

Vers une approche plus intuitive des systèmes de C.A.O.

E. Malik*, Y. Gardan*, E. Perrin**

I.F.T.S.* / Université de Metz**
Equipe C.M.C.A.O.

erwan.malik@univ-reims.fr gardan@infonie.fr
perrin@sciences.univ-metz.fr

Résumé : *Le projet DIJA propose, en plus d'être dédié à Internet, une approche synthétique de la conception de solides contrairement aux méthodes de conception classiques plus constructives. Cette méthode a l'avantage d'être adaptée au design et d'éviter certaines imprécisions de calcul pouvant survenir lors d'une conception par assemblage. La mise en œuvre des déformations demande de trouver un modèle spécifique qui s'adapte à notre représentation des objets. Ceux-ci sont constitués d'éléments de dialogue couplés à des règles de construction. Nous distinguons deux types de déformations : les déformations directes qui peuvent modifier directement les éléments de dialogue et les déformations nécessitant l'utilisation d'un modèle intermédiaire. Le modèle de déformation doit donc nous permettre de modifier la forme d'un objet en utilisant des actions simples et naturelles (étirement, torsion, compression, ...) tout en respectant une cohérence physique. Nous avons répertorié différentes méthodes en analysant, pour chacune d'elles, la manière dont elles pourraient s'adapter à nos besoins. Notre étude porte sur les éléments finis, les masses-ressorts, les particules et les smoothed particle hydrodynamics. En conclusion, nous abordons les orientations actuelles du projet pour le contrôle des déformations en nous intéressant à l'interface homme-machine. Nous montrons comment une interaction plus qualitative peut aider l'utilisateur dans les étapes conduisant à la définition de la forme souhaitée.*

Mots-clés : C.A.O., Interface Homme-Machine, Eléments finis, Particules, Masses-Ressorts, Déformation, Logique floue

1 Introduction

Traditionnellement, les systèmes de C.A.O. sont bâtis autour d'une approche constructive. Pour créer un objet, l'utilisateur ajoute des éléments les uns aux autres, par exemple par combinaison booléenne, jusqu'à ce qu'il obtienne la forme désirée. Cette approche nécessite d'avoir une vision précise de l'enchaînement des étapes nécessaires à la réalisation de celui-ci. Or, cette condition n'est pas toujours vérifiée. Un utilisateur novice dans le maniement des systèmes de C.A.O. n'aura sans doute pas assez d'expérience pour espérer concevoir une pièce aux formes complexes. L'inconvénient majeur survient quand on s'intéresse aux premières phases de conception, celles concernant le design de l'objet. L'important est alors d'avoir un point de vue global concernant sa future forme et non la manière dont celui-ci va être construit [GPD⁺02].

Dans ce domaine, le projet DIJA souhaite apporter une approche innovante. Nos objectifs principaux sont de rendre la création assistée par ordinateur plus intuitive, que ce soit pour permettre une prise en main plus facile pour l'utilisateur néophyte ou pour permettre au *designer* de se concentrer sur la forme de son objet plutôt que sur les outils proposés par le système. Pour y parvenir le système DIJA est basé sur une méthode synthétique, par opposition aux méthodes constructives. L'utilisateur commence par choisir une forme s'approchant de celle qu'il désire puis il la déforme successivement jusqu'à aboutir à la forme souhaitée. Il est à noter que le fait de choisir une forme initiale éloignée de la forme souhaitée n'a aucune incidence sur notre méthode ; cela ralentit seulement le processus.

Cette démarche place les déformations au cœur de l'architecture du système DIJA. En effet, d'une part il faut un modèle de déformation qui soit puissant (comportement réaliste, possibilités de déformation variées, ...) et facile d'utilisation (paramètres aisés à appréhender et à manipuler). En outre, le modèle se doit de tirer le maximum parti des particularités de DIJA qui sont principalement liées à la structure des objets. Celle-ci est basée sur des éléments de dialogue (fibre, ligne caractéristique, contour caractéristique) [DDGP02]. Par exemple un cylindre peut être composé de deux contours caractéristiques définissant sa face supérieure et inférieure, d'une fibre qui aura

le rôle d'axe de révolution et d'une autre servant de profil (cette représentation n'est pas la seule). Ces éléments sont liés ensemble par des règles de construction dont l'application permet de construire le solide. Notre objectif est d'étudier l'outil de déformation de DIJA dont l'action se situe au niveau des éléments de dialogue. Naturellement, des problèmes de cohérence peuvent survenir lors d'une déformation ce qui peut induire des difficultés pour reconstruire un objet valide une fois un élément de dialogue déformé. Malgré cela, et bien que la reconstruction soit une étape très importante dans notre processus, nous n'aborderons pas cette problématique dans ces pages.

