

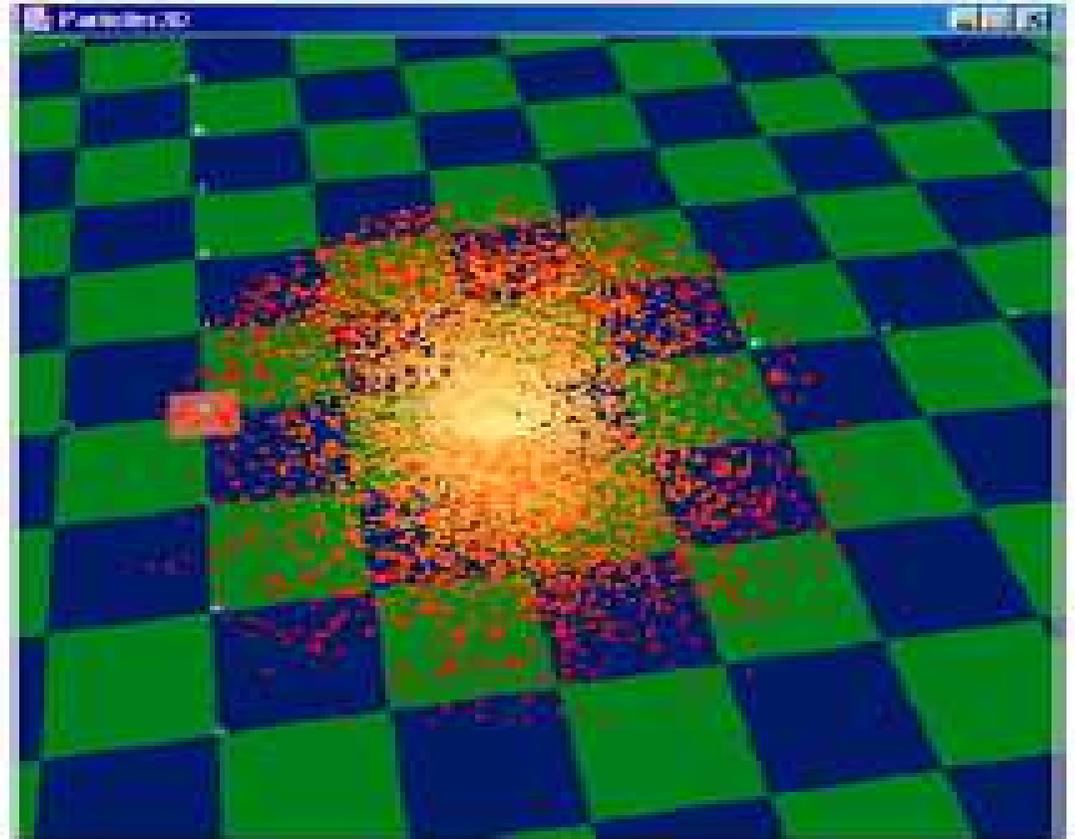
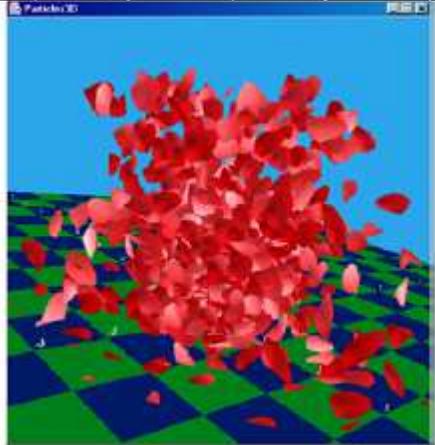
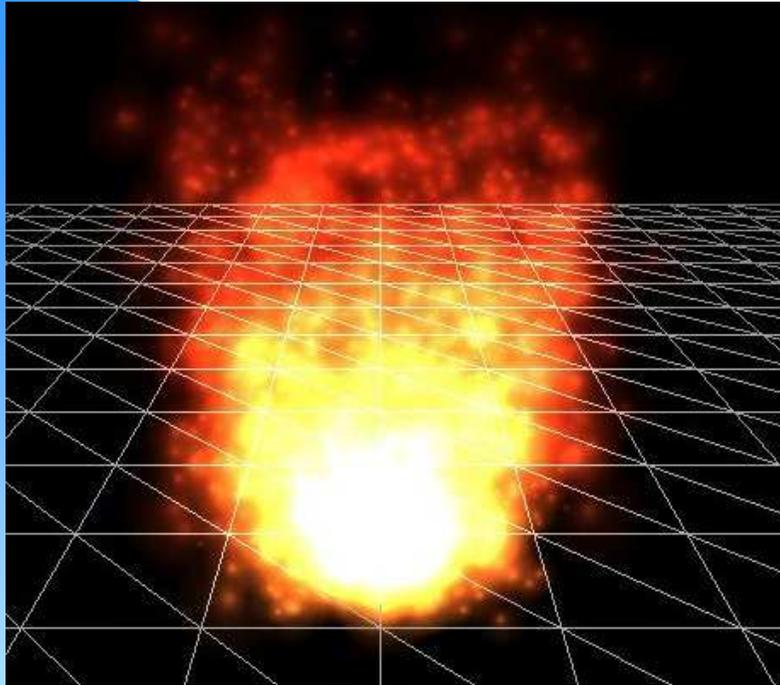
Département d'informatique

**Cours de Master 1
Image et Vie Artificielle (IVA)**

Module :
**Animation, Réalité virtuelle et réalité
augmentée**

Pr. CHERIF Foudil

Systemes de particules

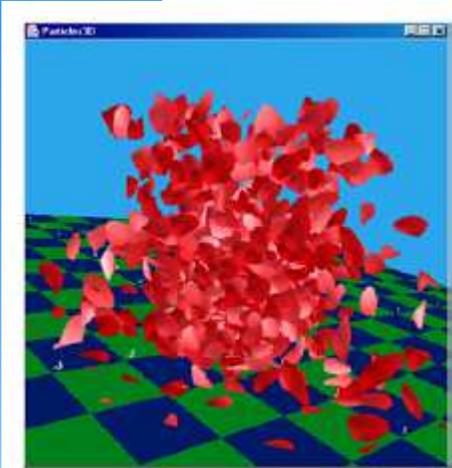


10/03/2020 09:49

Animation et réalité virtuelle

2

Systemes de particules



10/03/2020 09:49

Animation et réalité virtuelle

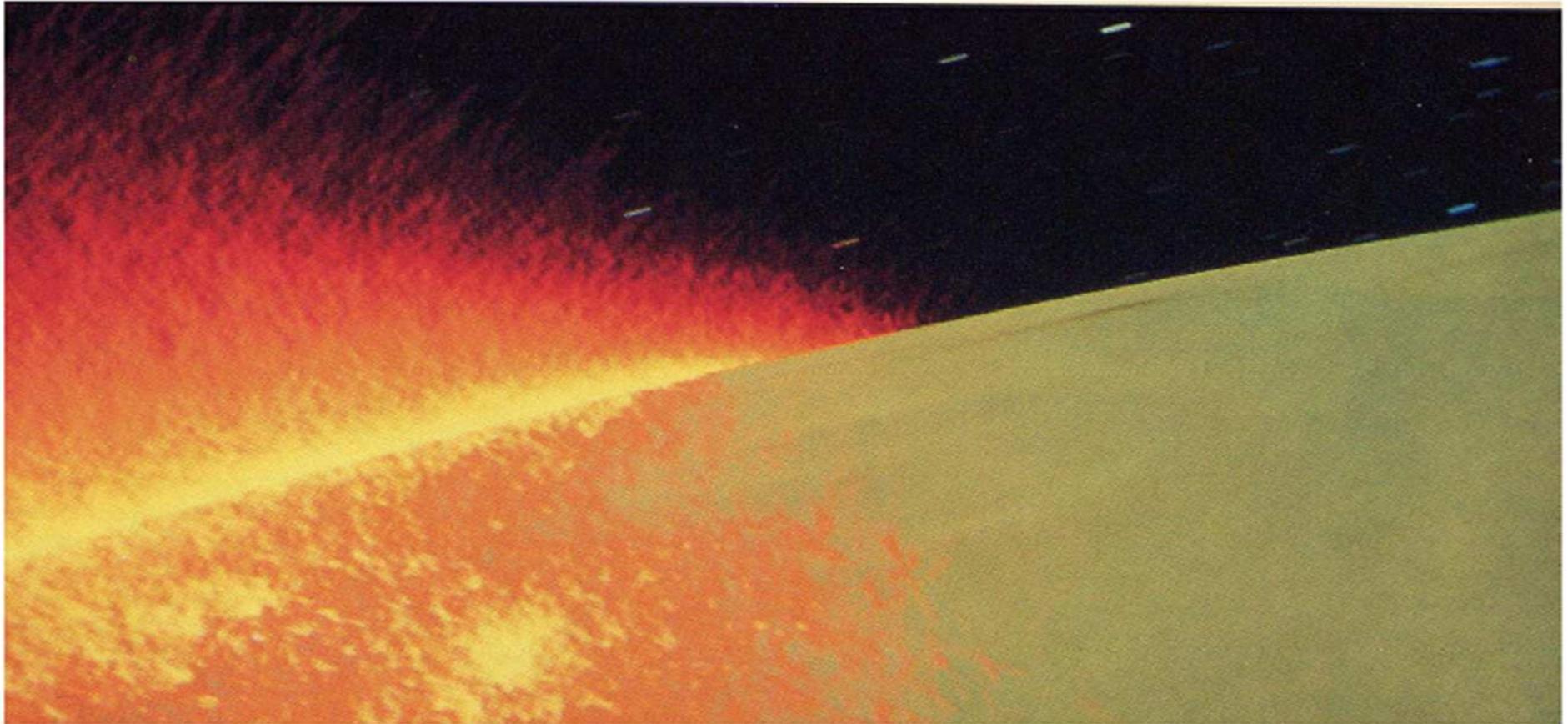
3

Systemes de particules

- 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 »

Systemes de particules

Utilisation de systemes de particules pour la creation d'effets speciaux



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

17

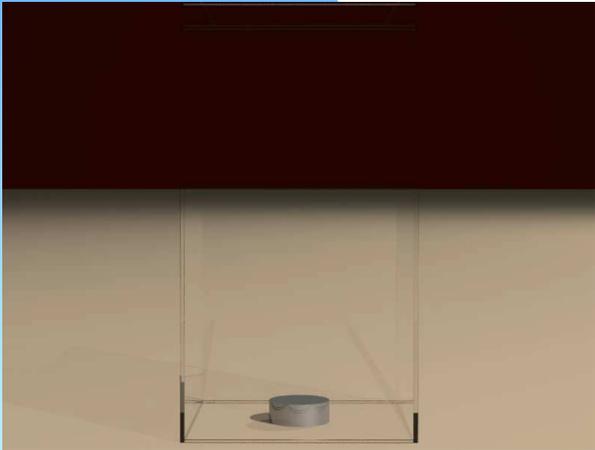
Systemes de particules (definition)

- Un systeme de particules est un ensemble de nombreuses (très nombreuses) particules minuscules qui representent ensemble un objet **fou**. Sur une periode de **temps**, les particules sont **generees** au sein d'un systeme, elles se **deplacent** et **changent** à l'interieur du systeme et **meurent** dans le systeme.”
d'après l'article de :
- **William Reeves**, "Systemes de particules : une technique pour la modelisation d'une classe d'objets flous," ACM Transactions on Graphics 2:2 (avril 1983), 92.

