

Approche par le dessin de la création de vêtements
à partir de surfaces développables

Thibault PHILIPPE
Master Recherche IVR - EVASION/GRAVIR

Co-encadrants :
Boris THIBERT, LMC
Marie-Paule CANI, EVASION/GRAVIR

16 juin 2006

Table des matières

1	Introduction	5
1.1	Motivations	5
1.2	Problèmes à résoudre	7
1.3	Plan du mémoire	7
2	Du vêtement réel au vêtement virtuel	8
2.1	Le design de vêtements	8
2.1.1	Les approches habituelles	8
2.1.2	Etat de l’art du sketch-based modeling	10
2.2	La développabilité	12
2.2.1	Surface réglée	12
2.2.2	Surface développable	12
2.2.3	Modélisation des surfaces développables : état de l’art	12
2.3	Une approche globale du problème	14
2.4	Les plis	15
2.4.1	Motivation	15
2.4.2	Des approches de la modélisation de plis	15
3	Une approche par le dessin	17
3.1	Silhouettes	17
3.1.1	Intérêt de la méthode	17
3.1.2	Nature de l’information fournie par l’utilisateur	18
3.1.3	Classification des bords et des silhouettes	19
3.2	Autres indications : les coutures et les plis	19
3.2.1	Motivation	19
3.2.2	Une proposition de classification des coutures	20
3.2.3	Une proposition de classification des plis	20
4	Exploration des possibilités de travail	24
4.1	Le traitement 2D du dessin	24
4.1.1	Motivation	24
4.1.2	Redressement des silhouettes	24
4.1.3	Un gonflement maximum suivi d’un découpage en tranches	25

4.2	Construire une surface directement développable à partir de courbes quelconques	25
4.2.1	Affinage de la développabilité de façon itérative	25
4.2.2	Balayage des règles	26
5	L'algorithme de reconstruction	27
5.1	Phase I - Interprétation du dessin	27
5.2	Phase II - Décomposition en morceaux du vêtement	29
5.3	Phase III - Immersion en 3 dimensions	29
5.3.1	Comment exploiter la faiblesse des contraintes	29
5.3.2	Création des sections coniques et de leur patron	31
5.4	Phase IV - Synthèse des plis procéduraux	32
6	Implémentation et résultats	33
7	Conclusion	36
7.1	Contributions	36
7.2	Perspectives	36

Remerciements

Merci à Boris Thibert pour le temps qu'il a passé à m'aider, et plus encore celui passé dans les transports pour venir à cette intention.

Merci également à Marie Paule Cani pour son temps précieux qu'elle m'a accordé sans parcimonie, et pour la justesse et la précision de ses remarques, qui me laisseront sans nul doute un souvenir impérissable.

Enfin merci à tous les permanents d'EVASION pour leur accueil chaleureux, la bonne ambiance qu'ils entretiennent, et la convivialité de l'équipe. Il en est de même pour les autres, et pour tous les élèves du DEA, qui furent parfois très secourables, aussi bien pour l'informatique que pour la détente.

Chapitre 1

Introduction

1.1 Motivations

La modélisation et l'animation des vêtements est un élément fondamental pour la création de personnages virtuels. Pour renforcer leur réalisme, il est important de tenir compte des propriétés géométriques des vêtements réels et en particulier du fait que ces derniers sont obtenus en cousant entre elles des pièces de tissus, développables dans un plan. Les logiciels standard (MAYA, 3DS) exploitent cette propriété en demandant à l'utilisateur de spécifier ces patrons 2D ainsi que leurs coutures, de les positionner autour du corps du personnage puis de lancer une simulation physique pour déterminer la position au repos du vêtement. Cependant, outre le fait que l'utilisateur n'a pas forcément les compétences d'une couturière, cette approche est longue et fastidieuse, en particulier en ce qui concerne le réglage des paramètres physiques. Le but de ce projet est de modéliser un vêtement plausible, directement à partir d'un dessin 2D rapidement esquissé par l'utilisateur. La surface du vêtement, constituée du raccordement de pièces développables, sera inférée à partir des contours et éventuellement des directions principales de plis spécifiés par l'utilisateur (une surface est dite développable si elle peut être mise à plat sans déchirement, étirement ni plis ; ce sont des surfaces réglées [1] - engendrées par des familles de droites - comme par exemple les cylindres et les cônes). Outre le modèle 3D, la méthode calculera en sortie les pièces de patron nécessaires à la réalisation du vêtement virtuel, utiles par exemple pour plaquer la texture du tissu sur ce dernier, ou pour spécifier les paramètres physiques qui serviront à son animation.

Ce projet fait suite à un sujet posé en 2004, qui engendrait un vêtement virtuel à partir d'un dessin, sans se préoccuper du caractère développable souhaité pour les surfaces [2]. Une première étude sur les plis des vêtements et la génération de patrons a également été réalisée au sein de l'équipe [3].

Dans le cas de l'animation en temps réel, notamment les jeux, l'exigence première est la rapidité de calcul. Ensuite seulement viennent les exigences

de réalisme ou de modulabilité. On peut observer sur les exemples ci-joints, de Doom 2 à Doom 3, et même jusqu'au tout dernier Bethesda, The Elder Scroll IV - Oblivion (2006), que les vêtements, grandements améliorés en qualité, précision, réalisme et modulabilité, demeurent essentiellement fixes d'un point de vue de la cohérence aux mouvements du personnage. Finalement il n'y a que la bonne vieille armure qui soit facile à utiliser, son animation ne requérant que des déformations très localisées.



(a) Doom (1993)



(b) Doom 3 (2004)



(c) Oblivion (2006) - Armure



(d) Oblivion (2006) - Vêtement classique

FIG. 1.1 – Exemples de vêtements de jeux vidéos

Les personnages sont souvent modélisés directement habillés, ou bien les vêtements sont représentés par des textures plaquées sur le personnage. Dans le jeu les plus récents, les vêtements préexistent en 3D sous forme d'un maillage indépendant qui est ensuite adapté à la morphologie du personnage par déformation, mais sans modèle physique sous-jacent.

Si la rapidité est au rendez-vous, un simple coup d'oeil sur le personnage en mouvement ne peut laisser passer l'impression d'artificialité du déplacement. Le mouvement est trahi par la faible capacité du vêtement à interagir

de façon physiquement réaliste.

Dans la synthèse d'image, le temps n'est plus une contrainte. On a alors recours à des logiciels de synthèse 3D comme Maya ou 3DS Max. Ces logiciels sont à même de gérer les déformations de maillage à partir de modèles physiques complexes.

Là encore les résultats peuvent être surprenants, cependant ils demandent un long travail de paramétrage, une certaine technicité pour la réalisation, et beaucoup de temps pour un rendu de quelques secondes.

1.2 Problèmes à résoudre

Si toutes ses approches ont pour objectif la réalisation de vêtements les plus réalistes possible, on observe bien que la diversité des contraintes imposées sur chacune d'elles rendent difficile le compromis entre la performance, le réalisme, et la technicité de la réalisation.

L'objectif de notre travail est de parvenir à la réalisation de modèles réalistes, fondés sur les propriétés des surfaces développables, à la fois abordables par n'importe quel individu sans formation en design de mode (facilité d'utilisation), et permettant de visualiser son travail en temps quasi-réel de façon réaliste (adaptation au corps du personnage, plissements, calcul rapide donc pas de modèle physique).

1.3 Plan du mémoire

Nous commencerons par aborder d'un point de vue expérimental ce qui caractérise le vêtement réel et ce qui le différencie souvent de son homologue virtuel. En cela nous apporterons une contribution par la suggestion d'une méthode de classification et de reconnaissance des plis à partir de leur apparence sur une esquisse d'artiste. Nous traiterons après cela de l'aspect technique du procédé. Nous présenterons pour cela une approche par le dessin, dite *sketch-based modeling*, puis, après avoir rappelé les propriétés mathématiques sur lesquelles nous nous basons, un algorithme à la fois simple et adapté aux contraintes du problème.

Chapitre 2

Du vêtement réel au vêtement virtuel

2.1 Le design de vêtements

2.1.1 Les approches habituelles

S'il est aujourd'hui courant de voir des non-spécialistes utiliser avec aisance des logiciels de manipulation et création d'images puissants, comme photoshop¹ ou the GIMP², il est beaucoup plus rare de trouver des utilisateurs aguerris à l'utilisation de logiciels de synthèse d'images en 3 dimensions. En effet, les outils courants d'interfaçage avec l'ordinateur (souris, clavier) sont peu adaptés à ce genre de tâches, et l'utilisateur nécessite donc une grande expérience pour les manipuler avec efficacité.

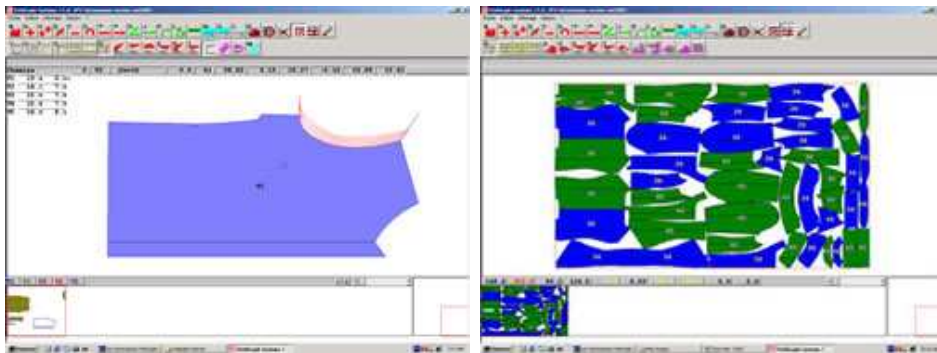
Il y a traditionnellement deux types d'outils pour la conception 3D de vêtements.