Nous nous proposons dans cet article de passer en revue différents modèles de déformation classiquement utilisés. Nous essayons de dégager les avantages et les inconvénients de chacun d'eux pour déterminer les possibilités d'adaptation à notre projet. Nous continuons en exposant notre approche concernant le contrôle de ces déformations via l'interface de DIJA.

2 Positionnement du Problème

Les déformations dans le projet DIJA sont basées sur l'architecture exposée dans la figure 1. Les objets sont construits à partir d'éléments de dialogue couplés à des règles de construction. Nous faisons la distinction entre deux types de déformations. D'une part, il y a les déformations qui sont directement applicables aux éléments de dialogue que nous appelons déformations directes. D'autre part nous trouvons des déformations, comme celle résultant d'une action telle que "bomber", qui ont besoin de s'appuyer sur un modèle intermédiaire afin d'avoir un comportement cohérent. En effet, il peut être utile d'appliquer des déformations à une surface, ou à un volume calculé à partir de l'élément que l'utilisateur souhaite manipuler. La déformation est, dans ce cas, calculée sur le volume ou la surface qui sera ensuite traité pour extraire l'élément de dialogue final. Afin de clarifier la situation, nous appelons "entité" indifféremment un élément de dialogue (dans le cas d'une déformation directe) ou le volume ou la surface utilisée par le modèle de déformation intermédiaire.

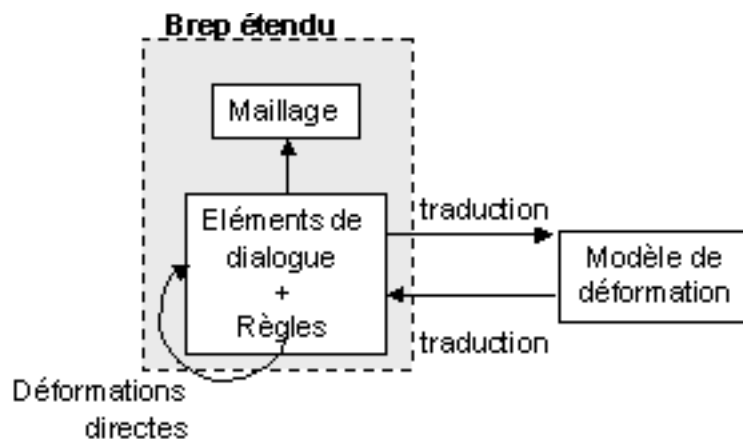


FIG. 1 – Architecture des déformations

Les critères qui vont nous servir à étudier les méthodes de déformations sont :

- La souplesse d'utilisation :
 - La possibilité de modifier n'est pas une restriction.
 - Le nombre et la complexité des paramètres est à prendre en compte.
- La stabilité numérique.
- Les contraintes temporelles.

3 Modèles de déformation

3.1 Eléments finis

Les éléments finis sont traditionnellement utilisés en physique pour simuler le comportement des matériaux soumis à des forces [Cot97, TC97]. Comme on ne peut pas résoudre les équations qui régissent le comportement d'un matériau en milieu continu, l'entité est discrétisée pour obtenir une représentation sous forme de maillage de l'entité initiale. Les forces de déformation sont ensuite calculées en chacun des nœuds [Gay89]. L'objectif est de minimiser l'énergie contenu dans le système afin de trouver l'état d'équilibre. Pour cela, on cherche à résoudre un système d'équations afin de trouver comment les points de notre réseau vont se déplacer sous l'effet des contraintes. Cette technique fait donc appel à une méthode de résolution implicite.

