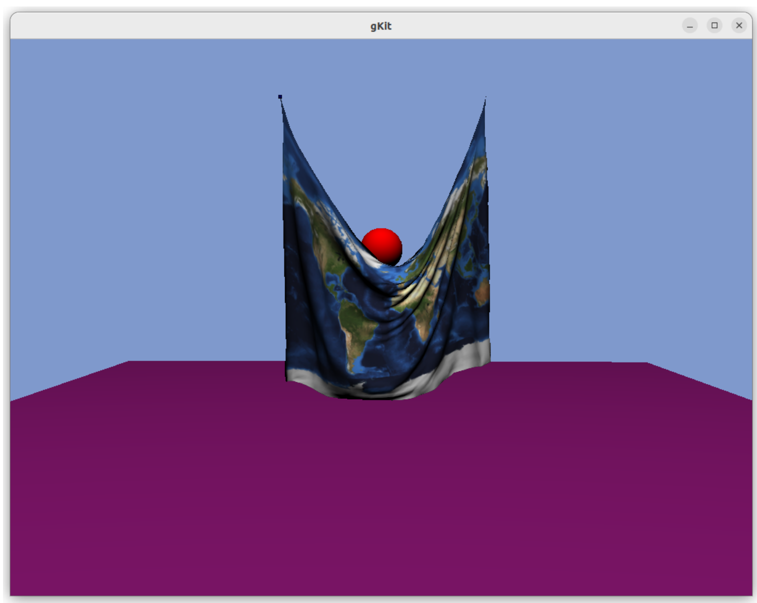
Rapport Animation en synthèse d'image

Université Claude Bernard Lyon 1

Théo Grillon - p1907354



Master 1 Informatique - UE M1if37

Animation par modèles physiques

Contents

1 Introduction

Dans le cadre de l'unité d'enseignement "Animation en synthèse d'images" en Master 1 d'Informatique à l'Université Claude Bernard Lyon 1, un travail d'animation par modèle physique a été réalisé. L'objectif était de simuler l'animation d'un tissu en se basant sur un système masses-ressorts. Dans ce rapport, nous allons aborder les différentes étapes qui ont permis de réaliser cette simulation.

2 Dynamique Newtonienne

Pour mettre en place cette simulation, on a besoin d'utiliser certain principe de la dynamique newtonienne. Dans le cadre de ce projet, on travaille sur un objet déformable basé sur un système de particules : système masses-ressorts que l'on appellera MSS par la suite pour **M**ass **S**pring **S**ystem. Cet objet est discrétisé par un nombre fini de particule possédant une masse, des coordonnées, ainsi qu'une vitesse et une accélération. Ces données vont nous permettrent de calculer un certain nombre de choses pour la simulation comme les forces par exemple.

On rappelle que la vitesse s'exprime comme la dérivée de la position : $\vec{V}(t) = \frac{\partial X(t)}{\partial t} = \dot{x}(t)\vec{i} + \dot{y}(t)\vec{j} + \dot{z}(t)\vec{k}$ et l'accélération comme la dérivée de la vitesse : $\vec{A}(t) = \frac{\partial V(t)}{\partial t} = \frac{\partial^2 X(t)}{\partial^2 t} = \ddot{x}(t)\vec{i} + \ddot{y}(t)\vec{j} + \ddot{z}(t)\vec{k}$.

La seconde loi de Newton nous dit : $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$, on utilisera cette équation pour calculer notamment l'accélération à un certain temps t. Cette accélération permet ensuite de calculer la nouvelle position à ce même temps t.

3 Boucle de simulation

La boucle de simulation correspond aux opérations que l'on effectue à chaque pas de temps. Voici les opérations à effectuer à chaque passage de boucle :

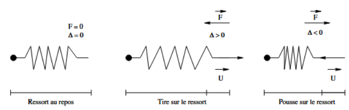
- Calcul des **forces** appliquées sur les particules
  - forces dues aux ressorts, force de gravité, force du vent...
- Calcul des **accélérations** (principe fondamental de la dynamique)
- Calcul des **vitesses** (intégration numérique des accélérations)
- Calcul des **positions** (intégration numérique des vitesses)

3.1 Calcul des forces appliquées sur l'objet

On a tout d'abord, la force de gravité. Cette force se traduit par le produit entre la masse de l'objet m et la constante de gravité g : $\vec{F} = -m \cdot g\vec{u}$.

Ensuite, comme on travaille avec un MSS, on doit calculer les forces dues aux ressorts. Lors de la déformation d'un ressort, plusieurs forces rentrent en jeu : la force de dispersion, de frottement et d'amortissement.

La force de rappel exercée par le ressort est définie comme suit pas la loi de Hooke : $\vec{F} = -k\Delta\vec{u}$, avec k la constante de raideur du ressort et Δ le déplacement du ressort.



3.2 Résolution du système différentielle du second ordre $\ddot{x} = \vec{F}/m$

Le but de la simulation est de mettre à jour la vitesse et la position des particules au cours du temps.