1. $3D \rightarrow 2D \rightarrow 3D$: Le premier type consiste à modéliser les vêtements en 3D directement autour d'un mannequin. C'est, bien-sûr, beaucoup plus naturel, mais demande cependant également beaucoup d'expérience et de talent artistique, créer une surface 3D étant difficile compte-tenu des outils actuels. D'autre part il est impossible alors d'animer le vêtement par modèle physique. Dans [3, 4], l'utilisateur se contente de modifier des ébauches de vêtements classiques en 3D afin de faciliter la phase de modélisation, mais le prix est élevé en flexibilité et en capacité créative.
2. $2D \rightarrow 3D$ (voir [1, 2]) : Dans le deuxième type, un designer professionnel en crée l'aspect à partir des choix de base ou du marché, des objectifs visés. Il en réalise ensuite un patron à l'aide de logiciels de CAO. Un exemple représentatif est la suite Vetisketch, Vetigraph. A

¹<http://www.adobe.fr/products/photoshop/main.html>

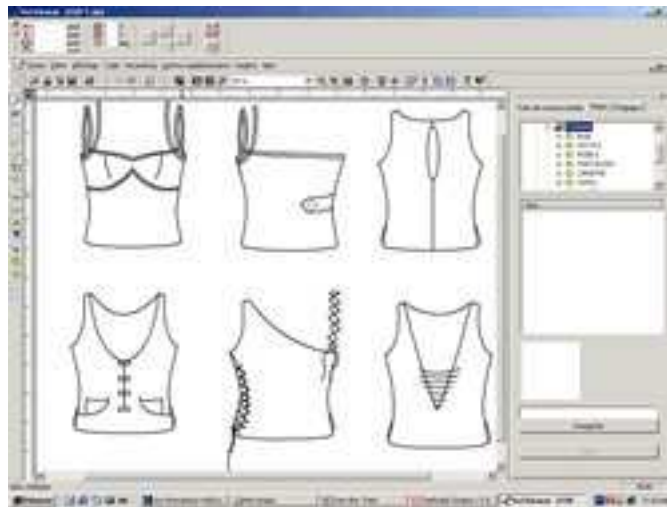
²<http://www.gimp-fr.org/news.php>

partir du patron créé, le logiciel est capable de placer les pièces du patron de façon optimale sur une bande de tissu afin de limiter les pertes à la production, de simuler l'aspect final tendu du vêtement sur un mannequin virtuel, ou encore d'y associer des esquisses numérisées. L'ensemble peut alors être transmis aux machines chargées du découpage.



(a) Travail sur le patron

(b) Optimisation du découpage



(c) Gestion des esquisses

FIG. 2.1 – Vetigraph et Vetisketch

Cette approche est aussi celle proposée le plus souvent dans les logiciels de design de vêtements réalistes pour les films d'animation, mais requiert un certain savoir-faire en coupe et en couture de la part de l'utilisateur, qui ne dessine jamais ce qu'il veut voir, mais le patron comme s'il savait coudre. C'est aussi la solution retenue par des plugins de modélisation pour les grandes suites 3D commerciales, comme

Maya Cloth³, ou Cloth pour 3ds max⁴.

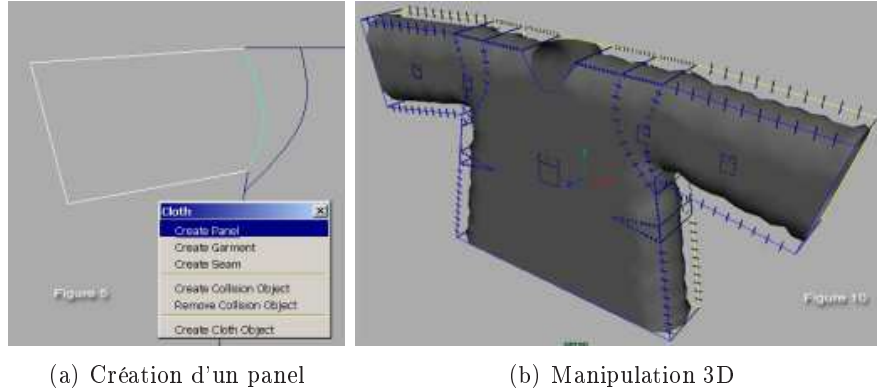


FIG. 2.2 – Maya Cloth

Cette approche est donc précise et efficace, mais hautement technique et réservée à des utilisateurs professionnels, elle se prête peu à du dessin libre au fil de l'imagination.

Le design réaliste présente donc l'inconvénient majeur d'être réservées à des spécialistes de la coupe et de la couture, capable de réaliser un patron. Cela ne peut nous satisfaire car chacun de nous est capable d'imaginer un vêtement original et d'en faire, à la mesure de ses talents artistiques, une esquisse rapide qui en fixera les principales caractéristiques et sera compréhensible par une autre personne. C'est cette constatation qui va nous pousser à adopter le point de vue de l'utilisateur en acceptant de sa part une esquisse naturelle, et en l'interprétant sans supplément d'information. C'est une approche *sketch-based*.

2.1.2 Etat de l'art du sketch-based modeling

La modélisation 3D à base d'esquisses 2D est devenue plutôt populaire ces dernières années. Elle consiste à placer l'utilisateur dans le cadre naturel du dessin à la main : un écran sur lequel il peut agir comme il le ferait avec un crayon sur une feuille, le plus librement et naturellement possible, et à ensuite interpréter son travail en cherchant à résoudre un problème le plus souvent fortement sous-contraint, c'est-à-dire à inférer une signification (qui peut être une 3e dimension) à partir d'une entrée purement bi-dimensionnelle et souvent irrégulière et bruitée, comme il est normal à partir d'une esquisse faite à la main. Il est pour cette raison difficile de fournir un outil générique capable de créer n'importe quelle forme d'objet, le résultat dépendant de

³http://www.alias.com/eng/products-services/maya/technical_features/maya_cloth/index.shtm

⁴<http://usa.autodesk.com/>

trop d'hypothèses diverses. En revanche l'utilisateur n'a pas à manipuler des icônes ou des outils de sélection complexes.

De nombreux travaux ont permis, comme [11], de poser des bases assez générales quant à l'interprétation du dessin par des critères objectifs comme la vitesse de tracé (accélération et décélération), l'ordre des traits, le bruit, la longueur... Un bon exemple de système basé sur cette approche est l'interface Teddy [8]. Elle permet la création, sans la moindre connaissance préalable, de formes du type *blob*, de personnages simples ... etc. Cela dit cette méthode vise surtout à pouvoir manipuler facilement un maillage 3D et le faire évoluer au moyen d'indications 2D, et il est clair qu'elle ne se prêterait pas du tout à un travail de précision sur des surfaces complexes comme des vêtements.

Ce choix étant arbitraire, d'autres travaux se sont axés sur la reconnaissance de formes géométriques, comme [12], qui a choisi de ne pas imposer de forme prédefinie symbolique à l'utilisateur, mais de le laisser libre de son dessin, et ensuite d'interpréter les différentes formes de bruit pour reconstituer le dessin originalement voulu en utilisant de nombreux paramètres comme le rayon de courbure, la distance entre les points... Cependant ce travail se contente de dessins en 2 dimensions et n'infère aucunement d'information de profondeur. Une approche plus artistique et libre de l'information 2D ajoutée à une scène 3D a été également proposée par [14], à travers la création de coiffures pour des personnages virtuels, par sketching. Cependant cette approche est encore une fois limitée à quelques règles de base et ne permet pas un éventail de réalisations comme un outil de création de vêtements. Bourguignon, [10], dans une approche semblable, a développé un outil visant à ajouter des détails ou des objets à une scène en les rendant notamment visibles sous différents points de vue. L'approche est intéressante, mais là encore ne pourrait convenir à un design de vêtements dont nous désirons le patron, pour lequel nous avons besoin d'une surface 3D clairement définie afin de pouvoir contrôler ses propriétés mathématiques.

Quelques travaux cependant ont été réalisés sur le sketching dans le but de la modélisation de vêtements ces dernières années. Tout d'abord le travail de Bourguignon et al. dont nous venons de parler ci-dessus, [10], où on pouvait observer un vêtement esquissé « en pied » sous différents angles, mais sans jamais construire de réelle surface 3D. Igarashi [13] a décrit une méthode de sketching pour le placement d'un vêtement sur un corps 3D, mais l'utilisateur ne pouvait pas lui-même dessiner le vêtement voulu, mais devait utiliser des formes créées en 2 dimensions via leur patron. C'est cependant un des premiers résultats ayant permis une simulation de plis simples sur un modèle. Le seul inconvénient par rapport à l'objectif que nous visons est la nécessité de dessiner au préalable un patron, et ensuite de passer du temps à le placer sur le corps du personnages. Nous voudrions permettre à l'utilisateur de ne fournir aucun autre effort que le dessin lui-même du vêtement en pied.

Enfin, il est à noter le travail de Turquin & al. [15] sur lequel est fondé

notre travail actuel, c'est à dire une interface de sketching permettant la synthèse d'un vêtement, sous forme d'une surface 3D complète, à partir d'une vue unique, en quelques traits, et ce de façon particulièrement simple et intuitive. Nous détaillerons ce travail au début du chapitre 3 et durant l'explication de l'algorithme, au chapitre 5.