Systemes de particules (applications)

- Depuis le début des années 1980, les systèmes de particules ont servi dans d'innombrables 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 et ainsi de suite...
- 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

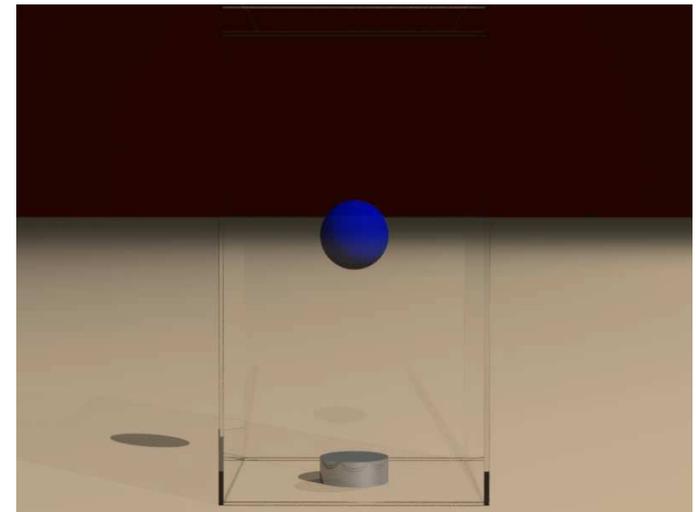
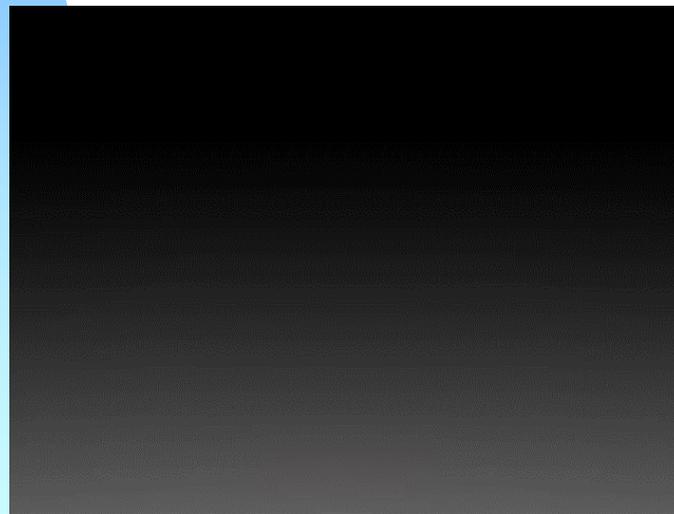
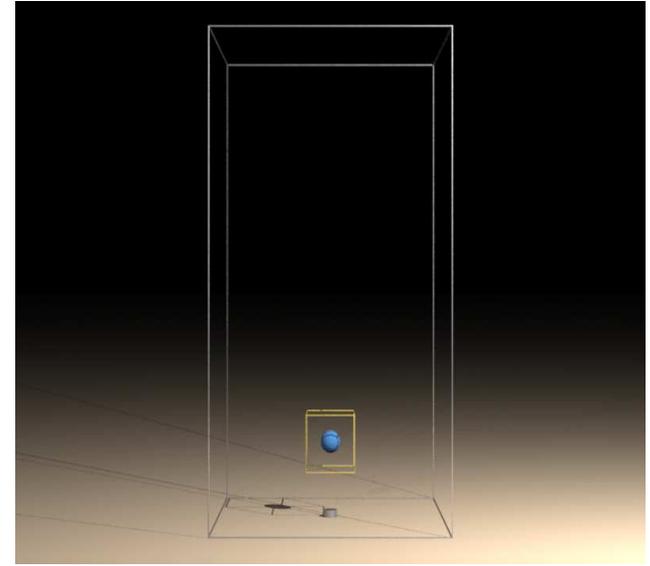


10/03/2020 09:49

Animation et réalité virtuelle

8

Vidéos

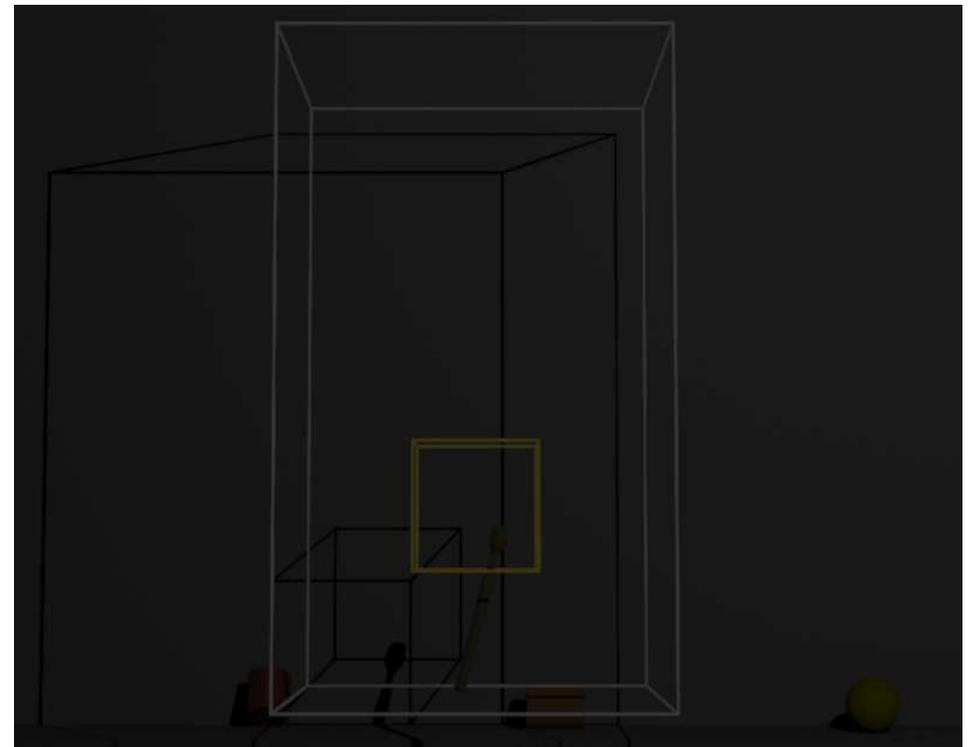
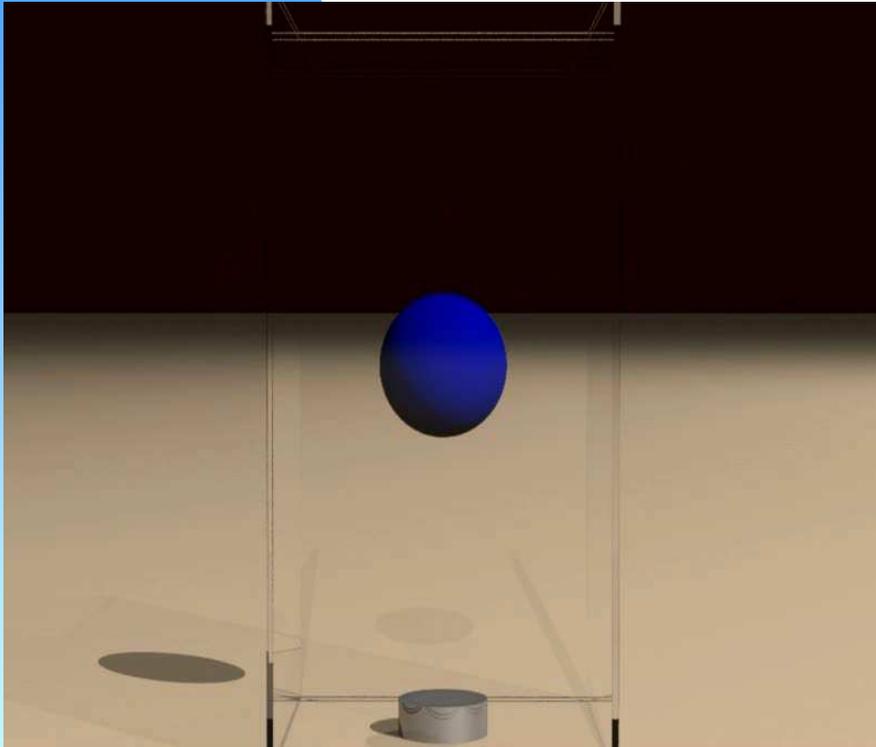


10/03/2020 09:49

Animation et réalité virtuelle

9

Vidéos



10/03/2020 09:49

Animation et réalité virtuelle

10

Principe

Modèles 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, verdure, ...



Ensemble de particules de forme élémentaire 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, cube, etc.)

Les attributs des particules sont générés automatiquement; leur évolution est contrôlée automatiquement.



-  Jeux vidéos (explosion, vols dans l'espace)
-  Simuler l'effet de la lumière dans un brouillard
-  Représentation de phénomènes naturels

2

Principe

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

- L'émission
- La modification

Description du modèle



Avantages :

- le comportement et l'apparence de chaque particule individuelle sont très simples,
- approche procédurale.

1. Génération de particules

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.

Exemple :

Nombre de nouvelles particules générées :

Ex. : $U[\mu_t - \sigma, \mu_t + \sigma]$ où t : # séquence,

Loi uniforme

$\mu_t : \mu_0 + t \underline{\mu}$,

$\sigma_t : \sigma_0 + t \underline{\sigma}$.

3

Description du modèle

2. Attributs de particules

Chacun de ces attributs 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.

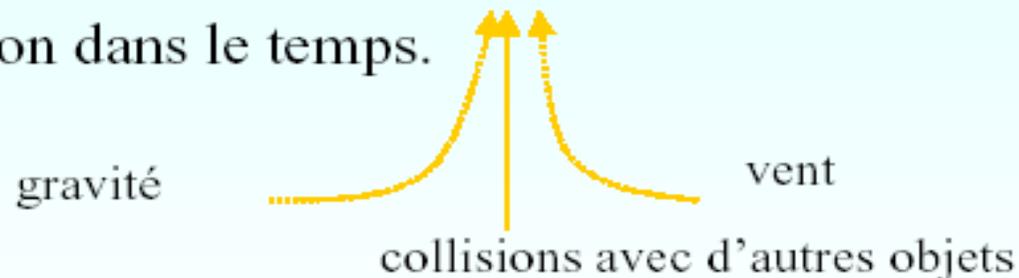
Pour éviter l'uniformité, l'utilisateur peut rendre aléatoire les valeurs d'une manière contrôlée.

