing Technology* Vol. 107, pp.31-36, 2000.
76. Y.Chiricota “Three-dimensional garment modelling using attribute mapping” *International Journal of Clothing Science and Technology* Vol. 15 No. 5, pp. 346-358, 2003.
77. T.J.Kang & S.M.Kim “Optimized garment pattern generation based on three-dimensional anthropometric measurement” *International Journal of Clothing Science and Technology*, Vol. 12 No. 4, pp. 240-254, 2000.
78. M.Fontanaa, C.Rizzi & U.Cugini “3D virtual apparel design for industrial applications” *Computer-Aided Design* Vol. 37 p.609–622, 2005.
79. M.Bily-Czopowa & K.Mierowska « Konstrukcja i modelowanie odzieży damskiej lekkiej », Wydawnictwa Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa 1990.
80. Y.Chen “Contribution à l’optimisation de l’aisance d’un vêtement par les techniques de calcul avancé”, Thèse de doctorat en Automatique, octobre 2002, Université de Lille 1, ENSAIT/GEMTEX, mai 2006.
81. Y.Chen, X.Zeng, M.Happiette, R.Ng, P.Bruniaux & W.Yu “Estimation of ease allowance of a garment using fuzzy logic”, Chapter in the book “Fuzzy Set Techniques in Industrial Engineering”, Eds. C. Kahraman, Springer, Berlin, pp. 30-35, 2006.
82. Y.Chen, M.Happiette, X.Zeng, R.Ng, P.Bruniaux, W.Yu & E.Newton, “Alteration of garment pattern using fuzzy logic”, 4th AUTEX Conference, World Textile Conferences, Roubaix, France, pp. 22-24, 2004.
83. Y.Chen, X.Zeng, M.Happiette, R.Ng, P.Bruniaux & W.Yu, “Estimation of ease allowance of a garment using fuzzy logic”, 6th International FLINS2004, Conference on Applied Computational Intelligence, Blankenberghe, Belgium, 2004.
84. Y.Chen, X.Zeng, M.Happiette, P.Bruniaux, R.Ng & W.Yu “Optimisation of garment design using fuzzy logic and sensory evaluation techniques”, IFSA2005, World Conferences, Beijing, China, pp. 28-31, 2005.
85. Y.Chen, X.Zeng, M.Happiette, P.Bruniaux, R.Ng & W.Yu, “Optimisation of fuzzy garment pattern by integrating designer’s linguistic criteria”, 9th IFAC, World Conferences, Nancy, France, 2006.

86. Z.Wang, R.Ng, E.Newton & W.Zhang, "Modelling of cross-sectional shape for women's jacket design" SEN'I GAKKAISHI Vol. 63, No.4, 2007.
87. Z.Wang, E.Newton, R.Ng & W.Zhang "Study on the relation between garment style and ease distribution" Journal of Donghua University (En. Ed.) Vol. 21, No. 6, 2004.
88. <http://www.inteletex.com/FeatureDetail.asp?PubId=&NewsId=4063>
89. <http://www.gerberttechnology.com/default.asp?contentID=56>
90. http://www.optitex.com/en/About_Us/Core_Values
91. http://www.lectra.com/en/cao/modaris_3d_fit/index.html
92. S.Gupta, P.Bruniaux & V.Koncar "Adaptive model of the human body; a new tool for fashion designers" 8th International Foundation of Fashion Technology Institutes Conference (IFFTI): Fashion in the Digital A, Raleigh, USA, 2006.
93. J.P. Turner & T.Bond "Made-to-measure garments for ladies $\pm$ catering for wide ranging stature and length measurements for standard and outsize ladies" International Journal of Clothing Science and Technology, Vol. 11 No. 4, pp. 216-225, 1999.
94. J.Hu, S.Chung & M.Lo "Effects of seams on fabric drape" International Journal of Clothing Science and technology, vol. 9 No. 3 pp.220-227, 1997.
95. J.Baillou, J.P.Chemla, B.Gasnier & M.Lethiecq "Les Systèmes Asservis", Ecole d'Ingénieurs du Val de Loire. pp. 3-49, 2002.
96. D.E.Goldberg. "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning" Reading MA Addison Wesley, 1989.
97. J.Holland. "Outline for a logical theory of adaptive systems" Journal of the Association of Computing Machinery, pp. 297-314, 1962.
98. J.-Ch. Gille, P. Decaulne & M. Pélegriin "Théorie et calcul des asservissements linéaires", Dunod, Paris, pp. 40-65, 1971.
99. R.Laurent. "Modélisation et identification de systèmes complexes". Thèse de docteur ès sciences, U.S.T.L.F.A., Villeneuve d'Ascq. France, 1985.
100. P.Bruniaux, V.Koncar & D.Pinchon "Non linear system identification by decomposition in subsystems", ESM'94, European Simulation Multiconference, Barcelone, Spain, 1994.

Publications personnelles relatives à l'étude

Publication dans des revues :

101. A.Serwatka, P.Bruniaux & I. Frydrych "New approach to modelling the stress-strain curve of linear textile products. Part1 - Theoretical considerations", *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, Vol. 14, N° 1(55), pp 30-35, 2006.
102. A.Cichocka, P.Bruniaux & V.Koncar "Modelling of Virtual Garment Design in 3D", *Research Journal of Textile and Apparel*, pp. 2007.
103. A. Serwatka, P.Bruniaux & I.Frydrych "New approach to modeling the stress-strain curve of linear textile products. Part2 - Simulation of real stress-strain curves", *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, pp.60-62, 2007.

Communications dans des congrès internationaux :

104. A. Serwatka & P. Bruniaux "Modelling the Stress-strain Curve of Textile Products", *Proceedings of the 3th Autex Conference*, Gdańsk, Poland, pp. 165-169, 2003.
105. A.Cichocka, P.Bruniaux, V.Koncar & I.Frydrych "Parametric model of 3D virtual mannequin. Methodology of Creation", *Ambience05*, International scientific conference on Intelligent Ambience and Well-being, Tampere, Finland, 2005.
106. A.Cichocka & P.Bruniaux "Adaptive model of the human body – Methodology of design of the morphotype mannequin", *ISC'2006*, 4th annual International Industrial Simulation Conference, Palermo, Italy, 2006.
107. A.Cichocka, P.Bruniaux & V.Koncar "Fabric behaviour under bi-axial tensile testing bi-model in feedback configuration", *ISC'2006*, 4th annual International Industrial Simulation Conference, Palermo, Italy, 2006.
108. A.Cichocka, P.Bruniaux & V.Koncar "Introduction to modelling of virtual garment design in 3D", *ISC'2007*, 5th Industrial simulation conference 2007, Delft, The Netherlands, 2007.
109. A.Cichocka, P.Bruniaux & V.Koncar "Modelling of a virtual morphotype mannequin for garment design", *CORTEP-2007*, XIIIth Romanian Textiles and Leather Conference, Iasi, Romania, 2007.
110. A.Cichocka, P.Bruniaux & V.Koncar "New approach to 3D design and pattern making process of garment", *CORTEP-2007*, XIIIth Romanian Textiles and Leather Conference, Iasi, Romania, 2007.