

Animation de tissus

CPE

5ETI IMI

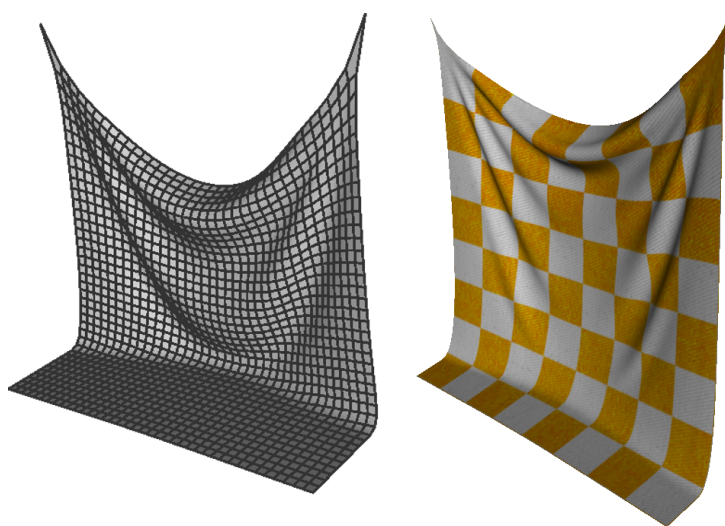


Figure 1: Exemple de simulation de tissu.

1 But

L'objectif de ce TP est d'implémenter le calcul des forces de ressorts modélisant une simulation de tissu, ainsi que l'intégration temporelle de ces forces suivant la méthode d'Euler explicite.

2 Prise en main de l'environnement

2.1 Compilation

Question 1 Compilez la partie 1 du projet et assurez-vous que celui-ci s'exécute (fenêtre interactive affichant une scène 3D animée). Assurez-vous que vous puissiez l'éditer depuis l'éditeur de votre choix (QtCreator ou autre). N'oubliez pas que vous pouvez configurer l'emplacement du lancement de votre exécutable dans vos IDE.

3 Simulation d'un ressort

3.1 Ressort unidimensionnel

On rappelle qu'en 1D, un ressort est modélisé par une force de rappel F s'appliquant en une position p de coordonnée x tel que:

$$F(t) = K (L_0 - (x(t) - x_0)) . \quad (1)$$

- K est appelé la constante de raideur du ressort.
- L_0 est la longueur au repos du ressort.
- x_0 étant l'autre extrémité du ressort.

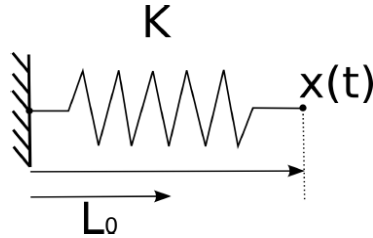


Figure 2: Modélisation d'un ressort unidimensionnel.

Question 2 Rappelez l'équation du mouvement d'un tel ressort dans le cas d'une simulation en temps continu.

3.2 Ressort 3D

Soit le ressort 3D liant les positions $\mathbf{p}_0, \mathbf{p}_1$. On supposera \mathbf{p}_0 fixe, et on s'intéresse à \mathbf{p}_1 . La position de coordonnées $\mathbf{p}_1 = (x_1, y_1, z_1)$ est cette fois soumise à la force de rappel du ressort s'écrivant vectoriellement:

$$\mathbf{F}(t) = K (L_0 - \|\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_0\|) \frac{\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_0}{\|\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_0\|}. \quad (2)$$

3.3 Simulation complète

Pour une simulation complète, il est possible d'ajouter la force de gravité \mathbf{g} . On peut également considérer une force de frottement fluide (*damping*) tel que

$$\mathbf{F}_d = -\mu \mathbf{v}, \quad (3)$$

où \mathbf{v} est la vitesse du point \mathbf{p} , et μ est le coefficient d'amortissement.

L'équation du mouvement est donc donné par

$$\begin{cases} m \frac{d\mathbf{v}}{dt}(t) = \mathbf{F}(t) + \mathbf{F}_d(t) + \mathbf{g} \\ \frac{d\mathbf{p}}{dt}(t) = \mathbf{v}(t), \end{cases} \quad (4)$$

où m représente la masse de la position.

