

# Animation de chevelures: du temps-réel à la recherche de réalisme

Florence Bertails, Marie-Paule Cani

► **To cite this version:**

Florence Bertails, Marie-Paule Cani. Animation de chevelures: du temps-réel à la recherche de réalisme. Journées du groupe de travail Animation et Simulation, GTAS 2004, Jun 2004, Reims, France. 2004. <inria-00519478>

**HAL Id: inria-00519478**

**<https://hal.inria.fr/inria-00519478>**

Submitted on 20 Sep 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Animation de chevelures : du temps-réel à la recherche de réalisme

Florence Bertails et Marie-Paule Cani

EVASION - GRAVIR  
INRIA-RHONE ALPES  
38334 MONTBONNOT CEDEX  
florence.bertails@imag.fr  
marie-paule.cani@imag.fr

**Résumé :** *L'animation synthétique de cheveux est un problème très difficile car dans la réalité, une chevelure est un système complexe composé d'un grand nombre de cheveux qui interagissent les uns avec les autres. Afin d'aborder le problème, il est donc impératif de trouver un compromis entre le réalisme souhaité et le coût des algorithmes mis en oeuvre pour la simulation. Au cours de ces deux dernière années, nous nous sommes intéressés à ces deux aspects antagonistes du problème : dans un premier temps, nous avons proposé une méthode permettant une animation efficace de cheveux, en exploitant le regroupement dynamique de la chevelure sous forme de mèches adaptatives au cours du mouvement. Dans un deuxième temps, nous avons choisi de raffiner le modèle physique sous-jacent, afin de développer un simulateur de cheveux bien plus réaliste physiquement que les modèles utilisés précédemment.*

**Mots-clés :** cheveux virtuels, animation, modèle physique, collisions, multi-résolution, phénomène naturel, humain virtuel

## 1 Introduction

Si de nets progrès ont été réalisés ces dernière années pour l'animation de personnages virtuels, la simulation de cheveux reste encore problématique. Une chevelure humaine est en effet composée d'environ 100 000 cheveux en interaction les uns avec les autres : l'animation synthétique d'un système aussi complexe est donc très difficile, autant sur le plan du réalisme souhaité que sur la gestion de l'efficacité des simulations. La plupart des méthodes précédemment développées restent limitées à des animations de chevelures très lisses, pour des mouvements simples. Dans cet article, nous présentons deux approches distinctes que nous avons abordées au cours des deux dernières années, et qui attaquent deux aspects antagonistes du problème. Dans un premier temps, nous proposons d'animer efficacement une chevelure en exploitant le regroupement dynamique de la chevelure sous forme de mèches adaptatives au cours du mouvement. Cette technique permet ainsi de concentrer les calculs là où ils sont le plus nécessaires. Dans un deuxième temps (c'est l'objet de notre travail en cours), nous nous efforçons de développer un modèle de chevelure basé rigoureusement sur les équations de la physique, et ce afin de construire un simulateur de cheveux se comportant de manière beaucoup plus réaliste que toutes les approches précédentes.

## 2 Travaux antérieurs en animation de chevelure

### 2.1 Animation de cheveux individuels

Les premiers travaux portant sur l'animation de chevelure proposent de simuler chaque cheveu de manière individuelle [RCT91, AUK92, RH96]. Étant donnée la complexité d'une chevelure, il paraît impossible de prendre en compte tous les mouvements individuels ainsi que les interactions se produisant au sein de la chevelure. En conséquence, la plupart des approches s'attaquant à ce problème se contentent de simuler quelques dizaines de milliers de cheveux en négligeant les interactions internes. Ces approches ont cependant le mérite d'avoir adapté à l'animation de cheveux des modèles (chaînes masses ressort, chaînes articulées etc.) largement réutilisés par la suite dans les travaux portant sur les mèches ou sur les cheveux directeurs.

## 2.2 Chevelure animée comme un milieu continu

Certaines approches considèrent que la chevelure présente une cohésion globale au cours du mouvement, et donc animent la chevelure comme un milieu continu. Par exemple, Chang *et al.* [CJY02] ne simulent que quelques cheveux directeurs puis étendent ce mouvement au reste de la chevelure par interpolation. Des bandes de triangles entre les cheveux directeurs sont utilisées pour traiter les collisions afin de maintenir un certain volume à la chevelure.

Hadap et Magnenat-Thalmann [HMT01] gèrent la complexité des interactions entre cheveux, entre les cheveux et l'air, et entre les cheveux et le corps en traitant l'ensemble de la chevelure comme un milieu continu régi par les lois de la dynamique des fluides. Le résultat est assez convaincant concernant le volume des chevelures ainsi animées.

