

## Simulation des cheveux

State of the art

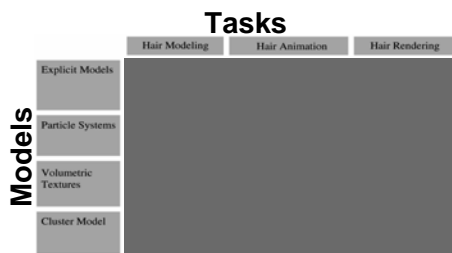
Animation et Multimedia

## Sommaire

- Overview pour la simulation des cheveux
- Différentes tâches pour simuler les cheveux
- Les modèles
- Les problèmes de la simulation
- L'approche de Sunil Hadap (pour l'exemple)
- Les cheveux simulés comme des lignes fluides
- La dynamique des cheveux
- Validation

Animation et Multimedia

## Vue d'ensemble de la simulation des cheveux



Les tâches semblent indépendantes, mais en fait elles ont des interactions fortes !!

Animation et Multimedia

## Simulation des cheveux : styling



La forme des cheveux est le résultat d'interactions physiques complexes entre les cheveux eux-mêmes, et les cheveux et le corps

La coupe de cheveux = un art ! ☺ (bigoudis, barrettes, noeuds, tresses, ...)

La dynamique des cheveux d'une façon interactive est IMPOSSIBLE. Une approche heuristique est nécessaire pour la modélisation de la coupe de cheveux



Ainsi, modeler des cheveux est un domaine exclusif en infographie !

Animation et Multimedia

## Simulation des cheveux : la dynamique

Grandes caractéristiques anisotropes des cheveux (Se dit d'un corps dont les propriétés varient suivant la direction)

A la fois solide et liquide !!

Le poids léger des cheveux

Accélération, rigidité, friction et flux d'air

Collisions / frictions constantes entre eux et le corps

100 000 à 150 000 cheveux par tête

Interaction cheveux/cheveux, un des problèmes non résolus en computer graphics.



Unilever hair shots



Animation et Multimedia

## Simulation des cheveux : le rendu

Géométrie complexe de chaque cheveu

Un grand nombre de coupe de cheveux différentes

Interactions complexes entre la lumière et les ombres, dispersions multiples, produits ...

Ombrage anisotrope

Petite épaisseur du cheveu ⇒ anti-aliasing

Comment les peintres peignent-ils les cheveux ?



Animation et Multimedia

## Modèles de cheveux – Systèmes de particules



"The End" by Alias/Wavefront 96

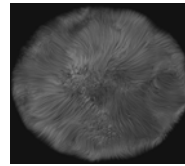
Simple  
Imaginer un « vol d'oiseaux »  
Un cheveu-guide est animé, les autres suivent  
Un grand nombre d'applications commerciales supportent les systèmes de particules, et les utilisent pour le rendu des cheveux

**Inadéquat pour modéliser les coupes complexes**  
**Adapté pour la dynamique**  
**Effectif pour le rendu**



Animation et Multimedia

## Modèles de cheveux – textures volumétriques



Perlin *et al.*, 1989

Fonction de densité spatiale comme un bruit en 3D et des turbulences

Bonne approche pour représenter la complexité de la nature comme l'herbe, les arbres, la forêt et la fourrure

Les textures paramétriques sont aussi appelées hypertextures.

Extension non analytique  $\Rightarrow$  « texels », application en damier de la texture de fourrure directement sur la géométrie

A la différence des « hypertextures », peut être employé sur les géométries complexes



Kajiya *et al.*, 1989



Animation et Multimedia

## Modèles de cheveux – modèles explicites

Peu de caractéristiques sont considérées pour la définir la forme  
Définition itérative en 3D, bon contrôle de l'ensemble  
De plus, la population et le contrôle de la forme à travers la densité, la diffusion et l'orientation  
Intuitif et souple

Effectif mais complexe (time consuming)  
Ne peut pas être utilisé pour des coupes complexes incluant des barrettes, des nœuds et des tresses



Daldegan *et al.*, 1992



Animation et Multimedia

## Modèles de cheveux – modèles explicites

Chacun des cheveux ou des groupes de cheveux sont considérés comme dynamiques

Proche de la réalité physique

L'interaction cheveux-cheveux n'est pas modélisée. Cependant la majorité du « volume » des cheveux vient de ces interactions