Description du modèle

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 fonction du temps.

Description du modèle

4. Extinction des particules

- Durée de vie : # séquences d'images à partir de la naissance
- À 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*.

5. Rendu des particules

Simplification du rendu :

- absence d'autres modèles
- pas de problèmes de « points cachées » :

la couleur d'un pixel correspond à la somme des couleurs des particules associées à ce pixel.

6

Description du modèle

6. Hiérarchie des particules

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

Algorithmes de « points cachés » :
- non réalisables
- tri partiel

Exemple :

Feu d'artifice, feu.

Description du modèle

Exemple :

1 arbre : de 1 à 1.7 millions de particules
1 scène : de 100 à 1000 arbres naturels.
W.T. Reeves (85)

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 génère 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: autre algorithme

Procédure à suivre

[0] Horloge \leftarrow origine du système de particules

[1] Tant que Horloge < Fin du système de particules

Pour chaque groupe de particules

[1.1] Générer de nouvelles particules

[1.2] Mettre à jour les attributs des particules du système

[1.3] Enlever les particules éteintes

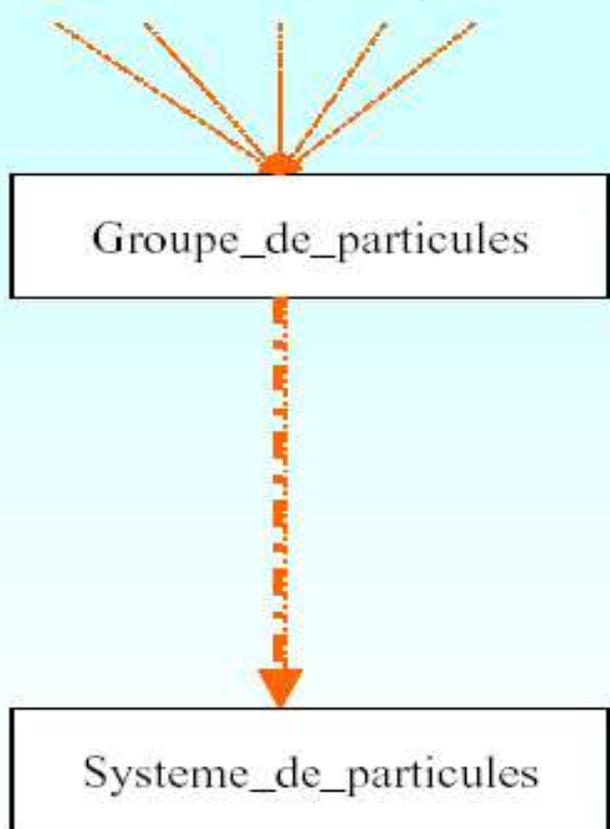
[1.4] Afficher les particules en tenant compte de leurs attributs

[1.5] Horloge \leftarrow Horloge + 1

Note : Plusieurs fonctions peuvent être définies permettant d'intervenir directement sur un groupe de particules (transformation du repère où la position de chaque particule est définie, modification de la région susceptible de renfermer une nouvelle particule, etc.)

Systeme de particules

Courbe_3D, Transformation_3D
Volume_3D, etc.



- Naissance de nouvelles particules
- Définition de leurs attributs
- Définition du repère propre à ce groupe
- Affichage d'une image représentant le groupe de particules au temps t
- Affichage d'une séquence d'images représentant le groupe de particules pendant la durée de la simulation

- Insérer de nouveaux groupes de particules
- Définir les liens hiérarchiques entre les groupes
- Définition du repère propre à ce système
- Affichage d'une image représentant le système de particules au temps t
- Affichage d'une séquence d'images représentant le système de particules pendant la durée de la simulation

10

Particules: exemple d'explosion

Région de création

Centre d'émission

Angle d'éjection

Vitesse d'éjection

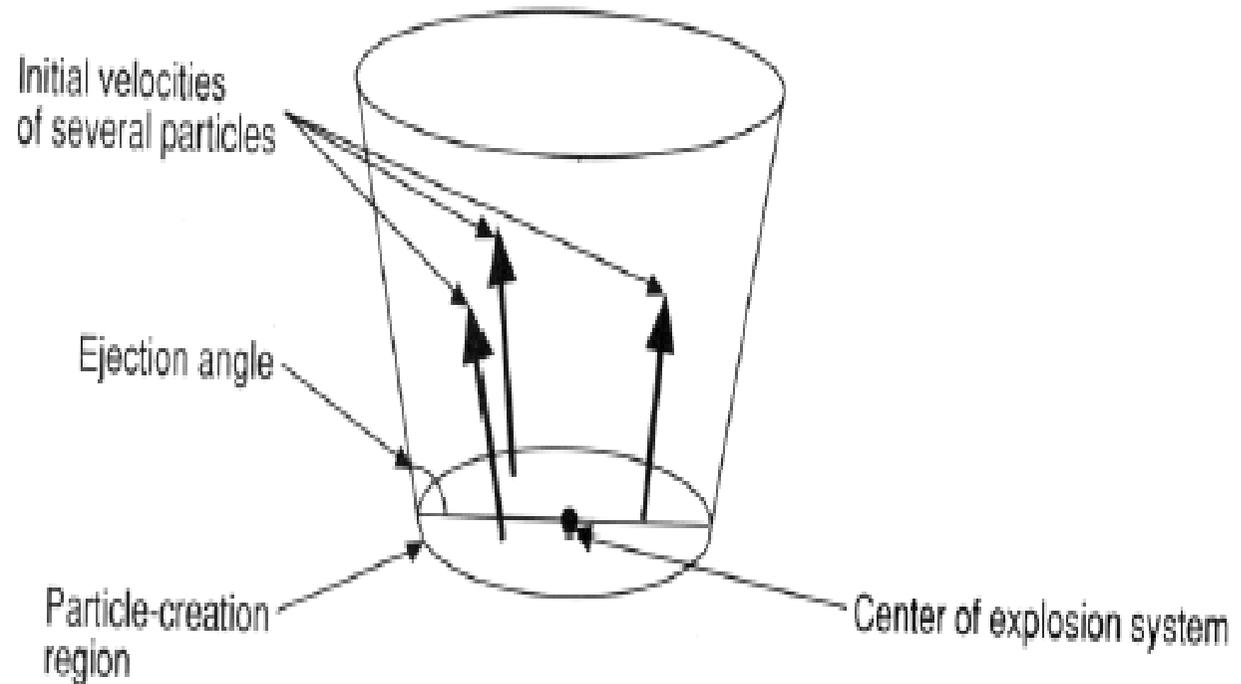


Fig. 20.17 The initial stage of a particle system for modeling an explosion.

Particules: exemples



FIGURE 2-2 – Un Feu de camp.

Particules: exemples



FIGURE 2-3 – Les cracheurs de feu.

Particules: exemples



FIGURE 2-4 – Un Feu d'un gaz.

Particules: exemples

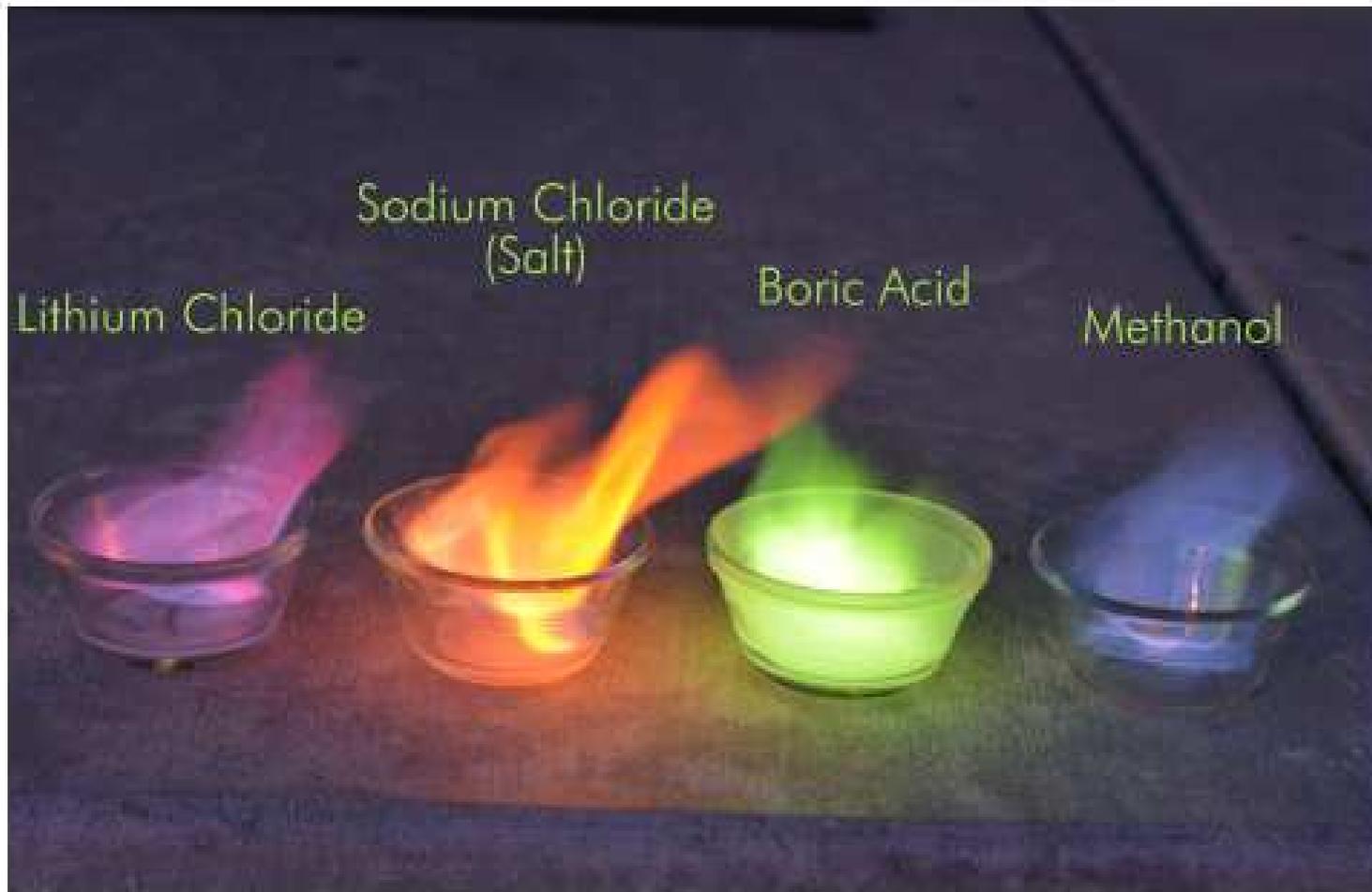


FIGURE 2-5 – Un Feu d'un métal.