2.2 La développabilité

Notre objectif étant d'offrir la possibilité à l'utilisateur de créer un vêtement du dessin à la réalisation réelle finale sans formation particulière en design ou en couture, il nous a été nécessaire de nous pencher sur les caractéristiques mathématiques d'une surface 3D de vêtement. La constatation immédiate et fondamentale est qu'un vêtement est toujours composé de morceaux plans de tissu, cousus entre eux. Ainsi, si on exclut dans ce travail l'élasticité du vêtement (« stretch »), on peut directement conclure que tout vêtement est une surface développable par morceaux.

Rappelons ce qu'est la développabilité.

2.2.1 Surface réglée

Une surface réglée est une surface engendrée par une famille de droites

2.2.2 Surface développable

Une surface développable est un morceau de plan qui a été déformé sans modifier les distances entre ses points

Cela peut-être exprimé plus mathématiquement

Une surface régulière de classe C^2 développable est une surface réglée dont toute génératrice est stationnaire, c'est-à-dire telle que le plan tangent à la surface est le même en tout point de la génératrice.

Il est équivalent de dire que la courbure de Gauß est nulle en tout point.

Cela regroupe les cônes et les cylindres par exemple, ou encore toute surface formée par une feuille de papier que l'on froisse. De la même façon, la déformation des pièces de tissu autour du corps et des coutures créera naturellement des plis, la distance entre les points ne pouvant être changée.

2.2.3 Modélisation des surfaces développables : état de l'art

On notera tout d'abord et principalement que bâtir une surface développable à partir de courbes quelconques dans l'espace, c'est à dire construire

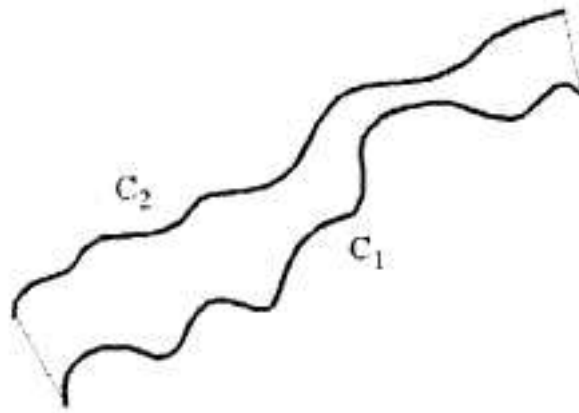


FIG. 2.3 – Existe-t-il une surface développable en 3D reliant ces deux courbes ?

une surface développable reliant les courbes et dont elles soient les bords, est presque toujours impossible. Dans les rares cas où une telle surface existe, il sera extrêmement difficile de la déterminer. Un certain nombre de recherches ont été menées sur la fabrication de surfaces à portées par des courbes support quelconques, par approximations ou bien en cherchant les cas qui « marchent bien ».

On peut citer le travail de Frey, [18], qui consiste à chercher une triangulation approximant une surface développable basée sur une courbe fermée quelconque. Il utilise pour cela la propriété de stationnarité des génératrices de la surface, c-à-d de constance du plan tangent le long des règles. Ce travail est très intéressant car il se contente de tests locaux sur les enveloppes convexes de couples de groupes de 3 points adjacents pour approximer une surface développable par une minimisation « d'énergie ». Cependant cette méthode demeure assez lourde d'un point de vue calculatoire, et bien qu'elle fournisse une surface parfaitement développable (car triangulée et ne contenant aucun point intérieur), elle est conçue pour chercher une triangulation efficace d'une surface développable portée par la courbe donnée, et non pour déterminer si une telle surface existe ; or nous ne sommes pas en mesure, à partir d'une esquisse de vêtement faite à la main de certifier qu'il existe une surface développable portée par les courbes support.

Fondé sur le travail de Frey, Wang et Tang ont proposé une méthode relativement efficace pour construire une surface développable entre deux courbes quelconques, à partir des critères précédemment explicités [16, 19, 20]. Cependant ce travail ne permet d'assurer un résultat développable que pour deux courbes proches formant une bande nettement plus longue que large. Il va de soit que cette hypothèse est trop réductrice pour un vêtement.

2.3 Une approche globale du problème

Le travail le plus proche des objectifs de nos recherches est celui de Decaudin et al. [17]. Fondé sur l'interface de sketching de E.Turquin, il procède ainsi :

1. L'utilisateur réalise le croquis du vêtement désiré
2. Il est plongé en 3 dimensions via la méthode de E.Turquin ([15])
3. Le modèle obtenu est alors soumis à un processus d'approximation par une surface développable par morceaux, et son patron est établi
4. Le patron est remaillé et associé à une grille de déformation (*buckling points*)
5. Le vêtement est alors déformé en utilisant la méthode de P.Decaudin, qui conserve la développabilité en simulant la formation des plis sur le vêtement.

Détaillons un instant le processus d'approximation en surface développable. On a

Une surface est développable si et seulement si sa courbure de Gauß est nulle en tout point.

Ainsi, si on mappe toutes les normales d'une surface développable sur une sphère, on tracera non une surface mais une courbe. En effet avec

$$\begin{aligned} G : S^2 &\rightarrow S(O, 1) \\ P &\mapsto Normale(P) \end{aligned}$$

Avec S^2 la surface de départ, et $S(O, 1)$ la sphère unité, on a

$$A = \int_S G_P$$

, avec A l'aire de la surface, sur la sphère, définie par les valeurs des normales de la surface de départ. On peut donc mesurer l'erreur par rapport à une surface développable en calculant l'aire du mapping sur la sphère de Gauß.

Cependant cette méthode consiste encore à fabriquer une surface non développable pour la rendre développable après, ce qui est une tâche lourde et ne contribue pas beaucoup à l'avancée du problème par rapport aux solutions existantes. D'autre part ce mapping ne serait pas forcément facile à manipuler et on ne peut assurer de parvenir au résultat voulu.

Notre objectif est de parvenir au même résultat, mais en simplifiant les étapes. La motivation est simple : nous avons pu voir que rendre une surface développable est une tâche difficile. C'est pourquoi nous allons établir une méthode permettant de créer directement une surface développable à partir du dessin de l'utilisateur, et son patron, sans intermédiaire.



FIG. 2.4 – Esquisses de mode (avec l’aimable autorisation de Laurence Boissieux)

2.4 Les plis

2.4.1 Motivation

Le coeur du réalisme visuel d’un vêtement est la présence de plis. En effet nous pouvons constater que si bien taillé qu’il soit, tout vêtement, placé sur le corps mobile d’une personne, présente de nombreux plis. Cependant ceux-ci peuvent être classés en deux types principaux [22] : les plis en diamants (issus d’une compression du vêtement le long de son axe) et les plis de torsion (issus de la rotation autour de son axe d’une extrémité du vêtement par rapport à l’autre).

Notre approche se fondant sur des esquisses, il sera nécessaire de permettre à l’utilisateur de dessiner le vêtement tel qu’il est, c-a-d avec ses plis. On constate que les dessinateurs de mode dessinent en effet naturellement leur oeuvres plissées et déformées par le modèle.

2.4.2 Des approches de la modélisation de plis

Parmi les nombreuses approches qui ont pu être menées sur le problème de la modélisation géométrique des plis, nous pouvons soulever celle de Singh ([23]), qui utilise des courbes, comme on utiliserait un fil de métal, pour donner l’aspect global de l’objet, et donc le déformer en déformant ces fils. Un exemple est réalisé à travers l’animation des mouvements d’un rideau dans le vent, qui donne un résultat très satisfaisant. Cela dit tout cela demande un travail manuel long et complexe afin de créer le réalisme du mouvement ou de l’aspect. Dans notre cas, il ne s’agit pas tant d’une déformation à

contrôler que d'une interprétation de l'origine du plis et donc un traitement adéquat.

On peut aussi évoquer l'approche de Larboulette [24], un outil graphique qui permet de créer en temps réel des plis sur une surface polygonale quelconque. Cependant ce travail ne peut gérer que des rides droites à la surface des vêtements, et est surtout destiné à rendre réaliste un mouvement et des expressions de personnages en mouvement, et non à simuler un drapé statique de vêtement sur un personnage.

Enfin, on se doit de noter le travail de Decaudin et al [17], qui est le premier à modéliser les plis de vêtements en diamants, les plis de torsion, et leurs intermédiaires.

Chapitre 3

Une approche par le dessin

Dans cette partie, nous allons définir des classifications des traits du dessin

- Traits de silhouette
- Traits de bord
- Coutures (et ses différents types)
- Plis (et ses différents types)

La classification des silhouettes et bords a été reprise des travaux de E.Turquin [15]. Nos contributions consistent à étendre cette classification aux coutures et aux autres types de plis.

3.1 Silhouettes

3.1.1 Intérêt de la méthode

Comme nous l'avons constaté en première partie, le dessin est sans doute le moyen le plus accessible et rapide pour un utilisateur pour dresser le modèle d'un vêtement qu'il a imaginé. En effet, le dessin évite toute formalisation ou technicisation de la tâche, qui ne pourrait alors forcément s'adresser qu'à une personne ayant les compétences requises. Il n'en demeure pas moins que pour qu'une interface de dessin soit utilisable de façon efficace, il faut que l'utilisateur puisse la manier comme il manierait un crayon, une gomme et une feuille

Ainsi, l'interface d'E.Turquin fournit un outil remarquable. En effet, elle offre la possibilité de tracer, d'éditer, d'effacer des traits sans avoir à cliquer sur le moindre bouton, mais juste en suivant naturellement la symbolique de base proposée. Celle-ci, tout à fait dans l'esprit d'une démarche naturelle, propose que l'effacement soit conditionné par le griffonnage du trait à effacer. De même un simple trait permet de couper n'importe quel autre, le réduire, ou l'augmenter de taille, ou le redessiner sans briser la continuité du trait.

