Université Mohammed Khider-BISKRA

Faculté des Sciences Exactes et la nature et de la vie

Département d'informatique

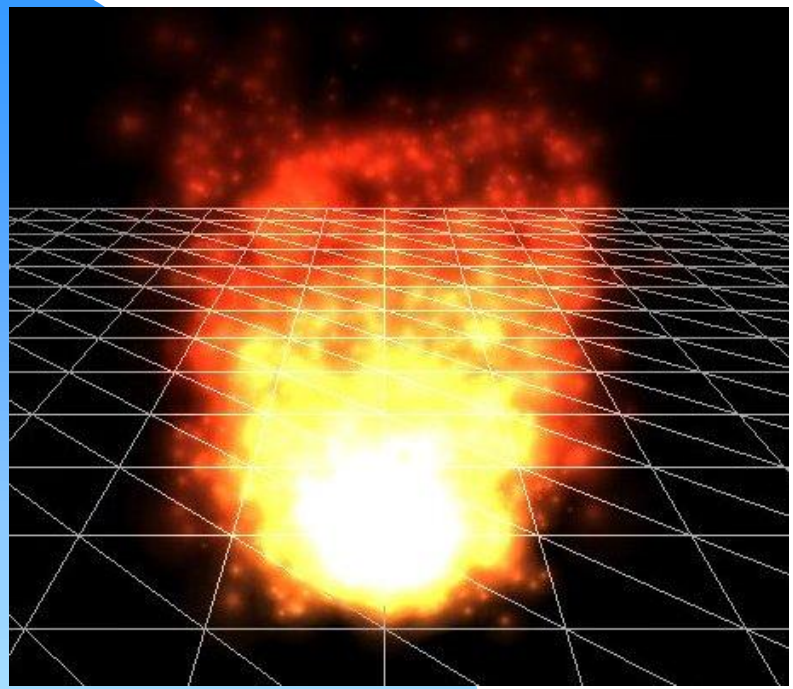
Cours de Master 1
Image et Vie Artificielle (IVA)

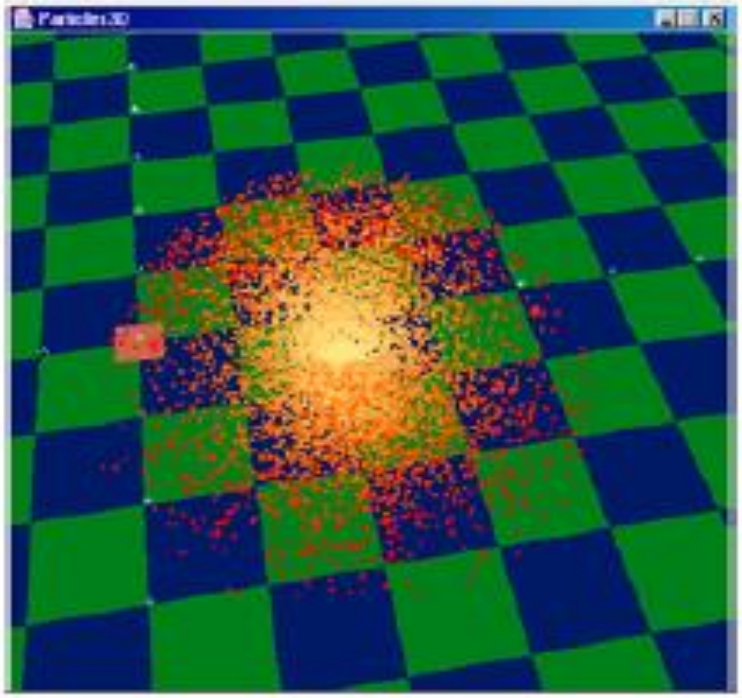
Module :

Animation par ordinateur

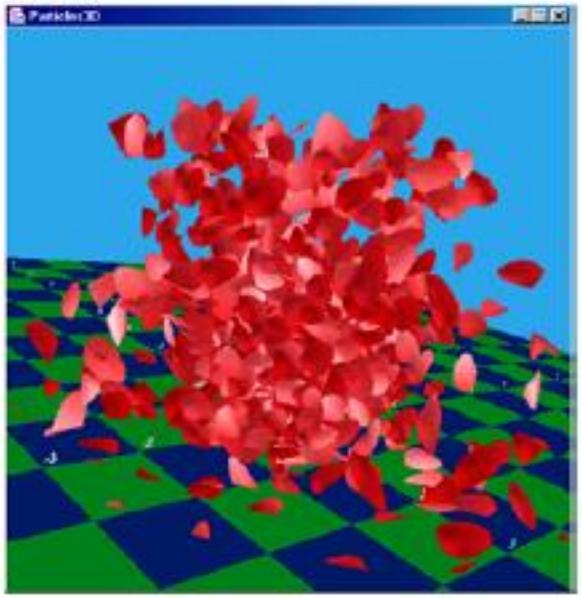
Pr. CHERIF Foudil

Systèmes de particules





Systèmes de particules



Systèmes de particules (historique)

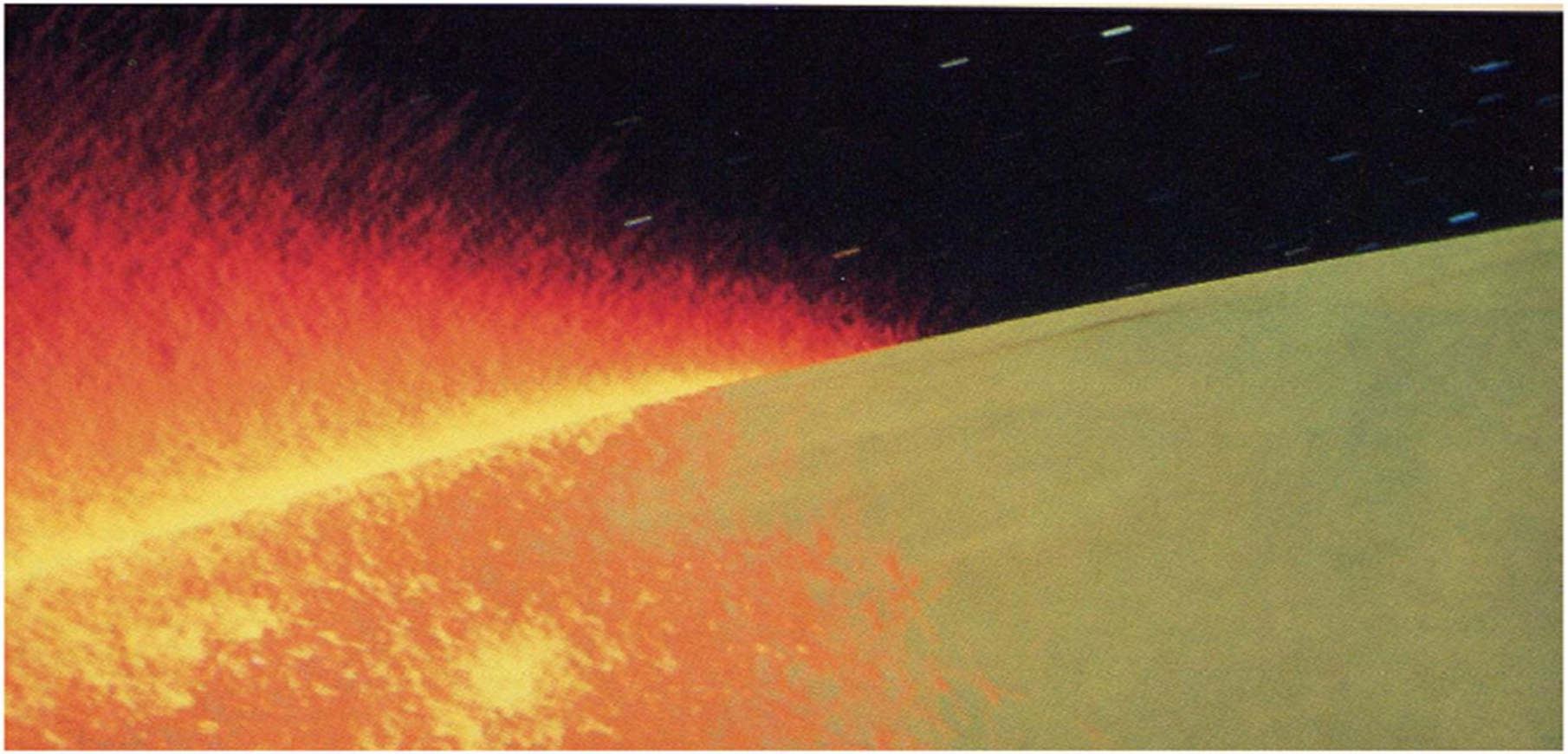
- En 1982, William Reeves, chercheur à Lucas film Ltd., a travaillé sur le film *Star Trek 2 : la colère de Khan*.

- Une grande partie du film tourne autour du projet "Genesis" qui est une torpille qui, une fois lancée sur une planète, crée une toute nouvelle planète dotée d'une grande diversité biologique en quelques jours de façon à la rendre habitable.

- Au cours d'une séquence, un mur de feu ondule sur la planète lors du processus de « terraformation »

Systèmes de particules (effets spéciaux)

Utilisation de systèmes de particules pour la création d'effets spéciaux



Star Trek II : La Colère de Khan (82, Lucasfilm) dans lequel un mur de feu balaie la surface d'une planète

17

Systèmes de particules (définition)

- Un système de particules est un ensemble de nombreuses (très nombreuses) particules minuscules qui représentent ensemble un objet **flou**. Sur une période de **temps**, les particules sont **générées** au sein d'un système, elles se **déplacent** et **changent** à l'intérieur du système et **meurent** dans le système." d'après l'article de :

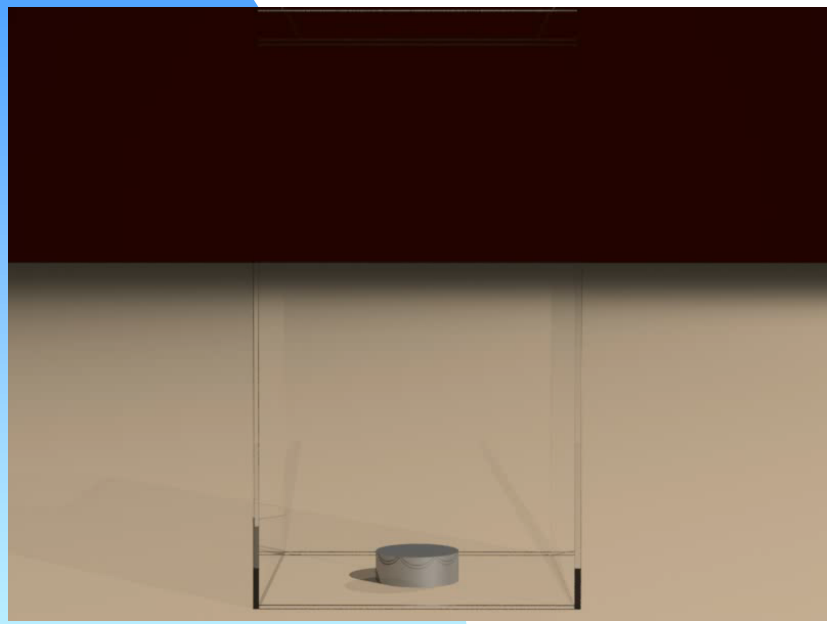
- William Reeves, "Systèmes de particules : une technique pour la modélisation d'une classe d'objets flous," ACM Transactions on Graphics 2:2 (avril 1983), 92.

Systèmes de particules (applications)

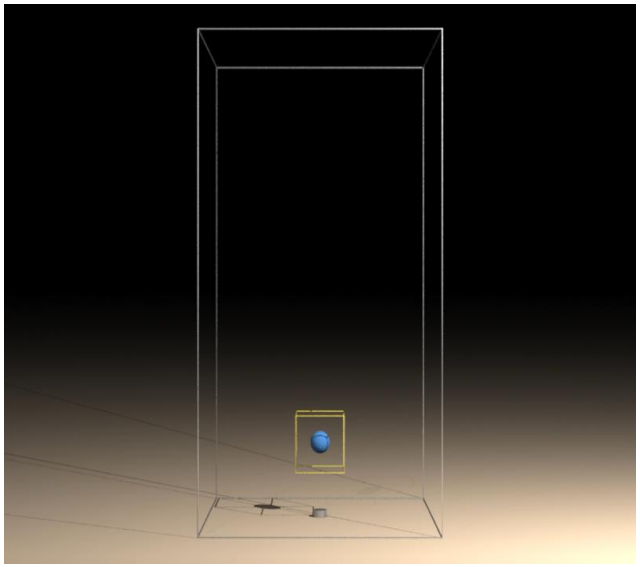
Depuis le début des années 1980, les systèmes de particules ont servi dans:

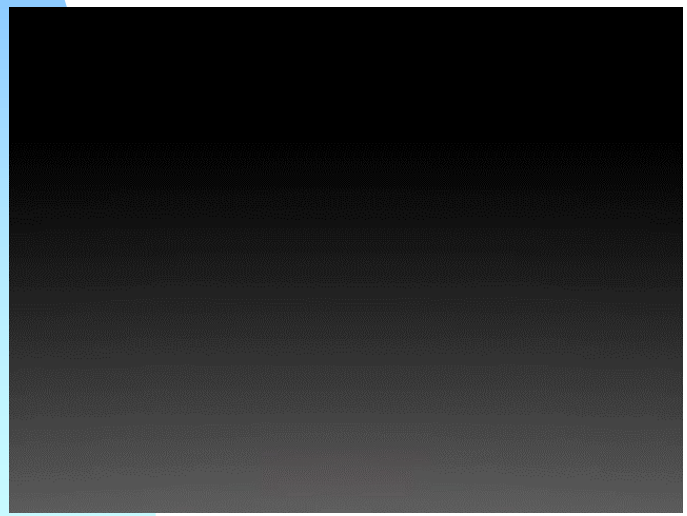
- les jeux vidéo,
- dans des animations,
- des œuvres d'art numérique
- et d'installations pour modéliser différents types de phénomènes naturels irréguliers, tels que l'incendie, la fumée, les chutes d'eau, le brouillard, l'herbe, les bulles, etc...
- Un site intéressant sur les systèmes de particules:
- https://fr.khanacademy.org/computing/computer-programming/programming-natural-simulations/programming-particle-systems/a/intro-to-particle-systems