3.4 Simulation numérique

La version discrétisée de l'équation précédente suivant la méthode dite *d'Euler explicite* consiste à considérer l'approximation

$$\begin{cases} m \frac{\mathbf{v}(t + \Delta t) - \mathbf{v}(t)}{\Delta t} = \mathbf{F}(t) + \mathbf{F}_d(t) + \mathbf{g} \\ \frac{\mathbf{p}(t + \Delta t) - \mathbf{p}(t)}{\Delta t} = \mathbf{v}(t), \end{cases} \quad (5)$$

On obtient ainsi la relation récursive implémentée dans le programme de démonstration en considérant une masse $m = 1$:

$$\begin{cases} \mathbf{v}(t + \Delta t) = (1 - \mu\Delta t) \mathbf{v}(t) + \Delta t (\mathbf{F}(t) + \mathbf{g}) \\ \mathbf{p}(t + \Delta t) = \mathbf{p}(t) + \Delta t \mathbf{v}(t) \end{cases} \quad (6)$$

Question 3 Identifiez la partie de calcul des forces et d'intégration numérique dans la fonction d'affichage actuelle.

Question 4 Observez le comportement de la simulation en modifiant les paramètres suivants

- Pas de simulation Δt
- Coefficient d'amortissement μ .
- Constante de raideur K .

Que se passe-t-il lorsque K est trop grand? Δt grand? Est-ce attendu de par l'étude du comportement d'un ressort à temps continu? Expliquez ce phénomène.

3.5 Ressorts couplés

Question 5 Ajoutez un second ressort (et une autre masse) attaché au premier et tombant également sous la gravité de manière à créer une chaîne de 2 ressorts couplés.

4 Simulation de tissu

Dans le reste du sujet, nous allons généraliser le couplage de ressorts afin de modéliser une surface maillée. Chaque sommet du maillage est alors relié à ses voisins par des ressorts (voir fig. 3).

Simuler un tel système permet alors de modéliser le comportements d'objets déformables. En particulier, nous allons considérer le cas d'une simulation de tissu.

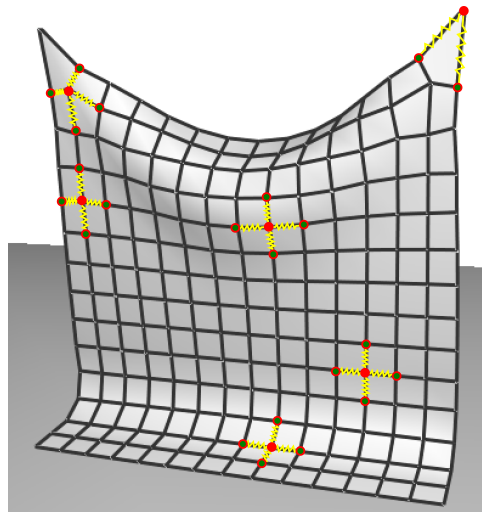


Figure 3: Exemple de surface déformable formée par un ensemble de ressorts (seulement quelques ressorts sont affichés).

4.1 Fonctionnement général

Question 6 Compilez et exécutez la seconde partie du projet (Pour l'instant, la scène est statique).

La classe `cloth/mesh_parametric_cloth` aide à la gestion d'une surface modélisant un tissu. Cette classe organisée comme un maillage paramétré suivant deux directions (u, v) stocke également pour chaque sommet un vecteur vitesse ainsi qu'un vecteur de force.

Pour l'instant les méthodes de calcul des forces et d'intégrations temporelles ne sont pas complètes.

4.2 Intégration temporelle

Question 7 Complétez la méthode `integration_step` réalisant une étape de la méthode d'intégration d'Euler explicite. Que ce passe-t-il lors de l'exécution du programme, pourquoi ?

4.3 Forces des ressorts

Question 8 Dans la classe `compute_force` fixez la valeur des forces à 0 pour deux sommets du côté du maillage. Observez que ces deux sommets restent fixes au cours de l'animation.

Nous allons ajouter désormais les forces de rappel des ressorts. Pour cela, nous distinguons trois types de ressorts comme illustrés en figure 4.

- Les ressorts structurels liants les 4 voisins directs d'un sommet. Ce sont ces ressorts qui donnent la structure principale du tissu.
- Les ressorts de cisaillement (shear) liants les 4 voisins diagonaux du sommet. Ces ressorts limitent les déplacements diagonaux des faces du maillage.
- Les ressorts de courbure (bend) liants les voisins espacés de 2 sommets. Ces ressorts limitent la courbure de la surface lors de sa déformation.