Chaque particule est définie initialement avec une masse m, une position initiale $x_0(t_0)$ et une vitesse initiale $v(t_0)$. Pour la boucle de simulation, un pas de temps h est défini.

On a précédemment calculé la somme des forces appliquées sur l'objet. On peut obtenir l'accélération en utilisant le seconde loi de Newton : $\vec{a}(t_0) = \vec{F}(t_0)/m$. Puis, en utilisant un schéma d'intégration numérique, on peut calculer la vitesse à partir de l'accélération et la position à partir de la vitesse, au temps $t_0 + h$.

4 Système masses-ressorts

Un système masses-ressorts ou MSS se définit comme un ensemble de masses connectées par des ressorts. Cela permet de pouvoir modéliser des objets divers et variés comme des courbes (cheveux, cordes,...), des surfaces (textiles, surface de l'eau,...), etc. La complexité d'un MSS dépend du nombre de masse et de leurs connexions.

Soit les données suivantes :

- $||x_i - x_j||$, la **distance actuelle** entre les 2 masses

- l_{ij}, la **longueur au repos** du ressort et $k_{ij} > 0$ sa **raideur**
- $\vec{u}_{ij}$, le **vecteur normalisé** allant de i vers j, défini par :
- ν_{ij} la **constante d'amortissement** du ressort

$$\vec{u}_{ij} = \frac{x_j(t) - x_i(t)}{||x_j(t) - x_i(t)||}$$

- La force appliquée à la masse j à partir du même ressort est défini par :

$$\vec{f}^e_{ji}(t) = -\vec{f}^e_{ij}(t)$$

Pour chaque particule, on va calculer la force des ressorts et celle d'amortissement. La force exercée sur chaque particule i du MSS est définie par :

- $\vec{f}_i(t) = \sum_{j \in \mathcal{A}_i} [\vec{f}^e_{ij}(t) + \vec{f}^v_{ij}(t)] + \text{gravite} + \text{interactions}$

$$\begin{cases} \vec{f}^e_{ij}(t) & = -k_{ij}(\|\mathbf{x}_i(t) - \mathbf{x}_j(t)\| - l_{ij})\mathbf{u}_{ij}, \text{ élasticité} \\ \vec{f}^v_{ij}(t) & = (-\nu_{ij}(\dot{\mathbf{x}}_j(t) - \dot{\mathbf{x}}_i(t)) \cdot \mathbf{u}_{ij})\mathbf{u}_{ij}, \text{ amortissement} \end{cases}$$

On obtient ainsi la somme des forces appliquées à notre tissu.

5 Travail réalisé

La première étape de ce projet était de mettre en place la simulation du tissu en se basant sur le système masses-ressorts abordé précédemment. Une fois l'animation du tissu terminé, il restait à ajouter plusieurs fonctionnalités supplémentaire tels que la déchirure du tissu, l'interaction avec les touches du clavier ou encore les collisions.

5.1 Déchirure

Comme vu précédemment, le tissu se compose d'une multitude de particules relier les unes aux autres par des ressorts. Ces ressorts permettent de diffuser une force entre toutes les particules et ainsi de mettre en mouvement le tissu. Chaque ressort lie deux particules entre elles. Lors du calcul des forces appliquées sur les particules du MSS, on peut définir une valeur correspondant à la longueur maximale du ressort L_{max} tel que, si la longueur courante du ressort est supérieure à L_{max}, le ressort "lâche", il y a donc déchirure. On peut simuler cette déchirure soit en supprimant le ressort en question du MSS ou bien en mettant ses valeurs de raideur et d'amortissement à 0.
Ici le maillage n'est pas mis à jour. L'arête reliant les deux particules est elle toujours visible.

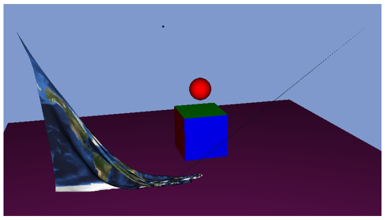


Figure 1: Déchirure du tissu

5.2 Intéraction

Le tissu est retenu par deux particules. L'utilisateur peut déplacer ces particules en utilisant les flèches directionnelles du clavier ainsi que la touche `PageUp` et `PageDown` pour les déplacements de haut en bas:

- Touche `m` : déplacement de la particule de gauche
- Touche `m+l` : déplacement des deux particules
- Touche `m+l+k` : déplacement inversé pour les deux particules

On modifie la position de/des particules de support ce qui entraine le reste des particules du MSS.

5.3 Collision

La collision entre différents objets comme le sol (plan), une sphère ou un cube ont été mis en place.

5.3.1 Avec le sol

La détection de collision entre une particule et le sol est assez simple puisqu'il suffit de vérifier si sa position en y est inférieure à la position en y du sol. Dans ce cas, on met à nulle la vitesse de cette particule et on la replace au niveau du sol, soit : $p_y = 0$ dans le cas où le sol est en 0.