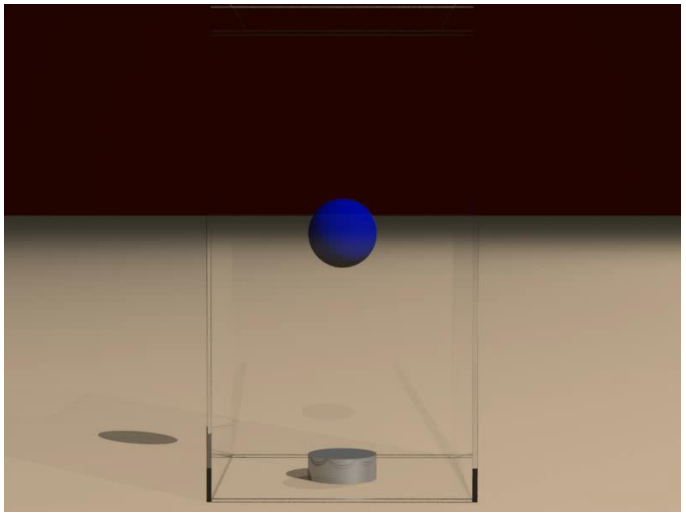
Quelques Vidéos



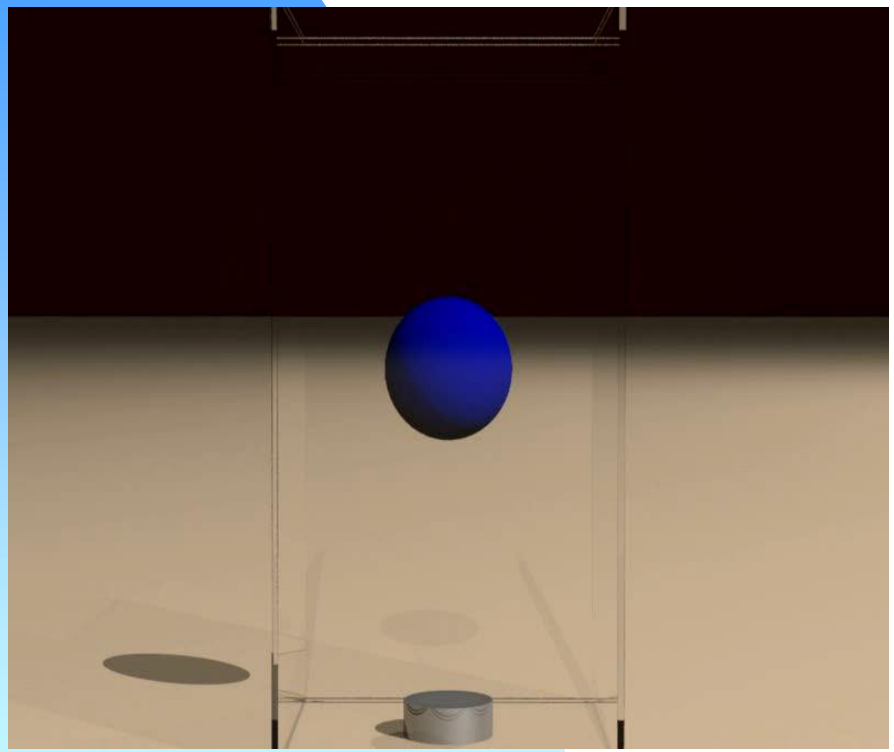
Vidéos

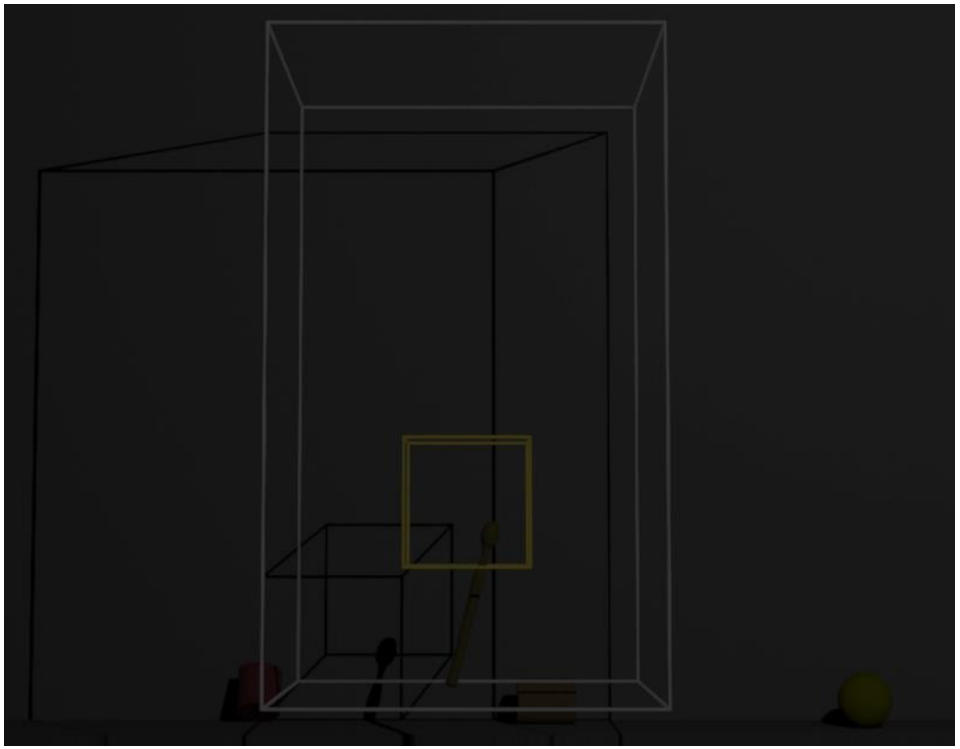






Vidéos





Modèle de particules

- Approche intéressante pour modéliser des objets **dynamiques**(évoluant dans **le temps**) dont la forme est décrite **difficilement** à l'aide de la surface de ces objets.

- Permet de représenter des objets flous: nuages, fumée, eau, arbres, naturels, verdures,…

- Ensemble de particules de forme élémentaires évoluant dans le temps:

- dotées de mouvement
- naissent et meurent
- avec des attributs qui changent dans le temps
- avec des attributs stochastiques définis à l'intérieur de régions (sphère, cylindre, cubes, etc…

Modèle de particules

Ensemble de particules de forme élémentaires évoluant dans le temps:

- dotées de mouvement
- naissent et meurent
- avec des attributs qui changent dans le temps
- avec des attributs stochastiques définis à l'intérieur de régions (sphère, cylindre, cubes, etc…

- Les attributs de particules sont générés **automatiquement**: Leur évolution est contrôlée automatiquement.

Principe

Pour n'importe quel type de système de particule on doit suivre les deux étapes:

- L'initialisation (émission)
- La modification

Avantages:

- Le comportement et l'apparence de chaque particule individuelle sont très simples
- Approche procédurale

Etapes:

1- Génération de particules:

Émission de particules : Les particules sont émises à partir d'un émetteur, qui peut être une source fixe ou mobile dans la scène. L'émission peut être continue ou déclenchée par des événements spécifiques.

Pour chaque image, un nombre aléatoire de particules est généré à l'aide d'une fonction de répartition choisie par l'animateur et centrée autour d'une moyenne

Etapes:

2- Attributs de particules:

Chacun de ces particules est initialisé au moment où la particule est créée.

- Position à l'intérieur d'une région
- Vitesse et direction
- Couleur, taille et forme (point, sphère, segment de droite,…)
- Transparence
- Durée de vie
- Etc…

Pour éviter l'uniformité, l'utilisateur peut rendre aléatoire les valeurs d'une manière contrôlée.

Etapes:

3- Animation de particules

- Trajectoire de parcours (position, vitesse)
- Changement de couleur dans le temps
- Changement de forme, de dimension dans le temps
- Changement de niveau de transparence dans le temps
- Etc…

Pour déterminer l'emplacement d'une particule dans l'espace, l'utilisateur peut considérer des forces et en déduire accélération, vitesse et position dans le temps.

La couleur, la transparence, la forme de la particule, etc… peuvent être en fonction du temps.

Etapes:

3- Animation de particules

Forces et effets physiques : Les particules peuvent être influencées par des forces physiques telles que la gravité, le vent, la turbulence, etc. Ces forces peuvent être simulées pour donner un aspect réaliste aux mouvements des particules.

Interactions entre particules : Les particules peuvent interagir entre elles, par exemple en se repoussant ou en s'attirant, en collisionnant ou en s'alignant selon des règles prédéfinies.

Contrôle de l'animation : Les animateurs peuvent contrôler le comportement des particules en ajustant différents paramètres tels que la densité de particules, la vitesse d'émission, les forces appliquées, etc.

Etapes:

4-Extinction des particules

- Durée de vie: séquences d'images à partir de la naissance)
- A chaque nouvelle image, la durée de vie d'une particule est diminué de 1
- Lorsque cet attribut atteint la valeur 0, la particule est retirée du système
- Les autres attributs d'une particule peuvent être fixés en fonction de l'attribut durée de vie

Etapes:

5-Rendu des particules

Une fois que les particules sont animées, elles doivent être rendues pour produire l'effet visuel final. Le rendu peut inclure des effets de lumière, de transparence, de flou de mouvement, etc.

Optimisation et performances : Les systèmes de particules peuvent générer un grand nombre d'entités à animer, ce qui peut être intensif en termes de calcul.

Pour maintenir des performances acceptables, des techniques d'optimisation telles que le regroupement de particules, la simplification des calculs physiques, ou l'utilisation de techniques de rendu efficaces sont souvent employées.

Etapes:

6-Hiérarchie des particules

Une image peut être constituée à partir de plusieurs groupes de particules dans une structure hiérarchique

Exemple: Feu d'artifices, feu,

Groupe de particules : Les particules peuvent être regroupées en ensembles plus petits appelés groupes. Chaque groupe peut avoir ses propres caractéristiques et comportements distincts.

Par exemple, un système de particules simulant un feu pourrait avoir un groupe de particules représentant les flammes et un autre groupe représentant les étincelles.

Etapes:

6-Hiérarchie des particules

La hiérarchie des particules permet aux animateurs et aux développeurs de contrôler et de manipuler différents aspects de l'animation des particules à différents niveaux.

- Par exemple, des effets globaux comme la gravité ou le vent peuvent être appliqués au niveau du système de particules,
- tandis que des caractéristiques spécifiques à un groupe, telles que la couleur des flammes, peuvent être ajustées au niveau du groupe de particules.
- Enfin, des caractéristiques individuelles comme la trajectoire ou la durée de vie peuvent être définies pour chaque particule individuellement.,

Description du modèle

Exemple :

W.T. Reeves (85)

1 arbre : de 1 à 1.7 millions de particules
1 scène : de 100 à 1000 arbres naturels.

Comme il existe un grand nombre d'éléments dans un système de particules, des hypothèses simplificatrices sont utilisées, aussi bien pour le rendu que pour le calcul de leurs mouvements.

Exemple :

Les particules n'entrent pas en collision les unes avec les autres.

Les particules ne projettent pas d'ombre, sauf en tant qu'agglomérat.

Les particules ne projettent de l'ombre que sur le reste de l'environnement et pas les unes sur les autres.

Les particules ne réfléchissent pas la lumière et elles sont toutes modélisées sous la forme de sources lumineuses ponctuelles.

8

Hypothèses de Reeves :

W. T. Reeves, "Particle Systems - A Technique for Modeling a Class of Fuzzy Objects", Computer Graphics, vol. 17, no. 3, pp 359-376, 1983

- Les particules n'entrent pas en collision entre elles
- Ne projettent de l'ombre que sur le reste du monde
- Ne réfléchissent pas la lumière, sont des sources de lumières ponctuelles
- Durée de vie finie (aléatoire). On généré des 100k part. dans une animation. Quelques K actifs simultanément
- Applications :

  -explosions

  -feux

Cycle de vie des particules(algorithme):

- **pour** chaque plage **temporelle** **faire**
  - 1. générer N nouvelles particules(émission)
  - 2. donner des attributs aux nouvelles particules
  - 3. détruire les particules dont la durée de vie est passée
  - 4. animer les particules restantes : gestion collision+ombre
  - 5. (les collisions peuvent être destructives),
  - 6. dessiner les particules restantes

  Fin pour

Particules

Attributs de la particule : **déterministes ou aléatoires**

- position
- vitesse
- paramètres de forme
- couleur
- transparence
- durée de vie (en nombre d'images)

en plus pour l'animation :

- vecteur somme des forces
- masse

Particules: exemple d'explosion

Région de création

Centre d'émission

Angle d'éjection

Vitesse d'éjection

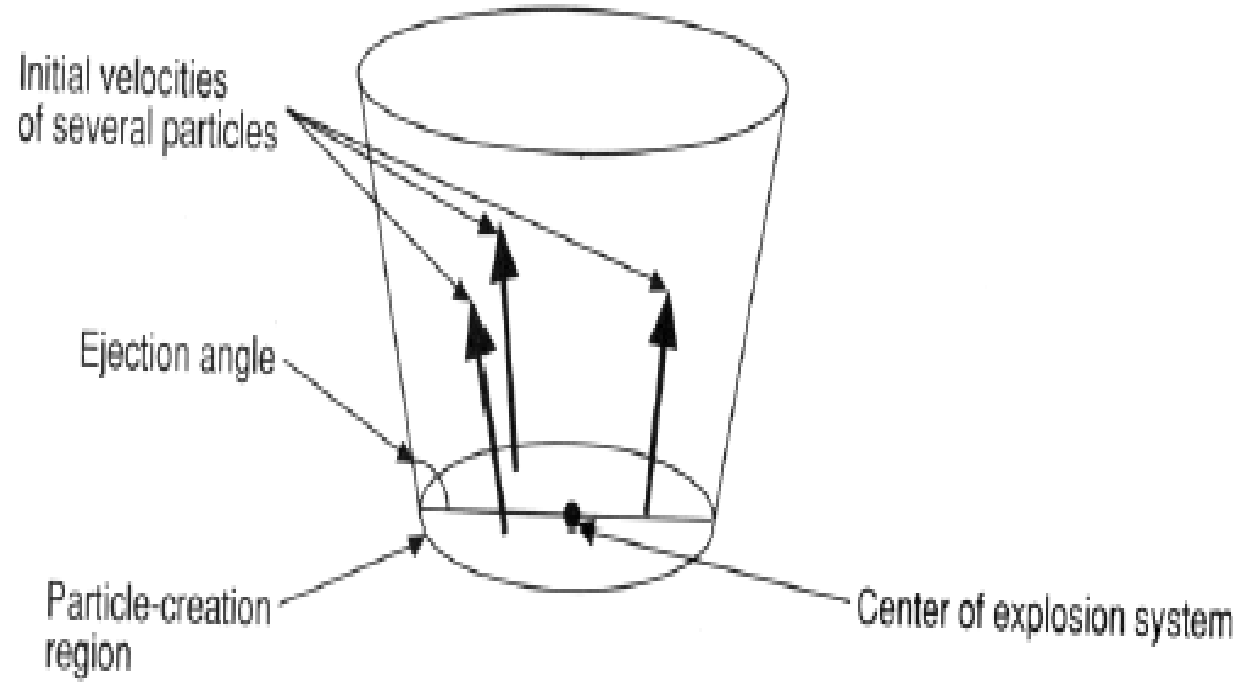


Fig. 20.17 The initial stage of a particle system for modeling an explosion.

