

# Surfaces implicites décrites par des atlas de discoïdes

Didier Arquès, Sylvain Michelin et Benoît Piranda

Université de Marne la Vallée, 5 Boulevard Descartes, Champs sur Marne  
F-77454 Marne la Vallée Cedex 2

{arquès,michelin,piranda}@univ-mlv.fr

**Résumé :** *Cet article propose une nouvelle approche pour la reconstruction de surfaces. Considérant qu'une surface est totalement recouverte par un atlas de disques qui peuvent se superposer, ce modèle permet de définir un ensemble d'éléments de surfaces implicites qui se joignent parfaitement pour obtenir une surface approchant la surface d'origine. Ce modèle permet de maîtriser très simplement la continuité de la surface au niveau des jointures des éléments de surfaces implicites. Nombre de contraintes topologiques induites par les modèles classiques n'apparaissent plus dans ce modèle qui offre une solution simple et naturelle pour reconstruire des surfaces complexes.*

**Mots-clés :** modélisation, reconstruction de surfaces, surfaces implicites, atlas de disques.

## 1 Introduction

La modélisation de surfaces est un sujet largement couvert en synthèse d'images. Les méthodes les plus utilisées reposent sur la définition de maillages polygonaux [FDFH90]. Ces méthodes qui définissent les surfaces par un ensemble de sommets et d'arêtes présentent dans la pratique [SP94] de nombreux inconvénients. En particulier lors de la phase de rendu, de telles surfaces font apparaître des défauts dans les directions parallèles aux arêtes. Les méthodes de subdivision [Man88] tentent de remédier à ces problèmes mais la conservation des contraintes de voisinage entre facettes lors des subdivisions rend ces traitements très complexes. Ces problèmes apparaissent de façon similaire lorsque l'on reconstruit un maillage de facettes à partir d'un nuage de points [Boi84].

Une solution alternative est apportée par les surfaces splines [BB89] et nurbs [ARD89] qui décrivent une surface à l'aide d'un maillage de petites surfaces définies par des polynômes. Ces modèles permettent de construire une plus grande variété de surfaces mais la détermination des points de contrôle pour obtenir la surface désirée et en particulier imposer un degré de continuité constitue l'inconvénient majeur de cette méthode [Wat93].

Les surfaces implicites proposent une solution efficace intégrant la gestion de la continuité. Ce modèle consiste à définir une surface comme une solution d'une équation implicite. L'approche classique consiste à construire un squelette qui dirige la surface implicite, l'exemple le plus simple de squelette est celui utilisé pour les blobs [Bli82]. Cette approche souffre de trois inconvénients majeurs. Tout d'abord, la modélisation n'est guère naturelle, il est difficile d'imaginer, a priori, la surface obtenue à partir d'un squelette donné. Ensuite, cette méthode impose de considérer toute surface comme le contour externe d'un objet 3D. Enfin, elle produit des surfaces très arrondies ne permettant pas, par exemple, de définir des arêtes franches.

Plus récemment, plusieurs travaux intéressants ont présenté des solutions combinant les approches précédentes. Ainsi Szeliski et Tonnesen [ST92] proposent d'utiliser des disques (appelées particules orientées) pour construire un maillage régulier permettant de construire une surface implicite. Ces particules orientées interagissent par des forces d'attraction et de répulsion pour évoluer vers un état stable. De plus ces particules peuvent admettre des modifications (allongement, découpe, jonction) imposées lors d'un processus de modélisation. De même, Witkin et Heckbert [WH94] utilisent ces particules orientées pour définir une décomposition régulière d'une surface implicite en polygones.

Dans cet article, nous présentons un nouveau modèle géométrique permettant de décrire une surface continue en joignant des éléments de surfaces implicites. Ces éléments de surface sont définis par un atlas de discoïdes [AMP98]. La surface est tout d’abord simplement approchée par un ensemble de disques qui peuvent se superposer en partie. Un opérateur de mélange est ensuite utilisé pour définir une surface implicite dans chaque zone de superposition. Le placement de disques sur la surface à modéliser constitue une façon naturelle de construire une surface et le choix de l’opérateur de mélange permet de contrôler très facilement la continuité de la surface.

Nous définirons tout d’abord ce modèle géométrique (section 2), avant de préciser les avantages et inconvénients de cette approche (section 3). Quelques considérations d’implémentation du rendu à l’aide d’un lancer de rayons seront abordées en section 4 illustrées par quelques résultats en section 5.