L'inconvénient de ces méthodes est qu'elles conduisent à des animations de chevelures très lisses, où n'apparaissent pas les discontinuités que l'on observe dans le cas réel.

## 2.3 Chevelure animée comme un ensemble de mèches disjointes

L'hypothèse selon laquelle la chevelure est un milieu continu est discutable : en effet on peut remarquer que toute chevelure, aussi lisse soit-elle, peut subir des discontinuités au cours d'un mouvement ; ie. à un instant donné, si le mouvement est suffisamment rapide, certains groupes de cheveux sont susceptibles d'avoir une direction visiblement différente du reste de la chevelure.

Ainsi, une autre idée est de considérer que la chevelure présente non pas une continuité globale, mais des cohésions internes *locales*. La chevelure est alors modélisée comme un ensemble de primitives géométriques ou *mèches*, que l'on anime séparément. Évidemment, cette modélisation permet aussi de réduire le nombre d'éléments individuels à animer, tout en gardant une certaine complexité pour la chevelure. Plusieurs travaux se sont basés sur cette approche, certains simulant un nombre réduit de mèches grossières [FS01], d'autres utilisant des mèches surfaciques [KH00, KH01], ou volumiques [PCP02], ces mèches pouvant être déformables ou rigides. En utilisant des mèches volumiques déformables et un modèle d'interactions anisotropes, Plante *et al.* [PCP01, PCP02] ont obtenu des résultats visuellement réalistes.

## 2.4 Méthodes d'animation multirésolution

Toutes les méthodes précédentes qui tiennent compte des interactions entre cheveux sont loin d'être interactives. Récemment, des méthodes adaptatives ont été mises au point afin de minimiser les temps de calcul de simulation tout en préservant au maximum le réalisme.

Ward *et al.* [WLL<sup>+</sup>03] modélisent une chevelure en utilisant trois niveaux de détail géométriques : des bandes de cheveux 2D au niveau le plus grossier, des groupes de cheveux 3D au niveau intermédiaire, et des cheveux individuels au niveau le plus fin. Les transitions entre ces niveaux de détail sont générées dynamiquement au cours du mouvement, en fonction de certains critères comme la position de la caméra par exemple. Cette méthode s'avère être très efficace, en particulier pour l'étape de rendu.

Bando *et al.* [BCN03] ont modélisé la chevelure par un ensemble de particules SPH<sup>1</sup> en interaction les unes avec les autres, chacune des interactions s'adaptant au cours du mouvement.

La méthode que nous présentons en Section 3 relève également d'une stratégie multirésolution, et se concentre sur la représentation de la chevelure sous la forme d'une arborescence adaptative, dont nous expliquerons les avantages. Publiée en 2003 [BKC03], cette approche a été conçue indépendamment des travaux cités plus haut.

---

<sup>1</sup>Smoothed Particle Hydrodynamics

### 3 Méthode adaptative pour des simulations interactives

Dans cette première approche, notre objectif est de simuler le regroupement dynamique en mèches de la chevelure au cours du mouvement, afin de parvenir à des animations à la fois efficaces et stables. L'idée consiste à adapter localement la résolution locale de la structure de contrôle durant l'animation, et donc de concentrer les calculs uniquement là où c'est nécessaire, tout en réduisant le nombre d'éléments en interaction.

Nous utilisons une représentation multi-échelle pour la mèche de cheveu, similaire à celle utilisée pour la modélisation de coiffure par Kim and Neumann [KN02]. A chaque pas de temps, on détecte et on traite les interactions entre les mèches actives, de manière semblable à la méthode anisotrope de Plante *et al.* [PCP02]. L'intérêt d'utiliser une structure multirésolution pour la chevelure est de pouvoir modéliser chaque section de mèche par un cylindre indéformable (la déformation des mèches est prise en compte dans le changement de niveau de détail), ce qui simplifie évidemment beaucoup la gestion des collisions.

Les principales contributions de notre méthode sont :

- L'introduction d'une nouvelle structure de contrôle pour l'animation de cheveux, appelée *arbre adaptatif de mèches*, noté AAM, qui simule la subdivision et la fusion adaptatives de mèches ;
- La spécification de critères pour détecter les endroits où l'on souhaite du raffinement, ou au contraire de la fusion ;
- L'amélioration de l'efficacité et de la stabilité dans le traitement des interactions pour les approches à base de mèches.