La méthode a l'avantage d'être très précise, par contre, elle est relativement complexe à mettre en œuvre. Son inconvénient majeur reste son coût algorithmique prohibitif. En effet, chaque étape de déformation nécessite une inversion de matrice dont la taille varie en fonction du carré du nombre de nœuds. De plus, ce système d'équation est basé sur les relations topologiques qui existent entre chaque nœud du réseau. Il faut donc prendre en compte les problèmes liés aux auto-intersections ce qui alourdit encore le coût en temps de calcul [HFS⁺01]. Néanmoins, [Cot97] propose une approche originale avec une formulation explicite de la méthode des éléments finis. Son objectif est de définir un modèle anatomique déformable en temps réel. Les méthodes basées sur l'utilisation interactive de déformation via les éléments finis effectuent des pré-calculs en fonction de l'entité qui doit être déformée.

Bien que cette méthode offre des résultats très réalistes et très précis, son coût de calcul en fait une méthode inadaptée à nos objectifs. En outre l'utilisation de pré-calculs ne nous convient pas non plus car la forme de notre entité est définie de manière dynamique par l'utilisateur. Par ailleurs, il est difficile de changer la topologie de l'entité au cours du temps.

3.2 Masses - Ressorts

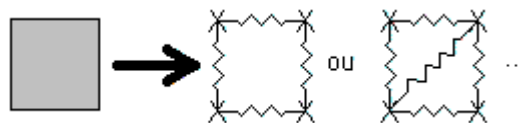


FIG. 2 – Transformation d'une entité continu en un système masses - ressorts

Il s'agit d'une méthode qui est utilisée depuis longtemps dans le domaine de l'animation (comme par exemple pour l'animation d'un visage chez [PB81]). On discrétise l'entité afin d'obtenir une représentation sous forme d'un ensemble de points auxquels on associe une masse ponctuelle (cf. figure 2). Chacun de ces points est relié à n de ces voisins. Pour décrire le comportement de l'objet, on exprime le bilan des forces appliquées à chaque point. Ce bilan s'exprime via l'équation suivante [Deb00] :

$$\vec{f}_i = \sum_{\text{voisins } j} k_{i,j} (l_{i,j} - l_{i,j}^{\text{initiale}}) \frac{\vec{IJ}}{l_{i,j}} \quad (3.1)$$

$k_{i,j}$ représente la raideur du ressort entre le point i et le point j , $l_{i,j}$ est la distance séparant les deux points. Cette équation décrit le comportement d'un ressort simple mais on peut aussi utiliser des ressorts plus complexes (avec amortissement, ressort en torsion, ...).

La méthode de résolution classique est une méthode explicite (méthode de résolution itérative) ce qui signifie que

les résultats dépendent du choix d'un intervalle de temps. A chaque pas de temps, on calcule le bilan des forces pour l'ensemble des points du réseau. La valeur des déplacements est ensuite modifiée en fonction de l'intervalle temporel (seule une fraction du déplacement initial est conservée). Les points sont ensuite effectivement déplacés. Au terme de cette phase, on teste la stabilité du nouveau système ; si le système n'est pas stable, le processus est répété jusqu'à satisfaction de cette contrainte.

Le principal avantage de cette méthode réside dans sa simplicité d'utilisation et dans son caractère intuitif en grande partie du à la méthode de résolution explicite. De plus, en prenant certaines précautions, elle peut converger rapidement vers une solution acceptable. Toutefois cette méthode n'est pas exempte de défauts. En effet, dans sa version explicite, elle dépend grandement de la rigidité du système étudié. Plus le système est rigide, plus le pas de temps d'intégration doit être faible entraînant ainsi un nombre d'itérations grand afin d'éviter des divergences éventuelles. On peut aussi ajouter des tests chargés d'empêcher des changements trop brutaux dans notre système. Malgré cela, l'instabilité n'est pas levée : on ne peut garantir le bon fonctionnement de la méthode quelle que soit la rigidité du système. Une solution serait de changer la méthode de résolution et d'opter pour une méthode implicite comme celle proposée par [BW98] pour modéliser le comportement avec une rigidité élevée.

On trouvera une étude comparative portant sur les différentes méthodes de résolutions dans [VMT01]. Celle-ci analyse les points forts et les inconvénients de la méthode explicite du point milieu (*explicit midpoint method*), de la méthode explicite de Runge–Kutta et de la méthode d'Euler inverse qui est une méthode implicite.