Particules: pseudo-code

Exemple 1:: **feu d'artifice**

Concepts utilisés :

- **Système de particules** : Un ensemble d'objets (les particules) ayant des propriétés comme position, vitesse, durée de vie, etc.
- **Simulation physique** :
  - **Gravité** pour faire retomber les particules.
  - **Dissipation** : Les particules s'éteignent progressivement.
  - **Explosion** : Quand la particule principale atteint un certain point, elle explose en plusieurs petites particules.
- **Animation** : Une boucle de mise à jour et d'affichage pour simuler le mouvement.

Particules: pseudo-code

Exemple 1:: **feu d'artifice**

Explication en détails :

1- **Particules:**

- - Chaque particule a une position (x, y), une vitesse (vx, vy), une durée de vie et subit la gravité.
- - La position est mise à jour à chaque cycle de la boucle principale.
- - Si la durée de vie atteint 0, la particule disparaît.

Particules: pseudo-code

Exemple 1:: **feu d'artifice**

2- Feu d'artifice

- Au départ, il n'a qu'une particule principale qui monte.
- Lorsque cette particule ralentit et atteint son point culminant, elle explose en plusieurs petites particules secondaires.
- Ces nouvelles particules ont des vitesses aléatoires dans différentes directions (simulant une explosion).
- Les particules secondaires continuent de se déplacer jusqu'à ce qu'elles s'éteignent.

Particules: pseudo-code

Exemple 1:: **feu d'artifice**

3- Boucle principale

- Elle crée de nouveaux feux d'artifice avec une certaine probabilité.

- À chaque cycle, elle met à jour et dessine toutes les particules à l'écran.

- L'affichage est effacé et mis à jour à chaque frame pour créer l'illusion de mouvement.

4- Améliorations possibles :

- Ajouter un effet de traînée lumineuse aux particules.

- Modifier la couleur des particules au fil du temps.

- Ajouter un effet sonore lors de l'explosion.

- Simuler des différentes formes d'explosions (étoiles, cercles, anneaux, etc.).

Particules: pseudo-code

Exemple 1:: **feu d'artifice**

- **Définir une classe Particule** :
- Attributs :
- Position (x, y)
- Vitesse (vx, vy)
- Couleur
- Taille
- Durée de vie
- Gravité
- **Méthodes** :
- Mettre à jour :
- Appliquer la gravité sur vy
- Mettre à jour la position avec la vitesse
- Réduire la durée de vie

Particules: pseudo-code

Exemple 1:: **feu d'artifice**

- **Afficher** :
- Dessiner la particule si sa durée de vie > 0

- **Définir une classe FeuArtifice** :
- Attributs :
- Liste de particules
- État (avant ou après explosion)

- Méthodes :
- Initialiser :
- Générer une particule principale avec une vitesse initiale élevée
-

Particules: pseudo-code

Exemple 1:: **feu d'artifice**

- **Mettre à jour** :
- Pour chaque particule :
- Mettre à jour sa position et sa durée de vie
- Si la particule principale atteint son sommet :
- Déclencher l'explosion (générer des particules secondaires)
- Afficher :
- Dessiner toutes les particules actives
- **Boucle principale :**
- Initialiser une liste de feux d'artifice
- Tant que l'animation est en cours :
- Effacer l'écran
- Mettre à jour chaque feu d'artifice
- Afficher chaque feu d'artifice
- Attendre un court instant (simulation du framerate)

Particules: feu de camp)

FIGURE 2-2 – Un Feu de camp.

Particules: Les cracheurs de feu

FIGURE 2-3 – Les cracheurs de feu.

Particules: Feu de gaz

FIGURE 2-4 – Un Feu d'un gaz.

Particules: Feu d'un métal

FIGURE 2-5 – Un Feu d'un métal.

Particules: L’huile de cuisson

FIGURE 2-6 – L’huile de cuisson.

Particules: exemples(Hafidi)

3. Comparaison avec une image prise de la réalité :

FIGURE 6-7 – Comparaison avec un feu réaliste. (La figure qui est à gauche est une capture d'écran prise de 3DFS)

Particules: exemples(Hafidi)

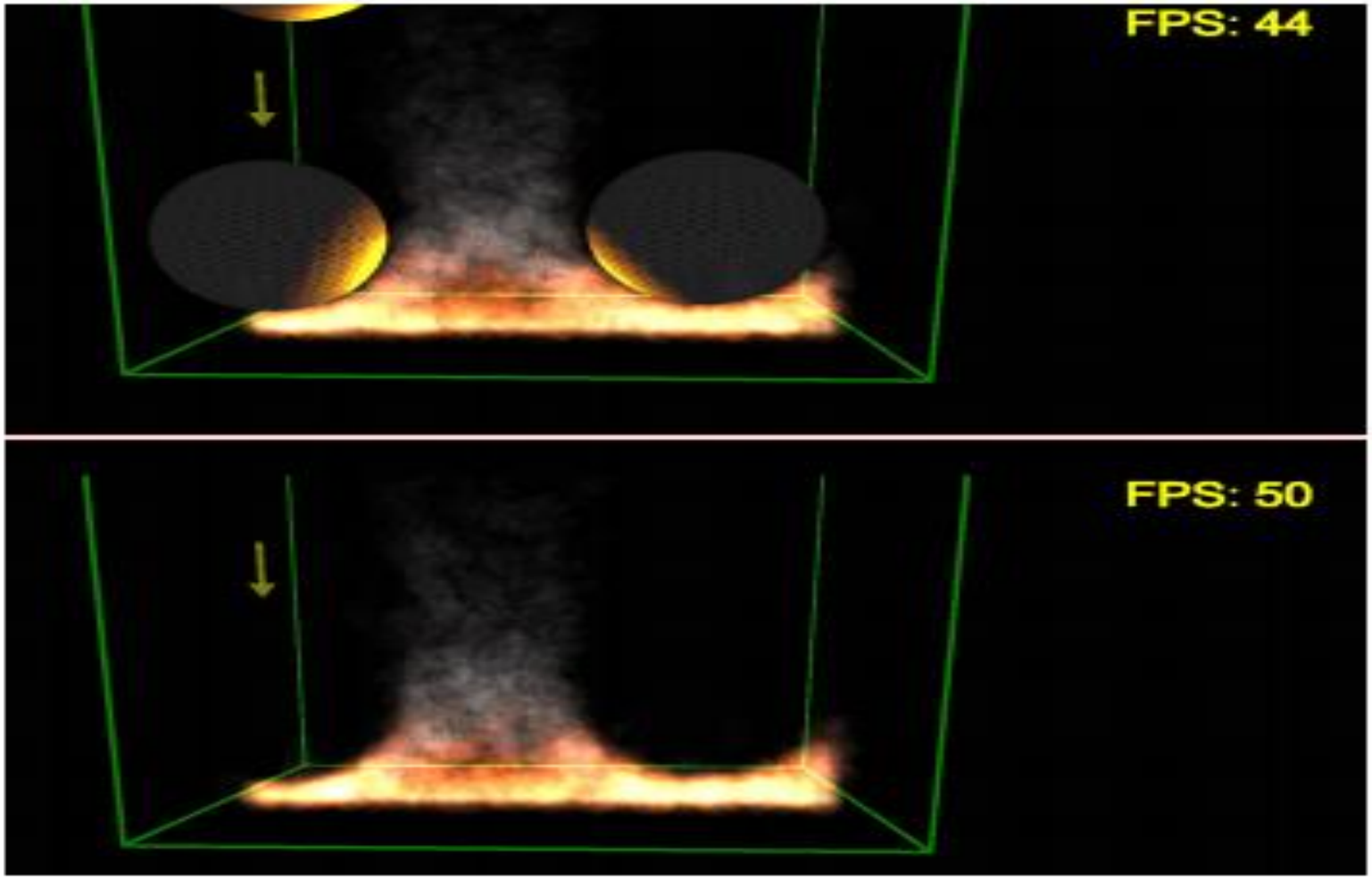


FIGURE 6-12 – Test d'interactivité avec un mur de feu, les objets interactifs sont visibles dans la figure en haut et non visibles dans celle du bas mais il restent présents dans les deux cas. (Ces figures sont des captures d'écran prises de 3DFS)

Particules: exemples(Hafidi)

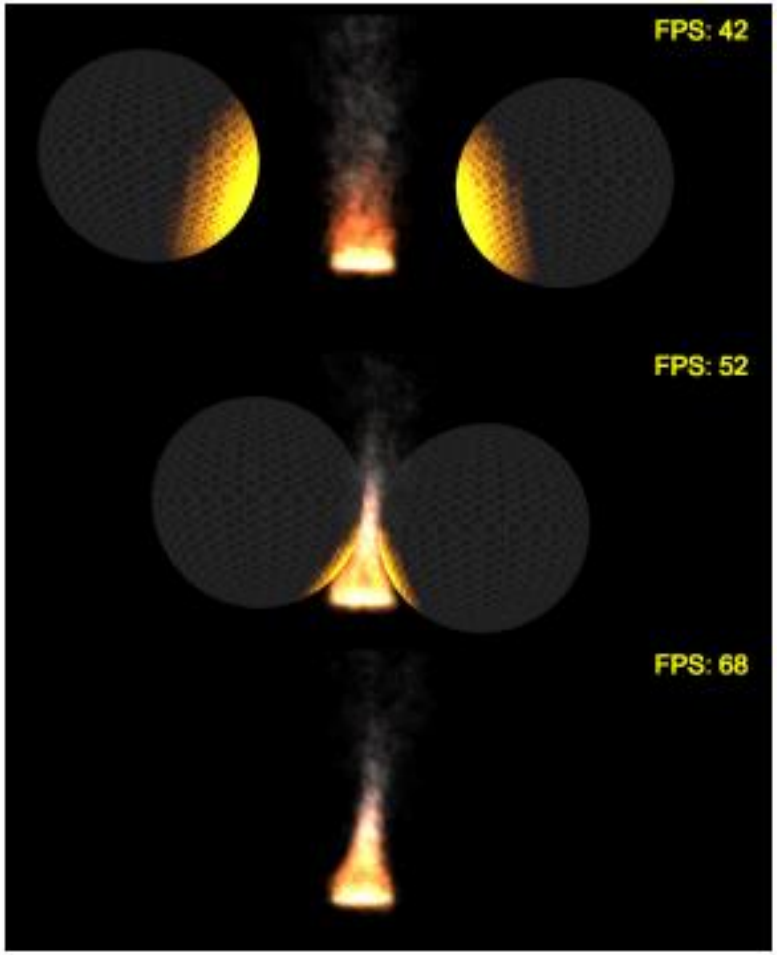


FIGURE 6-13 – Test d'interactivité avec un feu de camp. Dans la figure en bas les objets interactifs sont invisibles mais présents(Ces figures sont des captures d'écran prises de 3DFS)

Particules: exemples(Hafidi)

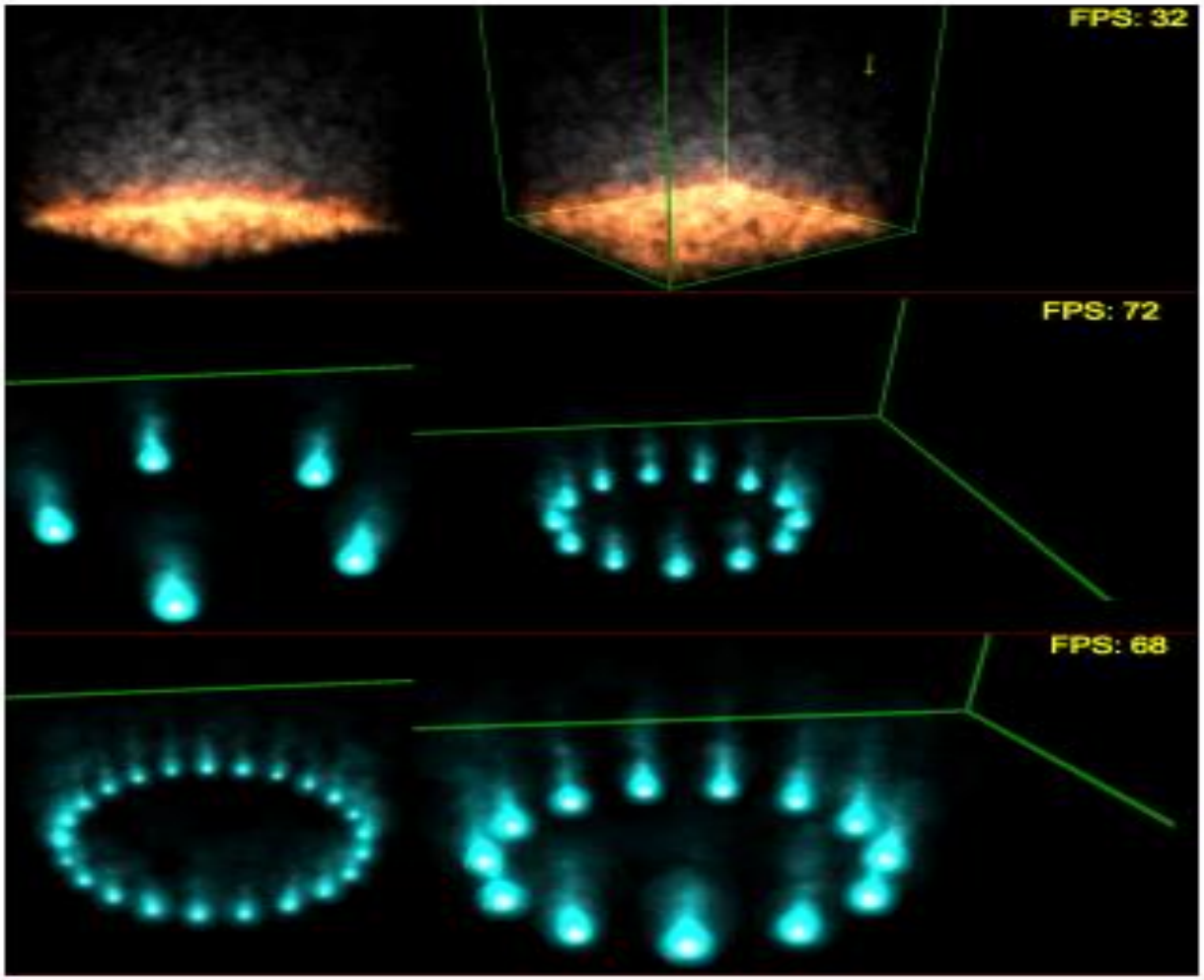


FIGURE 6-14 – Autres variétés de tests (Ces figures sont des captures d'écran prises

Contrôle et évaluation d'une particule

- La position d'une particule évolue au cours du temps sous l'influence de l'ensemble des forces qui lui sont appliquées
- A chaque moment, toutes les forces appliquées à une particule sont évalués et cumulées
- La force globale résultante est utilisée pour déduire le déplacement de la particule en fonction de son état courant
- La nouvelle position est déterminée en ajoutant le vecteur de vitesse à sa position courante
- La vitesse est modifiée par les forces qui s'appliquent à la particule
- D'autres attributs de la particules peuvent varier (couleur, transparence, taille, forme)
  - De façon globale
  - De façon individualisée
  - En fonction d'un paramètre de la particule (age)

Contrôle et évaluation d'une particule(suite)

- Seulement des forces externes
- A chaque instant t une particule est caractérisée par
  - Une position x(t)
  - Une vitesse v(t)
  - Une masse
  - Une force cumulée f(t) qui agit sur la particule selon la seconde loi du mouvement de Newton (F = m.a)
  - **A(t) = v(t) = x(t) = f(t)/m**
  - Il faut intégrer les équations différentielles pour résoudre l'équation
  - Il n'y a pas de solutions exactes et on utilise des méthodes de résolution numérique (Euler, Runge – Kuta)

Types de forces

- 1- Force unaire
  - S'applique indépendamment sur chaque particule(gravité)
- 2- Force binaire, n-aire
  - Résultante de l'interaction entre des particules

Force unaire : la gravité (f = mg)

- L'intensité de la force dépend de la masse de la particule
- L'intensité de la force est constante (indépendamment de l'instant ou de la position).