#### 3.1 Arbre adaptatif de mèches (AAM)

Lorsqu'on observe une chevelure réelle en mouvement, on peut remarquer que des mèches se forment et se séparent en fonction du frottement subi, des charges électrostatiques, ou bien de la coiffure initiale. Le nombre, l'endroit et la taille des mèches ainsi observées varie au cours du temps. L'idée d'un arbre adaptatif de mèche provient du fait que sur une chevelure réelle, les mèches semblent se former d'abord au niveau des pointes, puis progressivement jusqu'aux racines (comme des fermetures éclair qui pourraient coulisser du bas de la chevelure vers le haut). En effet, les phénomènes d'interactions lient beaucoup plus les cheveux au niveau des racines qu'au niveau des pointes où les cheveux sont *a priori* plus libres de se séparer les uns des autres.

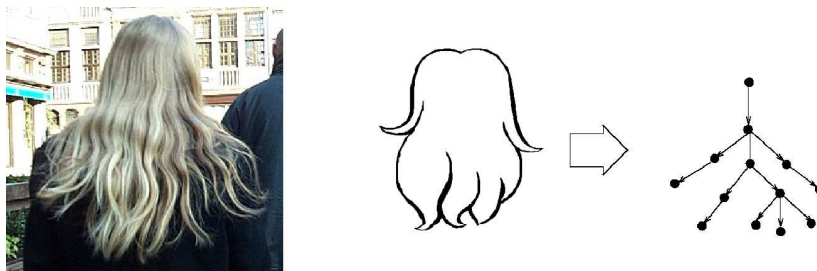


FIG. 1 – A gauche, une chevelure réelle divisée en mèches. A droite, la modélisation d'une chevelure par un arbre adaptatif de mèches (AAM). L'AAM est un graphe orienté acyclique dont les nœuds représentent les masses des cheveux adjacents, et les arêtes les liens de contrôle entre les nœuds.

##### 3.1.1 Géométrie multirésolution de la mèche

Le modèle géométrique de chevelure que l'on prend en entrée est créé en utilisant l'approche de Kim et Neumann [KN02] qui consiste à modéliser des mèches grossières grâce à des cylindres généralisés (GC), que l'on peut ensuite raffiner localement en sous-mèches, et ainsi de suite.

Dans ce qui suit, nous utiliserons les termes *sur-GC* et *sous-GC* lorsqu'on évoquera la hiérarchie de ce modèle géométrique, tandis que les termes *parent* et *enfant* serviront à désigner les relations entre les nœuds de l'AAM (Figure 2).

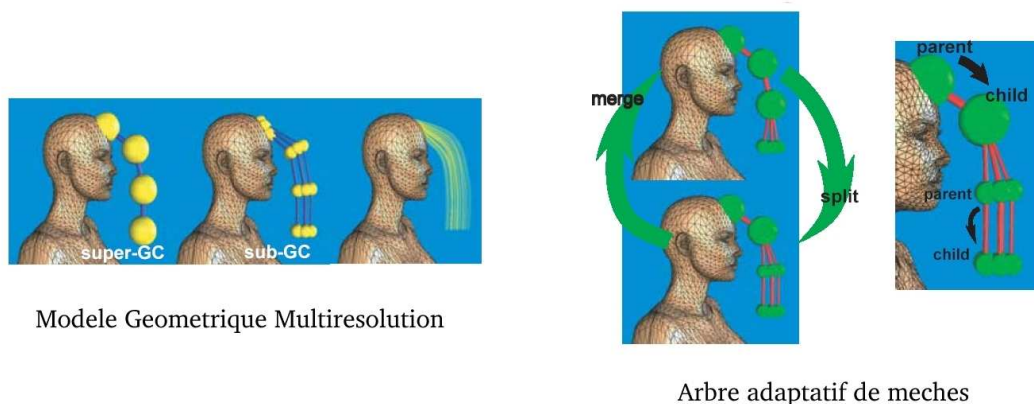


FIG. 2 – Relations entre le modèle géométrique multirésolution et l'AAM

### 3.1.2 Structure mécanique multiresolution

Le mouvement de chaque GC est donné par la simulation d'un ensemble discret de nœuds (Figure 3). Un *nœud* correspond au centre de la section du GC dans la hiérarchie du modèle géométrique. A chaque section d'une mèche grossière correspond donc une hiérarchie de nœuds (les sections des différents GC hiérarchisés de la mèche coïncident), chacun de ces nœuds correspondant à un certain niveau de détail pour la section. A chaque pas de temps, seul un nœud par section (ie. un niveau de détail) est *actif*, c'est à dire animé. L'ensemble des nœuds actifs du modèle géométrique à un pas de temps donné forme exactement l'ensemble des nœuds de l'AAM à ce même pas de temps. Les subdivisions et fusions dans l'AAM correspondent ainsi à des changements de niveau de détail dans le modèle géométrique. Ces subdivisions et fusions dynamiques garantissent que la structure arborescente de l'AAM est conservée (cf. Section 3.2).