La méthode des masses–ressorts est bâtie sur un réseau préétabli (les points et leurs liaisons), ce qui rend difficile un changement de topologie de l'objet.

La méthode est simple et peut être efficace si on prend soin de limiter la rigidité du système. Nous pouvons envisager de l'utiliser pour déformer des éléments de dialogue en appliquant des forces de déformations à un ensemble de points reliés (cas où on ne connaît pas l'élément final), ou en déplaçant certains points d'un élément de dialogue de façon à obtenir les répercussions sur la globalité de l'objet.

En outre, déterminer la raideur associée à chaque ressort de façon à obtenir l'effet souhaité n'est pas aisé. Cette méthode offre des possibilités limitées concernant les changements de topologies. En effet, une fois celle-ci fixée, il est difficile d'en changer au cours d'une déformation sous peine d'aboutir à une forme non cohérente.

3.3 Particules

Il s'agit d'une extension du modèle masses–ressorts [Deb00]. Il faut discrétiser l'entité afin d'obtenir un ensemble de points la caractérisant. Ici les liens entre les masses ponctuelles ne sont plus préétablis mais évoluent dynamiquement [WH94]. Chaque particule peut interagir avec l'ensemble des autres particules.

Les forces qui régissent ces interactions sont de type attraction–répulsion. La figure 3 représente la force exercée par une particule i sur une particule j en fonction de la distance les séparants (d) :

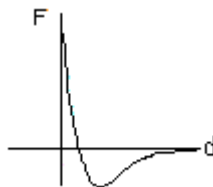


FIG. 3 – Force d'interaction de type Lennard–Jones

Comme avec les masses–ressorts, pour connaître le comportement de l'objet, on exprime le bilan des forces appliquées à chaque particule puis on intègre les résultats au système afin d'obtenir la nouvelle position des particules dans l'espace. Le processus peut être stoppé une fois atteint un état stable. Il s'agit donc d'une méthode explicite. Voici l'algorithme utilisé pour cette méthode :

– Tant que non(Etat Stable)

- Pour chaque particule i
 - Pour chaque particule j
 - Calculer la force exercée par la particule j sur la particule i
 - Mettre à jour la somme des forces appliquées sur la particule i
 - Calculer la force exercée par la particule i sur la particule j
 - Mettre à jour la somme des forces appliquées sur la particule j
 - Fin pour
- Fin pour
- Mise à jour des positions des particules en fonctions des forces qui leurs sont appliquées.
- Fin Tant que

Une nouvelle fois, l'intérêt de cette méthode réside en partie dans sa simplicité. A l'aide d'une loi de comportement simple au niveau atomique, on obtient un comportement global complexe. Cette méthode autorise les changements de topologie en fonction du choix de l'utilisateur.

[JV02] ont développé une méthode permettant de passer d'un modèle BRep définissant l'objet à un modèle physique à particules (en réalité, leur modèle se situe entre les systèmes masses-ressorts et les systèmes à particules) sur lequel sont effectuées les déformations pour revenir au BRep au moment de l'affichage.

Dans [ST92], les particules sont orientées et sont uniquement réparties sur la surface de l'objet. Les forces qui les régissent sont basées sur des critères géométriques locaux. Les centres des particules sont ensuite maillés comme un nuage de points mais en tenant compte de l'orientation des particules pour diminuer les incohérences topologiques. Leur méthode permet des déformations de la surface avec changement de topologie à l'aide d'outils virtuels.

Par contre, la complexité des méthodes à particules peut s'avérer un problème pour un traitement en temps réel. Dans sa version de base (tel qu'il à été exposé précédemment) l'algorithme a un coût en $O(n^2)$ (n étant le nombre de particules). En effet, chaque particule peut théoriquement interagir avec n'importe quel autre de ces voisins. En réalité, la force d'interaction tend vers zéro lorsque la distance devient grande. Une technique revient alors à attribuer un rayon d'action à chacune des particules au delà duquel il n'y a plus d'interaction possible. On peut ainsi partitionner l'espace de façon à limiter le coût de l'algorithme en ne travaillant qu'avec les voisins "utiles" d'une particule ramenant ce coût à une complexité quasi linéaire.

