

Département d'informatique

**Cours de Master1
Image et vie artificielle**

**Module :
Animation par ordinateur**

Pr. CHERIF Foudil



Partie 2:

Les Modèles d'animation

Introduction à l'animation

- **Animation**: simulation du mouvement par la succession rapide d'images fixes
- **La boucle d'animation** permet d'une manière continue remettre à jour les paramètres de l'animation et réafficher la scène
- **Modélisation - affichage - contrôle**

Introduction à l'animation

- L'animation donc ajoute la dimension du temps à l'infographie.
- Une animation consiste en la modification d'une scène au cours du temps.
- Animer : donner vie.



Modèles de mouvement en animation

- En animation, on s'intéresse à un système continu qui évolue au cours du temps.
- Une animation est une séquence d'images, où chaque image est une observation du système à un instant donné.
- une animation est une suite $E_t = E_{t_0} + n\delta t$ d'états du système pris à des intervalles temporels connus.
- **B. Arnaldi et G. Hégron deux chercheurs de l'irisa de Rennes**, donnent une classification, à trois niveaux, des modèles de contrôle du mouvement, fondée sur le niveau d'abstraction de la description du mouvement.
 - ◆ Le plus bas niveau est nommé niveau **descriptif** et reproduit les effets décrits sans faire référence à la cause.
 - ◆ Par contre, le niveau immédiatement supérieur, dit niveau **générateur**, s'intéresse aux causes physiques du mouvement

Modèles de mouvement en animation

- ◆ Cependant, la description du mouvement à l'aide de la physique uniquement s'avère rapidement compliquée à mettre en œuvre pour la simulation des organismes vivants:
un niveau d'abstraction supplémentaire s'est avéré nécessaire, il s'agit du niveau **comportemental**.

Modèles de mouvement en animation

- **Les modèles descriptifs** : modéliser la mobilité des objets sous la forme de trajectoires spatio-temporelles (ensemble des lieux et des temps de passage des objets).
- **Les modèles générateurs** : ils s'attachent à tenir compte des causes du mouvement (**modèle causal**) en représentant, sous la **forme d'équations**, l'ensemble des trajectoires possibles.
- **Les modèles comportementaux** : ce type de modèle a pour vocation de donner de **l'autonomie** à un objet . Fondamentalement, l'objet doit avoir une **perception** de l'environnement virtuel dans lequel il est plongé, il doit avoir la capacité de **décider** de son futur et enfin il doit pouvoir **agir** sur lui-même par ses organes moteurs.

Les modèles descriptifs

- les modèles descriptifs sont tels que, dans une certaine mesure, les mouvements sont préenregistrés et qu'il n'est possible pratiquement que de contrôler l'instant de déclenchement de la trajectoire.
- l'utilisateur ne pourront suivre qu'une des trajectoires préenregistrées. La variation et la crédibilité du résultat passent donc par l'usage d'un très grand nombre de trajectoires potentielles qu'il est difficile de modéliser

Les modèles descriptifs

- Ces modèles sont utilisés dans le domaine du dessin animé :
 - ◆ l'animateur fournit l'image de départ, l'image d'arrivée, et un certain nombre de correspondances entre les deux images
- L'algorithme effectue d'abord une interpolation temporelle sur les trajectoires puis une interpolation spatiale sur les zones délimitées par les points



Les modèles descriptifs

- **L'inconvénient** : ne permet pas à l'objet d'agir par lui même
- **L'animateur doit être un très bon programmeur**

Les modèles générateurs

- Les **modèles descriptifs** ne permettent pas à l'objet animé d'agir ou de réagir par lui-même.
Contrairement aux modèles descriptifs, les modèles générateurs permettent de décrire les **causes du mouvement**. Un exemple de modèle causal concerne l'utilisation des lois de la mécanique, exemple du jeu de billard
- Les intérêts (avantages) des modèles générateurs par rapport aux modèles descriptifs sont multiples:

Les modèles générateurs(avantages)

- **Réalisme des mouvements:** les corps animés à l'écran réagissent aux lois de la physique. Cela garantit donc la crédibilité et le réalisme de l'animation par rapport à la simulation
- **Réduction du nombre de degrés de liberté du système:** l'utilisation des modèles générateurs peut permettre de réduire le nombre de paramètres du mouvement puisque ceux-ci sont régis par les lois de la mécanique. Un corps en chute libre n'est plus soumis qu'à l'action de la gravité, l'animateur n'a donc pas à se préoccuper de sa trajectoire ;
- **Paramétrage naturel:** le paramétrage d'une animation s'effectue à l'aide de grandeurs physiques (masse, élasticité..) et ne dépend donc pas du savoir-faire de l'animateur.

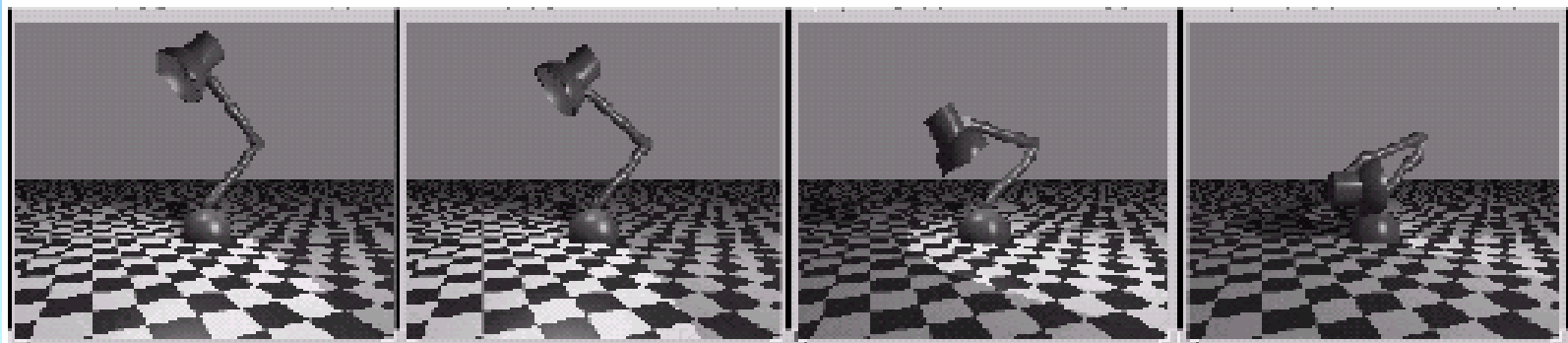
Les composantes des modèles générateurs

Un modèle physique utilisé pour une animation se définit par trois composantes qui sont:

- **Le modèle de matière** (emplacement et structure de la matière qui compose un corps),
- **Le formalisme** d'obtention des équations du mouvement à partir du modèle de matière,
- et enfin **la méthode** de résolution de la dynamique.