## 2 Un nouveau modèle géométrique

L’idée développée dans cette article propose de construire une surface à la manière d’un peintre, qui, à partir d’une esquisse indiquant grossièrement les contours d’une courbe, affine ensuite ce dessin par des courbes continues comme indiqué sur l’exemple de la figure 1. Nous étendons cette approche à la construction de surfaces à partir d’un ensemble de discoïdes. Le critère important de cette méthode est d’exploiter le fait que ces éléments de surfaces peuvent se superposer, c’est-à-dire créer une sorte de zone de superposition à l’intérieur de laquelle nous reconstruisons localement une surface implicite.

La définition d’une telle surface par un ensemble de discoïdes impose très peu de contraintes. Par exemple, contrairement à la modélisation à l’aide d’un maillage de facettes où les éléments de surfaces doivent être disjoints, ici les superpositions font la puissance de ce modèle. Ainsi, nous avons juste à placer les discoïdes à l’endroit où l’on veut construire une surface et on choisit la taille et la forme de ces discoïdes de façon à obtenir une couverture totale de la surface.

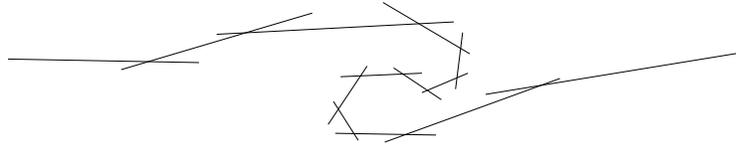


Figure 1: Esquisse permettant de reconstruire une courbe en 2D.

### 2.1 Les atlas de discoïdes

Nous définissons un atlas de discoïdes comme un ensemble de  $N$  éléments de surfaces  $\{D_i, i = 1..N\}$  qui recouvrent entièrement la surface  $S$  en l’approchant localement sans tenir compte des problèmes de superposition. Le terme de discoïdes est utilisé pour parler de disques généralisés admettant des propriétés communes avec un disque (centre, distance au centre). La structure d’atlas nous permet de reconstruire une fonction d’intérêt  $F$  (par exemple une fonction de température ou de luminance) sur toute une surface donnée  $S$  à partir de l’ensemble des discoïdes. Le cas du maillage polygonal peut être vu comme un cas limite de ce modèle pour lequel les discoïdes sont des polygones et les zones de superpositions tendent vers 0.

Pour simplifier les explications et les notations, nous allons tout d’abord considérer le cas simple d’une surface plane  $S$ , puis nous généraliserons cette approche à la fin de cette section. Chaque point  $M$  de  $S$  est recouvert par un sous-ensemble de discoïdes comme indiqué figure 2. La valeur de la fonction d’intérêt  $F$  au point  $M$  est définie par :

$$F(M) = \sum_{i/M \in D_i} \alpha_i(M) F_i(M) \quad (1)$$

où :

- $F_i(M)$  représente la fonction d'intérêt définie localement pour le discoïde  $D_i$  au point  $M$  ;
- $\alpha_i$  est l'opérateur de combinaison, défini positif sur chaque disque  $D_i$  et vérifiant la relation  $\sum_{i=1}^N \alpha_i(M) = 1$ .

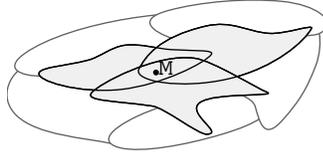


Figure 2: Seuls les disques gris sont utilisés pour calculer la valeur de la fonction d'intérêt en  $M$ .

Le choix de la forme des discoïdes est relativement libre. Plusieurs géométries de discoïde peut être définies : disque, ellipse, rectangle, triangle, étoile et plus généralement des surfaces non planes comme la calotte sphérique (cf. figure 3). Pour cet article, les développements n'ont portés que sur deux types de discoïdes: les disques et les carrés.

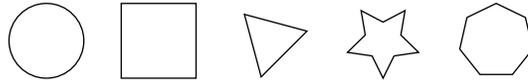


Figure 3: Différentes formes de discoïdes.