Le changement de topologie est l'avantage principal de cette méthode vis à vis des systèmes masses-ressorts. Par contre, cela se fait au prix d'une plus grande complexité de l'algorithme. Les particules n'ayant pas de relations topologiques privilégiées entre elles, il est difficile d'assurer la conservation des arêtes vives au cours des déformations, ou de conserver certaines distances. De plus, cela signifie que déformer un élément de dialogue (qui par définition est un élément de dimension un) implique l'utilisation d'un modèle intermédiaire dans lequel la méthode s'appliquera sur une surface ou un volume.

3.4 Smoothed Particle Hydrodynamics

La première étape consiste à discrétiser le volume de l'objet en un ensemble de particules. Chacune de ces particules représente un point d'échantillonnage du volume qui l'entoure [Des97, Mon92]. On peut alors exprimer les forces s'exerçant sur une particule comme suit :

$$F_i^{\nabla P} = -m_i \sum_{voisinsj} m_j \left(\frac{P_i}{\rho_i^2} + \frac{P_j}{\rho_j^2} \right) \nabla_i W_h^{i,j} \quad (3.2)$$

La particule i a un rayon d'influence noté h . W_h est un filtre de lissage, $\nabla_i W_h^{i,j}$ représente le gradient de $W_h(X_i - X_j)$ par rapport à la position de la particule i . P_k est la valeur du champ de pression au point k . Ce champ de pression dépend directement de l'équation d'état du matériau. Nous pouvons l'écrire sous la forme :

$$P = k(\rho - \rho_0) \quad (3.3)$$

Ce qui revient à appliquer des forces de pressions quand la densité du matériau diffère de sa densité initiale (ρ_0). Enfin, pour calculer la densité associée à chaque particule on utilise l'équation suivante :

$$\rho_i = \sum_{voisins_j} m_j W_h(X_i - X_j) \quad (3.4)$$

Il nous reste à déterminer la forme du filtre de lissage W_h dont le rôle est d'atténuer les hautes fréquences pouvant perturber l'intégration. Généralement, ce filtre est caractérisé par une approximation spline de la Gaussienne avec un support fini de rayon $2h$.

On pourra aussi ajouter des forces dissipatives au système afin d'améliorer la stabilité du système.

Le modèle SPH offre les mêmes avantages que le modèle à particules standard (principalement, il rend possible le changement de topologie). En plus, il permet d'assurer une gestion de l'équation d'état qui garantit un plus grand réalisme lors des déformations de l'objet [Des97, Deb00].

De même, il est nécessaire, pour appliquer les déformations, d'utiliser un modèle intermédiaire dans lequel on traduit les éléments de dialogue afin de pouvoir travailler sur une surface ou un volume avant d'obtenir l'élément de dialogue final. Malheureusement cette méthode s'adapte mal aux frontières définies (elle a été développée pour des gaz) [Mon92, MPT93]. Or, c'est le cas pour toutes les entités que nous souhaitons déformer ! Le problème vient du fait que la densité chute sur les bords de l'objet ce qui provoque donc un mouvement des particules situées à l'intérieur du solide vers les bords de celui-ci (le répartition devient non-homogène). Pour contrer ce phénomène [Des97] utilise une autre équation pour exprimer la densité dans le matériau (équation de continuité basée sur la conservation de la masse) qui permet alors de disposer d'une densité valide dans l'objet.

La première modification apportée se rapporte au calcul de la densité associée à une particule. L'équation 3.4 calcule cette densité en fonction des voisins de la particule, or près des bords leur nombre chute. Il convient donc d'exprimer différemment celle-ci. Pour cela, il utilise les propriétés de l'équation de continuité (hydrodynamique) en exprimant la variation de la densité au niveau local sous la forme :

$$\dot{\rho}_i = -\rho_i \operatorname{div}(v)_i \quad (3.5)$$

où $\operatorname{div}(v)$ représente la divergence de la vitesse avec :

$$\operatorname{div}(v)_i = \frac{1}{\rho_i} \sum_{voisins_j} m_j (v_j - v_i) \cdot \nabla_i W_h^{i,j} \quad (3.6)$$

Il suffit alors de définir la densité ρ_i initiale pour chaque particule et d'intégrer cette relation au cours du temps. On dispose ainsi d'une densité correcte même au niveau des bords de l'objet.