Particules: exemples



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)

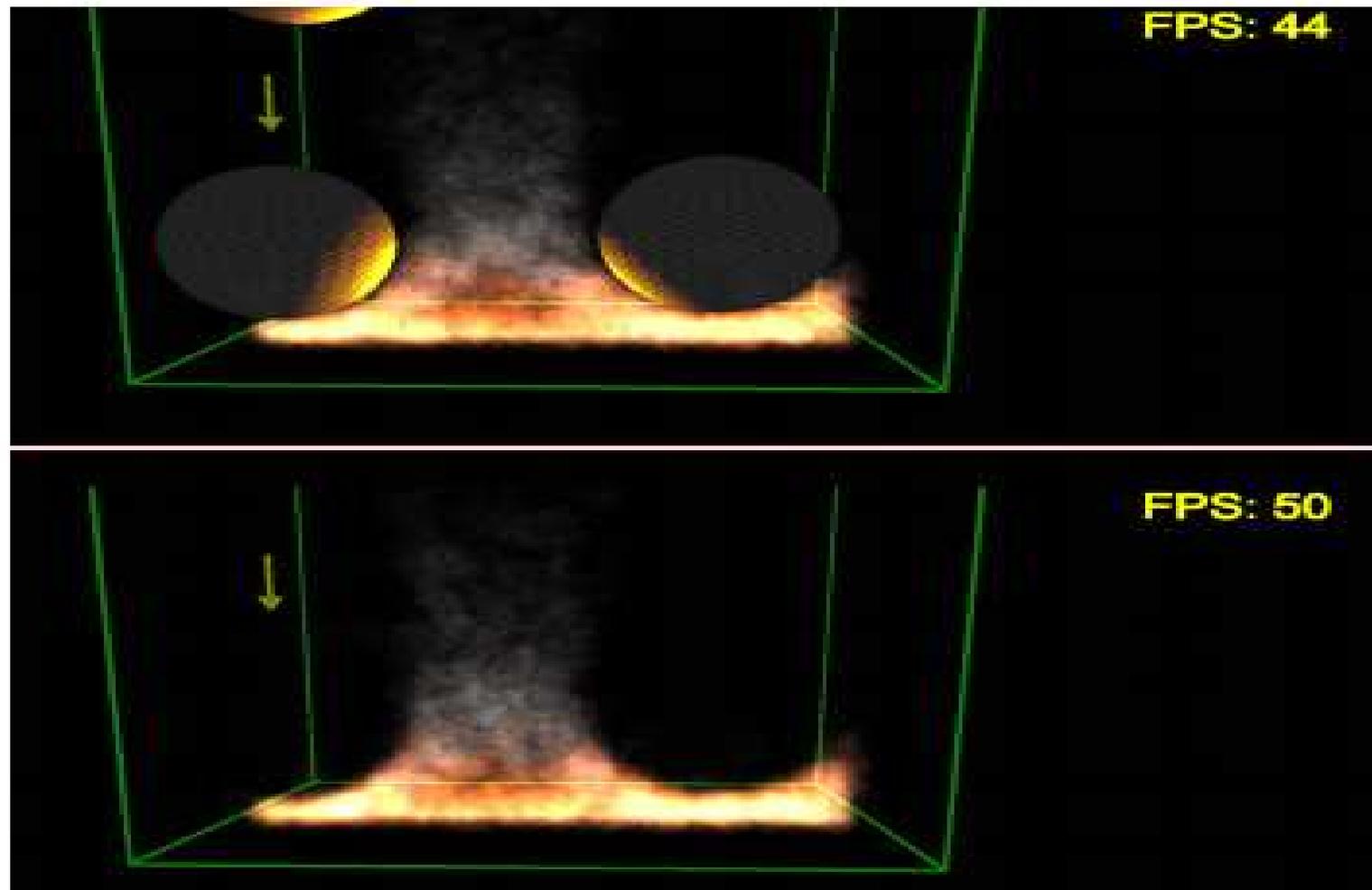


FIGURE 6-12 – Test d'interactivité avec un mur de feu, les objets interactifs sont visibles dans la figure en haut et non visibles dans celle du bas mais il restent présents dans les deux cas. (Ces figures sont des captures d'écran prises de 3DFS)

Particules: exemples(Hafidi)

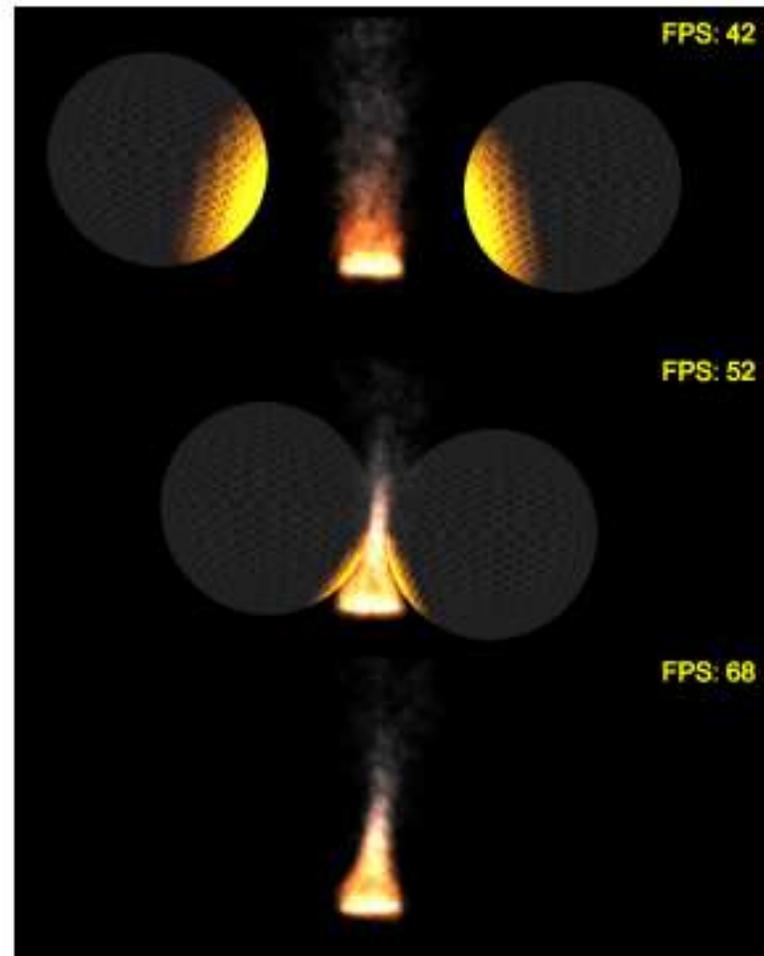


FIGURE 6-13 – Test d'interactivité avec un feu de camp. Dans la figure en bas les objets interactifs sont invisibles mais présents(Ces figures sont des captures d'écran prises de 3DFS)

Particules: exemples(Hafidi)

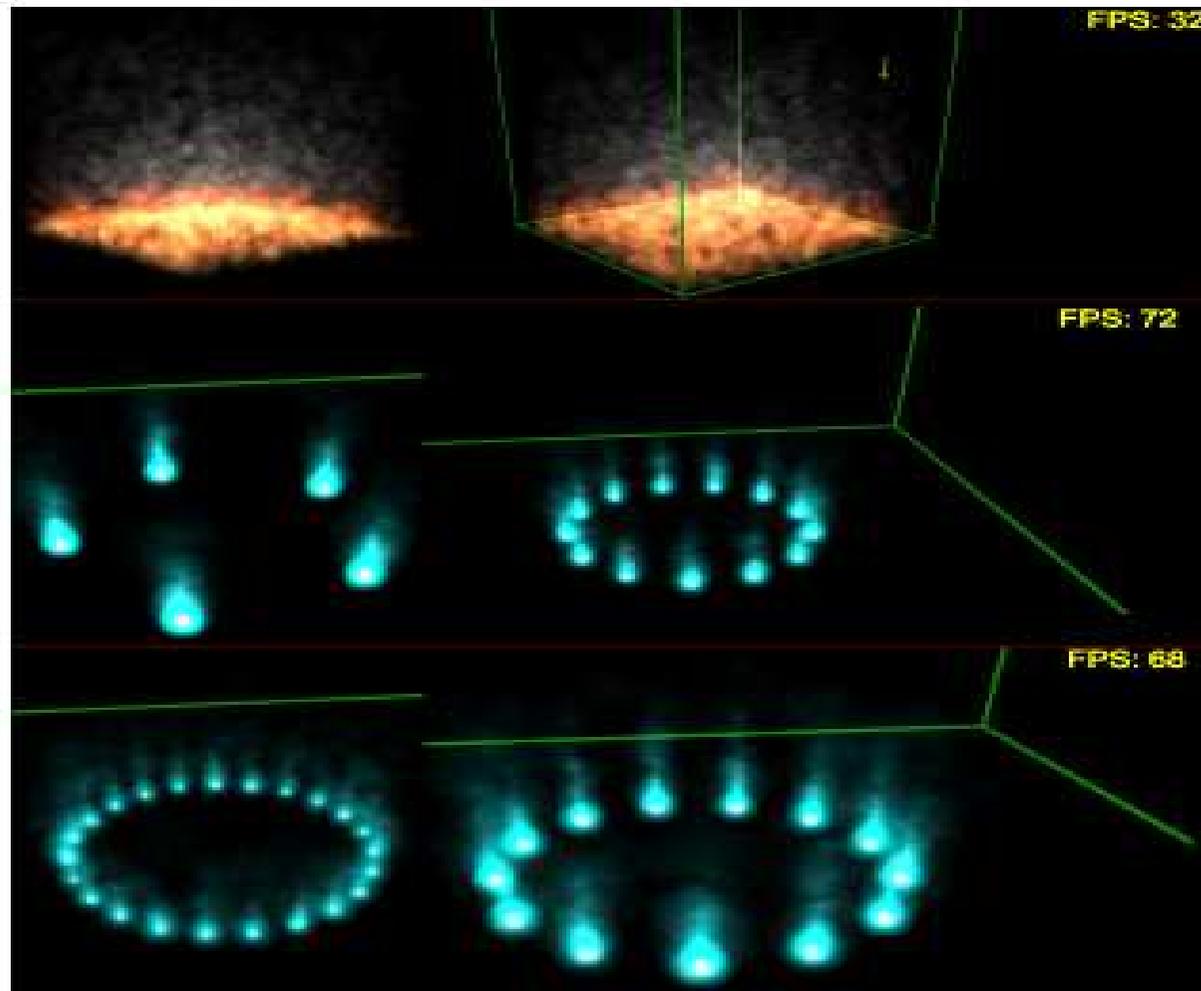


FIGURE 6-14 – Autres variétés de tests. (Ces figures sont des captures d'écran prises à 30FPS)