De même, le choix de la fonction  $\alpha_i$  pour chaque discoïde  $D_i$  est relativement libre. Ce modèle peut être vu comme une décomposition de la fonction d'intérêt dans une base de fonctions associée à un support géométrique local : le discoïde [AMP00b]. Une méthode pratique consiste à choisir un ensemble de fonctions positives  $\beta_i$  et à définir  $\alpha_i$  par la relation :

$$\alpha_i(M) = \frac{\beta_i(M)}{\sum_{j=1}^N \beta_j(M)}$$

Par exemple, la fonction  $\beta_i(M)$  peut dépendre de la distance séparant le point  $M$  du centre du discoïde. Il est facile de vérifier que si on choisit une fonction qui varie continûment de 1 au centre du disque à 0 sur son bord, l'opérateur de mélange (cf. equation 1) opère comme une fonction de lissage dans une zone de superposition (lieu où plusieurs discoïdes sont associés à un même point). Si on considère à présent le choix d'une fonction  $\beta_i$  non nulle sur le bord du discoïde, on obtient une fonction d'intérêt non continue sur la surface.

Si on considère à présent le cas général de surfaces non planes, les disques ne couvrent plus parfaitement la surface mais produisent une approximation locale de celle-ci. Le problème consiste à associer à un point  $M$  un point  $M_i$  pour chaque discoïde  $D_i$ . A partir de cette définition, on généralise l'équation 1 en :

$$F(M) = \sum_{i/M \in D_i} \alpha_i(M_i) F_i(M_i) \quad (2)$$

## 2.2 Un nouveau modèle de reconstruction de surfaces

Dans la section précédente, nous avons rapidement présenté comment reconstruire une fonction d'intérêt à partir d'un atlas de discoïdes placés sur une surface  $S$  donnée. Dans cette partie, nous cherchons à reconstruire une surface  $S$  à partir d'un atlas de discoïdes. L'idée principale proposée dans cet article consiste à associer une surface implicite à chaque zone de superposition générée par les positions relatives et les orientations des discoïdes.

### 2.2.1 Les zones de superposition

Dans le cas simple où les disques sont placés dans le même plan, les zones de superpositions entre les disques correspondent à leur intersection. Dans le cas général, il nous faut définir ce qu'est une zone de superposition entre deux ou plusieurs discoïdes. Cette notion représente un des points clés de la méthode, elle induit ensuite la définition des surfaces implicites dans ces zones de superposition.

Nous définissons tout d'abord comment associer les points  $M_i$  du discoïdes  $D_i$  à un point  $M$  de la surface :  $M_i$  est la projection orthogonale de  $M$  sur  $D_i$ .

Sous cette hypothèse, la zone de superposition  $A$  entre un sous-ensemble de  $N'$  discoïdes  $D_i$  est définie comme l'ensemble des points  $M$  pour lesquels la projection orthogonale  $M_i$  de  $M$  sur  $D_i$  existe. Autrement dit, la zone de superposition correspond à l'intersection entre les  $N'$  cylindres infinis issus des discoïdes comme représenté figure 4 dans le cas de deux disques.

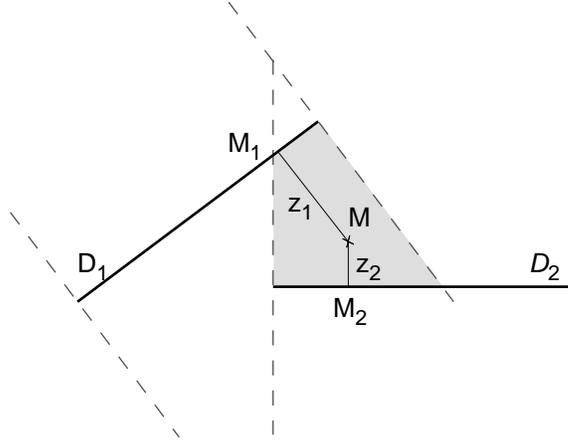


Figure 4: Zone de superposition (en gris) entre deux disques

### 2.2.2 Définition d'une surface implicite dans une zone de superposition

Pour la suite, nous considérons une zone de superposition  $A$ , et nous appelons  $\Delta$  le sous-ensemble de discoïdes associé à cette zone de superposition.