La deuxième modification concerne la définition du filtre de lissage qui devient :

$$W_h(X) = \frac{15}{\pi(4h)^3} \begin{cases} (2 - \frac{\|X\|}{h})^3 & \text{si } 0 \leq \|X\| \leq 2h \\ 0 & \text{si } \|X\| > 2h \end{cases} \quad (3.7)$$

Ce qui permet d'avoir un gradient non nul quand la distance entre deux particules tend vers zéro (si le gradient était nul, comme c'était le cas précédemment, on pourrait assister à des fusions de particules).

On retrouve dans cette méthode les caractéristiques générales des systèmes à particules. Comme elles, cette méthode est plus adaptée aux déformations appliquant des forces à certains points. Ces caractéristiques nous encouragent à utiliser les SPH pour déformer des entités via un modèle intermédiaire, en permettant les changements de topologie et où nous envisageons un système qui se raffinerait en fonction des forces appliquées (particule de grande dimension dans les zones à faible déformation et de petite dimension là où les déplacements sont plus importants).

3.5 Bilan

Après analyse, la modélisation par éléments finis nous apparaît trop coûteuse (algorithmiquement) malgré le fait qu'il existe des méthodes visant à accélérer le processus. Malheureusement ces méthodes ne sont pas applicables dans notre cas ce qui nous pousse à rejeter cette approche. Les trois modèles suivant qui font tous partie de la famille des interactions entre masses [Des97] nous semblent plus prometteur. Le modèle masses-ressorts offre un bon compromis entre possibilités et simplicité (surtout à travers sa version explicite). Malheureusement, cela s'accompagne de quelques restrictions concernant la rigidité associée aux ressorts ainsi qu'à la construction même du réseau ; c'est de lui dont dépendra la cohérence du comportement de la déformation. Il faut noter cependant que ce modèle est celui qui semble s'adapter le mieux à l'architecture du projet DIJA. En effet, il est relativement facile d'exprimer les éléments de dialogue en un réseau de masses-ressorts afin de leur appliquer directement les déformations, ce qui n'est pas le cas des modèles suivants. Le deuxième modèle de la catégorie des interactions entre masses, le modèle à particule, est le premier modèle à offrir de réelles possibilités de changement dynamique de topologie. Malgré cela, cette méthode souffre d'un manque de rigueur dans les résultats dû à sa loi de comportement arbitraire (dans le sens où elle n'est pas basée sur les propriétés réelles d'un matériau). Pour conclure, nous avons abordé le formalisme des SPH. Ce modèle apporte une plus grande rigueur grâce à une gestion réaliste de l'équation d'état du matériau. Malheureusement, pour l'utiliser, il faut passer par un modèle intermédiaire afin de travailler sur une surface ou un volume avant de pouvoir obtenir un élément de dialogue déformé. Toutefois, sa puissance et ses résultats réalistes font de ce modèle un candidat idéal dans le cadre des déformations reposant sur un modèle intermédiaire. Concernant les déformations applicables directement, nous menons des recherches afin de développer un nouveau modèle de déformation qui répondrait d'une meilleure façon à nos critères.

4 Déformations floues

4.1 Introduction

La plupart des logiciels de CAO actuels utilise la géométrie comme le modèle idéal de représentation d'un objet. Ce faisant, cette représentation cristallise les idées de l'utilisateur car elle représente une forme exacte [LL97]. Malheureusement, cela s'avère un frein très important pour les stylistes qui manipule des formes dont le rôle est de véhiculer des idées plus que des informations purement géométriques [HSZ01, DG97, LLD01]. D'autant plus que ces formes peuvent avoir des caractéristiques imprécises ou qualitatives. Heureusement, il existe des moyens de travailler avec de tels concepts. En effet, la logique floue permet de manipuler des informations qui sont qualitatives, imprécises, incertaines et/ou incomplètes [Zad97]. Avec DIJA, notre première contribution à l'utilisation de mots et de notions floues comme vecteurs d'information se situe au niveau des déformations. Nous souhaitons effectivement proposer à l'utilisateur le moyen d'exprimer avec des termes en langage naturel les déformations qu'il désire réaliser. Nous avons donc intégré des actions telles que "bomber", "étirer", ... Ces termes font références à des connaissances préalablement introduites dans le système par un expert. Au stade actuel de nos travaux, une déformation comme "bomber" s'applique sur un contour en deux dimensions d'un objet de révolution.