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 caractérisé 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 – Kutta)

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 ($f = k v_{wind}$)

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

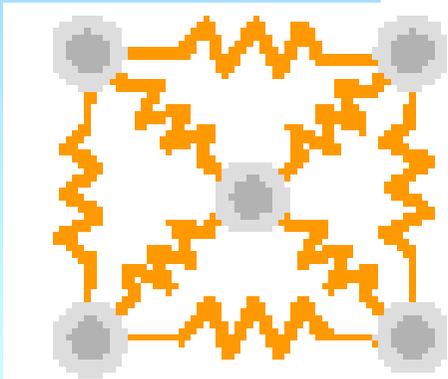
4- Force binaire : ressort

- ◆ 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

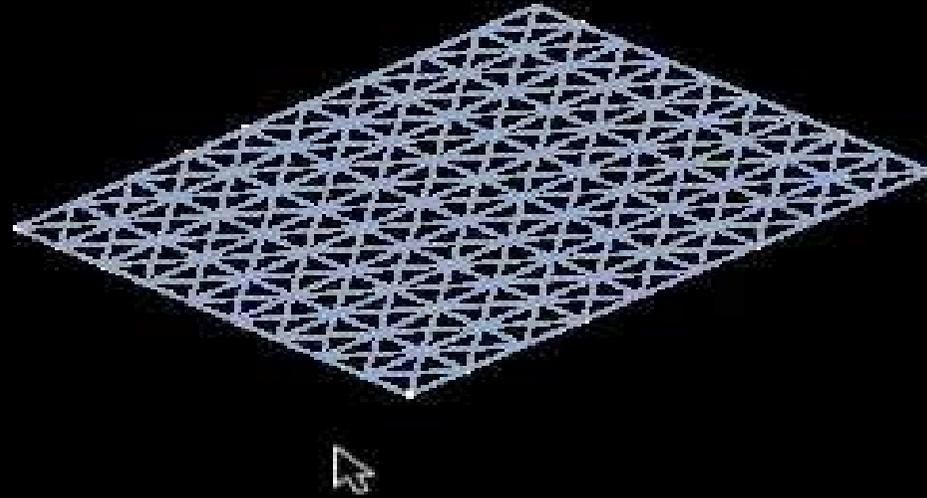
Systemes masses-ressorts(exemples)



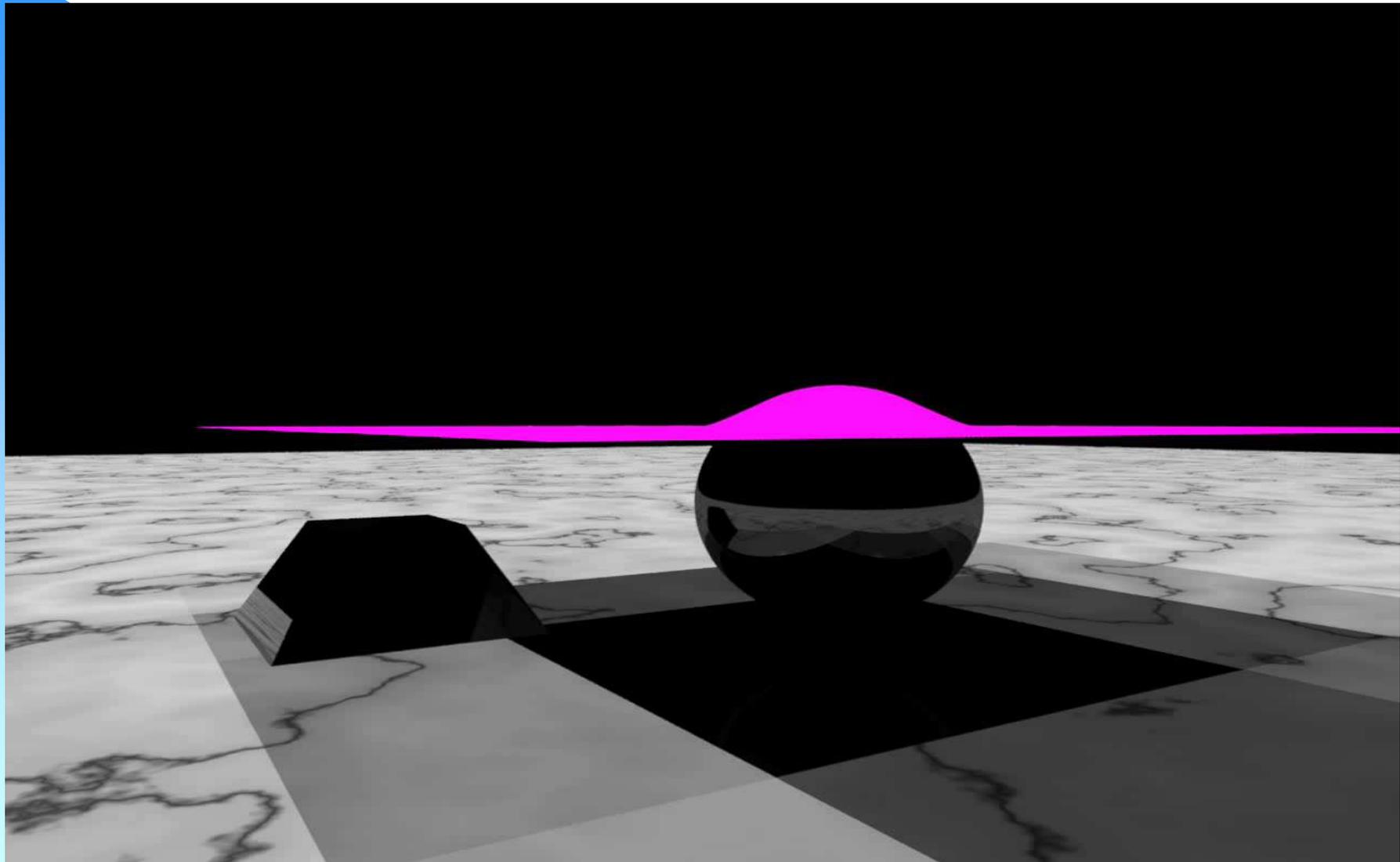
Systemes masses-ressorts(vidéos)



Systemes masses-ressorts(vidéos)



Systemes masses-ressorts(vidéos)

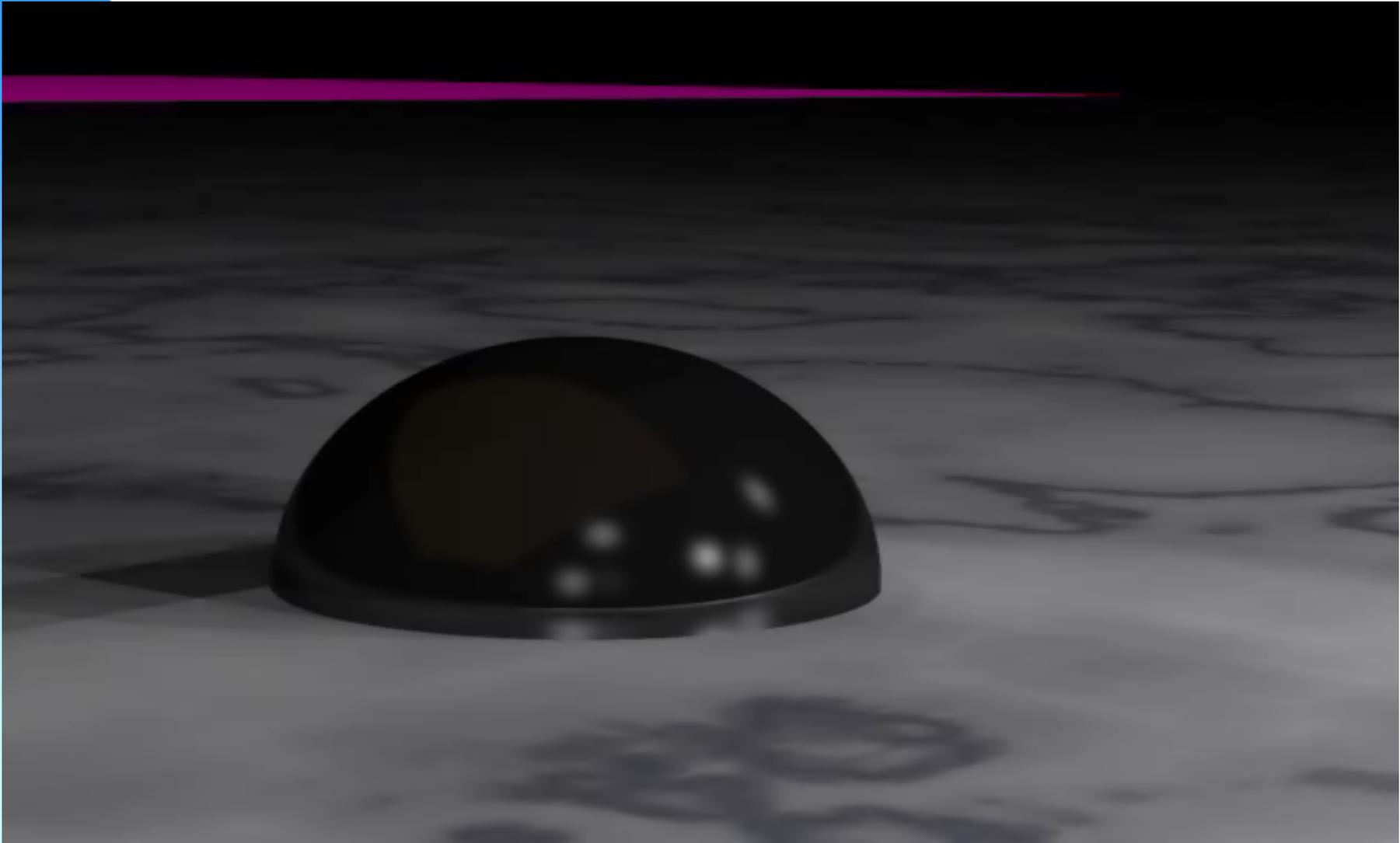


10/03/2020 09:49

Animation et réalité virtuelle

41

Systemes masses-ressorts(vidéos)



10/03/2020 09:49

Animation et réalité virtuelle

42

Systemes masses-ressorts(vidéos)