Le volume des cheveux est incorrectement attribué à la grande rigidité de cheveux



Kurihara *et al.*, 1992



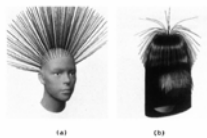
Animation et Multimedia

## Les cheveux définits par Cantilever beam

L'équation de Cantilever en 2D est étendue dans un système de coordonnées sphérique

Le « flux » des cheveux forme le style de la coupe

On peut changer les propriétés de recourbement pour donner un caractère plus onduleux



(a)

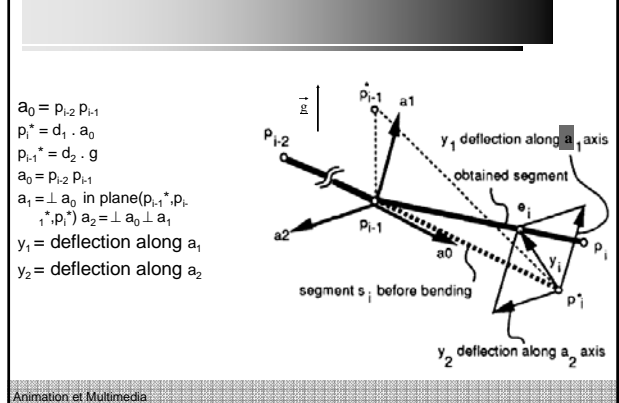
(b)



(c)

(d)

Animation et Multimedia



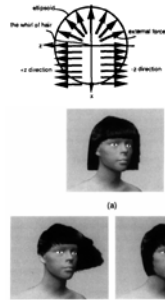
Animation et Multimedia

## Collisions

Approximation de la tête comme une ellipse

Champ de pseudo forces au lieu de la détection des collisions réelles

⇒ répulsion des cheveux



Animation et Multimedia

## Cantilever - critique

1<sup>ère</sup> approche dans le domaine de la simulation  
Utilisation de corps rigides et dynamiques pour simuler les cheveux  
Approche complète pour la définition des styles de coiffure, l'animation et le rendu

Simplification simple des équations dynamiques des cheveux  
Interaction corps/cheveux grossièrement approximée par un champ de pseudo-forces  
Pas d'interaction cheveux-cheveux

Animation et Multimedia

## Modelisation des cheveux - explicite



LeBlanc et al., 1991

Chaque cheveu est dessiné comme un polygone illuminé

Utilisation des capacités hardware graphique pour accélérer le tracé des lignes

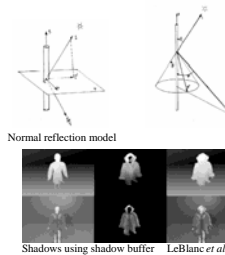
Anti-aliasing utilisant le pixel blending  
La « petite » largeur des cheveux couvre partiellement la taille d'un pixel

Ainsi des cheveux sont dessinés avec un masque transparent pour éviter le crénelage

L'ordre du tracé du rendu doit être de derrière vers devant est particulièrement important

Animation et Multimedia

Illumination des lignes polygonales



Shadows using shadow buffer LeBlanc et al., 1991

Un rendu ombragé global peut être réalisé en utilisant les buffers d'ombre (shadow maps)

La shadow map est une carte de profondeur pour la lumière

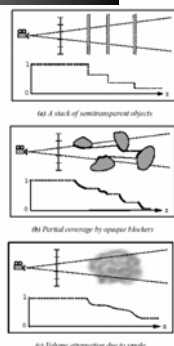
Pas de auto-ombrage !!

Animation et Multimedia

L'auto-ombrage peut être fait en utilisant l'ordre du lancé de rayon (buffer) ou « deep shadow maps »



Lokovic et al., 2000



Deep shadow maps

Animation et Multimedia

## Cluster Hair Models Styling

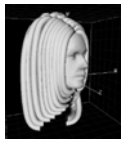


Zhan Xu, et al., 1999

Les mèches de cheveux (*clump of hair*) sont considérées pour modéliser la coupe à la place des cheveux individuels

Les mèches sont modélisées par des cylindres généralisés

Animation et Multimedia



**Contrôle de la forme par cylindre généralisé**

**Densité variable des cylindres généralisés pour simuler les différentes coupes de cheveux et la variation de répartition**