**Définition :** à l'intérieur d'une zone de superposition  $A$ , la surface  $S$  est l'ensemble de points  $M$  solutions de l'équation implicite suivante.

$$Z(M) = \sum_{i/D_i \in \Delta} \beta_i(M_i) z_i(M) = 0 \quad (3)$$

où  $z_i$  correspond à la distance algébrique entre  $M$  et sa projection orthogonale  $M_i$  sur chaque discoïde  $D_i$  (cf. figure 4). La fonction  $Z(M)$  représente une distance moyenne entre  $M$  et ses projetés  $M_i$  sur tous les discoïdes de  $\Delta$  et l'équation (3) définit une iso-surface.

Les algorithmes de rendu ont besoins d'une autre information sur la surface pour calculer par exemple son éclairage : le vecteur normal  $\vec{N}$  à la surface en chacun de ses points  $M$ . La normale à la surface  $S$  en  $M$  est classiquement définie par le gradient de la fonction  $Z$  en  $M$  :

$$\vec{N}(M) = \left( \frac{\partial Z(M)}{\partial x}, \frac{\partial Z(M)}{\partial y}, \frac{\partial Z(M)}{\partial z} \right) \quad (4)$$

### 3 Avantages et discussion

#### 3.1 Quelques remarques générales

Comme nous l'avons expliqué précédemment, la surface peut être construite à la façon d'un peintre qui trace tout d'abord une ébauche grossière de la forme qu'il veut obtenir. Cette ébauche consiste pour nous à placer des discoïdes sans se soucier des contraintes topologiques. L'ajout d'un discoïde pour, par exemple, préciser un détail de la surface ne modifie que la liste de discoïdes définissant la surface ainsi que la liste de zones de superpositions qui est automatiquement déduite. Contrairement à l'utilisation des splines pour lesquels la continuité de jonction impose la position de certains points de contrôle, ici le niveau de continuité de la surface est simplement choisi lors de l'affectation d'une fonction  $\beta_i$ . Cette fonction dirige la surface de jonction entre des discoïdes sans modifier la géométrie de l'atlas.

Il est intéressant de remarquer que si  $\Delta$  ne contient qu'un seul discoïde  $D_h$ , les points qui sont solution de l'équation 3 correspondent aux points du discoïde  $D_h$  lui-même :

$$\sum_{i/D_i \in \Delta} \beta_i(M_i)z_i(M) = 0 \Rightarrow \beta_h(M_h)z_h(M) = 0 \Rightarrow z_h(M) = 0 \Rightarrow M = M_h \in D_h$$

#### 3.2 Continuité de la surface et choix de la fonction $\beta_i$

Le choix de la fonction  $\beta_i$  affecte à la fois la forme de la surface dans les zones de superposition et la jointure entre ces zones. Elle permet ainsi de contrôler la continuité de la surface générée. Le fait d'associer à chaque discoïde  $D_i$  un centre  $C_i$  et un rayon  $r_i$  (au sens large, c'est-à-dire une distance entre le centre et le bord du discoïde) permet de définir un ensemble de fonctions  $\beta_i$  qui dépendent de la distance  $d_i$  séparant un point  $M_i$  de  $C_i$ .

Si on choisit une fonction  $\beta_i(d_i)$  qui tend vers zéro lorsque  $d_i$  tend vers  $r_i$ , on obtient une continuité  $C^0$  de la surface au niveau du passage d'une zone de superposition à sa voisine.

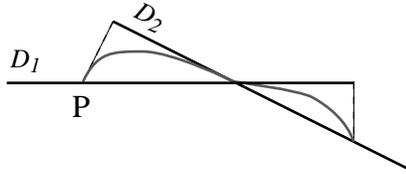


Figure 5: continuité  $C^0$  d'une surface

Pour l'exemple de la figure 5a, la fonction  $\beta_i^0$  suivante a été utilisée. Elle génère une continuité  $C^0$  au bord de la zone de superposition (au point P) :

$$\beta_i^0(d) = 1 - \frac{d}{r_i^2}$$

Plus généralement, par définition de la surface implicite, la continuité  $C^n$  au bord d'une zone de superposition dépend du fait que la dérivée  $n$ ème de  $\beta_i$  existe et tend vers zéro lorsque  $d$  tend vers  $r_i$ . Par exemple, les fonctions  $\beta_i^0$ ,  $\beta_i^1$  et  $\beta_i^2$ , représentées graphiquement figure 6 sont définies de façon à générer des surfaces qui admettent des continuités respectivement  $C^0$ ,  $C^1$  et  $C^\infty$ .