4.2 Exemple de déformation

Par exemple, l'utilisateur peut souhaiter "bomber" un élément de dialogue qu'il aura préalablement sélectionné. Premièrement, il choisit parmi un ensemble proposé une loi de comportement. Cette loi va caractériser le comportement de la déformation au cours du temps. Ensuite, il doit définir qualitativement l'action "bomber" grâce à des adverbes tel que : "plus", "moins" ou à des combinaisons d'adverbes : "beaucoup moins", "beaucoup plus". Une fois ces paramètres réglés, les informations sont communiquées à un moteur d'inférence flou dont le rôle est de supprimer les paramètres flous pour en permettre une représentation graphique.

4.3 Observations

Malgré le fait que notre système soit pour le moment extrêmement simplifié, nous voyons apparaître un certain nombre de difficultés se rapportant au comportement des déformations ainsi que d'autres d'ordre géométrique. Par

exemple, nous pouvons bomber une forme à la manière d'un ballon dans lequel on souffle, mais aussi à la manière d'un emboutissage avec un objet circulaire. Si nous appliquons ce style de déformation à un segment, nous le verrons se déformer progressivement jusqu'à prendre la forme d'un demi-cercle. Passé ce stade, le système doit proposer des choix à l'utilisateur afin que celui-ci définisse le comportement de sa déformation.

5 Conclusion et perspectives

Le projet DIJA est un système de CAO dont les objectifs sont de rendre la création d'objets plus intuitive grâce à une approche synthétique. Cette approche est une approche modificatrice, ce qui signifie que l'utilisateur part d'une forme initiale puis la déforme jusqu'à obtenir l'objet souhaité. Cette démarche permet à l'utilisateur de se focaliser sur des questions d'aspect (directement lié au design) plutôt que sur des plans de construction comme c'est le cas avec la méthode constructive. Les déformations sont donc un élément situé au cœur du projet. Pour les réaliser, nous avons défini des éléments de dialogue sur lesquels nous nous basons pour construire la silhouette de l'objet. La déformation d'un élément de dialogue implique une déformation locale ou globale de la forme de l'objet. Il est donc nécessaire de proposer une interaction pour que l'utilisateur puisse manipuler simplement les éléments de dialogue. Le modèle sur lequel s'appuient ces déformations doit être suffisamment puissant, pour permettre un grand nombre d'interactions, et réaliste pour offrir des comportements cohérents lors des déformations. Dans cet optique, nous nous sommes premièrement intéressé à plusieurs modèles couramment utilisés afin d'en dégager les caractéristiques principales. En conclusion, nous avons retenu le modèle SPH pour ses possibilités et sa robustesse (déformations utilisant un modèle intermédiaire). Toutefois, nous menons activement des recherches pour développer un modèle de déformation qui soit capable de manipuler directement nos éléments de dialogue tout en palliant aux différents problèmes rencontrés avec l'utilisation des masses-ressorts. Dans un deuxième temps, nous avons évoqué le rôle des mots dans le domaine de la conception assistée par ordinateur. Traditionnellement, la CAO fait appel à des concepts purement géométriques qui sont caractérisés principalement par la précision, la complétude et l'aspect quantitatif. Or, des études ont montré que de telles notions étaient éloignées des considérations de l'utilisateur lors des phases de design. Effectivement lors des premières phases de la conception la forme d'un objet véhicule avant plus de sens que son aspect purement géométrique. Notre premier pas dans ce sens a été de proposer une interface homme-machine pour contrôler certaines déformations basées sur des notions floues. L'utilisateur souhaitant modifier un objet suivant une de ces déformations choisit une loi de comportement puis sélectionne un ou des termes modificateurs qui donnent la force de la déformation. Les résultats que nous avons obtenus jusqu'à présent sont prometteurs notamment suite à l'exposition d'une maquette à l'occasion du salon international de la CAO de 2002.