Types de forces

3- Champ de forces (f = k vwind)

- L'intensité de la force dépend de la position de la particule dans l'espace
- Vent, courant

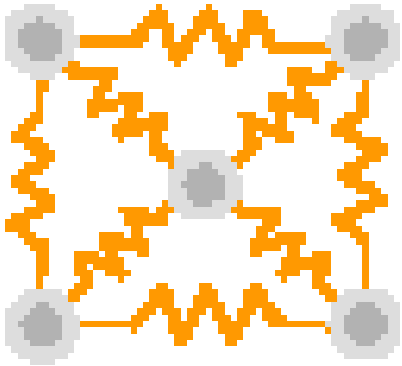
4- Force binaire : ressort

- Crée deux forces symétriques, opposées et de même intensité
- La force est proportionnelle à l'élongation appliquées au ressort à partir de sa position au repos

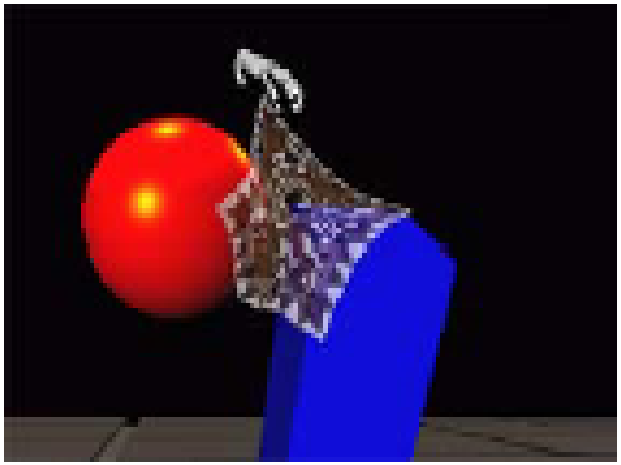
5- Attraction, répulsion

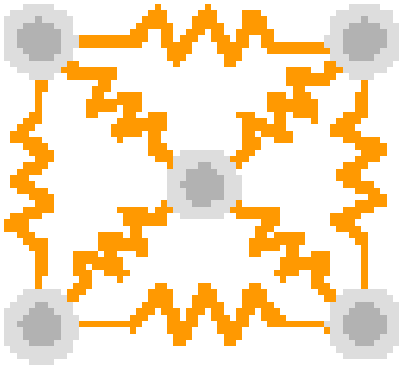
- On utilise des partitions de l'espace pour limiter les influences et réduire les calculs

Les systèmes masses-ressorts



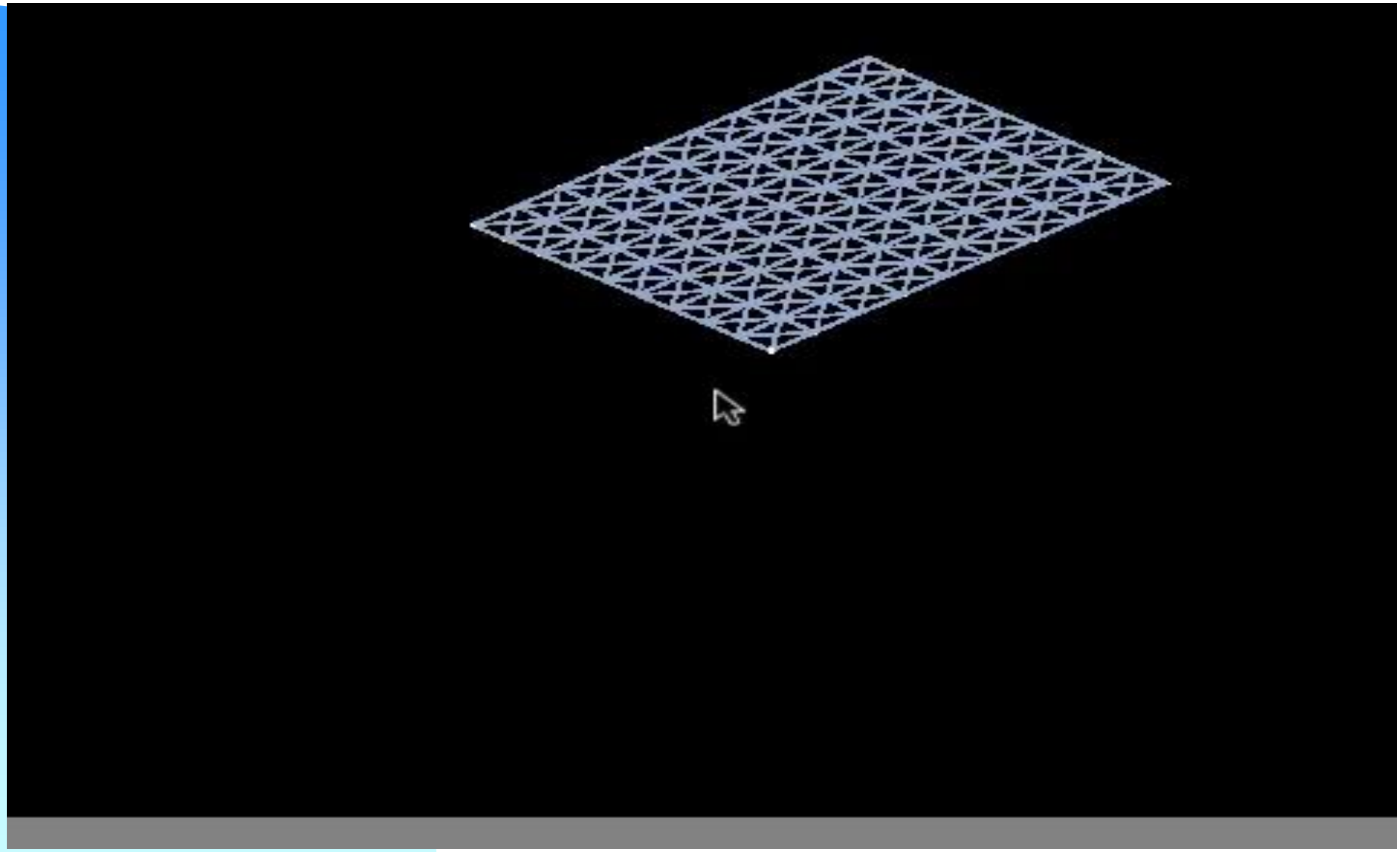
Systèmes masses-ressorts(exemples)



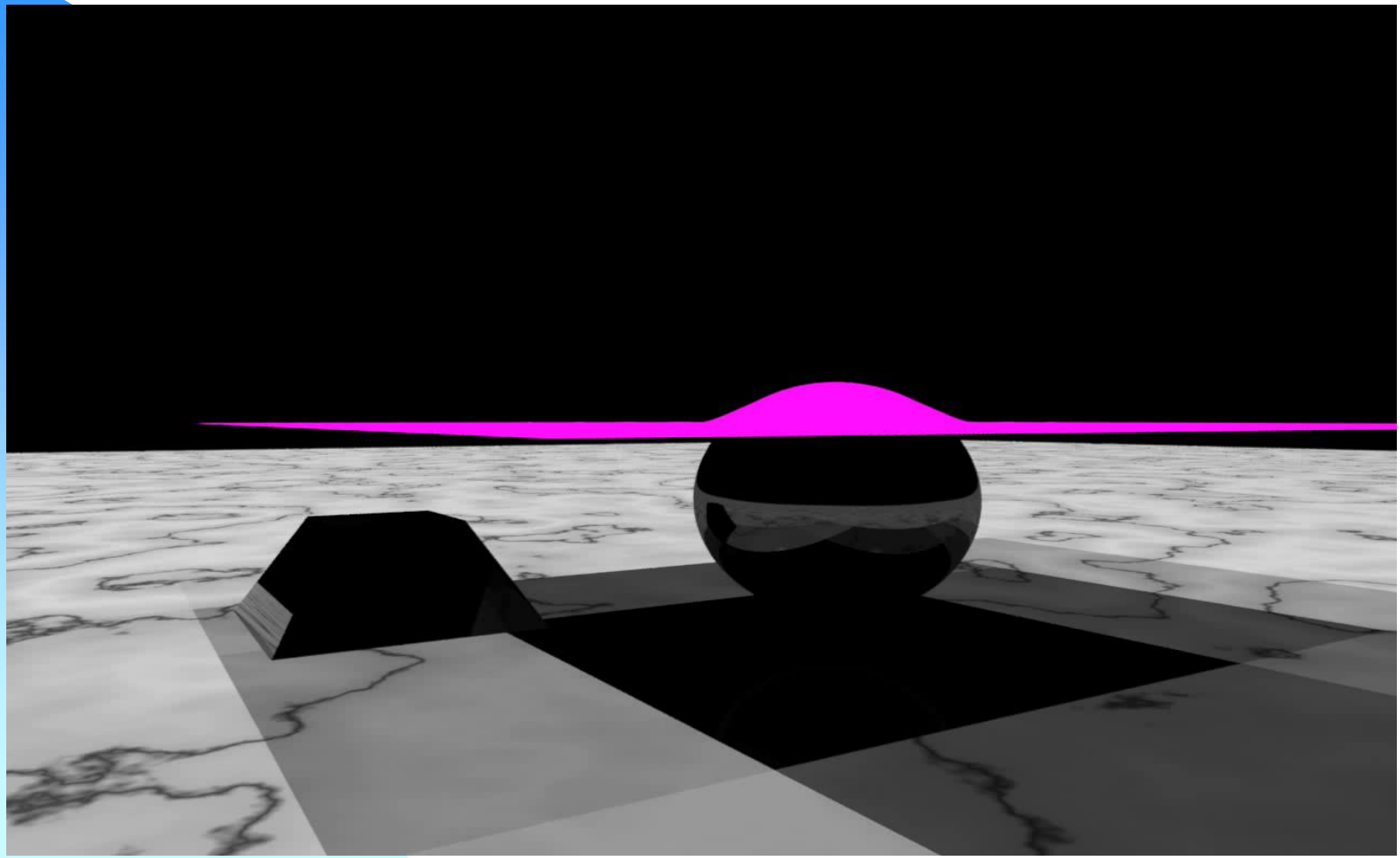


Systèmes masses-ressorts(vidéos)

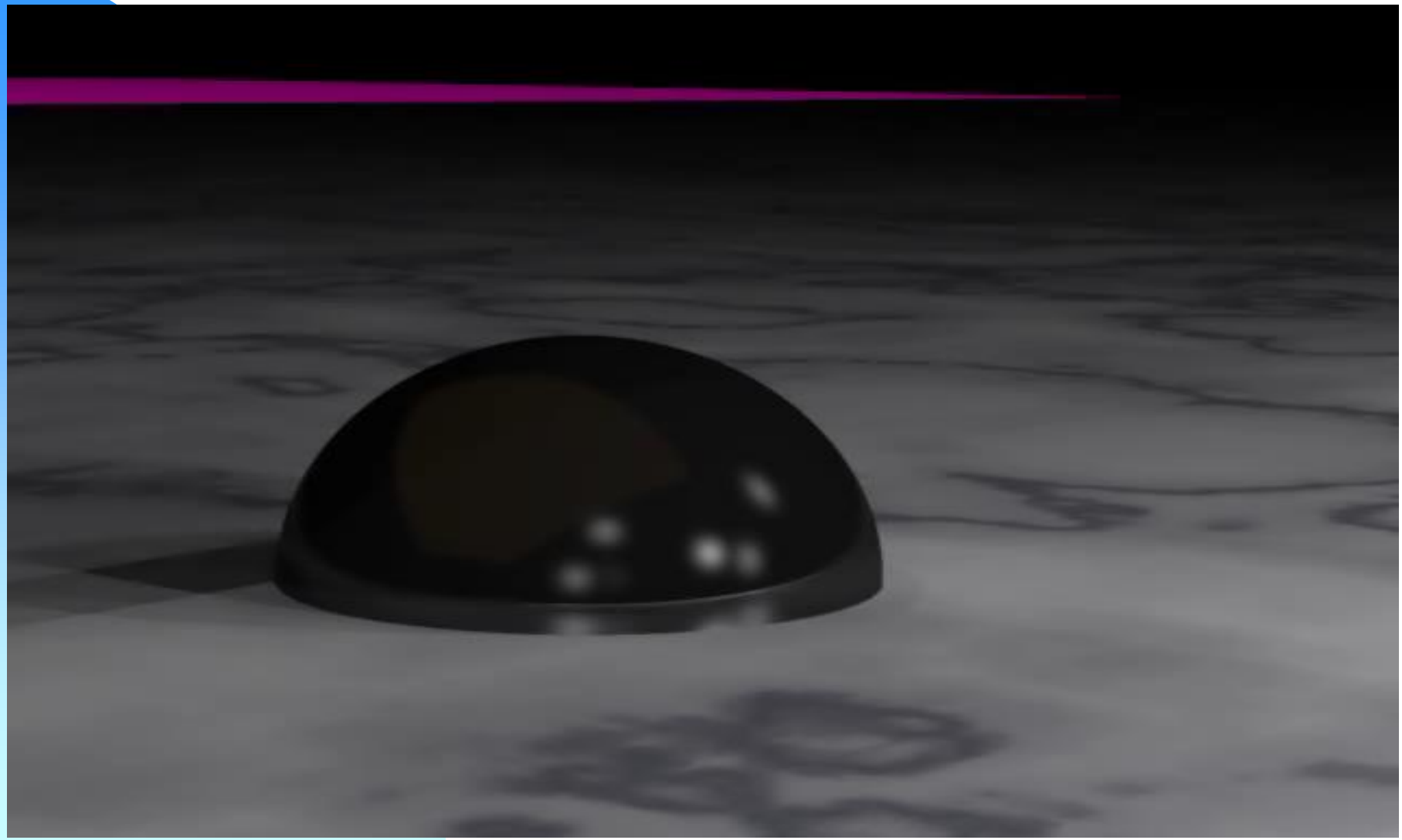
Systèmes masses-ressorts(vidéos)