Les modèles générateurs exemple

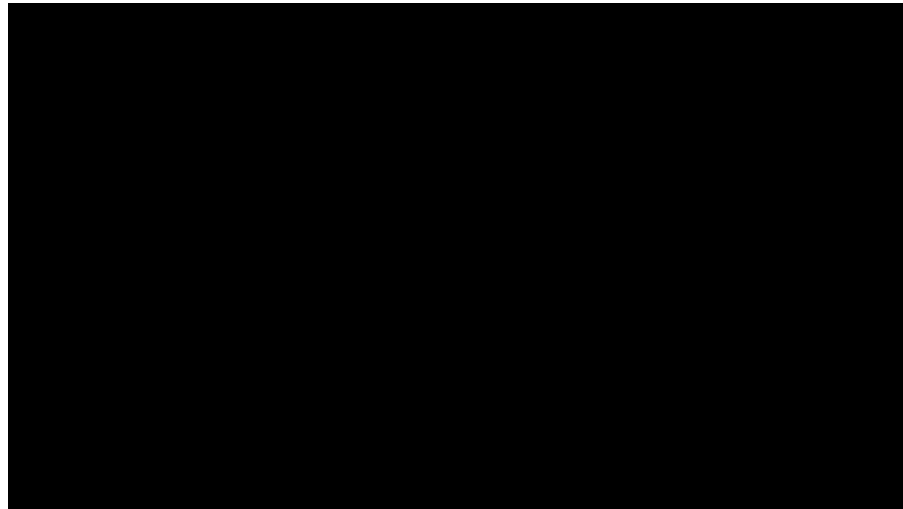
- La figure présente l'exemple de Luxo. Luxo est une lampe de bureau déformable et articulée, constituée de quatre corps (le socle, la tête et deux barres flexibles qui les relient). Sur la figure, Luxo se déforme sous l'action de son propre poids.



Modèle générateur: Luxo

Les modèles générateurs exemple

- Luxo Jr. est le premier court métrage de Pixar, sorti en 1986 lorsque le studio d'animation venait juste d'être créé. D'une durée de deux minutes trente, le film était la vitrine de la société afin de démontrer le savoir-faire des créateurs en matière d'images de synthèses, notamment dans les effets d'ombres.
- La scène montre deux lampes sur un bureau, dont une qui joue avec une balle



vidéo Pixar

Les inconvénients des modèles générateurs

- Une phase de modélisation du système physique est requise
 - Le problème des modèles générateurs réside dans la difficulté de déterminer les attributs physiques de l'objet
- ➔ **Le contrôle du mouvement est difficile**

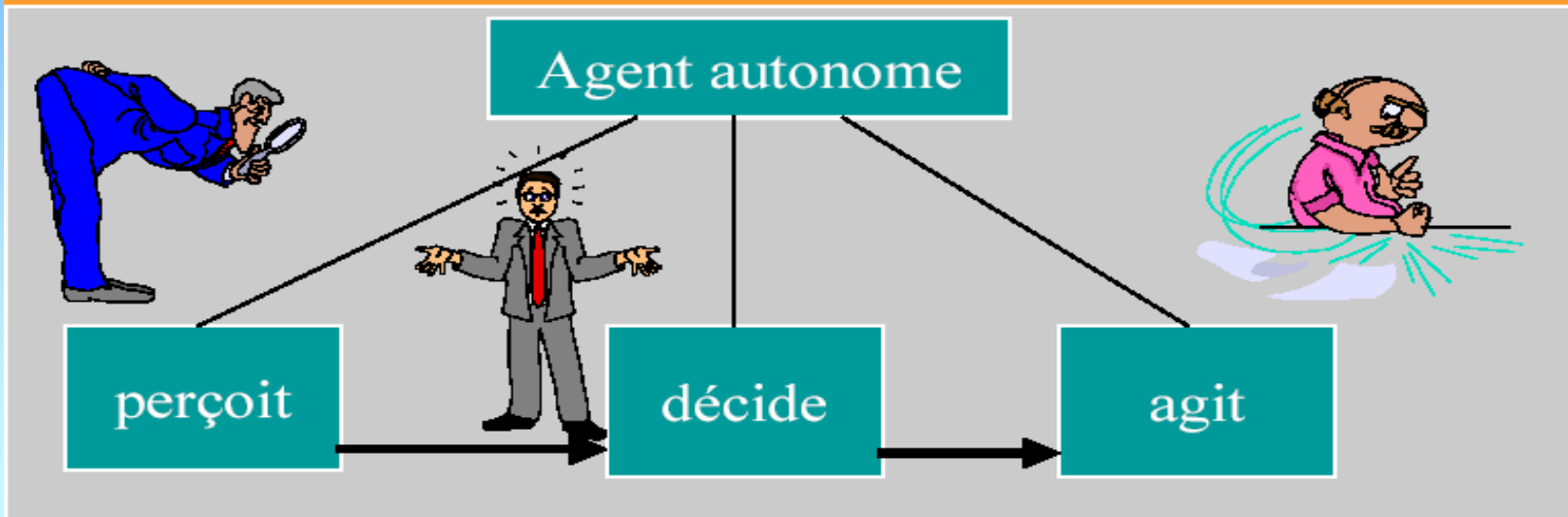
Les modèles comportementaux

- L'animation comportementale propose un niveau d'abstraction supplémentaire en tentant de décrire les réponses du système à des stimuli de l'environnement.
- On considère que le système à animer est contrôlable par un certain nombre d'actions simples qui vont constituer ses réponses.
- L'animation comportementale modélise donc le comportement des personnages ou des acteurs (des êtres vivants).

Les modèles comportementaux

Le but de l'animation comportementale est donc de spécifier la **décision** du système: en fonction des stimuli qu'il **perçoit**, il **agit**.

Animation comportementale



Modèles comportementaux

Selon Bruno Arnaldi, les systèmes d'animation comportementale se divisent en deux grandes familles qui font la distinction entre les organismes qui agissent sur eux-mêmes de ceux qui agissent sur leur environnement.

- ◆ **Modèles de transformation interne**
- ◆ **Modèles de transformation externe**

Modèles comportementaux

Modèles de transformation interne

- Ces modèles s'attachent à décrire de manière réaliste l'évolution interne d'entités vivantes (plantes, êtres humains...) en fonction des paramètres extérieurs.
- Il s'agit de rendre compte des modifications de l'enveloppe externe de l'entité à animer (par exemple la croissance d'une plante, déformation de poumon,).

Modèles comportementaux

Modèles de transformation interne

■ Modèles de plantes

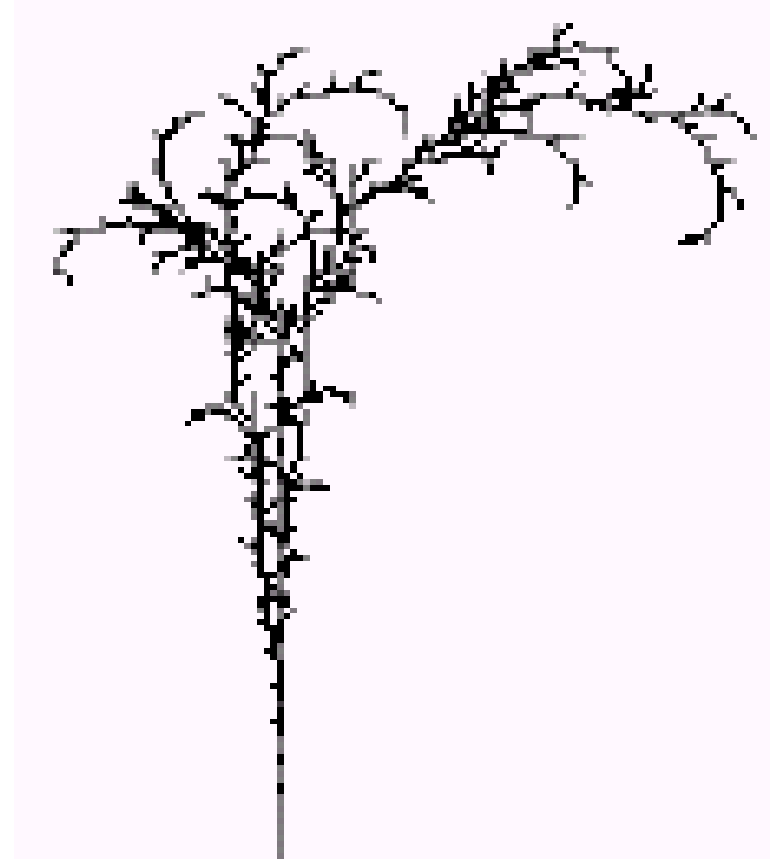
- ◆ Les modèles de croissance des plantes sont des systèmes de réécriture fondés sur un axiome et des règles de production appelés **L-systems**
- ◆ A. Lindenmayer définit un **L-system** comme étant un axiome constitué d'une chaîne de symboles paramétrés et temporisés, et de règles de production qui spécifient comment les symboles se transforment en fonction du temps.