**Meilleur contrôle de la forme**

**Efficace pour le rendu**

**Inefficace pour la modélisation et la simulation des cheveux simples et lisses**

Animation et Multimedia


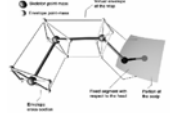
**Modèle par couche de clusters ou groupe de clusters**

Un squelette courbe permet de définir des mouvements larges et les déformations

Modélisation sous forme d'un système masse-ressort

Le déformation de l'enveloppe qui suit le squelette, et déformation sur chaque cluster par section

Un certain nombre de paramètres supplémentaires sont définis dans l'enveloppe et utilisés uniquement pour le rendu

Plante *et al*, 2001

Animation et Multimedia

## Résumé

Models	Tasks		
	Hair Modeling	Hair Animation	Hair Rendering
Explicit Models	effective - tedious to model - not suitable for knots and braids	adequate - expensive due to size - inappropriate for hair-hair interaction	
Particle Systems	inappropriate	ad-hoc - lacks physical basis - no hair-hair interaction	
Volumetric Textures	effective - not suitable for long hair	limited - via Animated Shape Perturbation	
Cluster Models	effective - not suitable for simple smooth hair	not done - via Animated Shape Perturbation	
Hair as a Fluid			not done

Animation et Multimedia

## Les problèmes de la simulation

**Modélisation des différentes coupes de cheveux**  
Différentes approches récentes, mais pas matures

**Dynamique des cheveux**  
Dynamique rigide pour les cheveux individuels et une grossière approximation par le manque de puissance de calcul (hardware)  
L'interaction cheveux-cheveux n'est pas prise en compte (jusqu'à récemment)

**Le rendu des cheveux**  
Assez mûre et disponible par le biais les systèmes commerciaux  
Cependant, un modèle d'illumination globale pour des cheveux avec un modèle détaillé gérant l'ombre n'a pas encore été utilisé (en 2003)

**Animation temps réel et le rendu**  
Avec des compromis possibles sur la qualité (réalisme physique et visuel)

Animation et Multimedia

## Les challenges pour l'animation des cheveux

L'animation des cheveux longs (contrairement aux cheveux courts animés comme la fourrure)  
Prenant en compte à la fois la modélisation et la dynamique

Augmentation du réalisme pour les cheveux animés en temps réel  
MESH Project : réalisme  
Unilever Project : simulation physique

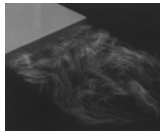
Rendu des cheveux par l'utilisation des accélérations graphiques  
Basé sur les multi depth map shadows

Animation et Multimedia

## L'approche de Sunil

La forme (coupe) présentée sous forme de fluides !

Utilisation des fluides pour  
La forme globale  
Définition des détails

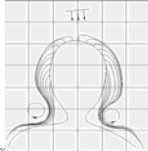


Illumination des « lignes » (des fluides) pour la visualisation

Animation et Multimedia

## Les cheveux comme des lignes fluides

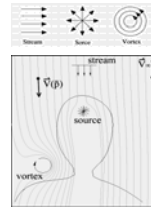
La modélisation (forme)	écoulement idéal
Gravité	état libre des écoulements des flux
Croissance des cheveux	écoulement secondaire des flux
Interaction cheveux-cheveux	propriété continuité
Interaction corps-cheveux	conditions tangentielles des flux
Courbures des cheveux	vitesse des flux



Animation et Multimedia

## Modélisation des cheveux à l'aide de fluides

Le flux idéal comporte :  
Lignes de champs (stream)  
Source  
Vortex  
..et leur combinaison linéaire.

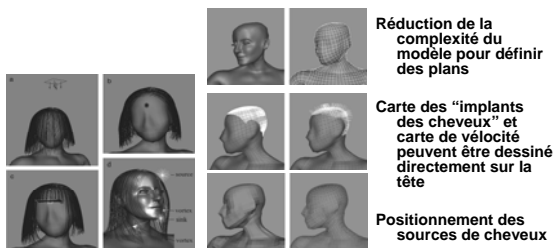


Stream = gravité  
Source = obstacle  
Vortex = « bigoudi »

... permet de définir des flux complexes

Animation et Multimedia

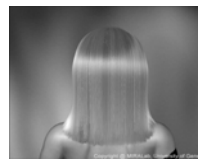
## Résultats



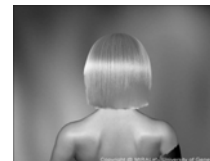
Qqs éléments pour définir une coupe

Animation et Multimedia

## Résultats

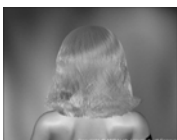


Les cheveux sont trop uniformes !!!