Systèmes masses-ressorts(vidéos)



Systèmes masses-ressorts(vidéos)



Systèmes masses-ressorts(vidéos)

Systèmes masses-ressorts

Définition

Objet déformable modélisé par un ensemble de masses connectées par des ressorts

Les objets ainsi modélisés peuvent etre :

des courbes (cheveux, cordes, etc.)) 1 dimension

des surfaces (textiles, surface de l'eau, etc.)) 2 dimensions

des volumes (objets volumiques visqueux)) 3 dimensions

Complexité du système dépend:

- du nombre de masses
- de leurs connections

Systèmes masses-ressorts

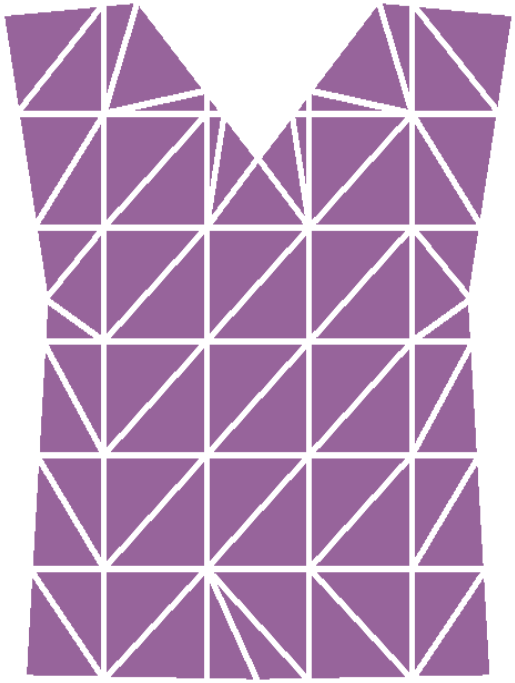
- Similaire aux systèmes de particules
- Particules sont structurées entre elles
- Pas de générateur, pas de durée de vie
- Les particules sont connectées entre elles par des ressorts (forces internes)
- Il est possible d'incorporer des forces dues aux interactions avec l'environnement (forces externes)
- Système 1D : cheveux
- Système 2D : tissus, vêtements
- Système 3D : muscles

Systèmes masse-ressort

- Idem systèmes de particules
  - Particules appelées « masses »
- Structure donnée
- Les masses font partie du modèle :
  - Pas de création, pas de destruction, pas d’âge
- Ressorts qui relient les masses :
  - Les forces ne sont plus universelles
  - Chaque force connaît les masses sur lesquelles elle agit

Systèmes masse-ressort

- Points en ligne :
  - Cheveux, ressorts, chaines…
- Points sur une surface :
  - Habits, tissus, peau…
- Points dans un réseau 3D :
  - Structures semi-rigides
  - Modèles souples, muscles,…



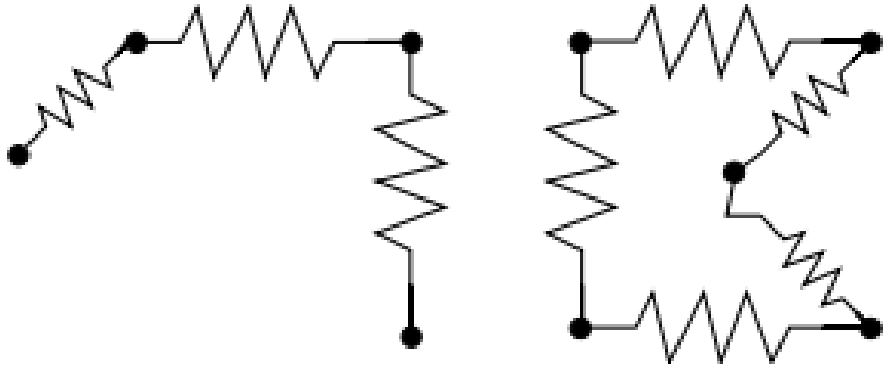
Masse-ressort

- On peut tout modéliser :
  - Tissus, solides, objets mous, semi-rigides…
  - Rigidité variable
- En théorie, c'est parfait : mais, …
- En pratique, c'est pas idéal :
  - Objets trop rigides :
    - ★Divergence, petit pas, temps de calcul prohibitif

Systèmes masses-ressorts

Cas 1D : ligne polygonale

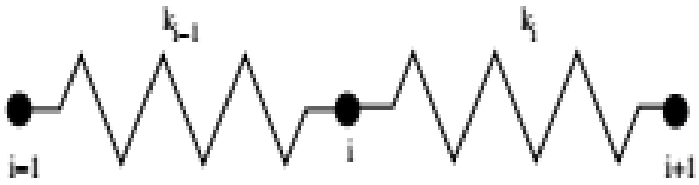
- Soit une courbe ouverte avec deux points terminaux
- Soit une courbe fermée (tous les points sont reliés)
- Chaque sommet représente une masse
- Chaque arête représente un ressort reliant les deux masses se trouvant aux deux extrémités de l'arête



Systèmes masses-ressorts

Formulation pour une chaîne ouverte

- Système avec p masses et $p-1$ ressorts les connectant
- Masses m_i de positions $\mathbf{x}_i$, pour $1 \leqslant i \leqslant p$
- Ressort i relie les masses m_i et m_{i+1}
- Point i connecté par deux ressorts aux points $i-1$ et $i+1$
  $\Rightarrow$ point i soumis aux forces exercées par ces deux ressorts

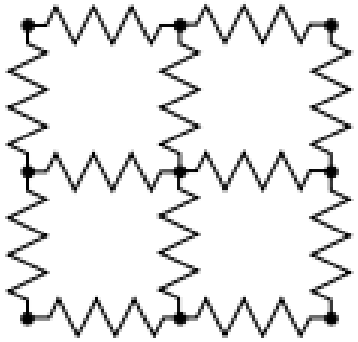


Systèmes masses-ressorts

Système masses-ressorts - Animation 2D

Définition de la surface

- Surface représentée par un ensemble de particules
- Particule i connectées à 4 particules voisines
- Pour le point i : $m_i \ddot{\mathbf{x}}_i = \sum_j \mathbf{f}_{i,j} + \mathbf{F}_i$
  avec $\mathbf{f}_{i,j} = k_{ij} \left(\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\| - l_{ij} \right)$, j voisin de i

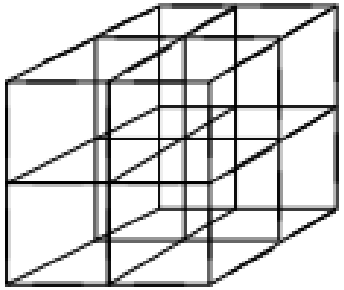


Systèmes masses-ressorts

Système masses-ressorts - Animation 3D

Définition du volume

- Volume représentée par un ensemble de particules
- Particule i connectées à 8 particules voisines
- Pour le point i : $m_i \ddot{\mathbf{x}}_i = \sum_j \mathbf{f}_{i,j} + \mathbf{F}_i$
  avec $\mathbf{f}_{i,j} = k_{ij} \left(\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\| - l_{ij} \right)$, j voisin de i



Systèmes masses-ressorts

Système masses-ressorts - Généralisation

Formulation d'un système masses-ressorts

- Système contenant p particules de masses m_i, de position $\mathbf{x}_i$
- Chaque ressort relie masses m_i et m_j, de raideur $k_{ij} > 0$, de longueur au repos l_{ij}
- Soit $\mathcal{A}_i$ = ensemble des indices j tels que m_i connectée à m_j
- Equation du mouvement de la particule i :
  $m_i \ddot{\mathbf{x}}_i = \sum_{j \in \mathcal{A}_i} k_{ij} \left(\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\| - l_{ij} \right) + \mathbf{F}_i$

Systèmes masses-ressorts

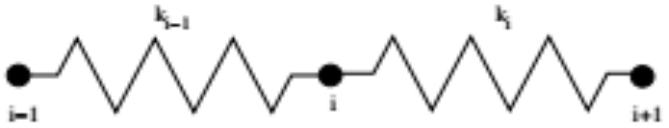
Système masses-ressorts - Animation 1D

Paramètres du système

- Ressort reliant i et $i+1$: raideur k_i, longueur au repos l_i
- $\mathbf{F}_i$: forces externes appliquées au point i (vent, gravité, etc.)

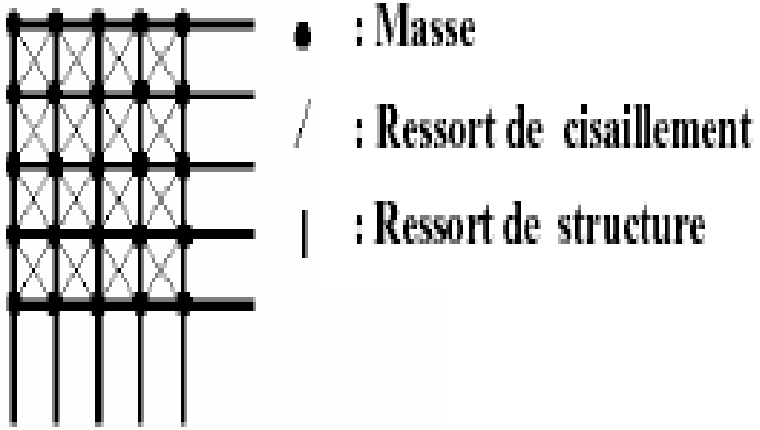
Formulation du système différentielle

- Pour le point i :
  $m_i\ddot{\mathbf{x}}_i$ =somme des forces appliquées sur i
  $m_i\ddot{\mathbf{x}}_i = k_{i-1}\left(\|\mathbf{x}_{i-1} - \mathbf{x}_i\| - l_{i-1}\right) + k_i\left(\|\mathbf{x}_{i+1} - \mathbf{x}_i\| - l_i\right) + \mathbf{F}_i$

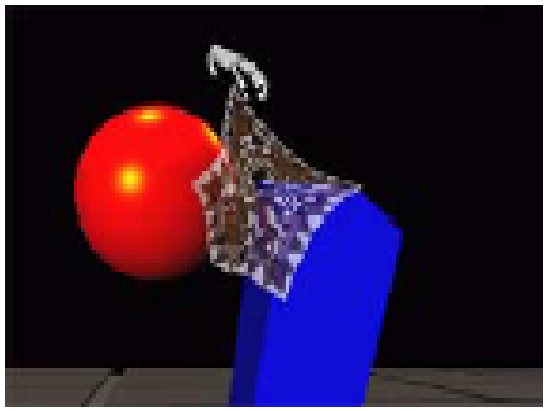


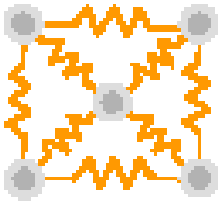
Systèmes masses-ressorts(résumé)

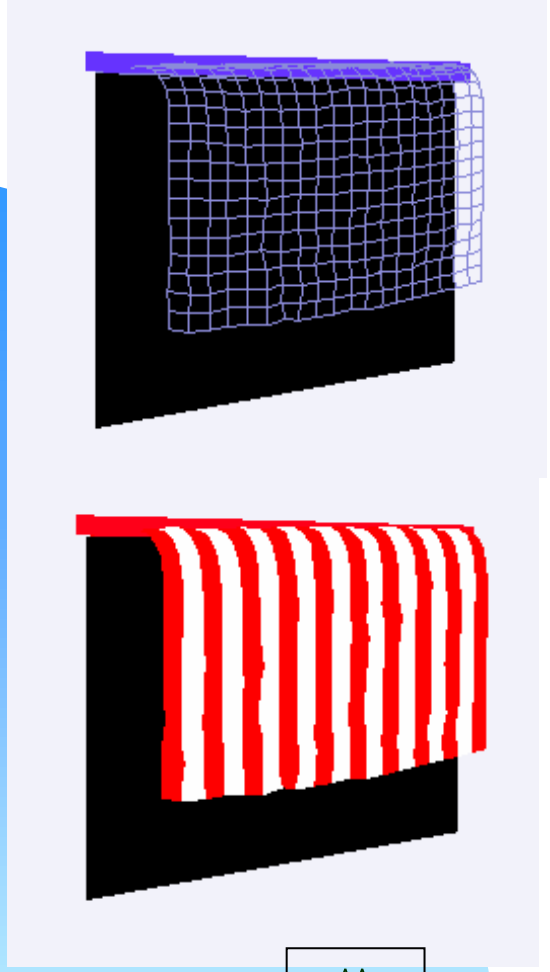
- Un système masse ressort est un ensemble de masses reliées entre elles par des ressorts.
- L'utilisation la plus triviale de cette méthode consiste à simuler une grille rectangulaire organisée en carrés, avec des ressorts diagonaux en plus.
- Chaque point de la grille est une masse et chaque arête est un ressort. Les interactions entre ces éléments sous l'effet de la gravitation ou d'autres forces donnent un résultat visuel similaire à une surface élastique, bien qu'il n'y ait pas de correspondance rigoureuse avec la réalité