Les symboles sont associés à des **primitives géométriques**, ce qui permet de donner une représentation **graphique** au L-system.

Modèles comportementaux

Modèles de transformation interne

- **Modèles de plantes**
- les L-systems sont utilisés à la fois en animation par ordinateur et en biologie pour simuler la croissance des végétaux
 - en modifiant que les éléments terminaux de la grammaire

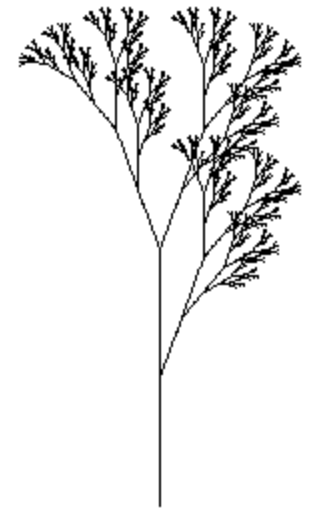
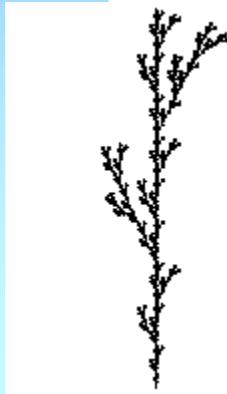
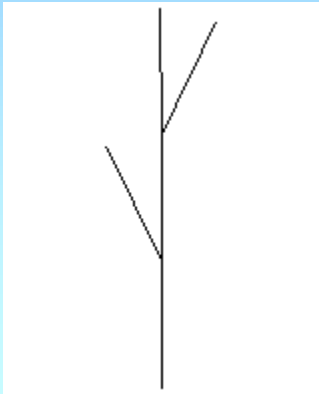


Exemple de plante générée par un L-system

L-Systèmes

■ Principe:

- ★ Initiateur : F
- ★ Générateur : $F[+F]F[-F]F$
- ★ Angle : 22.5



Modèles de transformation interne

■ Animation d'humanoïdes

- ◆ L'être humain se compose essentiellement d'un **squelette**, de **muscles** et d'une enveloppe extérieure, **la peau**.
- ◆ Pour animer un humanoïde, il faut définir un modèle d'un ou plusieurs de ces composants. La structure utilisée est celle d'une structure osseuse (solide rigide articulé) sur laquelle est plaquée une peau déformable.
- ◆ Deux types de problèmes se posent donc: **le mouvement du squelette** (par exemple la reproduction de la marche humaine) et **la déformation de la peau** (par exemple, l'animation faciale).

Modèles de transformation interne

■ Animation faciale

- L'animation faciale consiste à animer le visage d'un être humain. C'est une tâche complexe qui nécessite la modélisation, l'animation et le rendu de la géométrie du visage mais aussi d'éléments distinctifs du visage comme la peau, les cheveux, les lèvres ou la langue.
- P. Fua classe les modèles d'animation faciale en deux catégories:
 - les modèles à peu de degrés de liberté, qui se concentrent sur les mouvements de la tête. Ils utilisent des modèles assez simplistes et sont donc assez pauvres graphiquement.
 - les modèles plus sophistiqués ; il s'agit en premier lieu d'extraire la géométrie à partir d'images réelles ou de la générer automatiquement . Ensuite, il faut définir des paramètres de déformation pour contrôler les mouvements du visage.

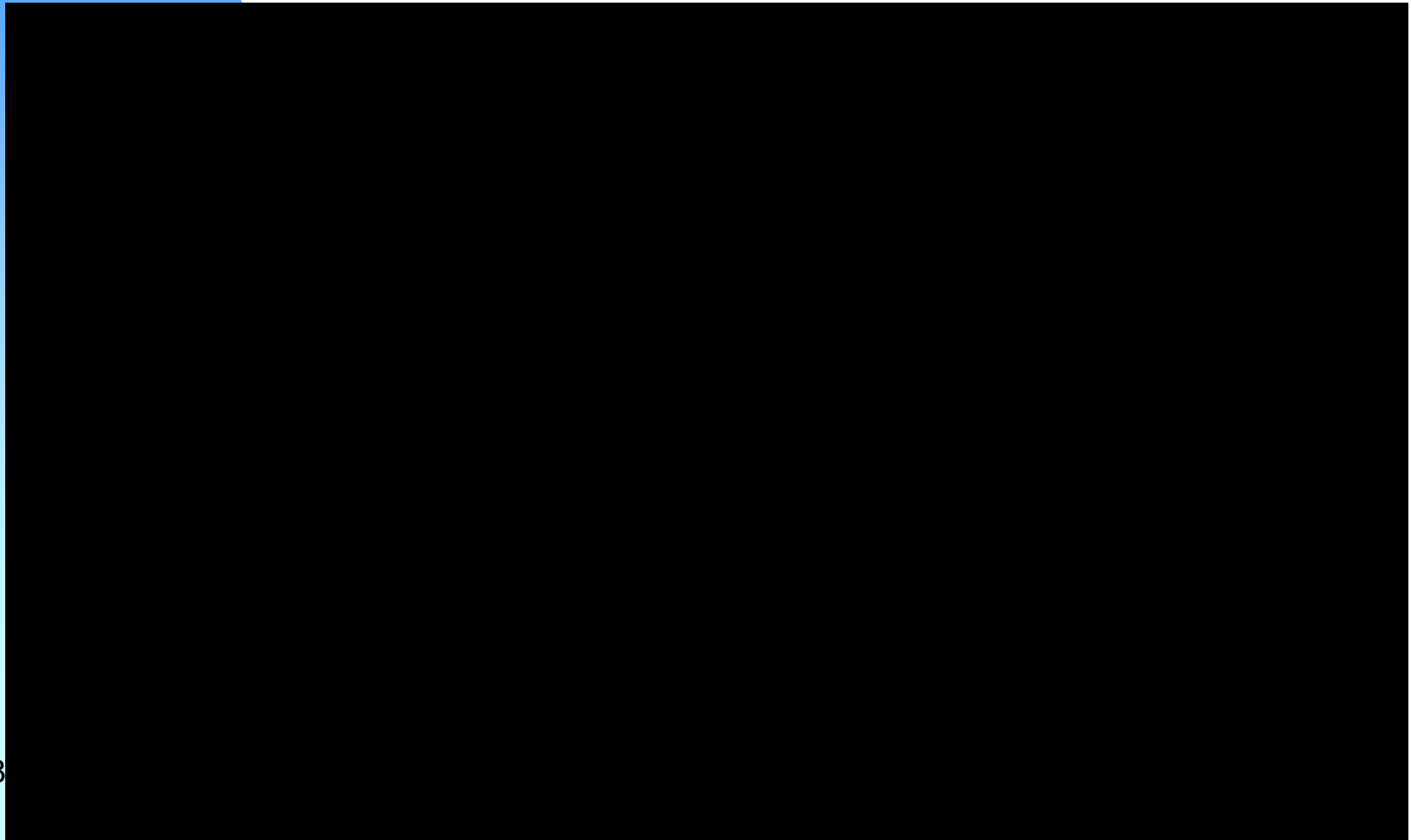
Modèles de transformation interne

■ **Animation faciale** (difficultés)