Ceci a tout de même quelques inconvénients, notamment l'impossibilité de superposer des vêtements, ou de donner la moindre indication de pli ou

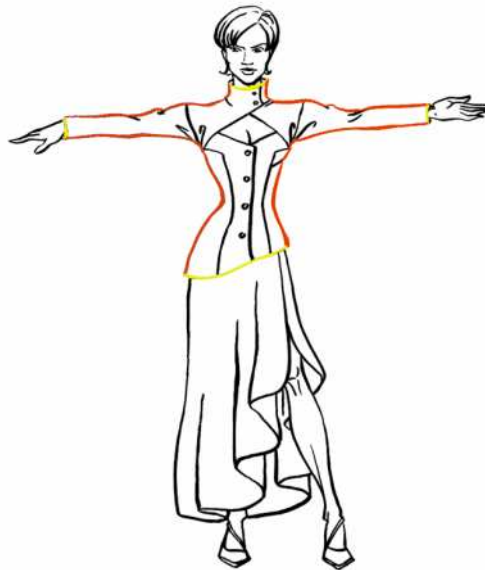


FIG. 3.1 – Coloration des types de traits et différents types de plis.)

de repliement sous forme de contours. Il faudra trouver un autre moyen de les dessiner. Cela interdit de la même façon toute espèce de chevauchement de tissu dans le vêtement. En revanche la possibilité de changer de modèle de travail aisément ouvre de nombreuses possibilités, aussi bien dans le design de vêtements pour tous types d'humanoïdes ou de créatures diverses, que pour un design plus spécifiquement travaillé selon une orientation ou une autre.

Ce propos nous permet de valider l'emploi de cette méthode comme base de travail pour le design de vêtements directement développables, par rapport aux autres méthodes évoquées dans l'état de l'art.

3.1.2 Nature de l'information fournie par l'utilisateur

L'utilisateur qui dessine sur une feuille, comme sur un écran, un vêtement autour d'un modèle, le fait en alliant deux motivations :

- Le réalisme visuel
- La signification

Le réalisme visuel, tout d'abord est clair : le dessin doit être un schéma du vêtement tel qu'on l'aurait vu en réalité. Il doit donc être plus qu'un simple contour, et mêler caractère (plis et position sur le corps) et drapé réaliste. Le fait que ce dessin soit en 2 dimensions implique que toute information objective de profondeur a été supprimée. Dans l'absolu, on pourrait donc imaginer une infinité de surfaces plus ou moins biscornues à partir d'une esquisse. Cependant l'oeil humain est capable d'interpréter directement cette

même esquisse pour en tirer un aperçu précis du vêtement réel. Il y a donc à la fois une forme de logique dans le vêtement, et une symbolique intrinsèque.

En effet, si la forme du vêtement est essentielle, il va de soi que le dessinateur n'a aucune idée d'où tomberont réellement les plis, ou du nombre de plissements sur le bras si le modèle remonte sa manche. Son dessin est donc pure imagination, dont le but est juste de faire comprendre la structure du vêtement. Ainsi on pourra négliger, par exemple, tous les plis isolés qu'un dessinateur ajoute deci delà pour accentuer le réalisme de son oeuvre. De la même façon tout le dessin devra être pris non comme une liste de coordonnées spatiales stricte, mais comme des indications plus ou moins essentielles devant être traitées.

Le problème de la mise en 3D est donc fondamentalement sous-contraint.

3.1.3 Classification des bords et des silhouettes

Lorsque l'utilisateur dessine le vêtement, ses traits sont automatiquement coupés aux points de rupture de pente. Il nous est donc nécessaire de classer en tout premier lieu les traits en deux catégories qui doivent être traitées de façons totalement différentes :

- Les bords, c'est-à-dire les extrémités de la surface
- Les silhouettes, c'est-à-dire les limites qui ne sont dues qu'à la projection de la surface en 2D, et ne correspondent pas à un bord mathématique en 3D.

Nous employons pour cela le critère simple de Turquin [15], à savoir qu'un trait est un bord s'il intersecte le corps du personnage, et une silhouette dans le cas contraire. Bien sûr l'utilisateur peut lui-même corriger le découpage automatique des traits en définissant le point exact des jointures bords/silhouettes.

Ainsi les silhouettes pourront être plongées en 3 dimensions grâce à la profondeur de la partie du corps la plus proche, tandis que les bords devront, eux, subir un traitement un peu plus complexe.

3.2 Autres indications : les coutures et les plis

3.2.1 Motivation

Comme nous l'avons vu précédemment, il est tout à fait intuitif de la part d'un dessinateur de placer sur le vêtement qu'il dessine les plis et les coutures. Hors les coutures sont à l'origine d'une partie des plis, en contraignant les pièces de tissu entre elles. Nous allons donc profiter également de ces informations pour la réalisation de la surface développable et du patron associé.

Cependant nous avons également vu que l'approche par le dessin nous donnait certaines contraintes graphiques, comme celle d'interdire les croi-

sement entre les traits. Nous avons donc opté pour dessiner les coutures différemment. Pour conserver l'intérêt d'une interface intuitive et simple, nous avons associé chaque type de trait (forme, coutures, plis) à une « couleur » donnée, comme on prendrait un crayon de couleur. Ainsi on peut traiter totalement séparément les informations.

La classification des traits entre forme et silhouette d'une part, et coutures d'autre part (ou plis), n'étant pas à faire, nous allons nous attacher à interpréter au mieux les coutures.

3.2.2 Une proposition de classification des coutures

Si plusieurs classifications sont possibles, nous avons décidé de classer les coutures par leur effet sur le vêtement. Pour cela nous avons choisi de nous fonder sur le nombre de bords de chaque vêtement. Ainsi un tee-shirt classique aura 4 bords (les deux manches, la cou et le tronc), une jupe 2 bords, un pantalon 3 bords ... etc.

Nous pouvons alors définir les 3 types de coutures suivants :

- Les coutures *séparantes*

Ce sont les coutures qui joignent deux portions de vêtement totalement indépendantes, comme par exemple la couture qui joint la manche d'un tee-shirt au corps. Ces coutures sont celles qui permettent de simplifier un vêtement complexe en le ramenant à des sections plus facilement traitables.

- Les coutures *ouvrantes*

Ce sont les coutures qui ferment une portion de vêtement sur elle-même en joignant deux bords en un seul, comme par exemple la couture longitudinale d'une jambe de pantalon ou d'une manche. Ces coutures changent systématiquement le nombre de bords de la section sur laquelle elles se trouvent, mais en conservent l'unité.

- Les coutures *locales*

Ce sont les coutures qui ferment une section de vêtement sur elle-même sans en changer le nombre de bords, comme par exemple les pinces et les soufflets (*darts* et *gussets* en anglais). Elles n'ont d'effet que sur la forme du patron, en retirant ou ajoutant des portions de tissu.

3.2.3 Une proposition de classification des plis

Une problématique de notre travail est d'interpréter les plis dessinés par l'utilisateur afin de construire le vêtement en conséquence.

1. Les plis *de mouvement*

- Description :

- Ils ne touchent qu'une silhouette du vêtement
- Ils sont, en un même lieu, de direction variable (mais jamais parallèles) et de même origine (sur la silhouette)

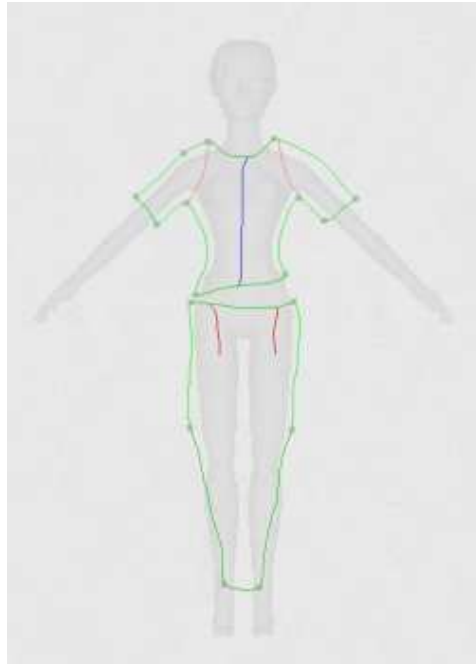


FIG. 3.2 – Classification des coutures (bleu : ouvrante, rose : séparante, rouge : locale)

- Ils n'ont pas d'équivalent sur la silhouette opposée
 - Effet : Aucun rallongement de la portion de vêtement, mais un redressement nécessaire au point de rencontre pour retrouver la situation naturelle sans pli.
2. Les plis de *contraction*
- Description :
 - Ils sont perpendiculaires à l'axe de la portion de vêtement
 - Ils sont plus ou moins symétriques par rapport à l'axe
 - Ils sont parallèles entre eux
 - Effet : Rallongement du vêtement nécessaire dans sa situation natu-



FIG. 3.3 – Plis de mouvement



FIG. 3.4 – Plis de contraction



FIG. 3.5 – Plis de torsion

relle, et redressement des bords (plissement).

3. Les plis de *torsion*

– Description :

– Ils ne sont ni perpendiculaires, ni parallèles aux bords ou silhouettes voisins

– Pris dans leur ensemble, ils touchent les deux silhouettes opposées, ou bien aucune des deux

– Ils sont répartis de façon assez homogène le long de la portion de vêtement

– Effet : Aucun rallongement, mais une rotation de la portion de vêtement.