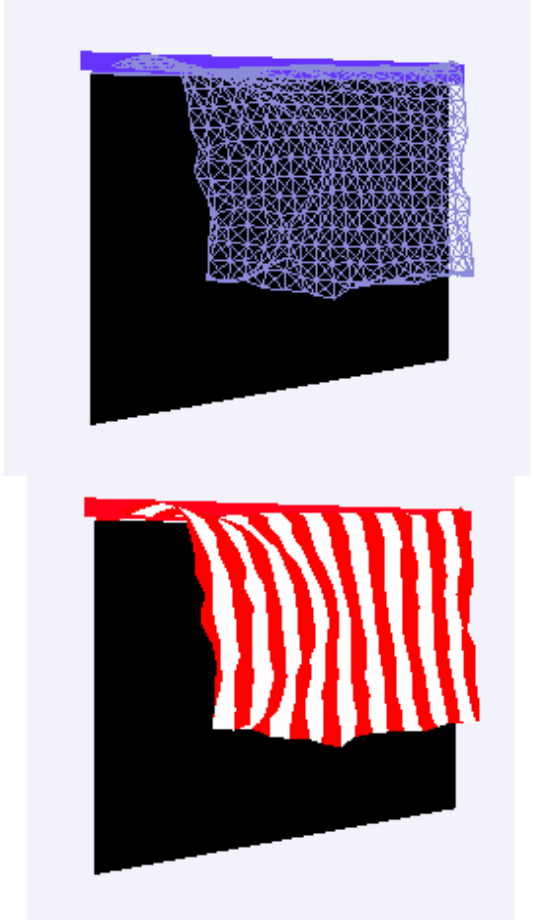


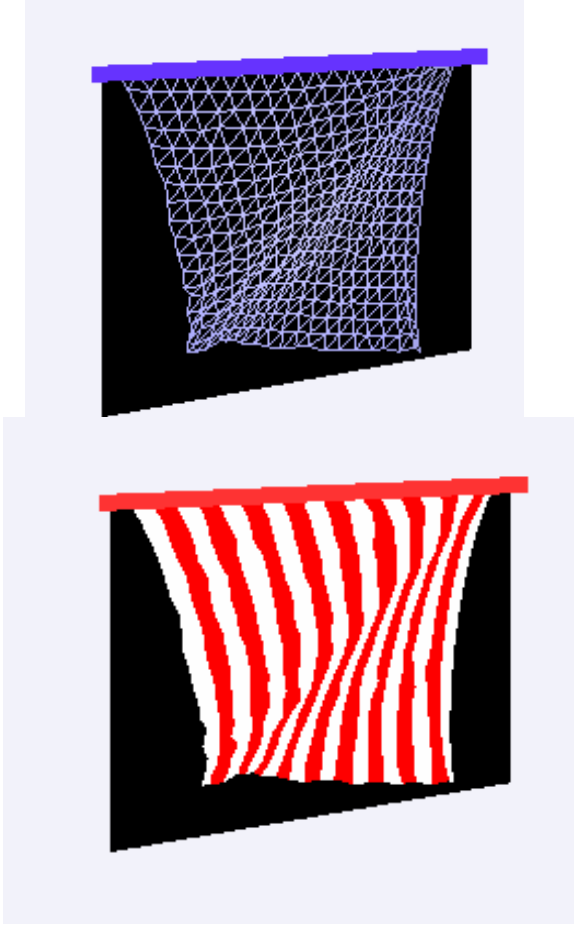
Systèmes masses-ressorts(exemples)

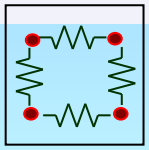


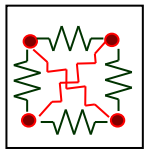


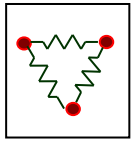






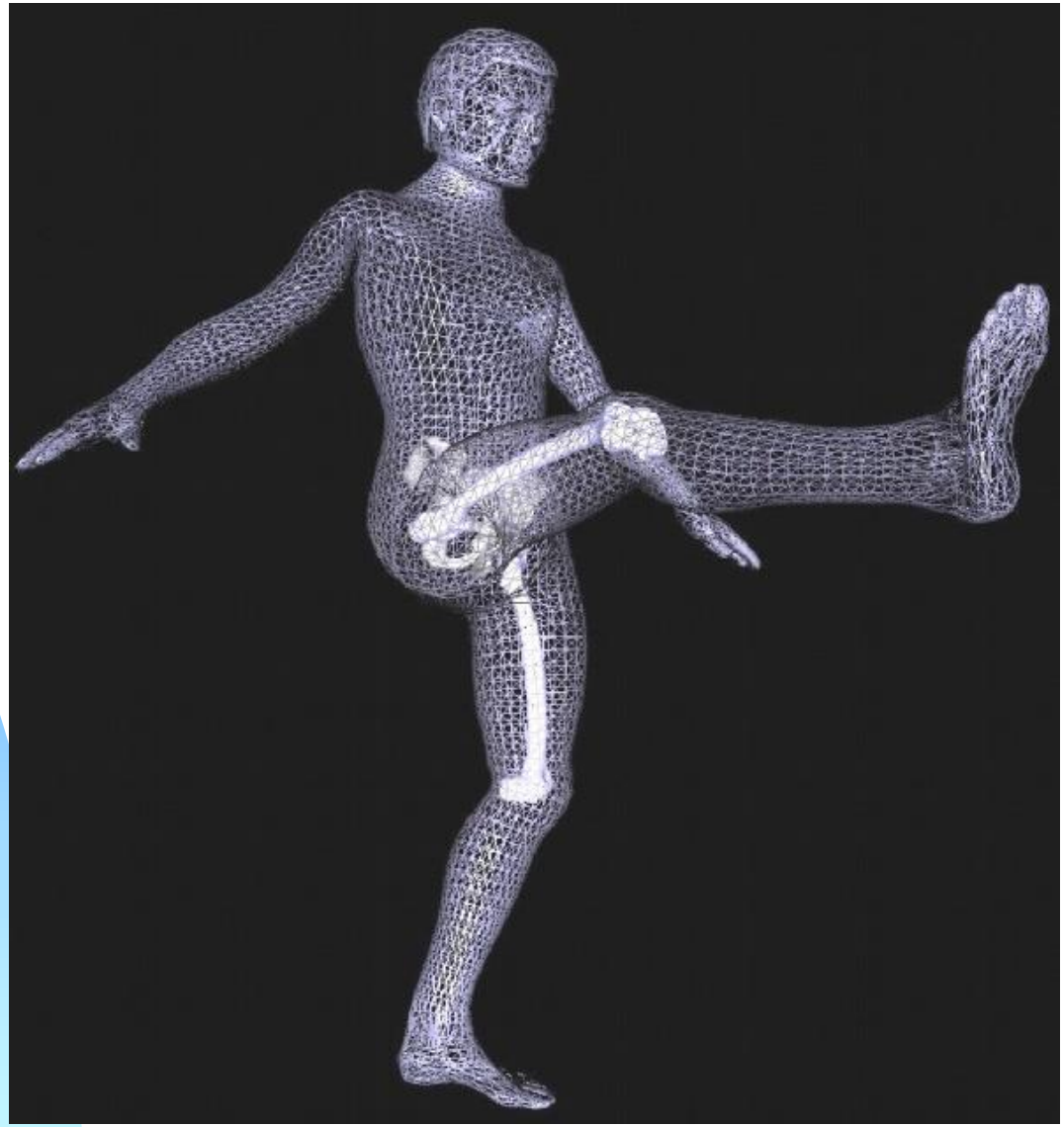






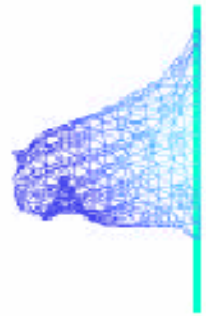
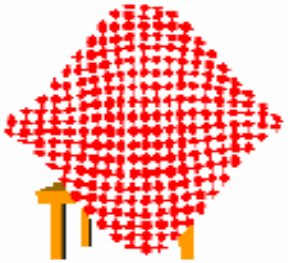
Maillage rectangulaire avec des ressorts de structure	Maillage rectangulaire avec des ressorts de structure et de cisaillement	Maillage triangulaire avec des ressorts de structure

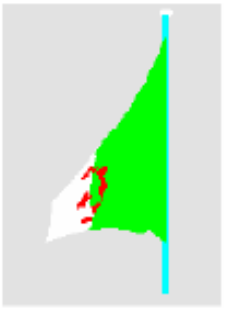
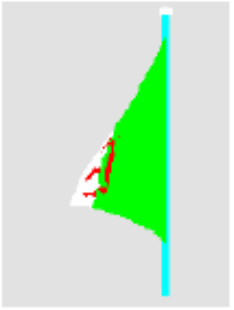
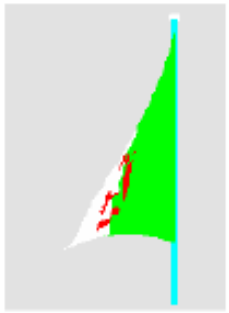
Benameur04 (Laboratoire LESIA-2004)

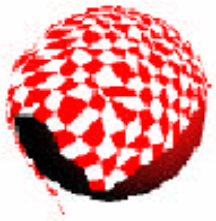


Maillage type masse ressort d'un humain virtuel (Miralab université de Genève)

Systèmes masses-ressorts(exemples)

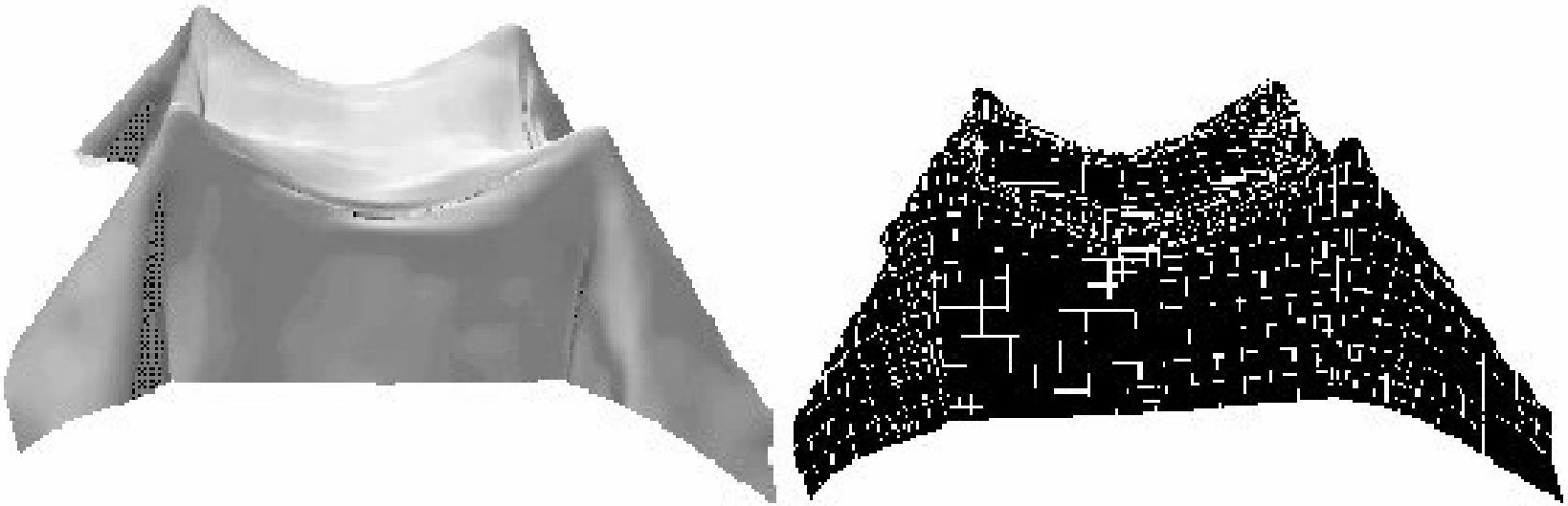
Représentation par niveaux de détails (basculement dans les deux sens)	Représentation sans niveaux de détails
 1	 1

Maillage rectangulaire avec des ressorts de structure	Maillage rectangulaire avec des ressorts de structure et de cisaillement	Maillage triangulaire
		

Rideau avec un maillage triangulaire	Rideau avec un maillage rectangulaire	Tissu sous forme de losange tombant sur une sphère
		

Représentation par niveaux de détails (basculement dans un seul sens)	niveaux de détails (basculement dans un seul sens)	niveaux de détails (basculement dans les deux sens)
1	1	1

Systèmes masses-ressorts(exemples)

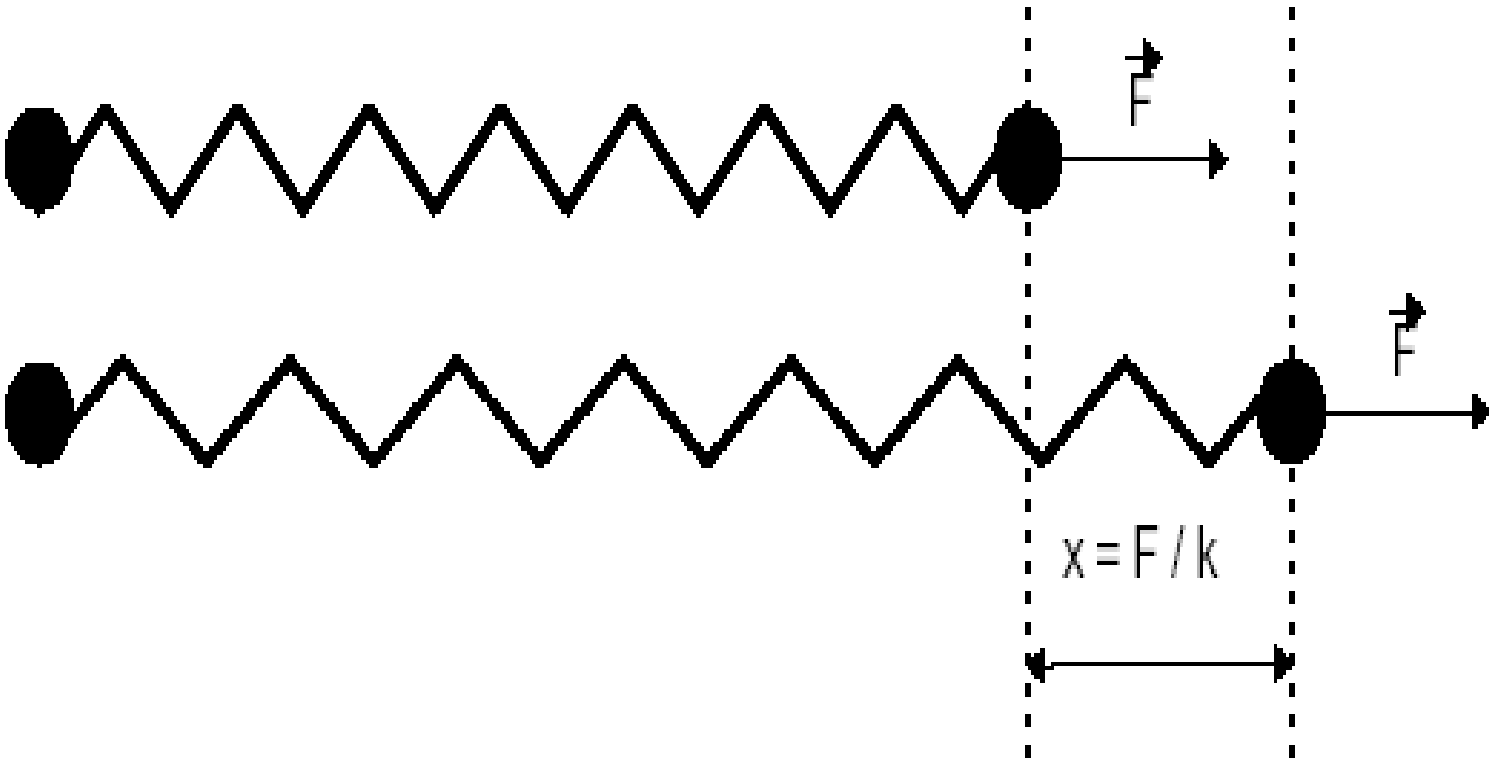


- Fig 2 : exemple d'utilisation d'un système masse-ressort pour modéliser un tissu

Systèmes masses-ressorts domaines d'applications

- Généralement pour simuler les objets déformables.
- Il existe deux voies fondamentales pour les corps déformables :
  - celle utilisant les éléments finis
  - et celle utilisant les systèmes masse-ressort.
    - méthode a connu un vif intérêt ces dernières années car elle est facile à implémenter et à appliquer.
- Applications:
  - Tissus(vêtements d'humanoïdes)
  - Les muscles (animation faciale),
  - volumes comme des organes dans les applications médicales.