- ◆ Difficultés rencontrées dans la modélisation et l'animation du visage humain
- ◆ Caractéristiques d'un modèle du visage humain
- ◆ Méthodes utilisées pour traiter de la géométrie du visage
- ◆ Différentes approches de construction du modèle
- ◆ Texture de la peau
- ◆ Animation du visage
- ◆ Mouvement des lèvres et synchronisation de la parole
- ◆ Cheveux humains

Modèles de transformation interne

- **Animation faciale** (vidéo): La société Eisko, présente son rig facial. L'objectif était de permettre un large éventail de déformations spatiales, tout en étant compatible avec l'animation keyframe et la motion capture.



Modèles comportementaux

Modèles de transformation interne

■ Animation faciale

- ◆ Les modèles de visage varient énormément d'un modèle géométrique simple à un modèle basé sur l'anatomie.
- ◆ une simple forme géométrique pour la tête (une sphère par ex.) avec des textures;
- ◆ les yeux et la bouche peuvent être animés au moyen d'une série de textures appliquées à la forme simple;
- ◆ le nez et les oreilles peuvent faire partie de la géométrie de la tête, ou, plus simplement, être incorporés à la texture;
- ◆ la bouche peut être un élément géométrique distinct placé à la surface de la géométrie du visage;

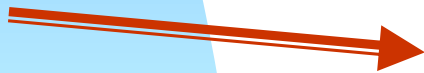


Modèles comportementaux

Modèles de transformation interne

■ Approches de l'animation du visage

- ◆ Simuler l'action des muscles du visage pour représenter les expressions du visage.
- ◆ Considérer les expressions eux-mêmes qui doivent représenter la parole et les émotions.



— Sourire, clin d'oeil, larme, ...

- ◆ Une expression du visage est différente d'un personnage à un autre.



Modèles comportementaux

Modèles de transformation interne

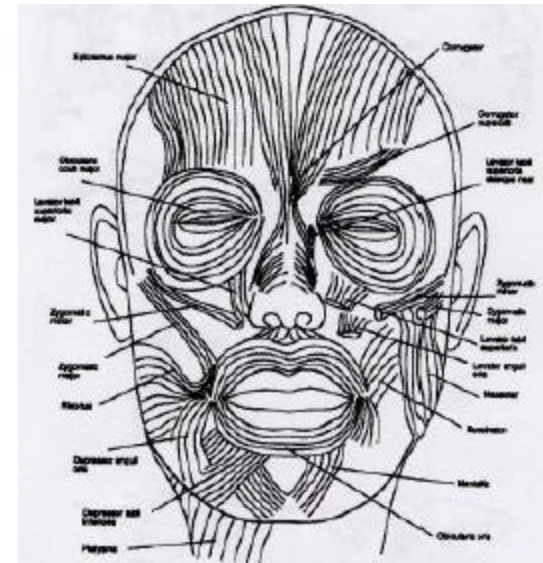
Approches de l'animation du visage

■ Modèles plus sophistiqués.

- ◆ La plupart des paramètres concernent les yeux et la bouche qui concentrent la plus large part de l'expression humaine

■ Exemple:

- ◆ la position de la lèvre supérieure,
- ◆ le regard,
- ◆ l'orientation de la mâchoire, etc...



Animation faciale(conclusion)

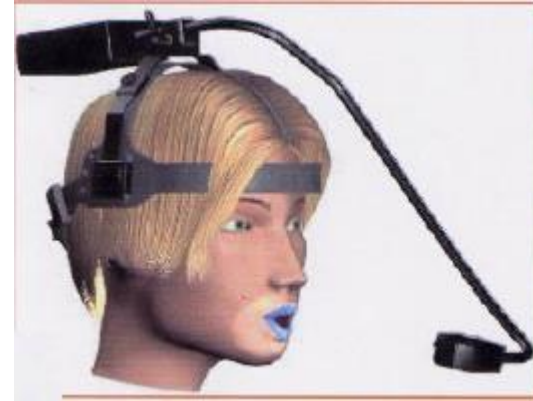
- L'animation faciale se fait de nos jours par les méthodes purement **synthétiques**, les méthodes par **capture du mouvement** et un mélange des deux, selon les projets et les équipes de production.
- L'utilisation des données issues de la capture de mouvement permet d'avoir un résultat beaucoup plus rapidement et à moindre coût. Cependant, ces données sont parfois bruitées et nécessitent un travail supplémentaire pour obtenir une animation réaliste.
 - L'évolution des technologies en animation faciale permet de faciliter la tâche aux studios de productions, mais aussi de permettre aux artistes indépendants et étudiants de réaliser leurs œuvres plus rapidement.
 - Ces dernières années, les méthodes **sans marqueurs** connaissent une popularité croissante. Plusieurs technologies sans marqueurs utilisent du matériel beaucoup plus accessible et grand public, le logiciel Faceshift utilise uniquement une caméra de type Kinect afin de capturer les expressions du visage.

Modèles comportementaux

Modèles de transformation interne

Production de la parole

- Le 1^{er} modèle animé avec synchronisation de la parole : le film « Tony de Peltry » en 1985.
- Lipsink est un logiciel pour analyser en temps réel les mouvements des lèvres d'un acteur pour les appliquer sur un visage synthétique.



Lipsink

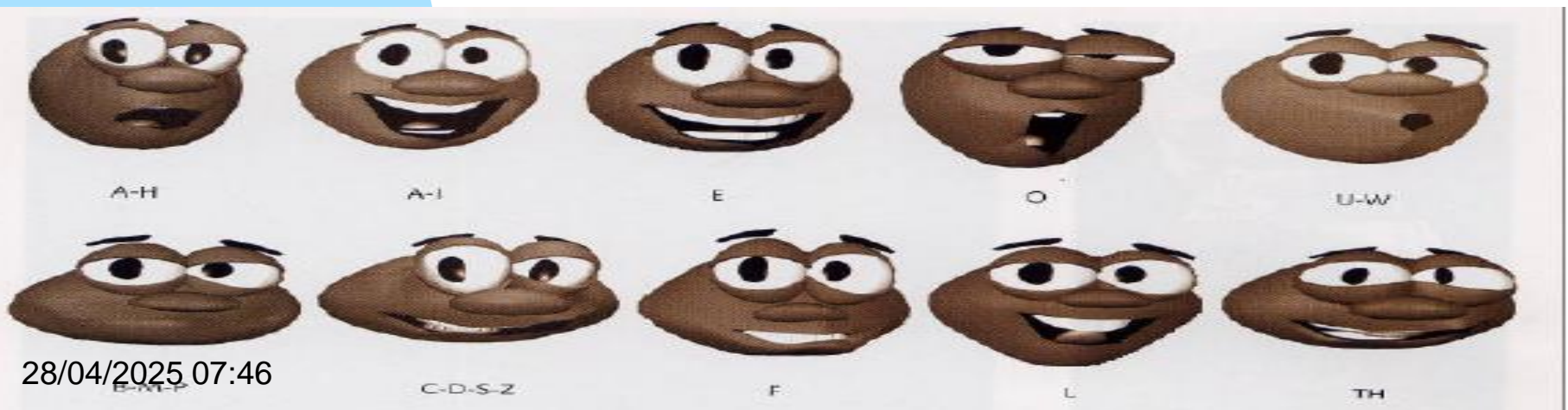


Modèles comportementaux

Modèles de transformation interne

Phonèmes et émotions

- Les phonèmes constituent les unités sonores minimales du langage humain.
- Chacun est aussi une expression du visage liée à un mouvement et une position donnés des lèvres, des mâchoires et de la langue. L'équivalent visuel du phonème s'appelle le **visème**.
- Une émotion est une expression du visage agissant sur différentes parties du visage (ex. : rire, pleurer, ...).