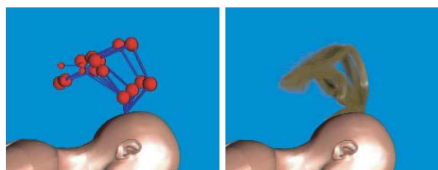


FIG. 3 – L'image de gauche illustre l'AAM. Les nœuds actifs sont représentés comme des sphères, et les segments actifs comme des cylindres. L'image de droite montre le rendu de cheveux correspondant.

### 3.1.3 Animation

En pratique, un AAM est construit pour chaque GC de niveau le plus grossier dans le modèle géométrique de la coiffure ; la chevelure entière est donc animée comme un ensemble d'AAMs (un AAM correspond à une "grosse mèche" de la chevelure). Au début de la simulation, chaque AAM est initialisé avec comme nœuds actifs uniquement les nœuds les plus grossiers. Au cours de l'animation, les AAMs évoluent grâce aux procédés de subdivision et de fusion.

Les segments de l'AAM sont simulés soit comme des liens rigides, soit comme des liens mous, selon le comportement désiré. Puisqu'une mèche bouclée est susceptible de s'allonger au cours du mouvement, on a choisi d'utiliser des ressorts mous pour simuler les chevelures bouclées, tandis que des ressorts très raides ont servi à modéliser les cheveux raides.

## 3.2 Subdivisions et fusions adaptatives

L'AMM s'adapte au cours du temps en subissant des subdivisions et des fusions dynamiques. La subdivision raffine localement la chevelure en ajoutant des degrés de liberté aux endroits où le mouvement se complexifie. La fusion simplifie au contraire l'AMM lorsque différentes mèches suivent un mouvement semblable. Comme nous l'avons mentionné plus haut, ce procédé adaptatif simplifie grandement la gestion des collisions au sein de la chevelure.

### 3.2.1 Subdivision

Notre critère de subdivision est basé sur l'observation selon laquelle le mouvement est d'autant plus complexe aux endroits où la chevelure accélère fortement.

Un nœud se subdivise si les deux conditions suivantes sont vérifiées :

1. son accélération fois son rayon dépasse un seuil ;
2. son nœud enfant dans l'arbre s'est déjà subdivisé.

La condition 1 modélise le fait qu'une mèche épaisse et en mouvement rapide a plus de chances de se subdiviser que les autres. La condition 2 force la subdivision à se produire des pointes vers les racines (cf. fig. 4).

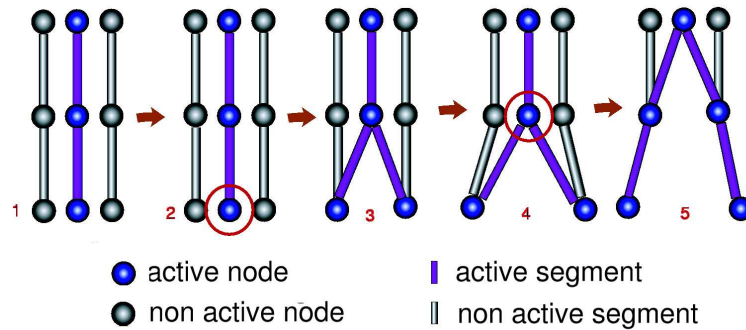


FIG. 4 – Le procédé de subdivision. 1. Initialement, seuls les nœuds grossiers sont activés. 2. Un nœud à l'intérieur du cercle vérifie le critère de subdivision. 3. Ses sous-nœuds sont activés. 4. Après quelques pas de temps, le nœud à l'intérieur du cercle a besoin de se subdiviser. 5. L'AAM qui en résulte.

### 3.2.2 Fusion

Les nœuds partageant *le même parent* fusionnent si leur sur-nœud donne une approximation suffisante de leur mouvement. Plusieurs nœuds peuvent fusionner ensemble s'ils vérifient les 3 conditions suivantes :

1. ils sont contenus à l'intérieur du rayon de leur sur-nœud ;
2. leurs vitesses relatives sont inférieures en module à un certain seuil, afin d'éviter de produire des vitesses discontinues lors de la fusion ;
3. la condition 1 de subdivision n'est pas vérifiée (ce test est ajouté pour empêcher que des nœuds qui viennent juste de fusionner se subdivisent immédiatement à nouveau).