4. Les plis de *couture*

– Description :

– Ils sont perpendiculaires à une couture, et le plus souvent assez courts

– Effet : Léger ajout de largeur au niveau de la couture sur les portions les portant, dans le patron. Cependant ils sont souvent négligeables.

5. Les plis *longitudinaux*

– Description :

– 1^{er} type : ils sont parallèles à l'axe de la portion de vêtement et entre eux

– 2^e type : ils forment un groupe réparti de façon assez homogène dans la largeur du vêtement, et dont les extrêmes sont parallèles à la silhouette (exemple : jupe)



FIG. 3.6 – Plis de couture



FIG. 3.7 – Plis longitudinaux

- Ils touchent le plus souvent le bord qui leur est situé dessous
- Effet : Ajout de largeur plus ou moins progressif le long des plis, de haut en bas.

A cette classification s'ajoutent des critères permettant de quantifier l'effet de ces plis :

- La longueur et le nombre de plis dessinés (ou leur fréquence) permettent de juger de l'intensité de leur effet
- Les critères principaux de reconnaissance sont la nature de leur support (bord, silhouette, couture, aucun) et l'angle avec ce support, ainsi que la variance d'orientation au sein d'un même groupe de plis.
- Pour former les groupes de plis, il convient de les regrouper par portion de vêtement (même morceau du patron), puis par direction ou par origine.

Chapitre 4

Exploration des possibilités de travail

Dans cette partie nous allons expliquer les différentes étapes de notre réflexion et de nos recherches avant d'aboutir à une solution qui convient.

4.1 Le traitement 2D du dessin

4.1.1 Motivation

Dès le départ, nous avons réfléchi à la possibilité que nous avons de réaliser le maximum de traitements possibles sur le dessin en deux dimensions. En effet, manipuler la surface du vêtement, tout en essayant par ailleurs de contrôler ses propriétés géométriques, est autrement plus difficile que de manipuler des courbes en deux dimensions, et les modifier en conservant l'information qu'elle contiennent afin de pouvoir construire la surface directement comme elle est souhaitée.

Une piste aurait pu être de construire une surface non-développable, puis de la modifier et de l'affiner pour la rendre développable. Cependant nous n'aurions pas apporté de contribution sensible par rapport au travail de Decaudin [17]. Ainsi nous avons opté pour la modification du dessin afin de rendre la plus simple et la plus directe possible la construction de la surface développable.

4.1.2 Redressement des silhouettes

Notre premier axe de recherche a donc été, à partir du cas d'une jupe qui, appuyée sur les hanches, tombe de façon arrondie, d'en redresser la silhouette en conservant sa longueur, c'est-à-dire en quelque sorte de la gonfler afin d'en supprimer tout pli. Pour cela nous devons forcément ouvrir certaines coutures. Il fallait donc pouvoir déterminer les coutures qu'il était nécessaire d'ouvrir, et ensuite de les redresser. Afin de pouvoir trianguler directement

4.2. CONSTRUIRE UNE SURFACE DIRECTEMENT DÉVELOPPABLE À PARTIR DE COURBES QU

la surface obtenue par immersion en 3D du sketch modifié, nous avons étudié la possibilité de découper les portions de vêtements selon certains critères.

Le premier d'entre eux est le niveau des extrémités des coutures. Ainsi dans le cas de la jupe, on pourrait en ouvrant les pinces la couper en une partie basse et plusieurs petites sections situées entre les pinces. Chacune pouvant raisonnablement être à l'origine d'une surface développable, nous obtenons le résultat souhaité. Le problème majeur de cette technique est l'introduction d'un problème pour réunir ces patches sans en briser la développabilité, et surtout pour les réunir de manière développable. On veut en effet que les seules discontinuités de la développabilité soient les coutures.

D'autre part, hors du cas simple de la jupe, on tombe vite face à des situations inextricables pour le redressement du vêtement : découper les coutures locales ne suffira pas à redresser un tee-shirt ou un jean.

4.1.3 Un gonflement maximum suivi d'un découpage en tranches

De même on pourrait imaginer gonfler le vêtement ou le redresser là où c'est possible, puis trianguler les meilleures parties directement, et découper les parties qu'on est pas parvenu à redresser, en tranches développables, sous forme de sections de cônes. Cependant on arriverait exactement au même problème que précédemment, à savoir la réunion développable des sections entre elles.

De plus on constate que dès que l'on sort des cas spécialement faciles à résoudre, comme celui de la jupe, ouvrir les coutures locales ou découper le vêtement ne peut pas suffire à le rendre développable. Ainsi on peut difficilement imaginer créer directement une surface gonflée développable d'un pantalon sans en ouvrir les coutures de l'entre-jambe.

Nous avons donc décidé de nous contenter de bien séparer les sections du vêtement en deux dimensions afin de pouvoir traiter les différentes parties au mieux et le plus simplement possible, ainsi que d'étendre ces parties selon les indications du dessin, comme nous l'expliquerons au chapitre 5.

4.2 Construire une surface directement développable à partir de courbes quelconques

4.2.1 Affinage de la développabilité de façon itérative

En se basant sur certains travaux comme par exemple celui de Pottmann ([21]), nous avons pensé utiliser une des propriétés mathématiques des surfaces développables pour affiner progressivement la développabilité d'un maillage réalisé grossièrement.

Cependant nous avons vu précédemment avec les travaux de Decaudin [17] que cela ne représentait pas une contribution réelle au problème.

4.2.2 Balayage des règles

Si on fait abstraction des problèmes de collisions entre le vêtement et le corps du modèle, on peut décider de simplifier la synthèse du vêtement à la création d'une surface développable portée par deux courbes quelconques. Pourquoi ne pas donc tenter de trianguler d'une seule rangée de triangles cette surface, en satisfaisant le critère de développabilité. On effectue, même si c'est une solution tout sauf satisfaisante, on pourra toujours y parvenir, un maillage triangulaire étant intrinsèquement développable.

On sait qu'il est nécessaire et suffisant, pour obtenir une surface développable, que les normales soient constantes le long des règles. Posons \vec{K}_{C_1, C_2} le vecteur directeur de la règle entre les courbes C_1 et C_2 . Soient \vec{C}'_1 et \vec{C}'_2 les vecteurs tangents aux deux courbes. On a alors sur toutes les règles

$$\det(\vec{C}'_1, \vec{C}'_2, \vec{K}_{C_1, C_2}) = 0$$

Ceci est susceptible de nous fournir un outil de contrôle de la vitesse de progression le long des deux courbes. En effet, paramétrisons la progression le long des deux courbes, $\gamma_1(t)$ et $\gamma_2(t)$, et cherchons les zones du plan, dans $(0, 1)^2$, qui vérifient $(\dot{\gamma}_1, \dot{\gamma}_2, \gamma_1(t) - \gamma_2(t))$ famille liée. Il reste alors à déterminer un chemin optimal entre $(0, 0)$ et $(1, 1)$, en minimisant le parcours hors des zones déterminées.

Cet algorithme a l'avantage de donner une vue globale de toutes les configurations possible du maillage, afin, par exemple d'en choisir les plus efficaces pour une situation donnée. L'inconvénient majeur est la non-certitude d'obtenir une surface réellement développable, et également le temps nécessaire aux calculs de paramétrisation et d'optimisation. D'autre part on sent bien, en regardant un vêtement classique, que la découpe n'est jamais constituée que d'arcs de cercles, d'ellipses ou de droites. Ainsi partir d'une hypothèse de courbes de support quelconques semble d'une certaine façon inutilement compliqué. A cela s'ajoute l'aspect sous-contraint du problème, dont nous pouvons nous servir pour éliminer les défauts de la méthode précédente.

Nous présenterons notre solution dans le chapitre suivant.

Chapitre 5

L'algorithme de reconstruction

Toutes ces réflexions préalables nous ont permis d'établir un algorithme à la fois simple, efficace, et nous le supposons, robuste. Il se compose de quatre étapes.

1. L'interprétation du dessin à travers la classifications des traits par nature et rôle
2. La simplification du vêtement par découpage successifs uniquement le long des coutures
3. L'inférence de la 3e dimension à partir du modèle 3D du personnage et des informations collectées dans les premières parties
 - Inférence des courbes support
 - Triangulation du vêtement en pied et en patron
4. Synthèse des plis procéduraux

5.1 Phase I - Interprétation du dessin

Nous avons vu que les silhouettes et bords pouvaient être déterminées aisément ; dans le cas des coutures la règle est aussi simple. Pour cela nous devons prendre en compte les deux faces du vêtement dessiné, et les silhouettes n'ont alors plus de rôle.

- Si la couture touche (par ses extrémités) une fois un seul bord, ou aucun sans former de cycle, alors c'est une couture *locale*
- Si elle touche deux bords différents, alors c'est une couture *ouvrante*
- Si elle touche deux fois le même bord, ou bien forme un cycle, alors c'est une couture *séparante*

On appelle *type* d'un point, d'un segment... etc, sa caractéristique de bord, de silhouette, de couture locale ... par exemple.