Modèles comportementaux

Modèles de transformation interne

Les cheveux 3 tâches à réaliser :

- **Modélisation** de la forme des cheveux : Création de milliers de cheveux (100 000 à 150 000) : géométrie, densité, répartition, orientation,
- **Mouvement des cheveux**, collision avec leur environnement, collision d'un cheveu avec lui-même, impact du vent, de la gravité, du mouvement de la tête.
- **Rendu** : Couleur des cheveux, ombre, niveau de transparence,

La modélisation, l'animation et le rendu des cheveux restent un problème ouvert: (animation en temps réel)

Modèles comportementaux

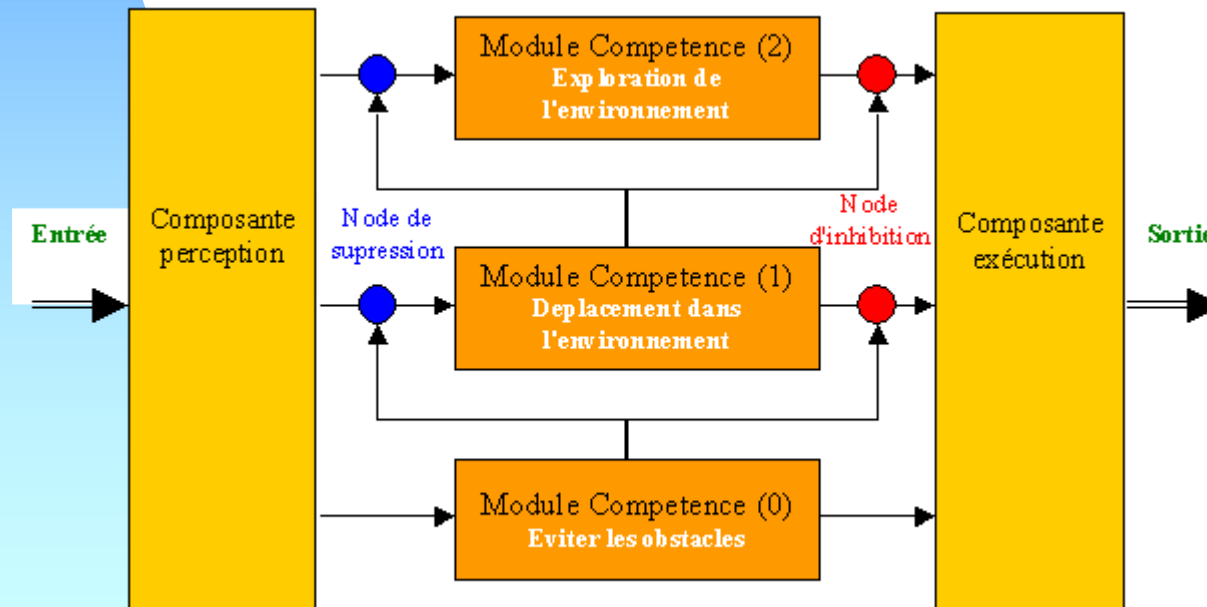
Modèles de transformation externe

- Les modèles dits “**de transformation externes**” définissent le comportement extérieur d'un être, c'est-à-dire ses **actions** et **réactions** vis-à-vis de son **environnement**, que ce soit de façon **individuelle** ou **collective**(foule d'humains virtuels).

Modèles de transformations externes

■ Approche de subsomption de R. Brook (1986);

Définit un modèle se fondant sur une décomposition en comportements de base. Ces comportements sont représentés à l'aide d'automates d'états finis temporisés



Modèles de transformations externes

■ Boids de C. Reynolds – 1987

Initiateur de l'animation comportementale.

- ❖ Reynolds a construit un modèle comportemental permettant d'animer un ensemble d'individus à l'aide de la description du comportement individuel de chaque animal appartenant au groupe.
- ❖ Reynolds a défini trois règles de comportement :
 - *éviter les collisions,*
 - *harmoniser sa vitesse à celle de ses voisins,*
 - *rester proche de ses voisins.*

La figure suivante présente un exemple de nuée d'oiseaux dont le comportement respecte les règles précédentes.