$$\beta_i^1(d) = \left(1 - \frac{d^2}{r_i^2}\right)^2$$

$$\beta_i^2(d, a) = \exp\left(\frac{a \times d^2}{d^2 - r_i^2}\right)$$

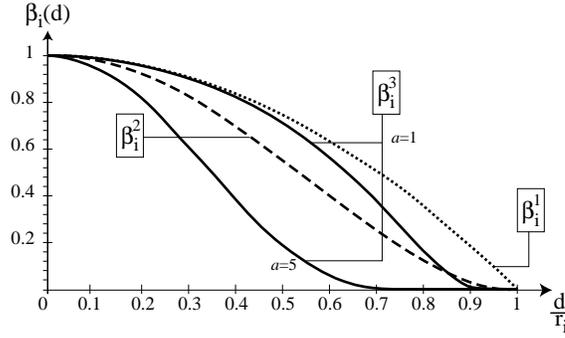


Figure 6: quatre fonctions  $\beta_i$

Cette dernière fonction admet un paramètre  $a$  qui permet d'obtenir toute une famille de courbes tout en conservant le même ordre de continuité.

La figure 7 montre quatre images de reconstruction d'une surface décrite par le même atlas de disques mais avec différentes fonctions  $\beta_i$ , respectivement  $\beta_i^0$  (a),  $\beta_i^1$  (b),  $\beta_i^2$  avec  $a = 1$  (c) et  $\beta_i^2$  avec  $a = 5$  (d). Dans le premier cas (7a); l'utilisation d'une fonction  $\beta_i$  de continuité  $C^0$  produit un effet de surface très bosselée. Dans l'image 7b, les limites des bosses sont plus douces. L'image 7c apparaît beaucoup plus lisse grâce à la continuité  $C^\infty$ . La dernière image (7d) par l'utilisation de la fonction  $\beta_i^2$  avec  $a = 5$  génère des passages très rapide d'un disque à son voisin ce qui produit d'intéressants effets d'arêtes arrondies entre les disques.

## 4 Visualisation des surfaces

Dans cette section, nous précisons quelques détails intervenant dans l'implémentation d'un logiciel permettant de visualiser les surfaces décrites par un atlas de discoïdes.

Les surfaces implicites sont classiquement représentées à l'aide d'algorithmes s'apparentant au lancer de rayons [Gla89]. Ces algorithmes ont besoin de réaliser trois actions importantes :

- calculer le premier point d'intersection  $M$  entre un rayon et la surface  $S$  ;
- déterminer le vecteur normal  $\vec{N}(M)$  à la surface  $S$  au point  $M$  ;
- évaluer la couleur de la surface  $S$  au point  $M$  (texture, modèle d'illumination...).

Nous proposons ci-dessous un algorithme qui intègre ces trois traitements.

### 4.1 Calcul de l'intersection entre un rayon et la surface

Soit  $\{D_i, i = 1..N\}$  un atlas de discoïdes décrivant une surface  $S$  et un rayon  $[O, \vec{u})$ . Dans les développements qui suivent nous présentons le cas d'un disque mais une approche similaire peut être facilement adaptée aux autres formes de discoïdes.

En utilisant les notations de la figure 8, et nous obtenons les coordonnées du point d'intersection  $M$  comme la solution du système d'équations 5 :

$$\begin{cases} \overrightarrow{OM} = k \vec{u} \\ \overrightarrow{OM} = \overrightarrow{OC_i} + x_i \vec{X}_i + y_i \vec{Y}_i + z_i \vec{Z}_i \\ \sum_{i/D_i \in \Delta} \beta_i(M_i) z_i(M) = 0 \end{cases} \quad (5)$$

où  $k$  représente l'abscisse du point  $M$  sur le rayon.



Figure 7: reconstruction d'une même surface avec différentes fonctions  $\beta_i$

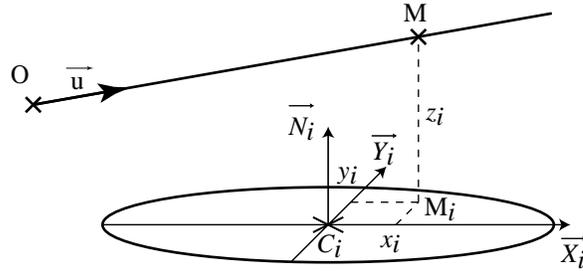


Figure 8: coordonnées de  $M$  dans le repère de  $D_i$

En substituant les deux premières équations dans la troisième (et en développant  $z_i(M)$ ), on obtient un polynôme en  $k$ . La complexité de la résolution dépend du choix de la fonction  $\beta_i$ . Par exemple, en utilisant  $\beta_i^0$ , la résolution consiste à rechercher les racines d'un polynôme de degré 3, qui peuvent être obtenues analytiquement. Dans le cas général, pour des fonctions  $\beta_i$  plus complexes, des méthodes numériques de résolution classiques sont nécessaires.