Ce test de fusion est local : il est uniquement effectué pour des nœuds ayant le même parent dans l'arbre. La structure arborescente de l'arbre de mèches est bien conservée puisque la fusion se produit des racines vers les pointes.

### 3.3 Résultats et bilan

Quelques résultats sont illustrés ci-dessous. Différents styles de coiffure ont ainsi été simulés pour différents types de mouvement. Grâce au procédé de fusion, le mouvement des cheveux se stabilise lorsque la chevelure revient au repos, car les micro-collisions entre petites mèches voisines sont alors évitées.



FIG. 5 – Comparaisons entre des animations réelles et des résultats de simulation.

Les animations montrées Figure 5 ont été rendues en affichant environ 10000 cheveux individuels. Pour plus de détails sur la méthode de rendu utilisées, le lecteur se reportera à [BKC03].

Modèle de cheveux (N, L)	algorithme naïf temps (sec)	algorithme adaptatif temps moyen (sec)
Court (5149, 2)	3.1	0.32
Court bouclé (4909, 2)	2.7	0.27
Long (6065, 3)	3.8	0.09
Long bouclé (9853, 3)	7.9	0.29

FIG. 6 – Performances de l'algorithme adaptatif

Le tableau ci-dessus compare notre méthode adaptative avec l'algorithme naïf qui consisterait à simuler le niveau de détail le plus fin tout au long de l'animation. Le tableau indique le temps (en secondes) mis pour calculer un pas d'animation, pour 4 types différents de chevelures (N indique le nombre total de nœuds de la hiérarchie au niveau le plus fin, et L le nombre de niveaux de détail simulés pour chaque coiffure) et un mouvement du personnage identique. Ces valeurs ont été obtenues en simulant l'algorithme sur une PC avec un CPU Pentium 1.7 GHz. Nous avons utilisé 4 pas d'intégration par image (ie.  $dt = 10ms$ ). Le temps maximum pour calculer une animation de 10 secondes a été d'environ 5 minutes.

En terme de performances, on constate que notre algorithme est efficace : les chevelures sont animées avec un coût très raisonnable, en comparaison avec les heures de calcul nécessaires à la méthode de Plante [PCP02], qui utilise de manière similaire des mèches volumiques pour l'animation mais sans exploiter la multirésolution. Nos temps de calcul sont comparables à ceux de Ward *et al.* [WL03] obtenus avec une représentation de la chevelure par niveaux de détail. Notre approche a également l'avantage de pouvoir traiter des mouvements importants de la chevelure, contrairement à la plupart des méthodes qui ne montrent que les mouvements lents de chevelures lors de légers mouvements de la tête, ou sous un léger vent.

Cependant, notre méthode ne prend pas en compte les déformations géométriques d'une mèche ; les mèches restent donc toujours assez visibles (même si elles changent de niveau de détail), ce qui n'est pas toujours souhaitable, surtout lorsque l'on veut animer une chevelure très lisse. Dans ce cas, des méthodes basées sur des interpolations locales entre cheveux sont certainement plus appropriées. De plus, nos critères de subdivision et de fusion ont été définis de manière très ad hoc, et ces choix mériteraient donc d'être approfondis. Enfin, le modèle physique utilisé dans cette approche est très approximatif donc peu réaliste. Dans la suite de nos travaux (Section 4), nous nous proposons de construire un modèle de chevelure qui soit le plus réaliste possible du point de vue de la physique.

## 4 Recherche de réalisme (en cours)

Toutes les méthodes visant à animer des cheveux se sont limitées à l'utilisation de modèles physiques très approximatifs pour les cheveux. Aucun modèle n'est assez générique pour permettre de faire émerger l'ensemble des comportements typiques du cheveu (formation de boucles, forme du cheveu en fonction de son encastrement, effets collectifs, etc.).

Notre idée est d'utiliser le plus fidèlement possible les équations physiques des tiges afin d'être capable de construire un modèle dynamique réaliste de cheveu, qu'on souhaiterait ensuite étendre à la mèche. Cette recherche s'appuie sur une collaboration avec des physiciens spécialistes en modélisation mécanique, ainsi qu'avec des spécialistes du cheveu. Il s'agit de travaux en cours, donc la plupart des paragraphes qui suivent ne font que suggérer ou discuter des voies possibles de développement.

### 4.1 Modèle mécanique pour un cheveu isolé

Nous modélisons un cheveu à l'aide du modèle de tige de Cosserat, bien connu dans la communauté des physiciens mécaniciens.