Boids de C. Reynolds



Règles de comportement: une nuée d'oiseaux évitant un obstacle

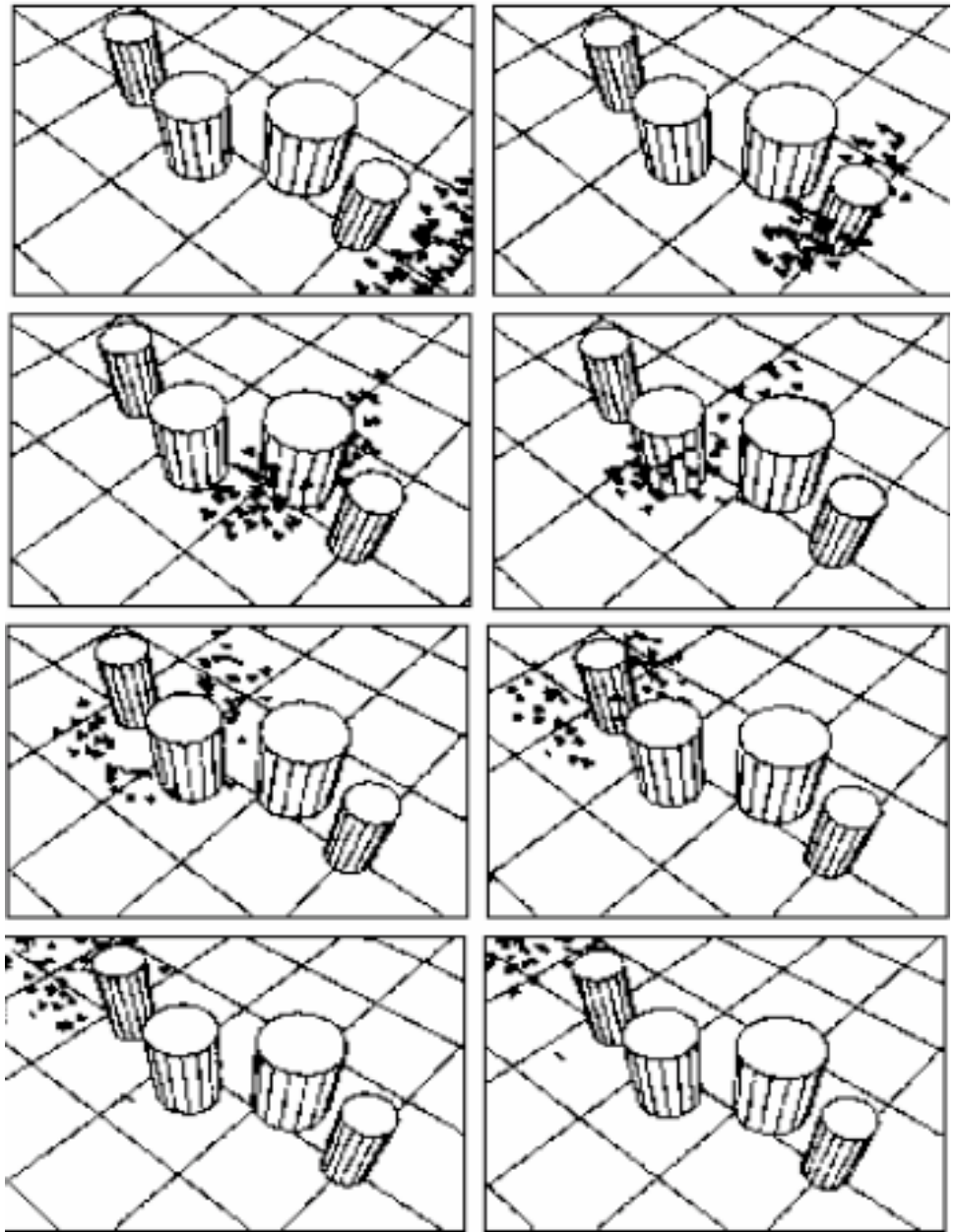
Boids de C. Reynolds

C. W. Reynolds,
"Flocks, Herds, and Schools:
A Distributed Behavioral Model",
Computer Graphics,
vol. 21, no. 4, pp 25-34, 1987.

VOIR SON SITE !!

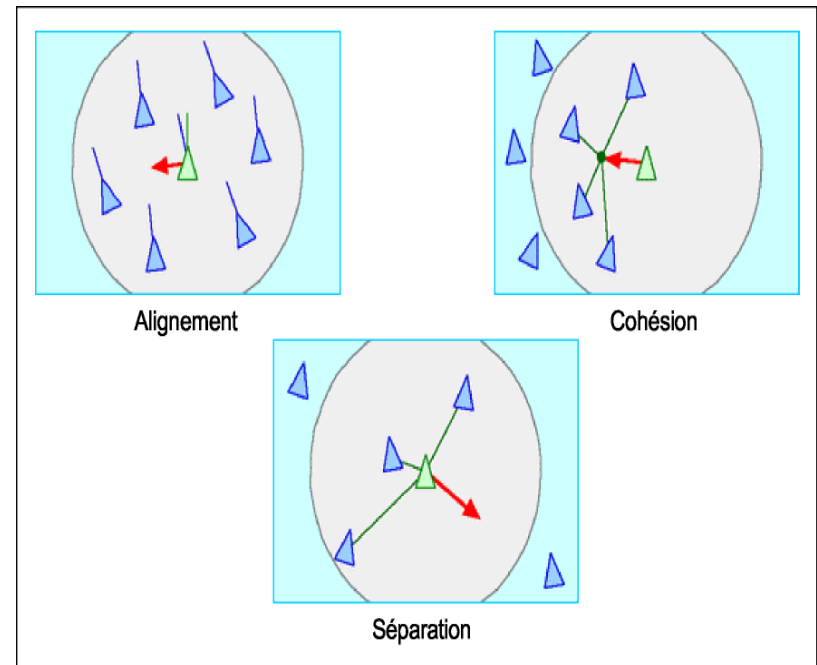
[http://www.red3d.com
/cwr/boids](http://www.red3d.com/cwr/boids)

**Règles de comportement: une nuée
d'oiseaux
évitant un obstacle**



Modèles de transformations externes

- **Boids** est le nom d'un programme informatique de vie artificielle, développé par **Cray Reynolds** en 1986, simulant le comportement d'une nuée d'oiseaux en vol
- **la cohésion** : Pour former un groupe, les boids se rapprochent les uns des autres.
- **la séparation** : 2 boids ne peuvent pas se trouver au même endroit au même moment.
- **l'alignement** : Pour rester groupés, les boids essaient de suivre un même chemin.



**Comportements primaires
de Reynolds.**

Modèles de transformations externes

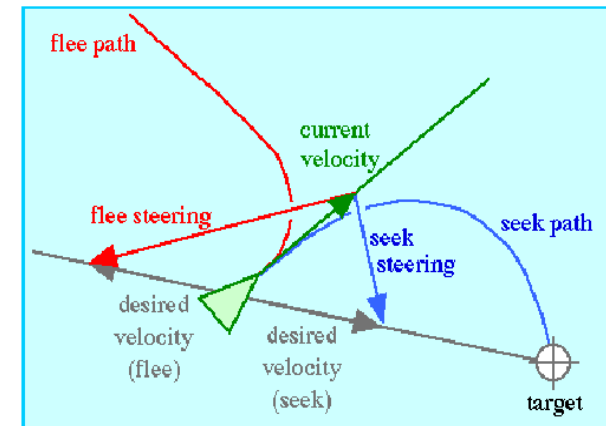
Modèle de Reynolds

- Ces techniques paraissent relativement **basiques** mais permettent, par **émergence**, d'obtenir des comportements **complexes**.
- En 1999, C. Reynolds étend son modèle pour contrôler le déplacement d'entités autonomes en utilisant d'autres types de comportements.

Comportements d'individus

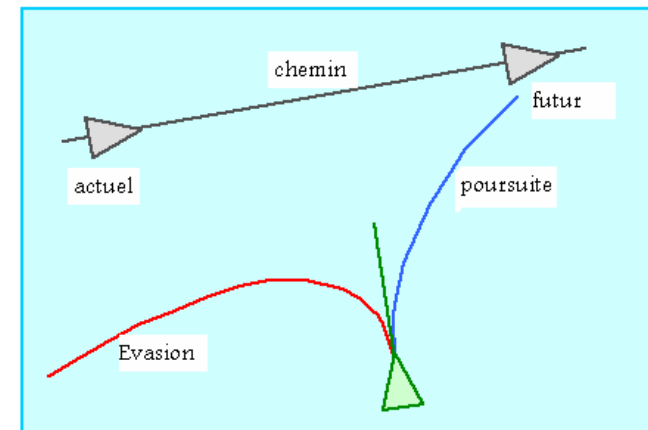
■ Comportement de recherche et fuite

- ◆ La recherche et la fuite sont deux comportements très simples qui déplacent un véhicule vers ou loin d'une position de cible avec une vitesse constante



■ Comportement de poursuite et évasion

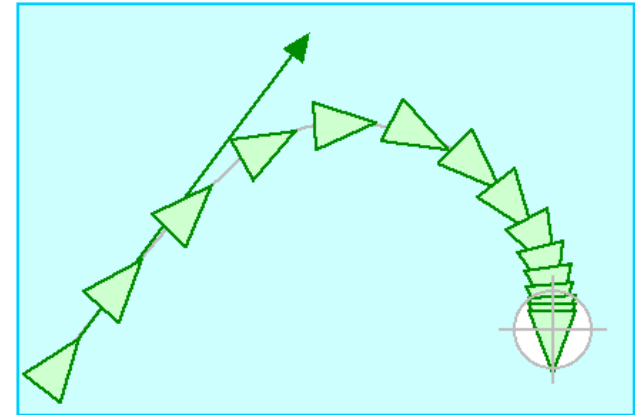
- ◆ *La poursuite* est semblable à la recherche sauf que la carrière (cible) est un autre caractère mobile
- ◆ *L'évasion* est analogue à la poursuite, sauf que la fuite est utilisée pour s'orienter loin de la future position prévue de l'acteur poursuivant



Comportements d'individus

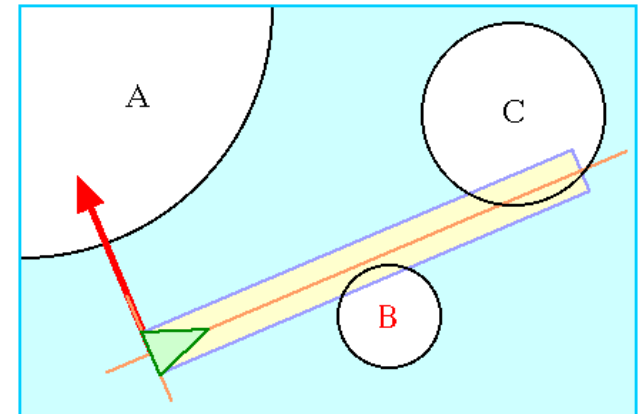
■ Comportement d'arrivée

- ◆ Le comportement d'arrivée est une extension du comportement de recherche. La différence importante se résume dans la manière selon laquelle le véhicule atteint la destination. Le comportement de recherche fait que notre véhicule atteint la cible à pleine vitesse.