Connaissant les coordonnées  $(x_i, y_i, z_i)$  de  $M_i$ , la normale à la surface est donnée par le gradient de la surface  $S$  définie par la fonction  $Z$  évaluée en  $M$  :

$$\vec{N}(M) = \left( \frac{\partial Z(M)}{\partial x}, \frac{\partial Z(M)}{\partial y}, \frac{\partial Z(M)}{\partial z} \right) \quad (6)$$

La composante  $x$  du vecteur  $\vec{N}(M)$  s'écrit :

$$\frac{\partial Z(M)}{\partial x} = \sum_{i/M_i \in \Delta} \frac{\partial \beta_i(M_i)}{\partial x} z_i(M) + \frac{\partial z_i(M_i)}{\partial x} \beta_i(M_i)$$

Des expressions similaires peuvent être écrites pour les autres composantes  $\frac{\partial Z(M)}{\partial y}$  et  $\frac{\partial Z(M)}{\partial z}$ .

Le choix d'une fonction  $\beta_i$  facilement dérivable comme celles proposées précédemment permet de résoudre analytiquement ces expressions.

## 4.2 Algorithme et détails d'implémentation

Dans cette section, nous proposons un algorithme permettant de calculer la première intersection entre un rayon et la surface associée à un atlas de discoïdes donné. Considérant qu'il existe une surface implicite différente pour chaque zone de superposition, le rayon  $[O, \vec{u})$  est découpé en une liste de segments associés chacun à une zone de superposition. L'algorithme procède en deux étapes :

- tout d'abord, il cherche les abscisses de toutes les intersections entre le rayon et les cylindres associés aux disques qui sont alors stockées dans une liste triée par ordre croissant ;
- ensuite, il résout l'équation 5 pour chaque paire d'abscisses consécutives  $t_i, t_{i+1}$  jusqu'à trouver une abscisse solution qui appartienne à l'intervalle  $[t_i, t_{i+1}]$ .

Dans le logiciel que nous avons développé, l'algorithme de résolution numérique utilisé est la méthode dite de "false-position" [Nak91]. Cette méthode est bien adaptée à la résolution de notre équation car la fonction  $Z(M)$  est monotone sur chaque intervalle  $[t_i, t_{i+1}]$  avec les fonctions  $\beta_i$  présentées précédemment.

De plus, nous avons implémenté dans ce programme une optimisation classique du lancer de rayons qui permet de réduire le nombre d'intersection rayon-surface : chaque atlas de disques est réparti dans un ensemble de voxels (volumes elements) qui le contiennent. Tout d'abord on associe à chaque voxel la liste des discoïdes dont la zone de superposition coupe ce voxel. Ensuite, les calculs d'intersection ne sont réalisés qu'avec les discoïdes associés aux voxels traversés par le rayon.

## 4.3 Application de l'algorithme de rendu

Le modèle de rendu utilisé dans notre logiciel repose sur le modèle de Phong [Pho75] appliqué à des surfaces uniformes ou texturées. Nous détaillons ci-dessous comment appliquer ce modèle d'illumination classique aux surfaces implicites dirigées par des atlas de discoïdes, et plus précisément comment associer une couleur au point d'une surface implicite définie dans une zone de superposition donnée.