Rigidité par rapport à la longueur initiale



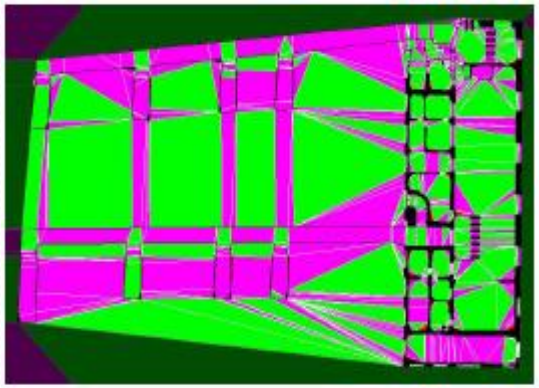
Environnements virtuels

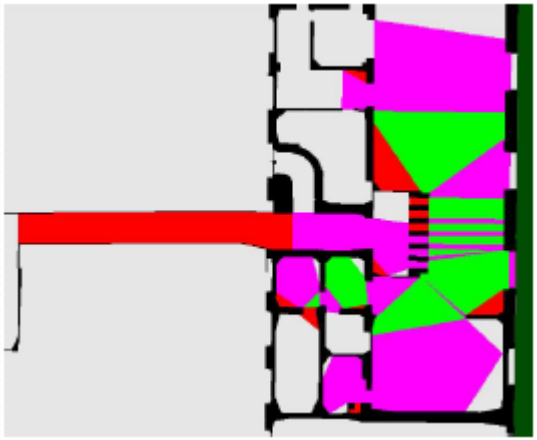
- Modélisation des environnements
- Planification de chemin

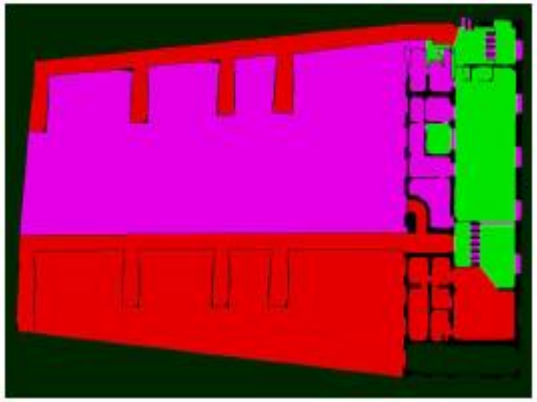
Introduction (1)

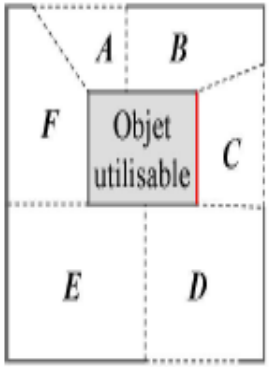
- Afin de pouvoir raisonner sur son environnement, ne serait ce que pour s'y déplacer, une entité doit forcément en avoir une **représentation**.
- Cette **description** peut être plus ou moins fine, exacte ou approximative, et peut éventuellement contenir des informations sémantiques.
- Scène 3D = ensemble de points et triangles
  - **Difficile à exploiter directement**
    - **Structures de données adaptées**

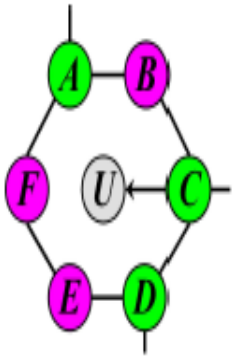
Introduction (2)











Définition

- La partie du monde extérieur avec laquelle un organisme peut naturellement interagir

Représentations topologiques de l'environnement (1)

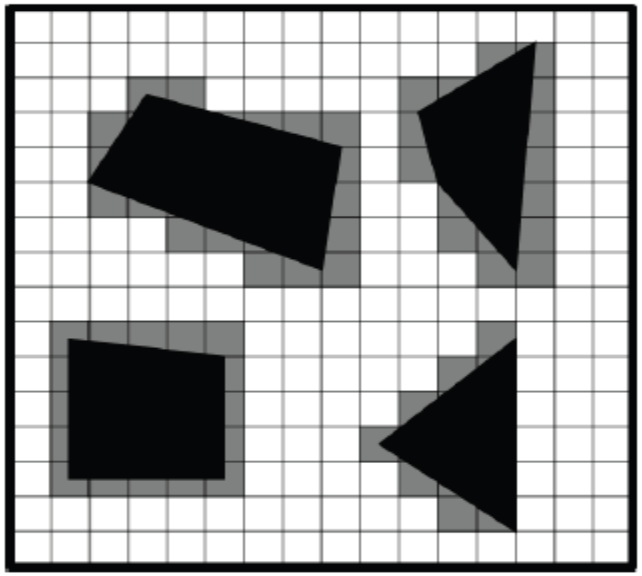
1. Représentations approximatives de l'environnement

- Décrire l'espace libre – de navigation – avec des formes géométriques simples telles que des carrés ou des segments.
- Deux modèles entrent dans cette catégorie :
  - les modèles à base de grilles, et
  - les cartes de cheminement.

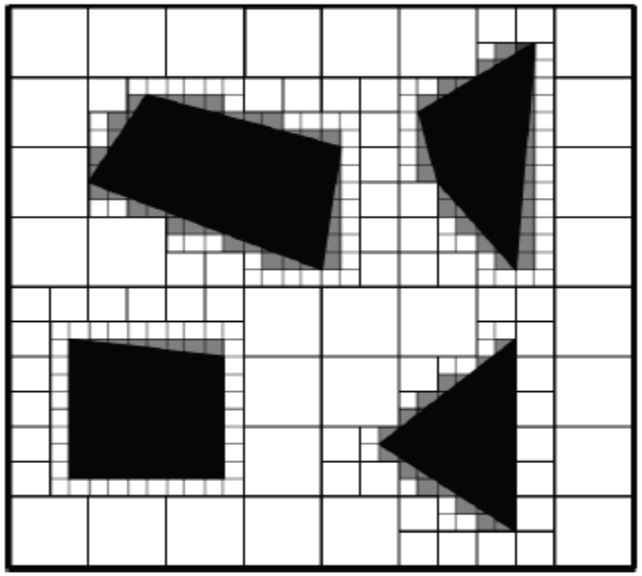
Représentations topologiques de l'environnement (2)

a. Modèles à base de grilles

- Le premier modèle de représentation approximative utilise des **grilles régulières**
- L'environnement est pavé par des cellules, qui peuvent avoir **trois états** : libre, partiellement obstruée, et obstacle.



(a) Grille régulière

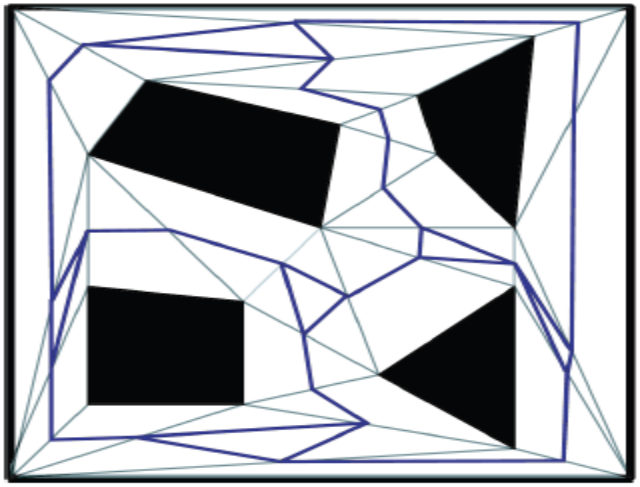


(b) *Quadtree* de profondeur 3

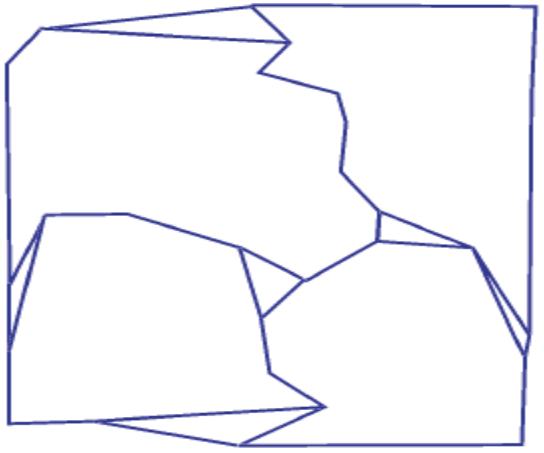
Représentations topologiques de l'environnement (3)

b. Cartes de cheminement

- Discrétiser l'espace navigable sous la forme d'un **réseau de chemins**.
  - Ce réseau est obtenu en reliant des points clefs répartis à l'intérieur de l'environnement.
- Plusieurs méthodes existent pour créer des cartes de cheminement, différentes dans la manière de créer et de relier ces points clefs.



(a) Calculs sur l'environnement d'origine



(b) Exemple de carte de cheminement

Représentations topologiques de l'environnement (4)

2. Représentations exactes de l'environnement

- Organiser les données spatiales tout en **conservant intégralement** les informations qu'elles contiennent à l'origine.
- Découper l'espace navigable en **cellules convexes** de différentes formes.
  - Il existe **plusieurs modèles** pour effectuer cette subdivision.

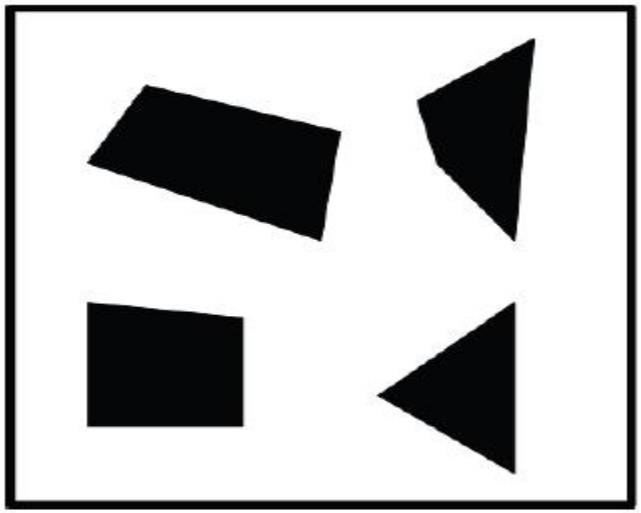
Représentations topologiques de l'environnement (5)

- Ces représentations reproduisent **exactement** l'environnement d'origine tout en l'organisant de manière plus accessible.
- Pour des environnements à géométrie complexe, notamment contenant des courbes, le **nombre de triangles** obtenus **augmente** très rapidement.

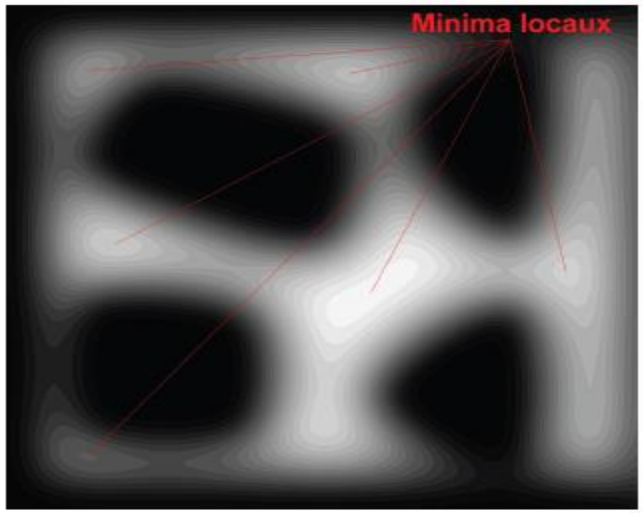
Représentations topologiques de l'environnement (6)

3. Le modèle de champs de potentiels

- Les champs de potentiels caractérisent les obstacles de l'environnement par des forces de répulsion, et les buts par des forces d'attraction .



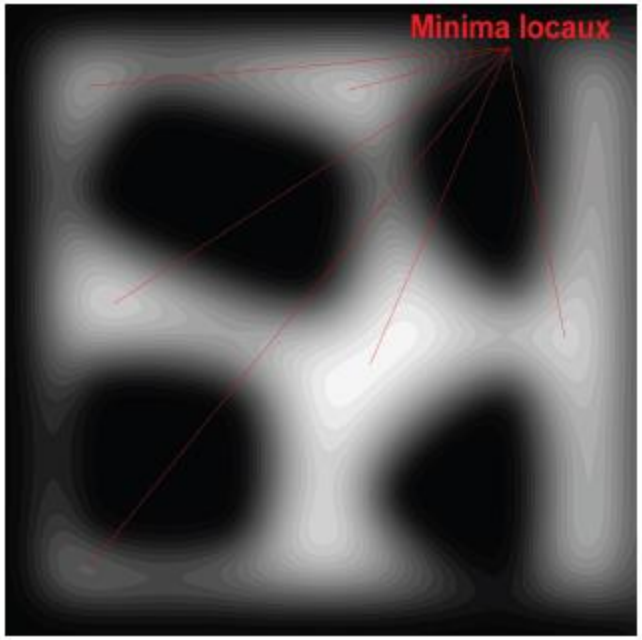
(a) Environnement d'origine



(b) Exemple de champs de potentiels

Représentations topologiques de l'environnement (7)

- Un gradient de forces, ou champ de potentiel, est déduit en chaque point de l'environnement comme étant une somme pondérée, le plus souvent par la distance, des potentiels de répulsion et du potentiel lié au but.
- La navigation d'une entité est alors simulée par une descente de gradient depuis sa position dans l'environnement.