#### 4.1.1 Choix d'une paramétrisation appropriée

Dans les travaux précédents (Section 3), nous avons paramétré notre système par l'ensemble des positions et vitesses 3D des particules (masses ponctuelles) composant le système. L'inconvénient d'une telle paramétrisation est qu'elle n'exprime pas les vrais degrés de liberté du système : il faut rajouter des contraintes extérieures afin que les propriétés souhaitées pour le système soient vérifiées (dans notre cas, nous avons rajouté des ressorts entre les particules pour les contraindre sous forme de mèches).

Une autre solution consiste à proposer une paramétrisation du système qui inclut le maximum de contraintes internes : c'est ce qu'on appelle la paramétrisation par coordonnées généralisées.

Nous avons choisi d'utiliser une paramétrisation par coordonnées généralisées, car cette paramétrisation émerge naturellement des équations physiques du système ; de plus, il nous paraît très avantageux de pouvoir inclure toutes les contraintes du système (par exemple, le fait qu'un cheveu soit inextensible) dans le modèle en lui-même, sans avoir à rajouter au-dessus du modèle des contraintes pseudo-physiques. Mais comme nous allons le voir au paragraphe 4.2, ce choix de paramétrisation soulève ensuite des problèmes dans la gestion des collisions.

Dans notre modèle, nous avons ainsi 4 paramètres indépendants (pour chaque point de discrétisation de la tige) : les 2 courbures, et les 2 vitesses dans le plan de la section. La notion de courbure est illustrée Figure 7.

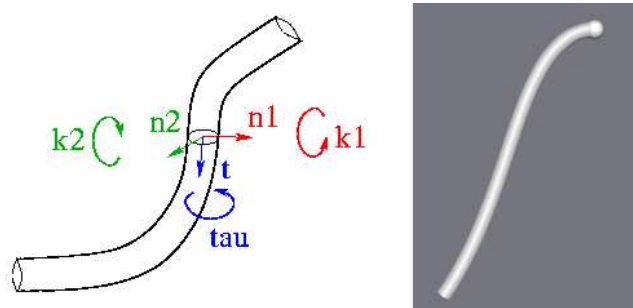


FIG. 7 – À gauche : le repère matériel attaché à une section de la tige ; La courbure  $\kappa_1$  (resp.  $\kappa_2$ ) indique de combien tourne la tige autour de  $n_1$  (resp.  $n_2$ ), et la torsion  $\tau$  indique de combien tourne la tige autour de  $t$ . À droite : un cheveu simulé.



### 4.1.2 Animation dynamique

Les équations dynamiques pour le cheveu sont données par les équations de Kirchhoff dynamiques appliquées à notre modèle de tige. En combinant équations cinématiques et équations dynamiques, on parvient à exprimer les dérivées au temps  $t$  de chacun des 4 paramètres internes du cheveu en fonction de paramètres secondaires connus à  $t$ . En utilisant un schéma numérique d'intégration, on peut donc en déduire la valeur des paramètres internes au temps suivant  $t + \delta t$ . En pratique, nous utilisons un schéma numérique semi-implicite (les termes comportant des dérivées spatiales d'ordre élevé sont calculées implicitement pour des raisons de stabilité).

Notons que la force extérieure appliquée sur le cheveu (qui est un des paramètres secondaires du système), est un paramètre d'entrée du système, ce qui permet donc très facilement à l'utilisateur d'interagir avec le cheveu via des forces.

Avec cette méthode, nous sommes capables de simuler (sans tenir compte des interactions entre cheveux) environ 350 cheveux individuels en temps-réel, sur un processeur 1.7 GHz, ce qui signifie que notre modèle dynamique n'est pas très coûteux en soi.

D'autre part, la simulation reste stable pour de grands pas de temps, et on peut donc choisir une fréquence de simulation égale à la fréquence d'affichage (25 Hz).

## 4.2 Gestion des collisions

Cette partie du travail est très délicate à traiter : le but est d'étudier les interactions entre cheveux individuels, ou entre un cheveu et un objet, pour en déduire ultérieurement un modèle de mèche qui modélise correctement ces interactions.

Trois représentations différentes du cheveu pour le traitement des collisions sont envisageables :

- Une suite de sphères serait très pratique pour détecter les collisions (simple test de distance), mais elle suppose que chaque cheveu a une épaisseur non négligeable, ce qui n'est pas le cas ; de plus, un grand nombre de sphère est nécessaire à l'approximation d'un objet long et fin, donc cette représentation n'est peut-être pas très judicieuse dans notre cas.
- Une suite de segments serait plus appropriée, et resterait encore relativement simple à utiliser pour la détection.
- Une suite de morceaux d'hélice approcherait de manière beaucoup plus exacte la forme du cheveu, mais il semble très compliqué voire impossible de trouver une solution analytique au croisement de 2 morceaux d'hélices.