Nous considérons que les coefficients radiométriques du modèle de Phong sont constants sur la surface de chaque discoïde. Pour chaque point d'intersection  $P$  entre un rayon et la surface, nous calculons chaque coefficient radiométrique  $\rho(M)$  du modèle de Phong en chaque point  $M$  de la surface en appliquant simplement l'équation 1 avec comme fonction d'intérêt locale ce coefficient  $\rho_i$  :

$$\rho(M) = \sum_{i/D_i \in \Delta} \alpha_i(M) \rho_i$$

L'application de texture est réalisée de façon analogue en appliquant l'équation 1 avec comme fonction d'intérêt la position dans le repère texture. Nous associons à chaque point  $P_i$  du discoïde une position  $p_i$  dans le repère texture et nous déduisons le point  $p$  moyen dans le repère texture qui indique la couleur en  $P$ .

$$p(M) = \sum_{i/D_i \in \Delta} \alpha_i(M) p_i$$

Cette méthode permet de déformer régulièrement une texture de façon à suivre la déformation géométrique de la surface. La figure 9b représente un exemple de plaquage d'une texture bois (cf. figure 9a) sur un cylindre approché grossièrement par un atlas de grands disques. Par conséquent, la surface obtenue est très bosselée et donc la texture d'origine est très déformée de façon à suivre cette surface.

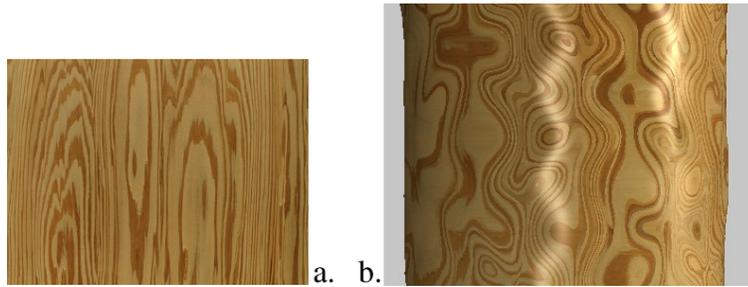


Figure 9: exemple de plaquage d'une texture

## 5 Quelques résultats

La première image (figure 10a) représente une scène formée uniquement d'atlas de discoïdes. Deux formes différentes de discoïdes sont utilisées :

- des disques à l'intérieur des surfaces de grande taille pour obtenir des mélanges réguliers sans faire apparaître de directions principales ;
- des carrés sont placés sur les bords des objets anguleux de façon à modéliser des arêtes vives.

Les colonnes sont construites en trois parties, le pied est un cylindre, le haut est un parallélépipède rectangle et la zone intermédiaire est constituée de disques placés de façon à passer progressivement d'une forme à l'autre. Ces trois morceaux se mélangent naturellement les un aux autres en se superposant en partie (cf. figure 10b). Une impression d'irrégularité des surfaces est obtenue en faisant varier aléatoirement les positions des disques autour d'une position régulière sur une grille. L'amplitude de cette variation est limitée de façon à maintenir le critère de couverture totale de la surface par l'atlas. Le buste a été réalisé en remplaçant chacune des 30000 facettes d'un maillage triangulaire par un disque couvrant une surface équivalente.



Figure 10: scène du buste

La figure 11 présente deux images d'un détail d'un visage construit à partir d'un même atlas de disques (environ 4000 disques) mais avec deux fonctions  $\beta_i$  différentes. Le modèle de reconstruction nous permet de passer d'un modèle très bosselé à un modèle lisse sans changer la base de données d'origine.

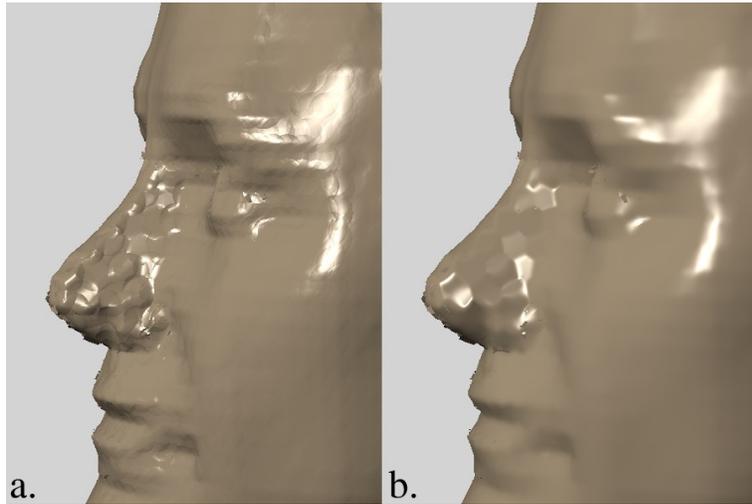


Figure 11: scène du visage

## 6 Développements logiciels

Un logiciel expérimental exploitant ce modèle à été développé en C++ sous Linux, et testé sur un PC bi-PII 450 Mhz. Ce logiciel utilise simultanément les deux processeurs en distribuant le calcul des différents points de l'image.