Nos recherches actuelles se portent sur la réalisation d'une interface homme-machine intuitive capable de prendre en compte des déformations impliquant des changements de topologie dans l'objet. De plus, nous poursuivons nos études sur les déformations à caractère flou. Nous souhaitons à présent disposer d'un modèle de l'objet imprécis bâti en parallèle du modèle géométrique.

Références

- [BW98] D. Baraff and A. Witkin. Large steps in cloth simulation. *Computer Graphics*, 32(Annual Conference Series):43–54, 1998.
- [Cot97] S. Cotin. *Modèles Anatomiques Déformables En Temps-Réel*. PhD thesis, INRIA Sophia Antipolis, Novembre 1997.
- [DDGP02] F. Danesi, L. Denis, Y. Gardan, and E. Perrin. Basic components of the DIJA project. In *Proceedings of the Seventh ACM Symposium on Solid Modeling and Applications*. ACM Press, 2002.
- [Deb00] G. Debunne. *Animation Multirésolution D'objets Déformables En Temps-Réel, Application À la Simulation Chirurgicale*. PhD thesis, Institut National Polytechnique de Grenoble, Décembre 2000.
- [Des97] M. Desbrun. *Modélisation et Animation de Matériaux Hautement Déformables En Synthèse d'Images*. PhD thesis, INP Grenoble, Décembre 1997.
- [DG97] T.H. Dani and R. Gadh. Creation of concept shape designs via a virtual reality interface. *Computer-Aided Design*, 29(8):555–563, August 1997.

- [Gay89] Gay. *Une Approche Simple Du Calcul Des Structures Par la Méthode Des Éléments Finis*. Hermes Sciences, 1989.
- [GPD⁺02] Y. Gardan, E. Perrin, F. Danesi, L. Denis, N. Gardan, F. Heschung, E. Malik, M. Reimeringer, and R. Stock. First operational systems based on the DIJA project. In *Applied Modelling and Simulation AMS'2002*, A paraître, 2002.
- [HFS⁺01] G. Hirota, S. Fisher, A. State, C. Lee, and H. Fuchs. An implicit finite element method for elastic solids in contact. In *Proceedings of Computer Animation 2001*. CA. IEEE Computer Society, 2001.
- [HSZ01] J. Liu H. Shu and Y. Zhong. A preliminary study on qualitative and imprecise solid modelling for conceptual shape modelling. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 14(2):255–263, April 2001.
- [JV02] J. Jansson and J.S.M. Vergeest. A discrete mechanics model for deformable bodies. *Computer-Aided Design*, 34(12):913–928, October 2002.
- [LL97] B. Lawson and S. Ming Loke. Computers, words and pictures. *Design Studies*, 18(2):171–183, April 1997.
- [LLD01] S. W. Lim, B. S. Lee, and A. H. B. Duffy. Incremental modelling of ambiguous geometric ideas (i-MAGI): Representation and maintenance of vague geometry. *Artificial Intelligence in Engineering*, 15(2):93–108, April 2001.
- [Mon92] J.J. Monaghan. Smoothed particle hydrodynamics. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 30:543–574, 1992.
- [MPT93] T.J. Martin, F.R. Pearce, and P.A. Thomas. An owner's guide to smoothed particle hydrodynamics. Available on Sissa, 1993.
- [PB81] S. Platt and N. Badler. Animating facial expressions. In *Proceedings of SIGGRAPH'81*, pages 245–252, July 1981.
- [ST92] R. Szeliski and D. Tonnesen. Surface modeling with oriented particles. In *SIGGRAPH'92*, pages 185–194, 1992.
- [TC97] J. Turner and C. Chaillou. Utilisation des éléments finis pour simuler les interactions aiguille-tissus humains. In *Actes Du 5ème Séminaire Du Groupe de Travail Animation et Simulation*, pages 101–107, mars 1997.
- [VMT01] P. Volino and N. Magnenat-Thalmann. Comparing efficiency of integration methods for cloth animation. In *Proceedings of CGI'01*, Hong-Kong, July 2001.
- [WH94] A. Witkin and P. Heckbert. Using particles to sample and control implicit surfaces. In *SIGGRAPH'94*, volume 28, pages 269–278, 1994.
- [Zad97] L.A. Zadeh. Toward a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic. *Fuzzy Sets and Systems*, 90(2):111–127, September 1997.