Nous avons ainsi choisi, à terme, de représenter le cheveu par une suite de segments.

En ce qui concerne la détection de collision, nous souhaiterions exploiter également la cohérence temporelle du système (les cheveux proches à un instant sont susceptibles d'être en collision l'instant d'après). Nous proposons ainsi d'utiliser la méthode mise au point par Raghupathi *et al.* [RCFC03] qui consiste à initialiser puis mettre à jour à chaque pas de temps des paires de points les plus proches entre segments. De plus, comme les cheveux sont des objets très fins, et que notre méthode d'animation nous permet d'utiliser de grands pas de temps, il est probable qu'une détection discrète de collisions ne sera pas suffisamment robuste pour empêcher des croisements. Nous envisageons donc d'adapter la méthode de détection continue entre objets rigides, proposée par Redon [RKC02] à notre cas précis.

Le problème de la réponse à la collision est assez complexe, car nos paramètres internes sont des courbures et non des positions, et donc il n'est pas possible de procéder simplement par déplacements contraints, comme c'était le cas en Section 3. Deux possibilités nous paraissent envisageables :

- L'utilisation de forces de pénalité : en pratique cette méthode est très simple dans notre cas puisqu'on peut à tout instant donner en entrée du système la force extérieure appliquée au cheveu. Cependant, cette méthode a plusieurs inconvénients : elle ne permet pas d'éviter à tous les coups que deux objets se croisent et la force appliquée peut introduire des instabilités dans la simulation.

- L'utilisation de contraintes via les multiplicateurs de Lagrange : cette approche nous paraît intéressante, mais nous ne l'avons pas encore mise en œuvre.

Nous avons fait un premier test de collision en faisant les choix les plus simples : chaque cheveu est approché par une liste de sphères et l'on traite les collisions entre les cheveux et une sphère, la réponse à la collision étant simulée grâce à des forces de pénalité (Figure 8).

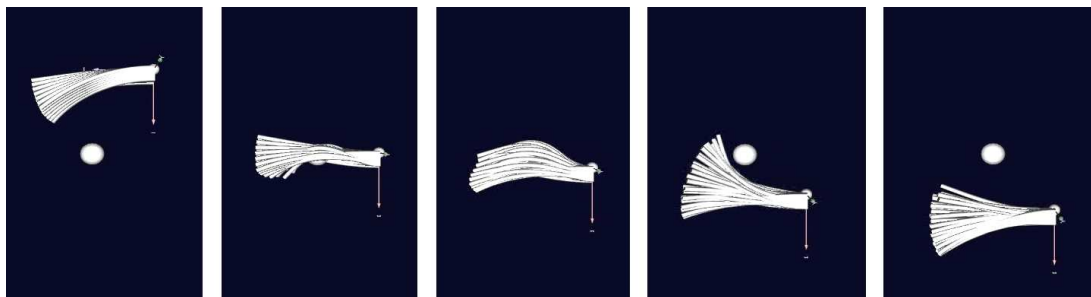


FIG. 8 – Simulation de la collision entre des cheveux et une sphère. Chaque cheveu est représenté comme une suite de sphères pour faciliter la détection de collision. La réponse à la collision est donnée par des forces de pénalité.

### 4.3 Modèle de mèche

Dans la Section 3, la notion de mèche n'est pas clairement définie : implicitement, il s'agit d'un groupe de cheveux dont la taille est liée à la complexité visuelle observée.

Ici, nous définissons une *mèche* comme un ensemble continu de cheveux proches, c'est-à-dire un ensemble de cheveux dont les racines sont proches, et qui ont une orientation semblable sur toute leur longueur. Bien sûr, cette définition est un peu imprécise, et il faudra sans doute veiller à l'affiner dans la suite de ces travaux, mais déjà, cette première idée nous permet de cerner quelle sera notre brique de base lors la simulation d'une chevelure complète.

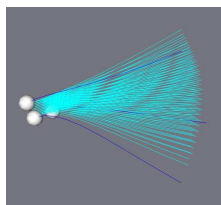


FIG. 9 – Modélisation d'une mèche : une mèche est composée de quelques cheveux directeurs simulés (en bleu foncé), et d'un certain nombre de cheveux construits par interpolation entre les cheveux directeurs, et qui sont générés uniquement au moment de l'affichage (en bleu clair).