Planification de trajectoire

- Le problème de la planification de trajectoires est un problème classique étudié en robotique et I.A.
- « Le problème est de trouver la trajectoire à suivre afin de saisir un objet en évitant les obstacles »

Quelques problèmes

- Panification de trajectoire
  - Évitement d'obstacles
- Traitement des collisions
  - Détection
  - Réponse

Évitement d'obstacles

- C'est un problème de planification automatique de chemin. Cela revient à calculer, pour un acteur donné, un chemin libre de toute collision en n'ayant que la destination finale comme donnée. En robotique, c'est un problème classique

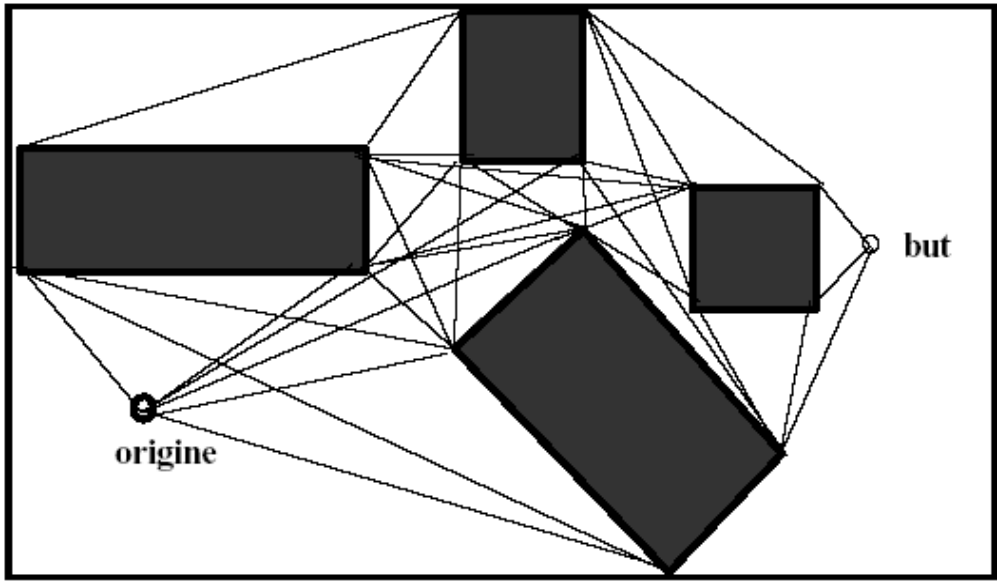
1- Première classe d'algorithmes: essais-erreurs

- Calcule le volume engendré par le déplacement de l'objet mobile le long du chemin
- Détermine l'intersection entre le volume engendré et l'obstacle
- Si nécessaire propose un nouveau chemin
- marche que si les obstacles sont rares de manière à pouvoir être traités 1 à la fois

Évitement d'obstacles

2- 2ième classe d'algorithme d'espace libre

- Algorithme du graphe de visibilité de Lozano-Perez
  - On connecte les sommets qui se voient
  - Prise du chemin le plus court libre de collisions de l'origine au but

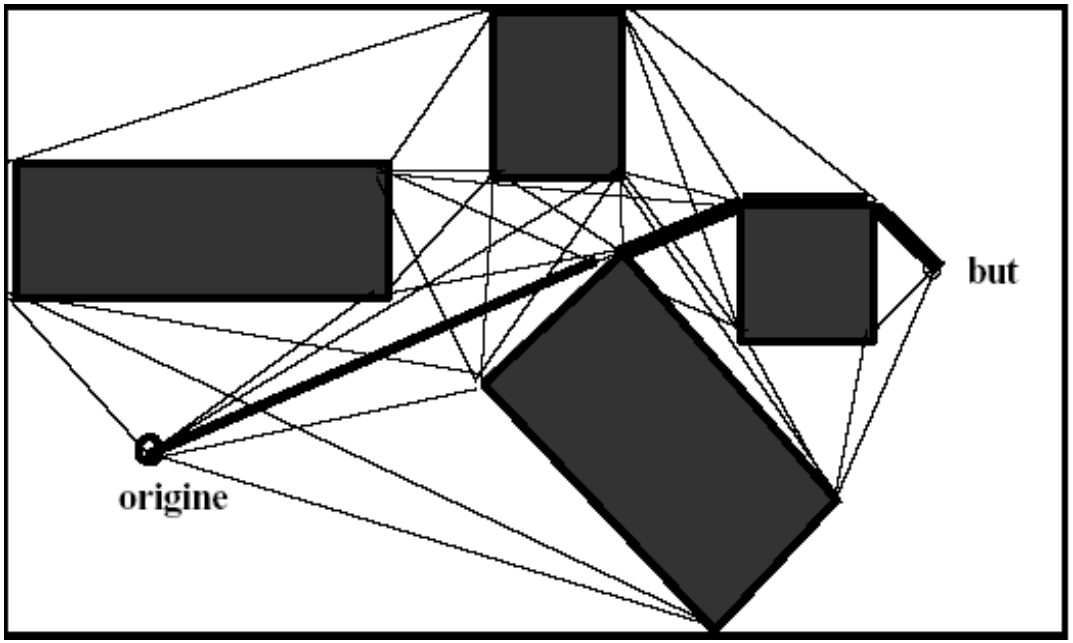


Graphe de visibilité

Évitement d'obstacles

2- 2ième classe d'algorithme d'espace libre(suite)

Chemin le plus court libre de collisions

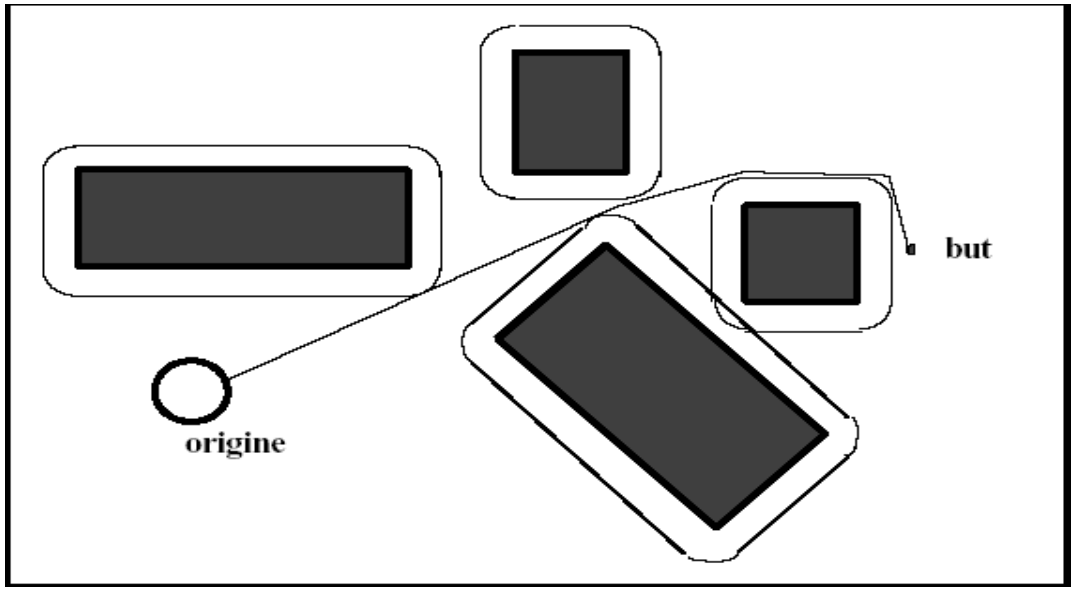


Évitement d'obstacles

2- 2ième classe d'algorithme d'espace libre

- Pour étendre l'algorithme aux objets mobiles non ponctuels, les obstacles sont remplacés par de nouveaux obstacles, régions interdites pour un point de référence sur l'objet.

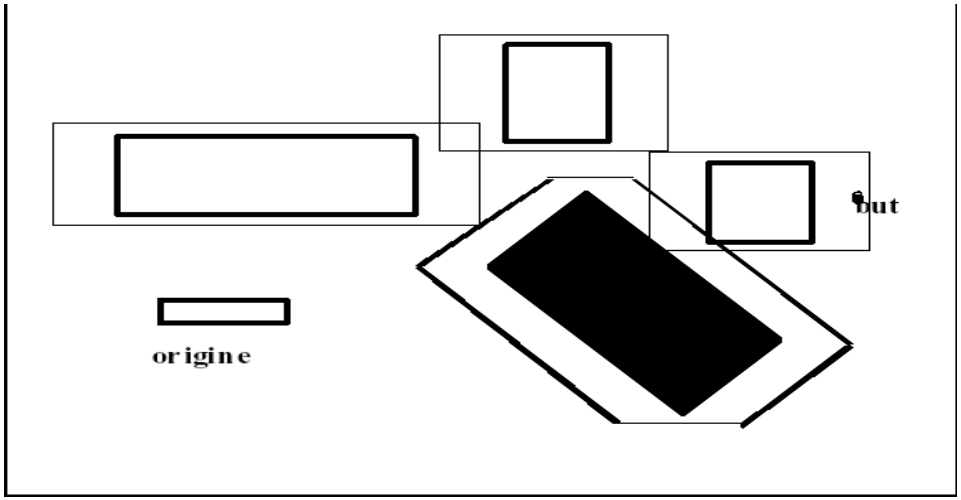
Obstacles grossis



Évitement d'obstacles

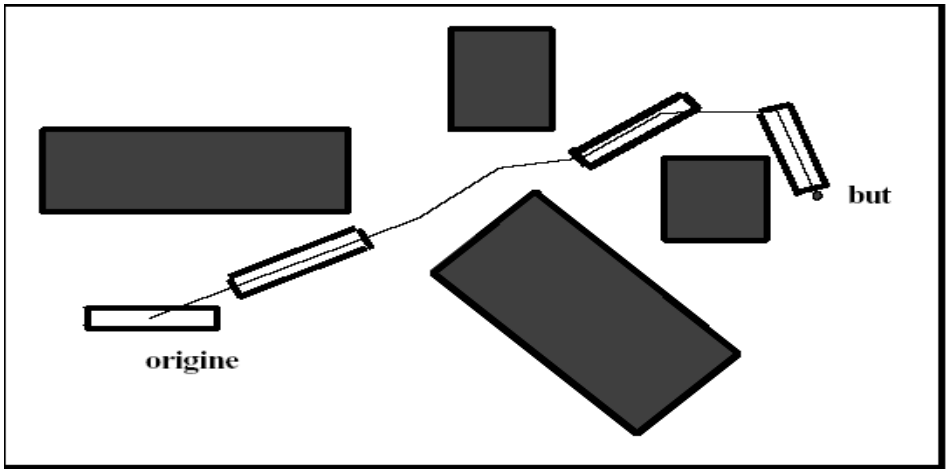
2- 2ième classe d'algorithme d'espace libre

- on voit qu'aucun chemin n'est possible entre les obstacles.
- un chemin est possible quand l'objet peut tourner



1- Impossible de passer

2- Avec rotations

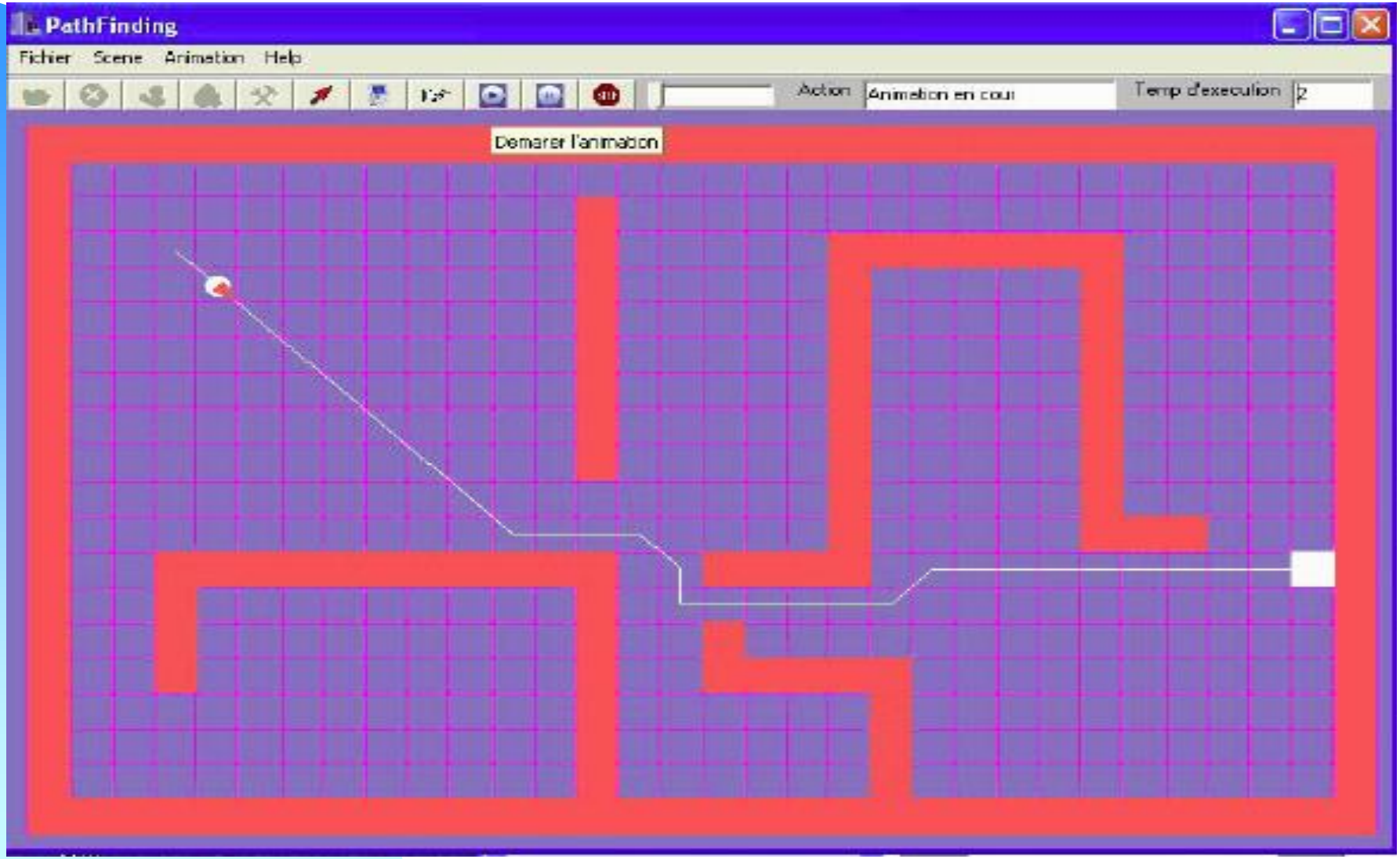


Exemple

Inconvénients:
Réalisme
Temps de calcul
Mémoire

d'autres modèles de représentation d'environnement seront présentés

Planification de trajectoire(A*)



Recherche de chemin (itinéraire)

- l'algorithme A* tient compte seulement des obstacles statiques pour calculer un itinéraire entre deux points libre d'obstacles
- Représentation de l'environnement sous forme d'un graphe
- Cette représentation est appelée **grille**.
- Algorithme off-line
- Version améliorée de l'algorithme de Djisktra