Pour donner un ordre d'idée de la vitesse de l'algorithme, le calcul de l'image de la figure 10a en haute résolution (1200x800 pixels) qui représente une scène constituée par environ 50000 discoïdes et deux sources dure environ 10 minutes.

D'autres logiciel ont été développés afin de modéliser automatiquement des surfaces avec des atlas de disques. Un algorithme utilisant un système de particules orientées qui admettent des propriétés d'attraction et de répulsion a été utilisé pour construire la sphère présentée figure 7 en plaçant régulièrement les disques sur une surface implicite pré-définie.

Un autre programme a été utilisé pour générer automatiquement des atlas de disques à partir de maillages polygonaux. Ce logiciel permet de plus de corriger manuellement le placement et la taille des disques.

## 7 Conclusion

Dans cet article, nous proposons une nouvelle approche de la modélisation de surfaces. Cette méthode construit une surface quelconque en liant un ensemble de surfaces implicites qui peuvent être facilement et naturellement décrites par un atlas de discoïdes. Cette nouvelle approche combine les avantages des surfaces splines qui joignent des petites surfaces et les surfaces implicites qui permettent de construire des surfaces admettant un haut degré de complexité. Par conséquent, cette approche réduit les contraintes topologiques en décrivant simplement tout objet par un simple ensemble de discoïdes. Une autre propriété de ce modèle est de permettre de reconstruire une grande variété de surfaces à partir d'un même atlas en changeant simplement la fonction de mélange entre les discoïdes.

## 8 Bibliographie

Ce modèle a fait l'objet d'une autre publication à GraphiCon'2000 [AMP00a].

## References

- [AMP98] D. Arques, S. Michelin, and B. Piranda. Les systemes de discoïdes: Un nouveau modele de description des surfaces complexes. In *6eme Journees de l'AFIG'98*, pages 281–290, 1998.
- [AMP00a] D. Arques, S. Michelin, and B. Piranda. Implicit Surfaces Driven by an Atlas of Discoïdes. In *Graphicon'2000*, pages 256–261, 2000.
- [AMP00b] D. Arques, S. Michelin, and B. Piranda. Overlapping radiosity: using a new function base with local disk support. In *WSCG'2000*, volume 3, pages 236–243, 2000.
- [ARD89] K. Heaton A. Rockwood and T. Davis. Real-Time Rendering of Trimmed Surfaces. In *SIGGRAPH '89 Proceedings*, volume 23(3), pages 107–116, 1989.
- [BB89] R.H. Bartels and C.J. Beatty. A technique for the direct manipulation of spline curves. In *Graphics Interface'89*, pages 33–39, 1989.
- [Bli82] J.F. Blinn. A generalization of algebraic surface drawing. In *ACM Transactions on Graphics*, volume 1(3), pages 235–256, 1982.
- [Boi84] J.D. Boissonnat. Geometric structure for three dimensional shape representation. In *ACM Transactions on Graphics*, volume 3(4), pages 266–286, 1984.
- [FDFH90] J. Foley, A. Van Dam, S. Feiner, and J. Hugues. *Computer graphics: principles and practice*. Addison Wesley, 2nd edition, 1990.
- [Gla89] A. Glassner. *An Introduction to ray-tracing*. Academic Press, 1989.
- [Man88] M. Mantyla. *An introduction to solid modeling*. Computer Science Press, 1988.
- [Nak91] S. Nakamura. *Applied Numerical Methods with Software*. Prentice-hall, 1991.
- [Pho75] B. Phong. Illumination for Computed Generated Pictures. In *Communication of the ACM*, volume 18(6), pages 311–317, 1975.
- [SP94] F.-X. Sillion and C. Puech. *Radiosity and global illumination*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1994.
- [ST92] R. Szelisky and D. Tonnesen. Surface Modelling with Oriented Particle Systems. In *Computer Graphics*, volume 26(2), pages 185–194, 1992.
- [Wat93] A. Watt. *3D Computer Graphics*. Addison Wesley, 2nd edition edition, 1993.
- [WH94] A.P. Witkin and P.S. Heckbert. Using Particles to Sample and Control Implicit Surfaces. In *SIGGRAPH '94 Proceedings*, pages 269–277, 1994.