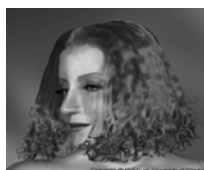


Animation et Multimedia

## Résultat : perturbation de qqs cheveux



Ajout d'ondes et de bruits  
→ augmentation du réalisme



Animation et Multimedia

## Résultat : perturbation de qqs cheveux



Qqs cheveux gérés individuellement  
→ « cassent » la régularité des fluides  
→ suivent les perturbations

Animation et Multimedia



Utilisation de vortices comme « bigoudis »



Animation et Multimedia

## Résultat : application de blocs et d'ondes



En réalité les coupes sont basées sur des groupes de cheveux



Animation et Multimedia

## Validation, comparaison avec la réalité



Après la création des coupes, prise en compte de la dynamique ...

Animation et Multimedia

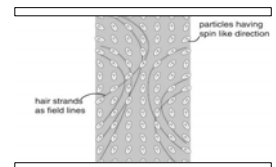
## La dualité solide-liquide des cheveux

Les solides ont la mémoire des formes

Les liquides continuent de se déformer

⇒ les cheveux disposent de ces 2 propriétés !

1<sup>ère</sup> approche



Animation et Multimedia

## La dualité solide-liquide des cheveux

Sunil propose :

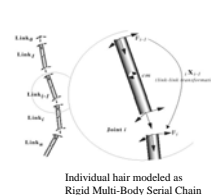
La modélisation des interactions cheveux-corps, cheveux-cheveux et cheveux-air comme une continuité (un ensemble d'individus), et plus précisément sous la forme de la **dynamique des fluides**

Maintenir la rigidité individuelle des cheveux, leur inertie et leur dynamique



Notion of "hair medium"

Animation et Multimedia



Dynamique affinée des cheveux individuelles

Les cheveux sont présentés comme une série de systèmes de corps multiples

Représentation efficace pour la torsion et le recourbement

Évite les équations de raideur

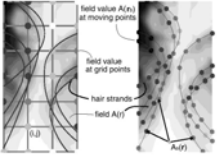
Interactions (cheveux-cheveux, cheveux-corps, cheveux-air):

Approche unifiée

Dynamique des fluides

Animation et Multimedia

## Dynamique individuelle



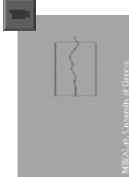
Imaginer un ensemble de cheveux immergés dans un fluide

Les interactions cheveux-cheveux sont « conduites » par la dynamique des fluides

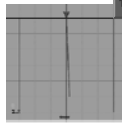
Les fluides peuvent bouger librement, plutôt que suivant un lien cinématique (un chemin fixe)

Utilisation des « smoothed particles hydrodynamics »

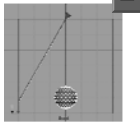
Animation et Multimedia



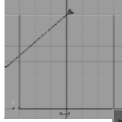
Sans rigidité



Forces internes



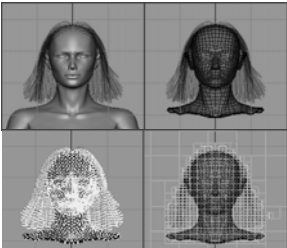
Collision



Avec rigidité

Animation et Multimedia

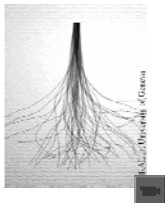
## Making of ...



Placement of smoothed particles to realize hair-fluid

Animation et Multimedia

## Résultats : animation




Simulation of hair

Animation et Multimedia




Animation et Multimedia



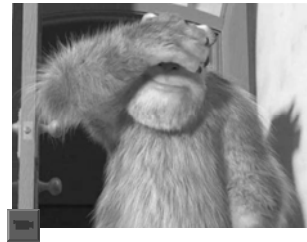
MIRACube  
Interactive Hairstylist based on fluid flow  
MESH  
Nicola Magnifico, Thibaut Durr, 1999

Animation et Multimedia

## D'autres exemples



Animation et Multimedia



© Disney/Pixar

Animation et Multimedia