10/03/2020 09:49

Animation et réalité virtuelle

43

Systemes masses-ressorts

Définition

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

Les objets ainsi modélisés peuvent être :

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

Systemes masses-ressorts

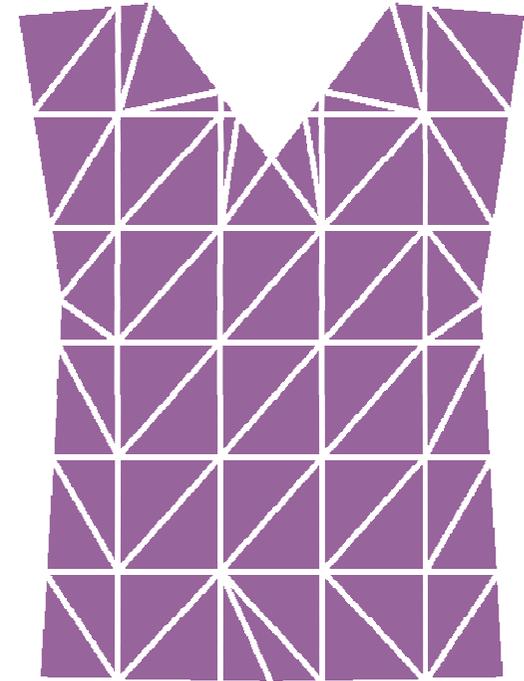
- Similaire aux systemes de particules
- Particules sont structurées entre elles
- Pas de generateur, pas de durée de vie
- Les particules sont connectées entre elles par des ressorts (forces internes)
- Il est possible d'incorporer des forces dues aux interactions avec l'environnement (forces externes)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

Systemes masse-ressort

- Idem systemes de particules
 - ◆ Particules appelees « masses »
- Structure donnee
- Les masses font partie du modele :
 - ◆ Pas de creation, pas de destruction, pas d'age
- Ressorts qui relie les masses :
 - ◆ Les forces ne sont plus universelles
 - ◆ Chaque force connait les masses sur lesquelles elle agit

Systemes masse-ressort

- Points en ligne :
 - ◆ Cheveux, ressorts, chaines...
- Points sur une surface :
 - ◆ Habits, tissus, peau...
- Points dans un reseau 3D :
 - ◆ Structures semi-rigides
 - ◆ Modeles souples, muscles,...



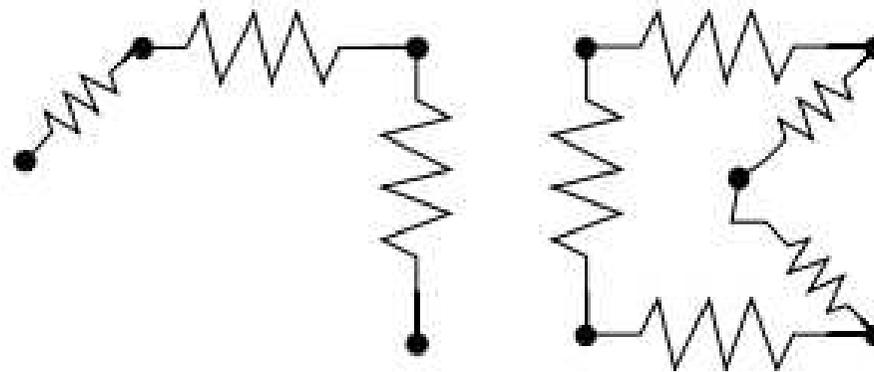
Masse-ressort

- 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

Systemes masses-ressorts

Cas 1D : ligne polygonale

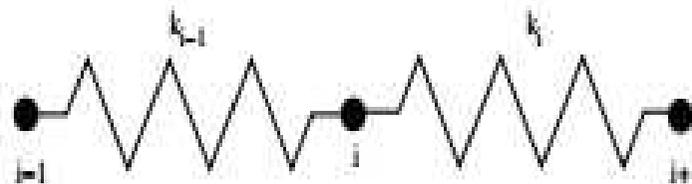
- Soit une courbe ouverte avec deux points terminaux
- Soit une courbe fermée (tous les points sont reliés)
- Chaque sommet représente une masse
- Chaque arête représente un ressort reliant les deux masses se trouvant aux deux extrémités de l'arête



Systemes masses-ressorts

Formulation pour une chaîne ouverte

- Systeme avec p masses et $p - 1$ ressorts les connectant
- Masses m_i de positions x_i , pour $1 \leq i \leq p$
- 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

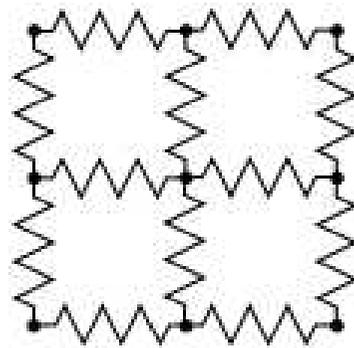


Systemes masses-ressorts

Systeme 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 : $m_i \ddot{\mathbf{x}}_i = \sum_j \mathbf{f}_{ij} + \mathbf{F}_i$
avec $\mathbf{f}_{ij} = k_{ij} (\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\| - l_{ij})$, j voisin de i

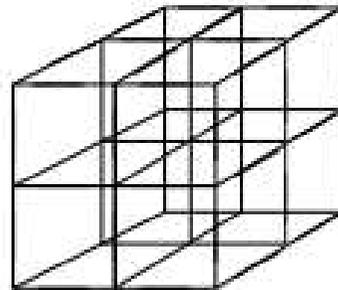


Systemes masses-ressorts

Systeme 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 $\mathbf{f}_{i,j} = k_{ij} (\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\| - l_{ij})$, j voisin de i



Systemes masses-ressorts

Systeme masses-ressorts - Generalisation

Formulation d'un systeme masses-ressorts

- Systeme 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 connectee a m_j
- Equation du mouvement de la particule i :

$$m_i \ddot{\mathbf{x}}_i = \sum_{j \in \mathcal{A}_i} k_{ij} (\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j\| - l_{ij}) + \mathbf{F}_i$$

Systemes masses-ressorts

Systeme masses-ressorts - Animation 1D

Parametres du systeme

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

Formulation du systeme differentielle

- Pour le point i :

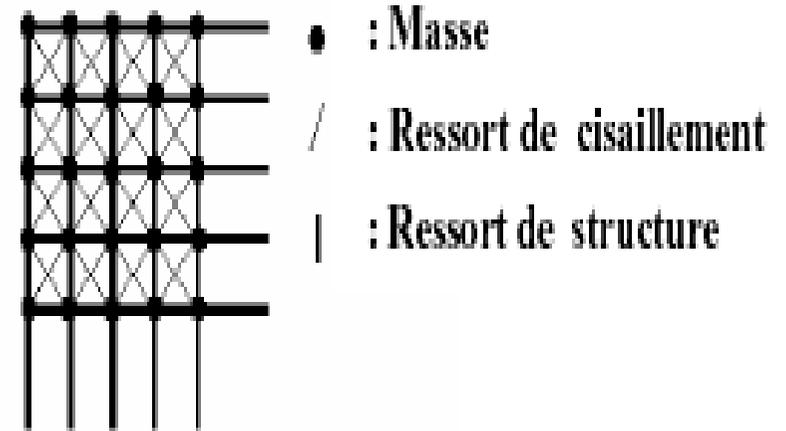
$m_i \ddot{\mathbf{x}}_i =$ somme des forces appliquees sur i

$$m_i \ddot{\mathbf{x}}_i = k_{i-1} (\|\mathbf{x}_{i-1} - \mathbf{x}_i\| - l_{i-1}) + k_i (\|\mathbf{x}_{i+1} - \mathbf{x}_i\| - l_i) + \mathbf{F}_i$$

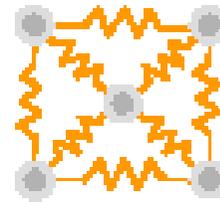
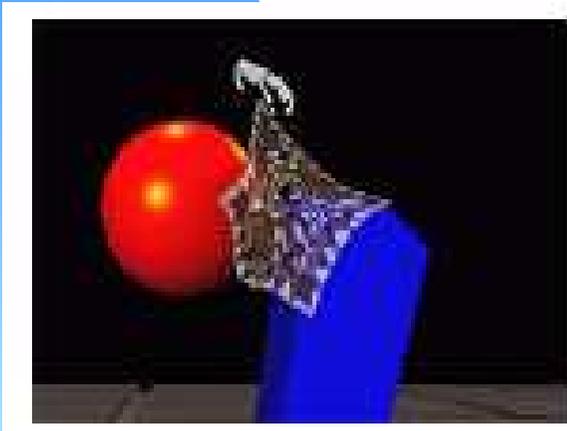


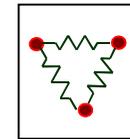
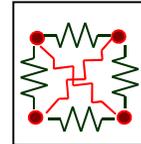
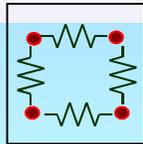
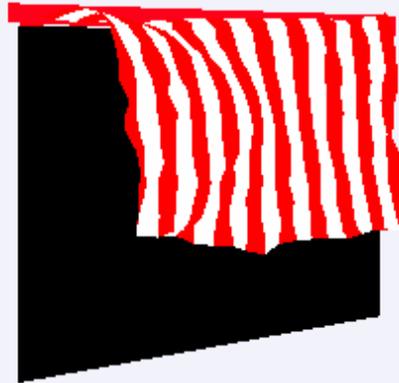
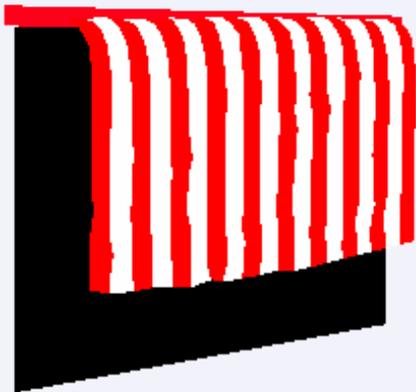
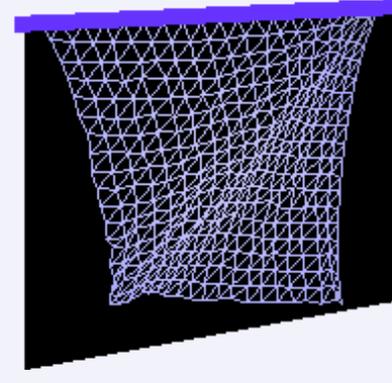
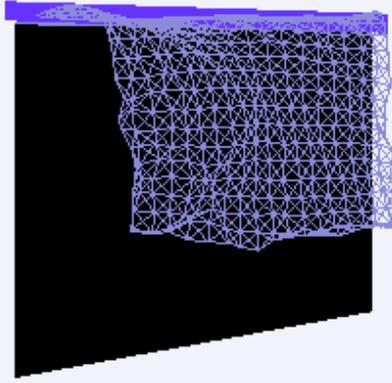
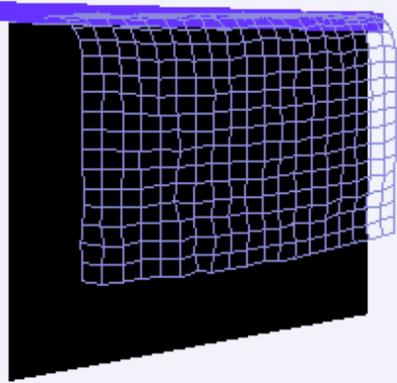
Systemes masses-ressorts(résumé)