Voici le résultat obtenu :

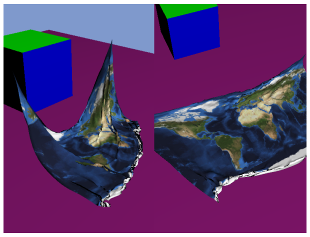


Figure 2: Collision avec le sol

5.3.2 Avec une sphère

Pour détecter la collision avec une sphère, il faut regarder si la distance entre le centre de cette sphère et la position de la particule est supérieure à son rayon (voir fig.2 ci-dessous).

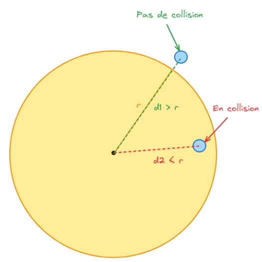


Figure 3: Collision avec une sphère

En cas de collision, la vitesse de la particule est remise à nulle et on la replace à la surface de la sphère. Pour ce faire, on calcule la normale au point de contact entre la sphère et la particule, puis on ajoute à la position du centre de la sphère cette normale multipliée par son rayon :

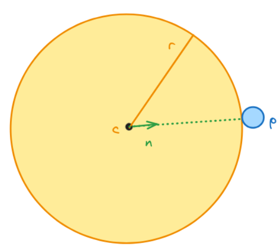


Figure 4: Replacement de la particule : $p = c + \vec{n} \times r$

Voici le résultat obetnu :

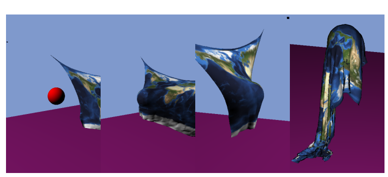


Figure 5: Détection de collision avec une sphère

5.3.3 Avec un cube

La gestion de la collision avec un cube est légèrement plus compliquée. On va d'abord réfléchir en deux dimensions. On souhaite tout d'abord déterminer si la particule ce situe dans le carré (2D). Pour cela, on doit vérifier que les coordonnées en x et y de la particule soient comprises entre $pmin$ et $pmax$ correspondant aux points qui définissent le carré :

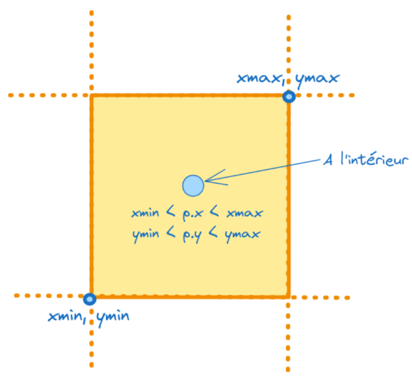


Figure 6: Détection de collision avec un carré

Ensuite, pour replacer la particule, on cherche le point de la surface du carré le plus proche :

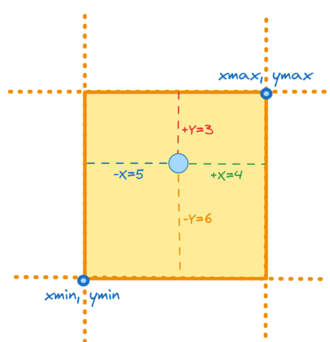


Figure 7: Replacement de la particule : $min(-X, +X, -Y, +Y)$

Sur le schéma ci-dessus, on a $-X, +X, -Y$ et $+Y$ qui correspondent à la distance entre la position de la particule et le point de surface le plus proche sur x et sur y. Pour déterminer le point de surface le plus proche auquel fixer la particule, il nous suffit de prendre la valeur minimale des quatre. Sur ce schéma, la valeur prise serait $+Y$. La nouvelle position de la particule sera donc : $p.y = +Y$. L'étendre à la troisième dimension revient à faire les mêmes opérations en ajoutant z.

Voici le résultat obtenu :

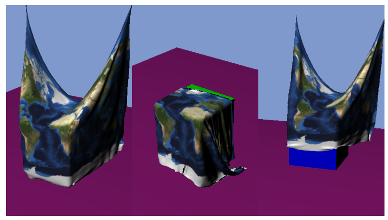


Figure 8: Collision cube-tissu

5.4 Force du vent

Pour simuler la force du vent, on ajoute un vecteur $(0, 0, v)$ à la somme des forces. Le calcul de la valeur de v est basé sur l'équation suivante :

$$v = A \cdot \cos(\omega \cdot t + \phi) + B \cdot \sin(\omega \cdot t + \theta),$$

avec t le temps, A et B l'amplitude déterminant la force de variation du vent, ω la fréquence angulaire, ϕ et θ les phases initiales. Toutes ces variables sont tirées aléatoirement à chaque pas de temps en utilisant une distribution uniforme.

6 Conclusion

Ce projet, bien que complexe en matière de calcul et de structure, a permis la mise en place d'une animation réaliste en se basant sur des principes de physique. Ce type de simulation reste cependant coûteux en temps de calcul.

Dans l'ensemble, la simulation fonctionne même si des instabilités peuvent se produire lors du déchirement du tissu et faire complètement éclater l'objet. Une amélioration du déchirement peut encore être effectué.