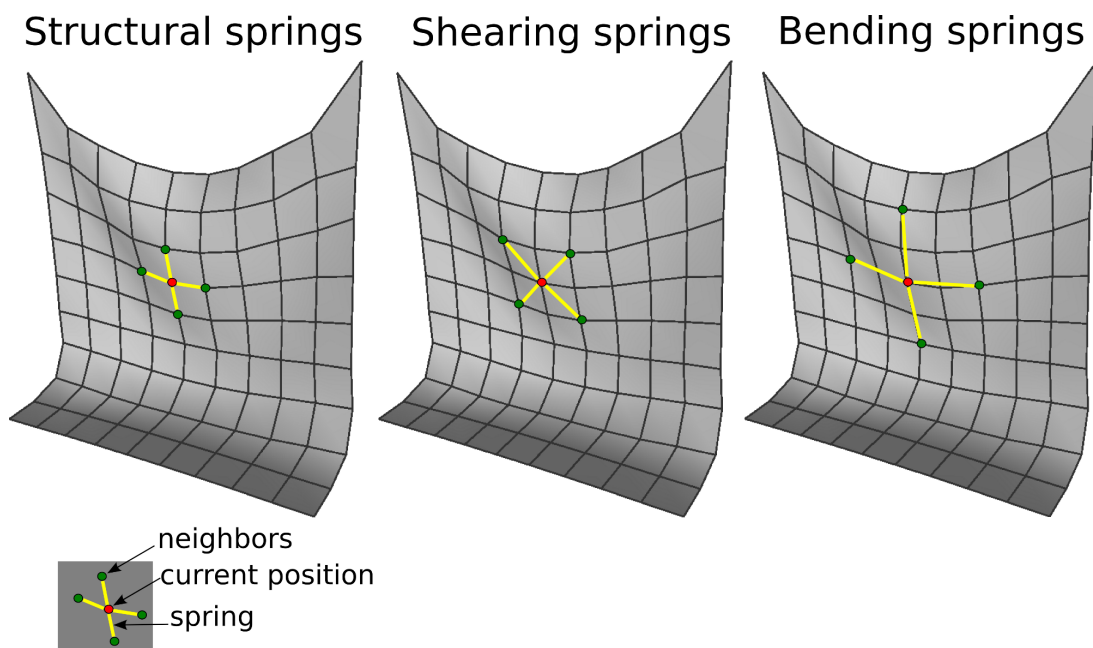


Figure 4: Les trois types de ressorts appliqués au point courant (cercle rouge).

Question 9 Ajoutez les forces des ressorts structurels dans un premier temps. Assurez vous que votre maillage se comporte correctement. Ajustez au besoin les valeurs de raideurs des ressorts, de temps d'intégration, d'atténuation de vitesse.

Question 10 Ajoutez les forces issus des ressorts de cisaillements et de courbure. Idéalement, mettez en place une implémentation qui évite trop de copié-collé.

Question 11 Observez l'influence de la raideur des ressorts sur l'apparence du résultat et la stabilité du système. Que faut-il faire pour rendre le système stable ? Commentez.

5 Contraintes

5.1 Contrainte avec un plan

Question 12 Modélisation l'action du plan horizontal de manière à ce que le tissu n'entre pas en collision avec celui-ci. Lorsqu'un sommet est passé sous le plan, projetez ses coordonnées sur le plan d'intersection et annulez la composante orthogonale des forces et de la vitesse.

5.2 Contrainte avec une sphère

Question 13 Similairement, faites en sorte que le tissu ne puisse pas pénétrer à l'intérieur de la sphère, mais vienne glisser sur celle-ci.

5.3 Effet du vent

La force exercée par le vent sur un tissu peut être modélisée par une force agissante dans la direction normale à la surface, et proportionnelle à l'angle entre la normale et la direction du vent. Pour cela, on peut considérer une force F_w telle que

$$F_w = K_w \langle \mathbf{n}, \mathbf{u}_w \rangle \mathbf{n},$$

où K_w est une constante correspondant à l'intensité du vent, \mathbf{n} est la normale à la surface, et \mathbf{u}_w la direction du vent (vecteur unitaire).

6 Améliorations possibles

6.1 Implémentation GPU

Le dernier programme implémente une déformation calculée sur GPU. La position, vitesse et les normales des sommets sont passées en tant que texture. Trois shaders différents viennent remplir leurs valeurs.

Question 14 Observez la structure du programme et différenciez la génération des textures liées aux positions, aux vitesses, aux normales et aux vraies coordonnées de textures.

Quel est le type de shader utilisé ? Quelle est la géométrie 3D d'entrée envoyée à la carte graphique par le CPU ?

Question 15 Complétez le shader de mise à jour de la vitesse en ajoutant les forces de rappels des ressorts. Comparez la vitesse d'exécution par rapport à la version CPU précédente.

Question 16 Ajoutez la force du vent dans votre simulation.

6.2 Amélioration de l'interface et de la scène

Question 17 *Ajoutez d'autres contraintes à votre scène. Expliquez comment vous gérez la collision. Essayez par exemple de placer une cape sur votre chat. Quelle solution simple de gestion de collision peut être mise en place.*

Question 18 *Améliorez l'interface graphique de votre modèle. Faites en sorte de pouvoir modifier dynamiquement les constantes de raideurs des ressorts, le pas de temps, l'atténuation. Faites en sorte de pouvoir relancer une simulation. Ajoutez d'autres paramètres pertinents à votre visualisation.*