Dans cette première phase sont prises itérativement toutes les parties du dessin indépendantes (les chaînes de traits), et à travers plusieurs passes sur tous leurs éléments, sont enrichies du maximum d'informations pouvant être tirées du dessin :

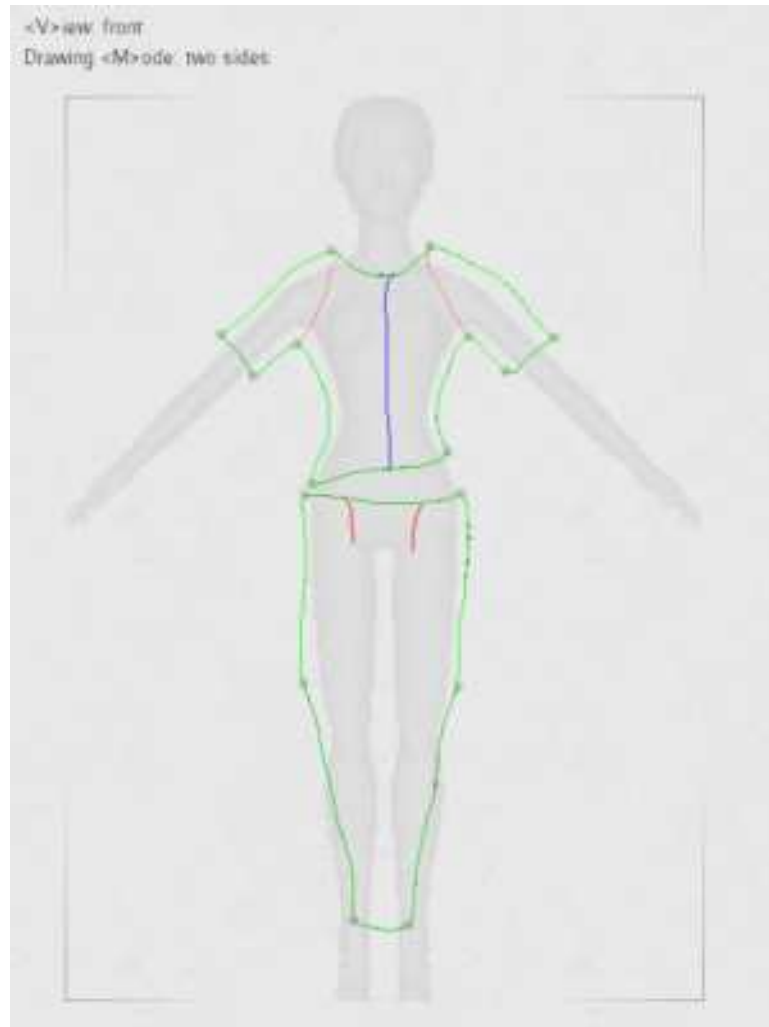


FIG. 5.1 – Fin de la phase 1 - Traits classifiés

- Les longueurs de segments et les positions des points extrêmes des traits sont déterminées
- Les natures des traits et leurs longueurs sont calculés à partir des positions des points et des longueurs des segments
- Les nombres de bords de chaque chaîne sont déterminés
- Les coutures sont associées à la portion de vêtement à laquelle elles appartiennent

5.2 Phase II - Décomposition en morceaux du vêtement

On entre maintenant dans une phase récursive de simplification du vêtement.

Grâce aux informations réunies en phase I, on prend, toujours en 2 dimensions, chaque portion de vêtement (chaîne), et on applique la démarche suivante :

1. Si la section possède 1 ou 2 bords, elle est suffisamment simple, et on la laisse inchangée
2. Si la section possède 3 bords ou plus (ex : Un tee-shirt)
 - Si la section possède des coutures séparantes
 - On ouvre la première couture séparante (ex : On retire une manche)
 - On réassocie les autres coutures à une section ou l'autre
 - On place à la file les deux sections pour être traitées à nouveau
 - Sinon on passe à la section suivante

Une fois les coutures séparantes ouvertes, on applique la démarche suivante sur les chaînes obtenues :

1. Si la section possède 1 ou 2 bords, elle est suffisamment simple, et on la laisse inchangée
2. Si la section possède 3 bords ou plus (ex : Un tee-shirt dont les manches ont été retirées)
 - Si la section possède des coutures ouvrantes
 - On liste les coutures ouvrantes et on détermine le nombre de coutures à ouvrir pour parvenir à 2 bords, c'est-à-dire trivialement, le nombre de bords moins 2. (ex : Les côtés et les épaules)
 - On choisit parmi celles-ci en se basant sur les critères suivants :
 - (a) Symétrie entre-elles par rapport à l'axe du vêtement
 - (b) Longueur de la couture (on préférera les plus courtes)
 - Sinon, l'utilisateur a oublié des coutures, le problème est insoluble

A la fin de cette étape, le dessin n'est plus formé que de sections de vêtements possédant au plus 2 bords. On va donc pouvoir inférer la 3e dimension.

5.3 Phase III - Immersion en 3 dimensions

5.3.1 Comment exploiter la faiblesse des contraintes

Il nous a semblé nécessaire de partir sur une base simple de courbe comme support de la surface développable. Un simple cercle ou une ellipse aurait pu suffire, cependant une observation des vêtements nous montre que le bord supérieur détermine assez fermement la position du reste. D'autre part, comme

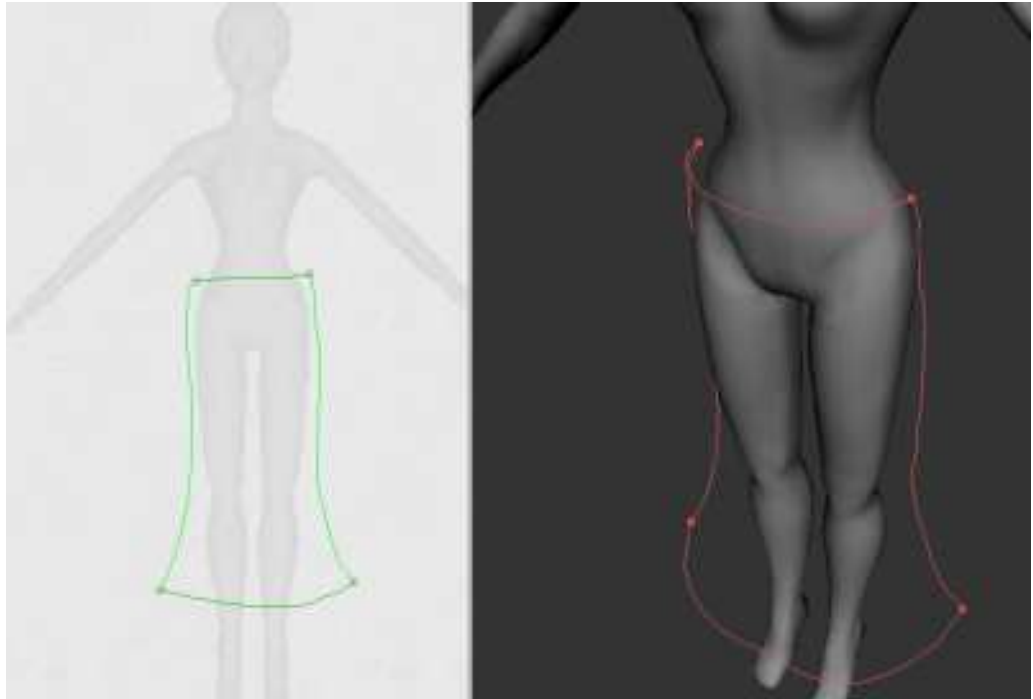


FIG. 5.2 – Phase 3 - Création des courbes support

nous le verrons à la phase IV, il était nécessaire de conserver au maximum la proximité de la surface créée à la réalité pour éviter des désagréments ultérieurs.

Ainsi on a choisi de construire en 3D la courbe du bord supérieur du vêtement selon la méthode suivante.

La position du modèle et ses dimensions étant parfaitement connues, on va se baser sur la distance au corps de la courbe, selon la méthode de Turquin [15]. On connaît aisément la distance au corps des extrémités de la courbe de bord, car elle est dans le même plan que le dessin. Par propagation de cette distance au bord tout le long de la courbe, on détermine aisément la profondeur des points. Cette détermination est rendue temps-réel grâce à un prétraitement, mené sur le modèle, du type octree.

Cependant, utiliser la même méthode pour le bord inférieur rendrait la tâche très complexe, comme nous l'avons vu. Nous avons donc choisi de nous limiter à des sections de cônes, d'où la démarche suivante :

1. On détermine la longueur du vêtement tendu à partir des longueurs des silhouettes
2. On détermine le rapport de longueur entre le bord supérieur et l'inférieur
3. On crée une courbe, homotétique à la courbe supérieure selon le rapport