Pour l'instant, nous avons construit une mèche en simulant quelques cheveux directeurs, et en calculant les cheveux intermédiaires par interpolation sur les courbures et torsion des cheveux simulés (cf. Figure 9). Il faudrait en plus prendre en compte les interactions internes de la mèche, par des forces de frottement par exemple.

## 5 Conclusion et travaux futurs

Dans cet article, nous avons d'une part présenté un modèle efficace d'animation de chevelure, mais au réalisme intrinsèquement limité ; d'autre part, nous avons commencé à explorer la voie d'une modélisation précise du comportement mécanique des cheveux. Beaucoup de travail reste à faire avant de parvenir à un modèle mécanique réaliste de mèche. Notre but ultime sera

d'être capable de pousser la simulation réaliste de cheveux à l'échelle d'une chevelure entière, en utilisant une méthode adaptative inspirée de celle que nous avons introduite en Section 3.

## Références

- [AUK92] K. Anjyo, Y. Usami, and T. Kurihara. A simple method for extracting the natural beauty of hair. In *Proceedings of ACM SIGGRAPH 1992*, Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, pages 111–120, August 1992.
- [BCN03] Y. Bando, B-Y. Chen, and T. Nishita. Animating hair with loosely connected particles. *Computer Graphics Forum*, 22(3) :411–418, 2003. Proceedings of Eurographics'03.
- [BKCNO3] F. Bertails, T-Y. Kim, M-P. Cani, and U. Neumann. Adaptive wisp tree - a multiresolution control structure for simulating dynamic clustering in hair motion. In *ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation*, pages 207–213, July 2003.
- [CJY02] J. T. Chang, J. Jin, and Y. Yu. A practical model for hair mutual interactions. In *ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation*, pages 73–80, July 2002.
- [FS01] R. Falk and L. R. Sande. Shrek : The story behind the screen. *SIGGRAPH Course Note 19*, 2001.
- [HMT01] S. Hadap and N. Magnenat-Thalmann. Modeling dynamic hair as a continuum. *Computer Graphics Forum*, 20(3) :329–338, 2001. Proceedings of Eurographics'01.
- [KH00] C. Koh and Z. Huang. Real-time animation of human hair modeled in strips. In *Computer Animation and Simulation'00*, pages 101–112, September 2000.
- [KH01] C. Koh and Z. Huang. A simple physics model to animate human hair modeled in 2D strips in real time. In *Computer Animation and Simulation '01*, pages 127–138, September 2001.
- [KN02] T-Y. Kim and U. Neumann. Interactive multiresolution hair modeling and editing. *ACM Transactions on Graphics*, 21(3) :620–629, July 2002. Proceedings of ACM SIGGRAPH 2002.
- [PCP01] E. Plante, M-P. Cani, and P. Poulin. A layered wisp model for simulating interactions inside long hair. In Nadia Magnenat-Thalmann Marie-Paule Cani, Daniel Thalmann, editor, *Computer Animation and Simulation 2001 Proceeding*, Computer Science. EUROGRAPHICS, Springer, sep 2001. Proceedings of the EG workshop of Animation and Simulation.
- [PCP02] E. Plante, M-P. Cani, and P. Poulin. Capturing the complexity of hair motion. *Graphical Models (Academic press)*, 64(1) :40–58, january 2002. submitted Nov. 2001, accepted, June 2002.
- [RCFC03] Laks Raghupathi, Vincent Cantin, François Faure, and Marie-Paule Cani. Real-time simulation of self-collisions for virtual intestinal surgery. In Nicholas Ayache and Hervé Delingette, editors, *Proceedings of the International Symposium on Surgery Simulation and Soft Tissue Modeling*, number 2673 in Lecture Notes in Computer Science, pages 15–26. Springer-Verlag, 2003.
- [RCT91] R. Rosenblum, W. Carlson, and E. Tripp. Simulating the structure and dynamics of human hair : Modeling, rendering, and animation. *The Journal of Visualization and Computer Animation*, 2(4) :141–148, 1991.
- [RH96] J. Rankin and R. Hall. A simple naturalistic hair model. *SIGGRAPH Comput. Graph.*, 30(1) :5–9, 1996.
- [RKC02] S. Redon, A. Kheddar, and S. Coquillart. Fast continuous collision detection between rigid bodies. In *Eurographics*, 2002.
- [WL03] K. Ward and M. C. Lin. Adaptive grouping and subdivision for simulating hair dynamics. In *Pacific Graphics*, September 2003.
- [WLL<sup>+</sup>03] K. Ward, M. C. Lin, J. Lee, S. Fisher, and D. Macri. Modeling hair using level-of-detail representations. In *International Conference on Computer Animation and Social Agents*, May 2003.