- 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



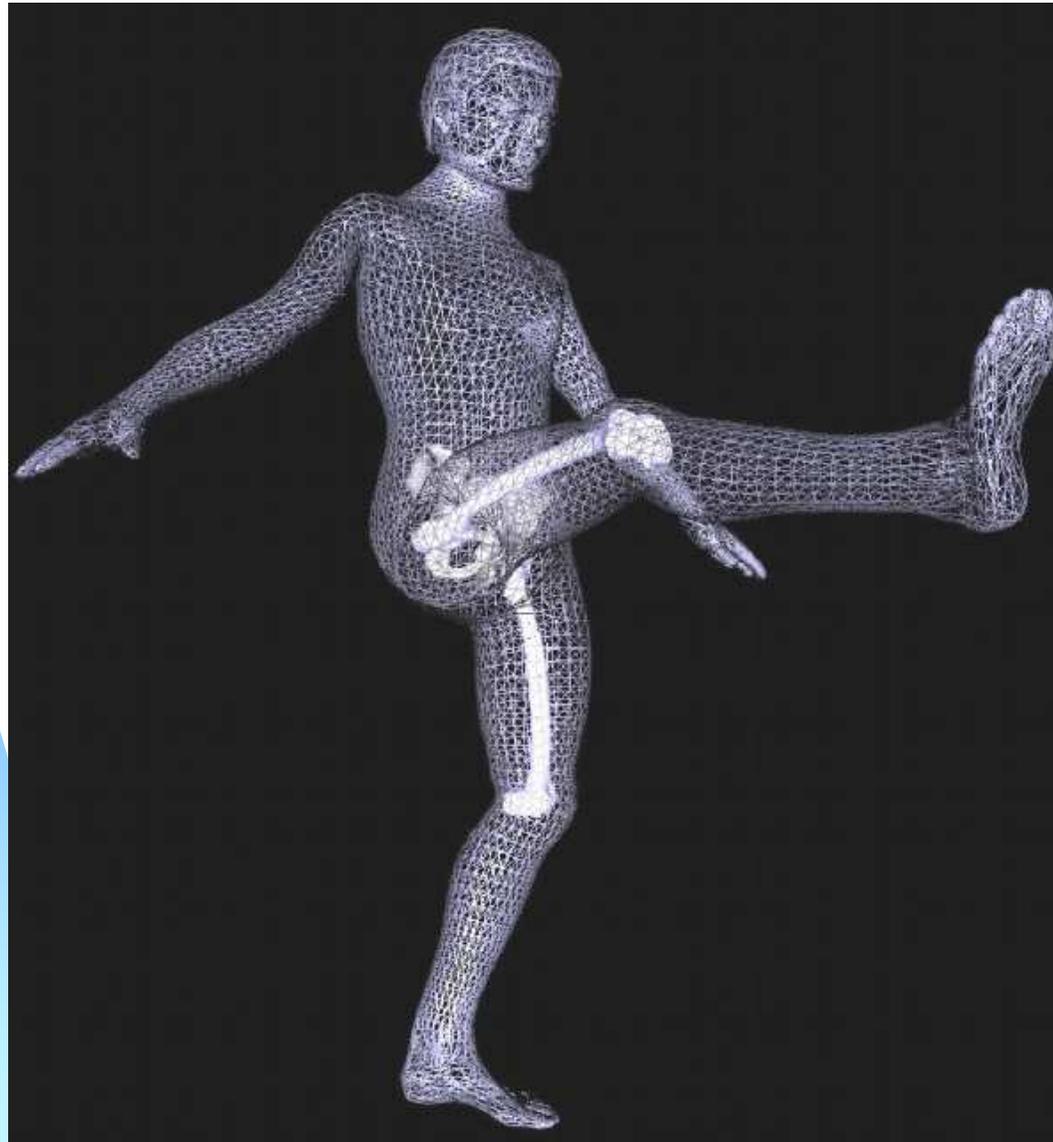
Systemes masses-ressorts (exemples)





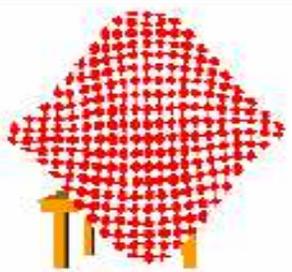
<p>Maillage rectangulaire avec des ressorts de structure</p>	<p>Maillage rectangulaire avec des ressorts de structure et de cisaillement</p>	<p>Maillage triangulaire avec des ressorts de structure</p>
--	---	---

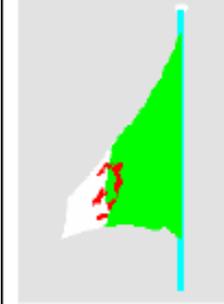
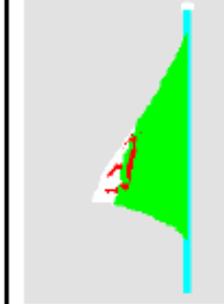
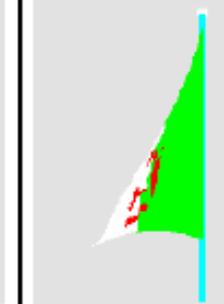
Benameur04 (Laboratoire LESIA-2004)



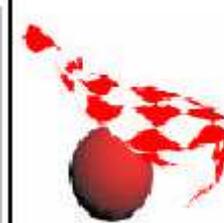
Maillage type masse ressort d'un humain virtuel (Miralab université de Genève)

Systemes masses-ressorts(exemples)

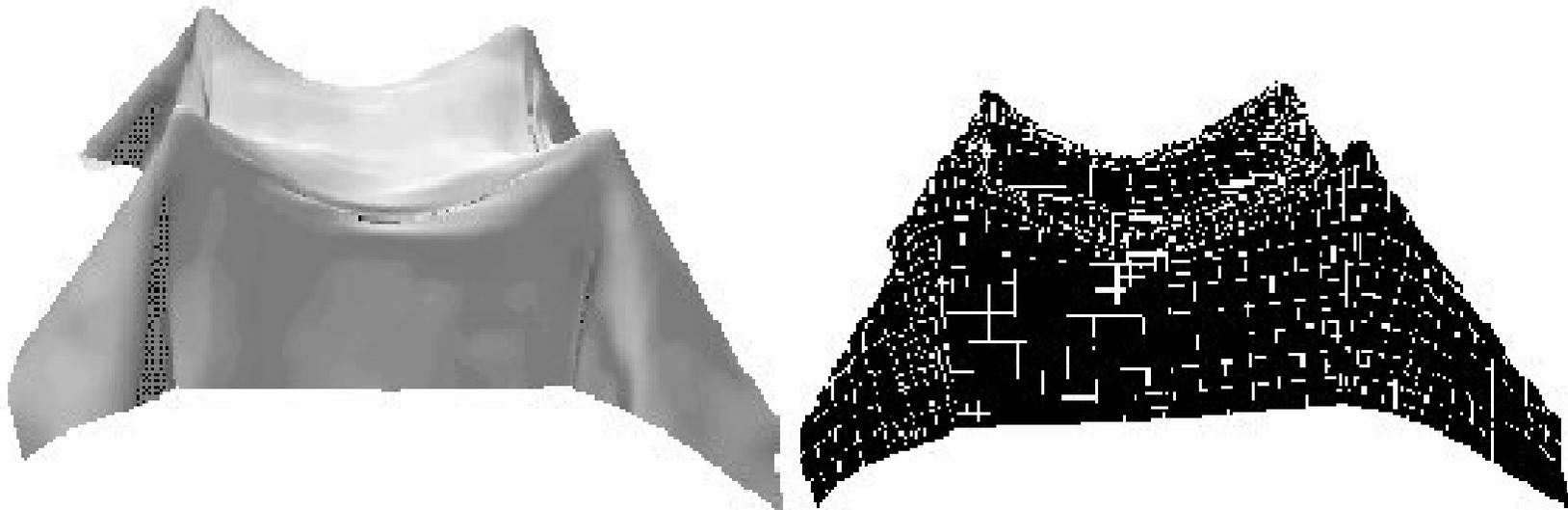
Représentation par niveaux de détails (basculement dans les deux sens)	Représentation sans niveaux de détails
 1	 1

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

Systemes masses-ressorts(exemples)