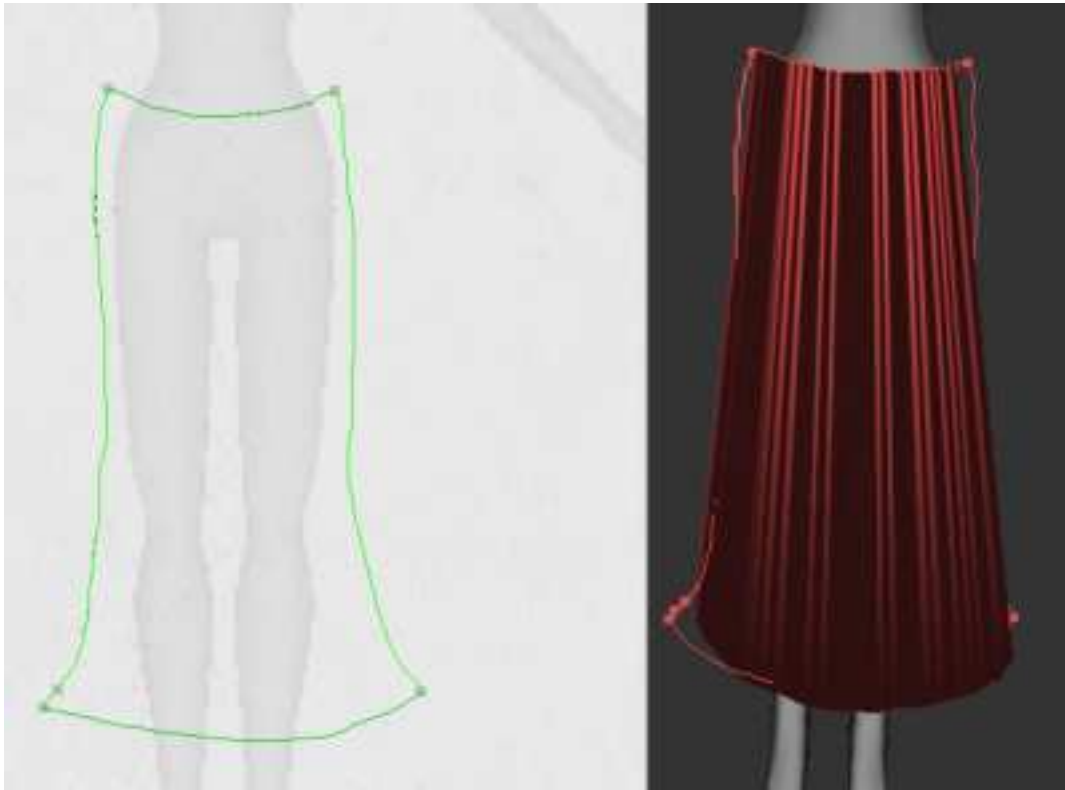


FIG. 5.3 – Phase 3 - Création des sections de cônes

précédent, à la longueur voulue du côté de la courbe basse

4. On déplace les points de cette courbe à la surface du cône qu'elle crée avec la courbe supérieure, afin de retrouver une projection dans le plan du dessin homotétique à la courbe basse dessinée.

5.3.2 Création des sections coniques et de leur patron

La démarche précédente ôte toute la difficulté du problème de développabilité de la surface. En effet, il est évident que le cône basé sur deux courbes homotétiques est développable.

Il ne nous reste donc qu'à trianguler en une rangée la section de cône obtenue, ce qui peut être fait de façon très simple, chaque point ayant déjà un équivalent sur l'autre courbe. On parcourt donc les deux courbes simultanément en les triangulant directement entre les points correspondants.

Au même moment, pendant la triangulation du vêtement, on réalise la même triangulation à plat, en conservant bien les dimensions des triangles, afin d'obtenir le patron. Là encore la tâche est immédiate et ne demande aucun calcul supplémentaire.

5.4 Phase IV - Synthèse des plis procéduraux

Cette étape, qui consiste à interfacer le résultat précédent avec la technique de déformation de Decaudin [17], n'ayant pas été implémentée, il reste à définir le processus exact de la méthode. Cependant on peut en donner ici les grandes lignes, qui sont une suite logique de ce procédé.

L'outil de base de cette phase est le patron obtenu.

Tout d'abord, on va remailler intégralement les deux surfaces, patron et vêtement en 3D. Ce maillage est réalisé en plaçant une grille dite de *buckling* sur le patron 2D, qui va choisir de façon assez régulière des points de *buckling*, c'est-à-dire de déformation, en conservant la correspondance de ces points 2D avec leurs homologues sur la surface du vêtement en pied. Le nouveau maillage relie les points de *buckling*.

La synthèse des plis sera effectuée, sur la base de la déformation du grillage, à partir des travaux de P.Decaudin ([17], [22]). C'est le rapprochement et le glissement des points les uns par rapport aux autres qui permettra la synthèse procédurale de plis réalistes.

Pour pouvoir appliquer les plis procéduraux dans notre cas, les points de contrôle devront être déplacés globalement afin de refermer les coutures qui ont été ouvertes pour engender la surface développable.

Il faut cependant prendre garde au fait que le vêtement ne peut être étiré, celui-ci étant considéré comme non-élastique, sous peine d'abérations. De plus toute cette déformation nécessite le réglage et le contrôle de nombreux paramètres. Nous envisageons, dans l'esprit maintenant bien compris de cette recherche, de les contrôler uniquement à partir des informations récupérées sur les traits des plis dans le dessin d'origine.

Chapitre 6

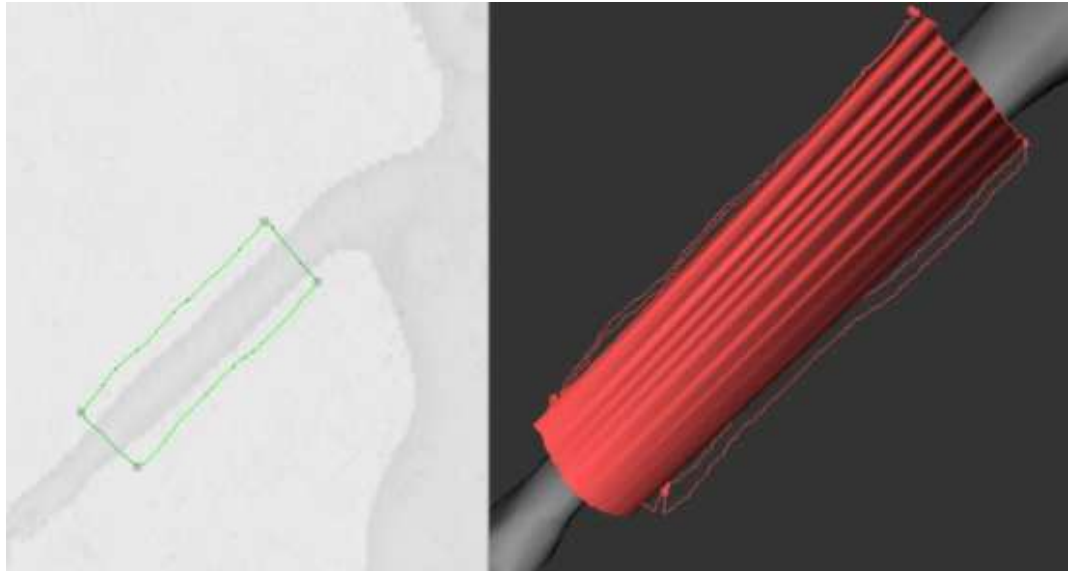
Implémentation et résultats

Le travail a été réalisé sur la base du code de E.Turquin. La phase 1, de classification des formes et coutures a été implémenté et testé avec succès. La deuxième phase a posé plus de problème en raison de la complexité des structures sous-jacentes au dessin, qui furent à l'origine de nombreux problèmes de décohérence entre les étapes. Elle est cependant implémenté, mais toujours instable.

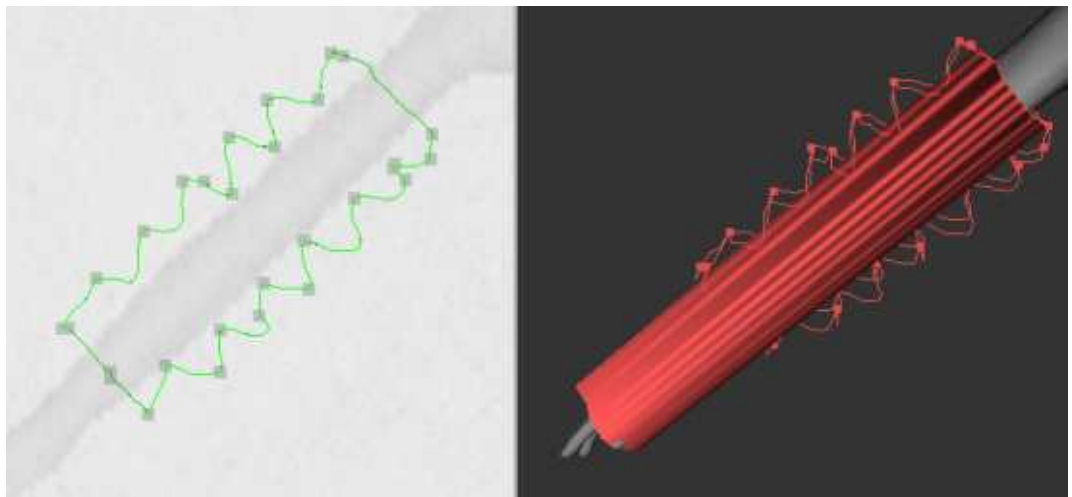
La 3e phase, de mise en 3 dimensions et de création des sections côniqes est implémenté et stable. On a encore des problèmes d'intersection entre le vêtement développable et le corps, mais nous avons opté au départ pour négliger ce point. Le cas particulier d'une section plane de vêtement (paréo, feuille de vigne ...) n'a pas été implémenté étant donnée sa singularité. De plus, la création du patron n'est pas non plus fonctionnelle, bien que sa réalisation soit très simple à mener, celle-ci découlant directement de la triangulation en 3D.

La dernière phase, également lourde en codage, n'a pu être étudiée et détaillée qu'en théorie, mais sa validité a pu être indirectement appuyée via le programme de Decaudin et al.

Voici quelques résultats obtenus.

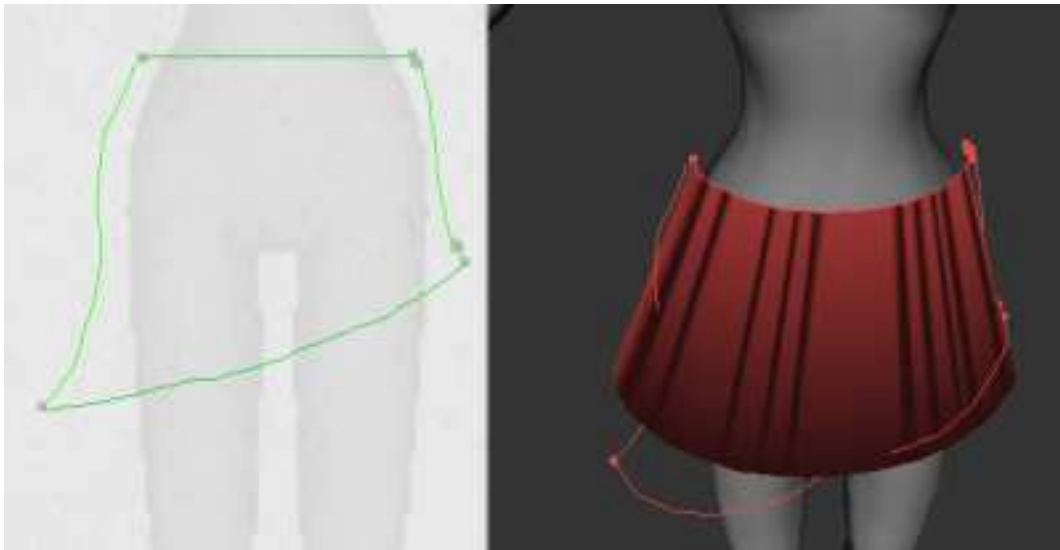


(a) Manche classique

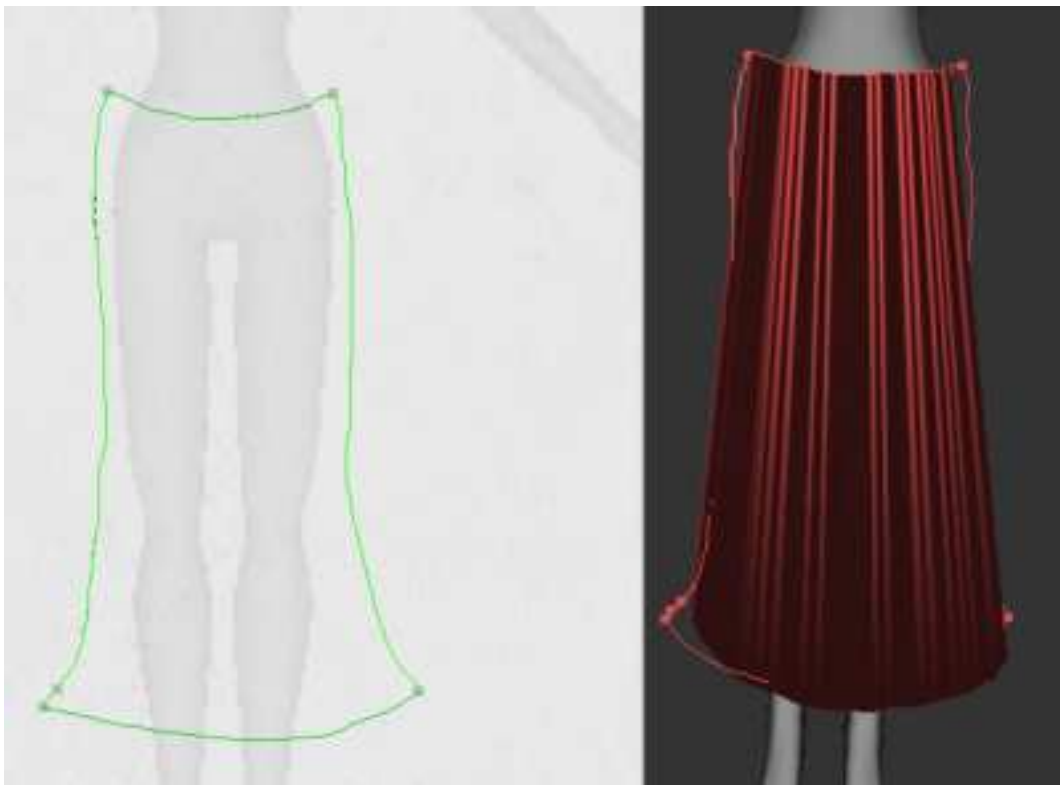


(b) Interprétation des plis latéraux de la manche

FIG. 6.1 – Prise en compte des plis d'une manche pour la formation de la surface tendue



(a) Jupe courte



(b) Jupe longue

FIG. 6.2 – Exemple de jupes réalisés en prenant compte des rapports de tailles du dessin

Chapitre 7

Conclusion

7.1 Contributions

Tout au long de ce stage de DEA - Master 2 Recherche, les domaines abordés via ce sujet furent très divers. Il en résulte que les contributions sont également diverses. On y compte, comme nous l'avons vu, la classification des plis et les techniques de reconnaissance à base d'esquisses, et diverses méthodes ayant permis la création d'un algorithme complet de synthèse de vêtements réalistes à partir d'esquisses, sans autre information ou indication que le dessin d'origine.

Concernant les objectifs initiaux de cette recherche, je ne suis pas parvenu à les mener à bout, ce qui est assez normal étant donné le volume du travail à réaliser. Cependant les contributions scientifiques ont pu être menées à bien d'un point de vue théorique, et le travail fournit de façon pratique a aussi été à la mesure du temps et du cadre d'un DEA.

Certes certaines faiblesses dans les subtilités du langage C++ ont pu être à l'origine de pertes de temps parfois importantes, cependant elles appuyent surtout l'importance qui devrait être attachée à commenter le code que l'on laisse derrière soi, chose visiblement rare. Ma connaissance du C++ était en effet suffisante pour ce travail, et les quelques cas de difficultés ont pu être résolus avec l'aide de meilleurs codeurs que moi. En revanche, je n'ai pas su prendre la mesure du temps à accorder à chacune des étapes de mon travail, et ai donc mal réparti mes tâches.

7.2 Perspectives

Une suite de ce projet est bien évidemment le codage complet de cet algorithme, auquel il manque encore certaines parties, et la validation auprès d'utilisateurs tests.

La déformation du vêtement et la formation des plis est également une piste intéressante de travail. On peut en approfondir le réalisme en étant

capable de gérer davantage de variations de plis et en les mêlant les uns les autres.

D'autre part, on peut raisonnablement imaginer gérer les replis volontaires d'un vêtement, comme les cols, ou bien vêtir le modèle de plusieurs couches de vêtements.

Références

- [1] B. Hinds and J. McCartney, Interactive garment design, *The Visual Computer*, 6, 1990
- [2] H. M. Werner, N. Magnenat-Thalmann, and D. Thalmann, User interface for fashion design, in *Proceedings of the International Conference on Computer Graphics*, 1993
- [3] T. Bonte, A. Galimberti, and C. Rizzi, A 3D graphic environment for garments design, Kluwer Academic Publishers, 2002
- [4] U. Cugini and C. Rizzi, 3d design and simulation of men garments, in *WSCG proceedings*, 2002
- [5] F. Durupnar, A 3D garment design and simulation system, Bilkent university thesis, 2004
- [6] L. Eggli, C. yao Hsu, B. D. Bruderlin, and G. Elber, Inferring 3d models from freehand sketches and constraints, *Computer-Aided Design*, 29, 1997
- [7] T. Fleisch, G. Brunetti, P. Santos, and A. Stork, Stroke-input methods for immersive styling environments, in *Proceedings of the 2004 International Conference on Shape Modeling and Applications*, 2004,
- [8] T. Igarashi, S. Matsuoka, and H. Tanaka, Teddy : a sketching interface for 3d freeform design, in *Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, 1999
- [9] RC. Zeleznik, K. Herndon, and JF. Hughes, Sketch : An interface for sketching 3d scenes, in *Computer Graphics Proceedings, SIGGRAPH'96*
- [10] D. Bourguignon, MP. Cani, G. Drettakis, Drawing for Illustration and Annotation in 3D, *Computer Graphics Forum*, 2001
- [11] L. Egglit, BD. Briiderlint, G. Elber, Sketching as a Solid Modeling Tool, *Proceedings of the Third Symposium on Solid Modeling and Applications*, 1995
- [12] TM. Sezgin, T. Stahovich, R. Davis, Sketch based interfaces : Early processing for sketch understanding *Proceedings of 2001 Perceptive User Interfaces Workshop*

- [13] T. Igarashi and JF. Hughes, Clothing manipulation, in Proceedings of the 15th annual ACM symposium on User interface software and technology, 2002
- [14] M. Xiaoyang, K. Hiroki, I. Atsumi and A. Ken, Sketch Interface Based Expressive Hairstyle Modelling and Rendering, Proceedings of the Computer Graphics International, 2004
- [15] E. Turquin, MP Cani and JF. Hughes, Sketching garments for virtual characters, Eurographics'04
- [16] CL. Wang, K. Tang, Achieving developability of a polygonal surface by minimum deformation : a study of global and local optimization approaches, The Visual Computer, 2004
- [17] P. Decaudin et al, Virtual garments : A fully geometric approach for clothing design, EG'2006
- [18] W. Frey, Boundary Triangulations Approximating Developable Surfaces that Interpolate a Closed Space Curve, 2001
- [19] CL. Wang, K.Tang, Developable Triangulation on a strip, 2005
- [20] K.Tang, CL. Wang, Modeling Developable Folds on a Strip, 2005
- [21] H. Pottmann, J. Wallner, Approximation Algorithms for Developable Surface, 1999
- [22] P. Decaudin, B. Thomaszewski, MP Cani, Virtual garments based on geometric features of fabric buckling, Avril 2005
- [23] K. Singh, E. Fiume, Wires : A Geometric Deformation Technique, 1998
- [24] C. Larboulette, MP. Cani, Ajout de détails à une animation de personnage existant : cas des plis dynamiques, CGI'2004