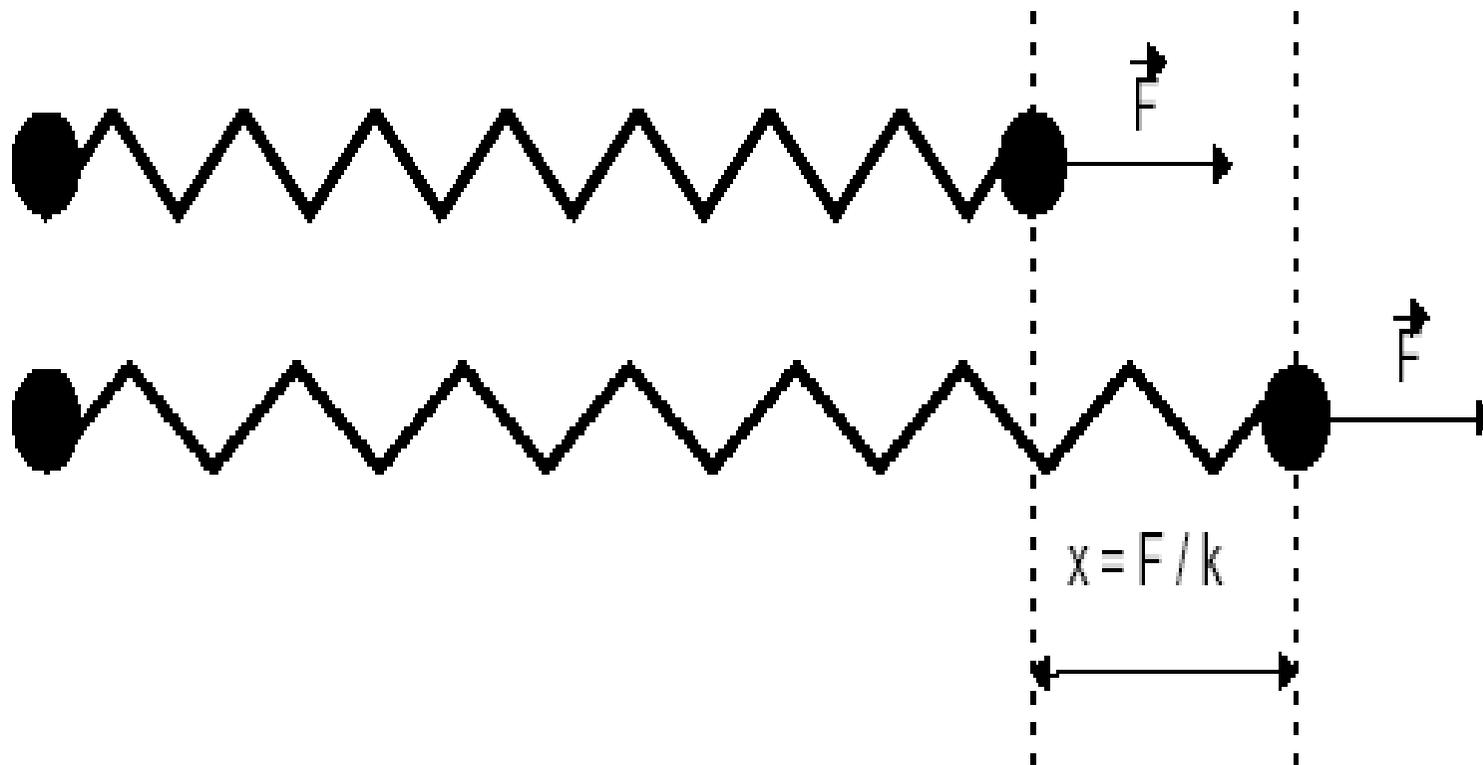


- Fig 2 : exemple d'utilisation d'un système masse-ressort pour modéliser un tissu

Systemes 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 systemes 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



Résumé

- Systèmes de particules
 - ◆ Fluides, poussière, flammes, fumée
 - ◆ Oiseaux, poissons...
- Systèmes masse-ressort
 - ◆ Solides, tissus...
 - ◆ Énergie de déformation

Environnement Virtuel

Impacte de l'environnement

- Sur le mouvement de l'acteur et inversement
 - ◆ Contrôle adaptif du mouvement de l'acteur
- Les informations disponibles pour le contrôle :
 - ◆ Sur l'environnement
 - ◆ Sur l'acteur
- Avantage
 - ◆ Moins d'informations à fournir par l'animateur
- Nécessite
 - ◆ Représentation efficace de la géométrie des objets
 - ★ Pour prévenir automatiquement les collisions

Environnement virtuel

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

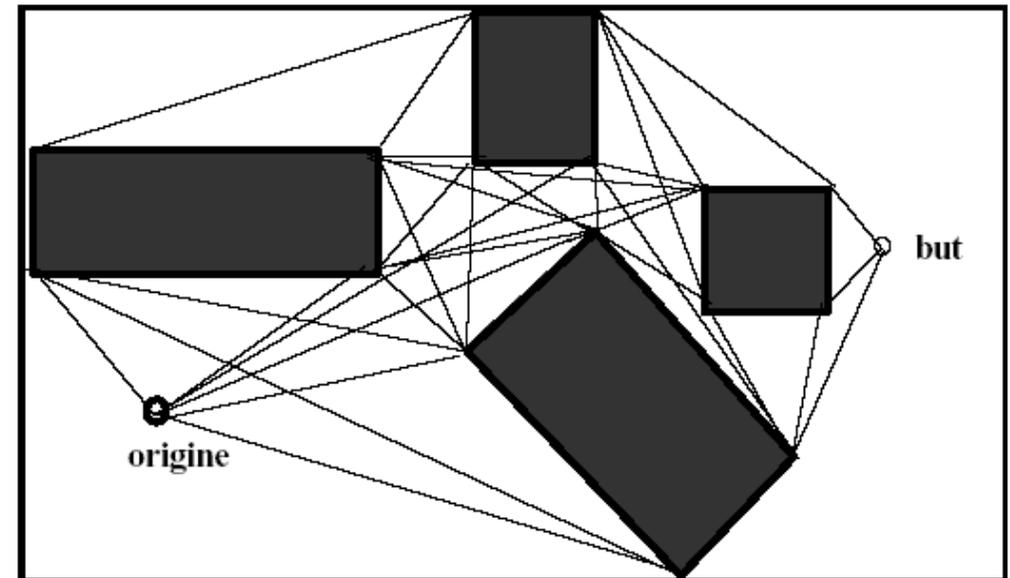
1- Première classe d'algorithmes: essais-erreurs

- 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



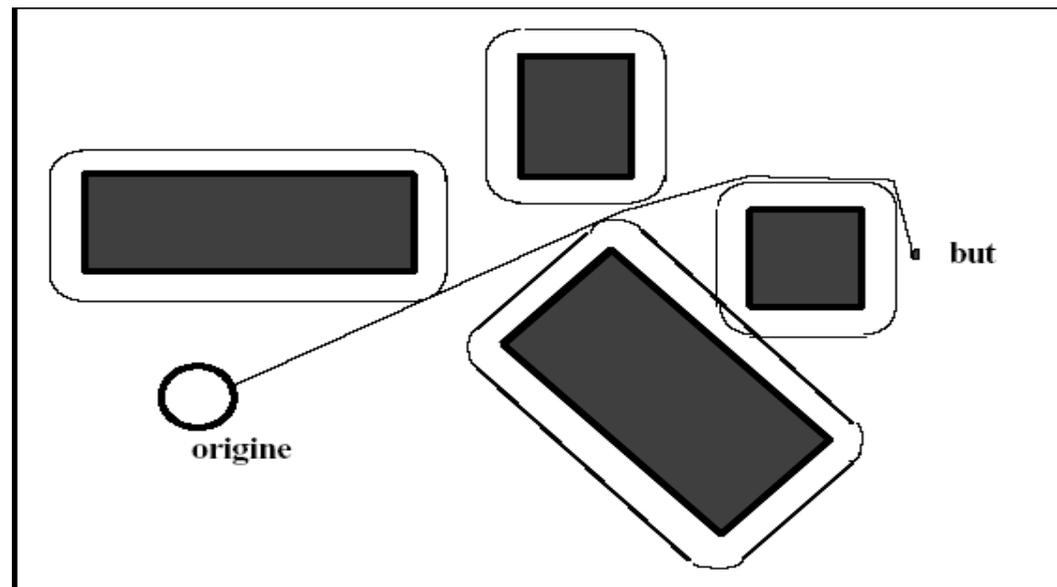
Graphe de visibilité

Évitement d'obstacles

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

- 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



Exemple



Inconvénients:

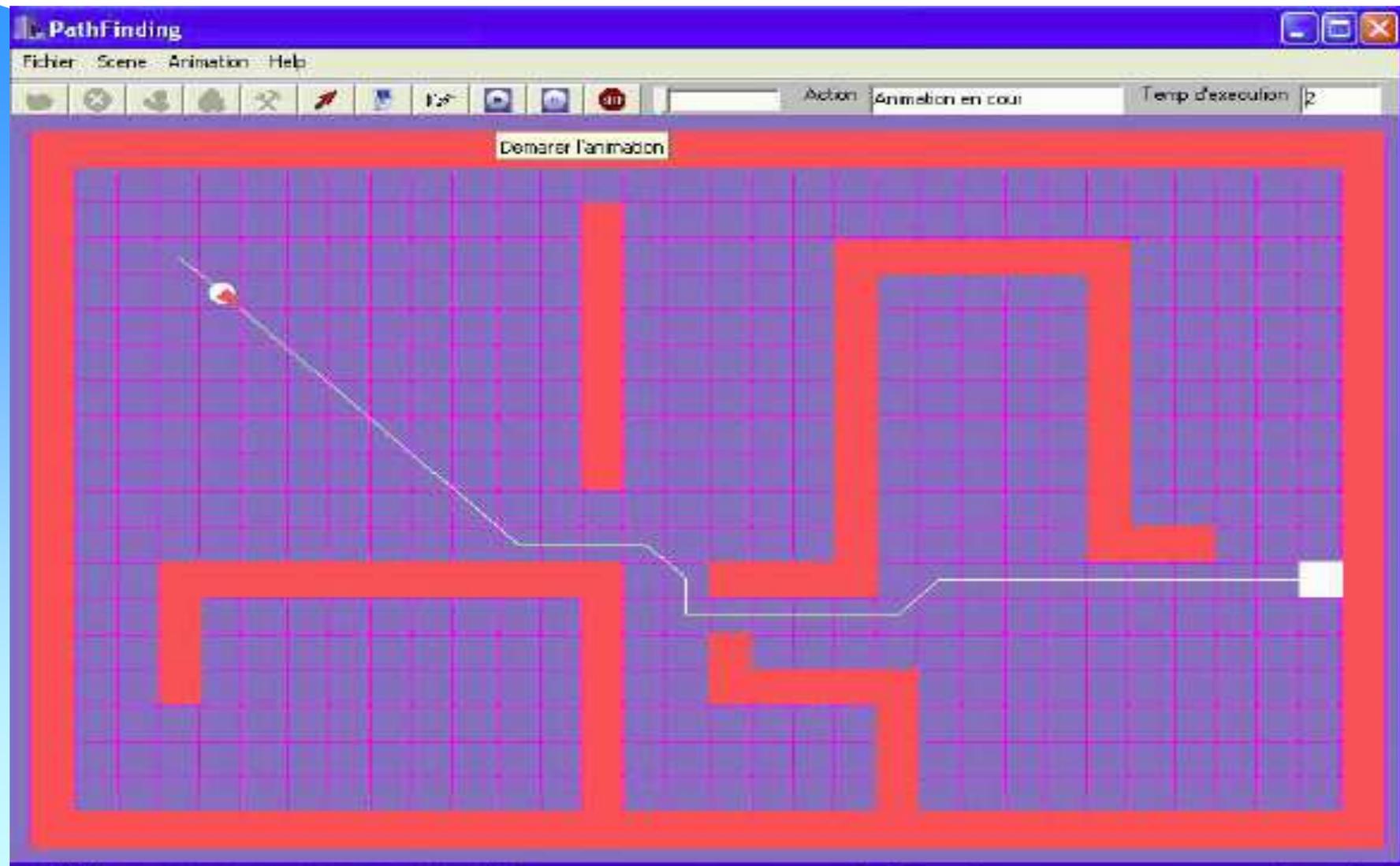
Réalisme

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