■ Comportement d'évitement d'obstacles

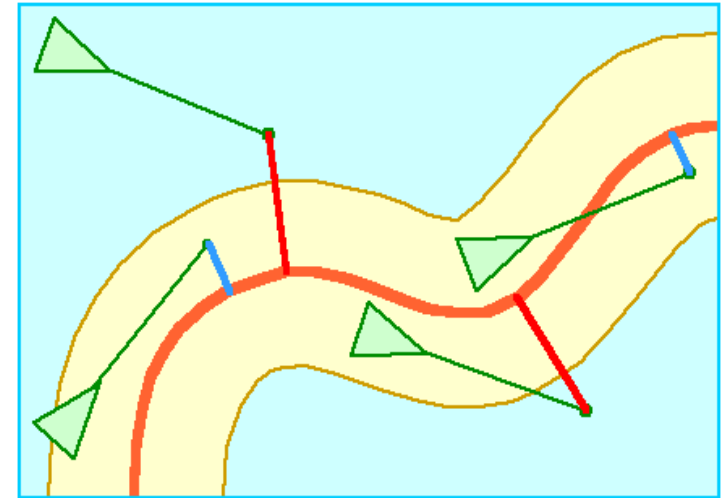
- ◆ Le comportement d'évitement d'obstacles donne à un acteur la capacité de manœuvrer dans un environnement encombré en esquivant autour des obstacles. Il y a une distinction importante entre l'évitement d'obstacles et le comportement de fuite



Comportements d'individus

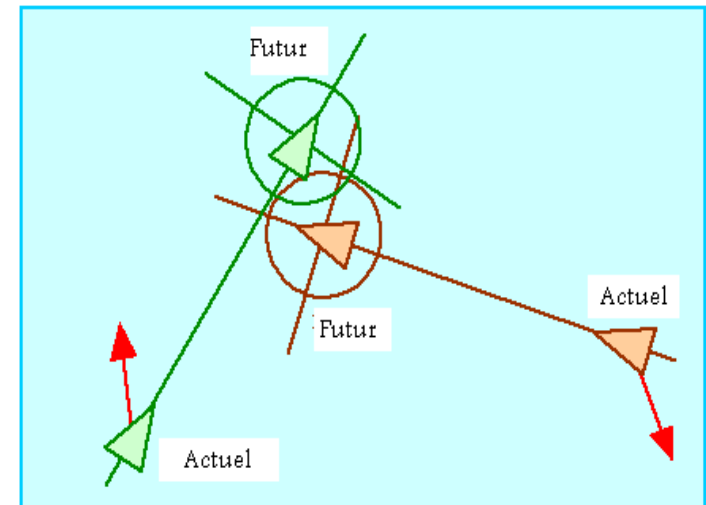
■ Comportement de suivi de chemin

- ◆ Ce type de comportement permet à un acteur de s'orienter le long d'une voie d'accès prédéterminée, telle qu'une chaussée, un couloir ou un tunnel .



■ Comportement Evitement de collision non-alignée

- ◆ Le comportement d'évitement de collision non alignée se doit de prévenir les collisions entre des acteurs se déplaçant dans une direction arbitraire



Modèles de transformations externes

Modèle de Reynolds

■ Comportements de groupes

- ◆ Un groupe est l'élaboration d'un système de particules avec acteurs (oiseaux ou poissons) en tant que particules.
- ◆ Un groupe est le résultat de l'interaction entre les comportements individuels des acteurs;
- ◆ les acteurs tentent de rester ensemble et d'éviter les collisions avec les autres acteurs, d'une part et les objets aux alentours, d'autre part
- ◆ Les positions, les vitesses et les différentes orientations des acteurs sont connues dans le système à tout instant

Modèles de transformations externes

Modèle de Reynolds

■ Comportements de groupes

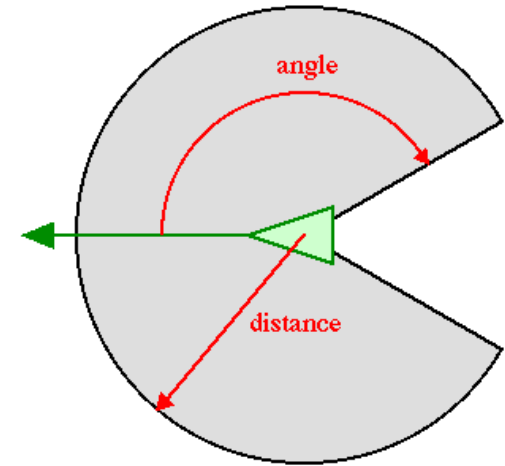
- ◆ L'animateur peut contrôler plusieurs paramètres globaux:
 - ★ Le poids de la composante évitement d'obstacles.
 - ★ Le poids de la convergence vers le but.
 - ★ Le point du centrage du groupe.
 - ★ Le poids de l'égalité des vitesses.
 - ★ La vitesse maximale.
 - ★ L'accélération maximale.
 - ★ La distance minimale entre les oiseaux

Modèles de transformations externes

Modèle de Reynolds

■ Comportements de groupes

- ◆ Les trois comportements de base de direction (séparation, cohésion et l'alignement) touchent des groupes d'acteurs. Dans chaque cas, le comportement de direction détermine comment un acteur réagit à d'autres dans son voisinage local. Les acteurs à l'extérieur du voisinage local sont ignorés
- ◆ Le voisinage est spécifié par une distance qui est définie quand deux acteurs sont "voisin" et un angle qui définit la perception de l'acteur "champ de voisin"



Notion de voisinage

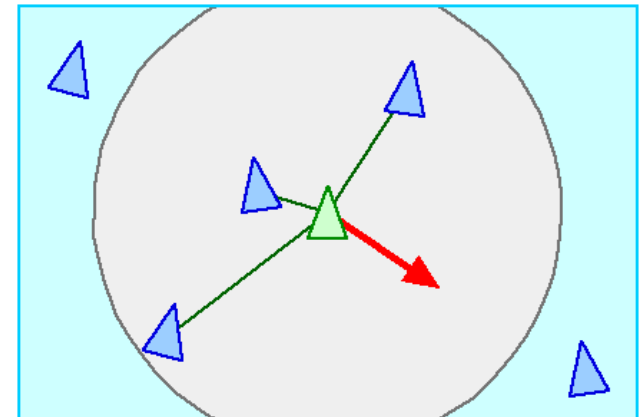
Modèles de transformations externes

Modèle de Reynolds

- Comportements de groupes

- ◆ La séparation:

- Le comportement de séparation donne à l'acteur la capacité de maintenir une certaine distance de séparation des autres caractères qui lui sont proches
- Les forces répulsives pour chaque acteur voisin sont additionnées ensemble pour produire la force de direction



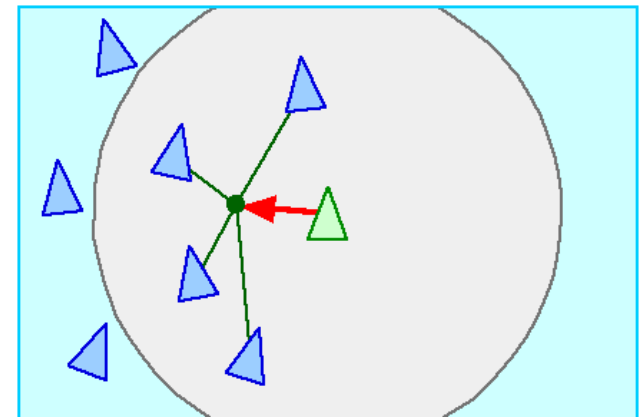
Modèles de transformations externes

Modèle de Reynolds

■ Comportements de groupes

◆ La cohésion :

- Le comportement de cohésion donne aux acteurs la capacité de générer une situation de cohérence dans le groupe qu'ils forment (se rapprocher et former un groupe) avec d'autres acteurs voisins
- La direction de la cohésion peut être calculée en déterminant tous les acteurs dans le voisinage local et en calculant "la position moyenne" (ou "centre de gravité") des acteurs voisins.



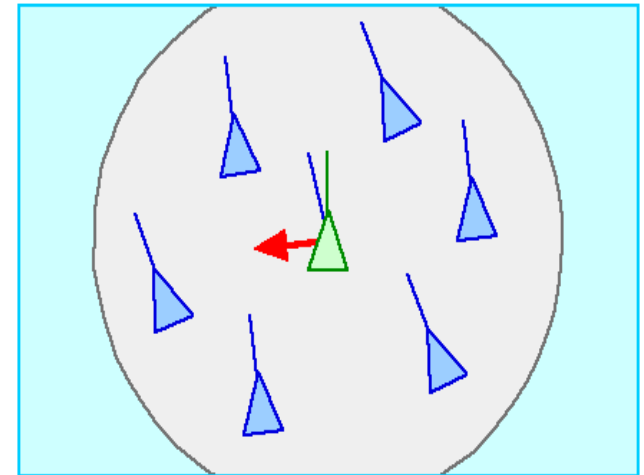
Modèles de transformations externes

Modèle de Reynolds

■ Comportements de groupes

◆ L'alignement :

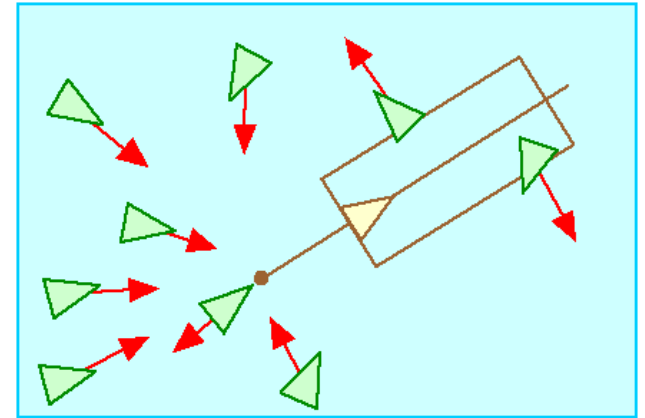
- Le comportement d'alignement donne à l'acteur la capacité de s'aligner sur d'autres acteurs voisins
- La direction d'alignement peut être calculée en déterminant tous les acteurs dans le voisinage local, en faisant la moyenne des ensembles des vitesses des acteurs voisins .



Modèles de transformations externes

Modèle de Reynolds

- Comportements de groupes(autre)
 - ◆ Le suivi de leader
 - Le comportement de suivi de leader, est provoqué par un ou plusieurs acteurs à l'effet de suivre un autre acteur en mouvement et considéré comme le leader
 - Généralement, ces acteurs tentent des rester près du leader



Modèles de transformations externes

Modèle de Reynolds

■ Combinaison de comportements

- ❖ La combinaison de plusieurs comportements élémentaires peut construire des comportements plus complexes et qui se rapprochent de la réalité.
- ❖ Cette combinaison linéaire simple fonctionne souvent bien, mais présente parfois quelques imperfections dans le réalisme du mouvement .
- ❖ **Solution** : donner des priorités aux mouvements élémentaires entrant dans la reproduction du mouvement composé (Par exemple : la première priorité est l'évitement d'obstacle, en second lieu l'évasion...).



■ Animation comportementale

Animation comportementale

- La simulation de foules de piétons constitue un enjeu majeur dans de nombreuses applications. Elle a été fortement utilisée dans l'industrie des jeux vidéo et l'animation.
- À travers le film « le Seigneur des Anneaux », l'industrie cinématographique a exploité la simulation de foules de guerriers pour réaliser des scènes de batailles proches de la réalité. L'intérêt est de réduire les coûts liés à la gestion des figurants.

Animation comportementale

- L'étude des phénomènes de foules a aussi un intérêt important dans l'aménagement des sites urbains, l'étude de la sécurité, l'architecture, et l'analyse des flux; où les deux classes d'applications dominantes sont la simulation d'évacuations et l'analyse des flux des déplacements d'un grand nombre d'individus dans un environnement intérieur ou extérieur. L'objectif de ces simulations est d'aider les décideurs et les experts à comprendre la « relation entre l'organisation de l'espace et les comportements humains »
- Les environnements considérés sont : les rues, les bâtiments, les métros, les bateaux, les avions, les stades, ou encore les aéroports.

Animation comportementale Perception

- Nécessité des modèles de perception
 - ◆ Détermine les réactions de l'agent autonome vis-à-vis de son environnement
 - ◆ Adaptation à la dynamique de l'environnement

Animation comportementale Perception

- Acquisition d'informations contextuelles
 - ◆ Modèles complexes : simulation des modalités perceptives
 - ★ Traitement et analyse d'image
 - ★ Peu utile en animation
 - ◆ Modèles informés : accès direct aux informations voulues
 - ★ Information pré interprétée
 - ★ Géométrie + sémantique + comportements dans une BDD
- Utilisation d'un cône de vision
 - ◆ Problème de visibilité en environnement 3D
 - ◆ Besoin de modèles de subdivision spatiale

Animation comportementale Action

- Agir sur l'environnement ou sur les autres acteurs
 - ◆ Contrôle des actions
 - ◆ Spécification à un niveau **tâche**
 - ◆ Planification
 - ★ Exemple : déplacement dans un environnement encombré
- ⇒ nécessité de disposer d'un contrôle souple au niveau du système d'animation

Animation comportementale Modèles réactifs

- **Approche stimuli réponse**
 - ◆ Approche connexionniste
 - ★ Réseaux numériques
 - ★ Alimentés par le système perceptif
 - ★ Produisant des valeurs numériques (position, orientation, vitesse...)
 - ◆ Ex : réseaux de neurones
- **Avantage**
 - ★ Utilisation d'algorithmes d'apprentissage
- **Inconvénient**
 - ★ Pas interprétable
 - ★ Peu de possibilités de vérification / modification

Animation comportementale

Modèles réactifs

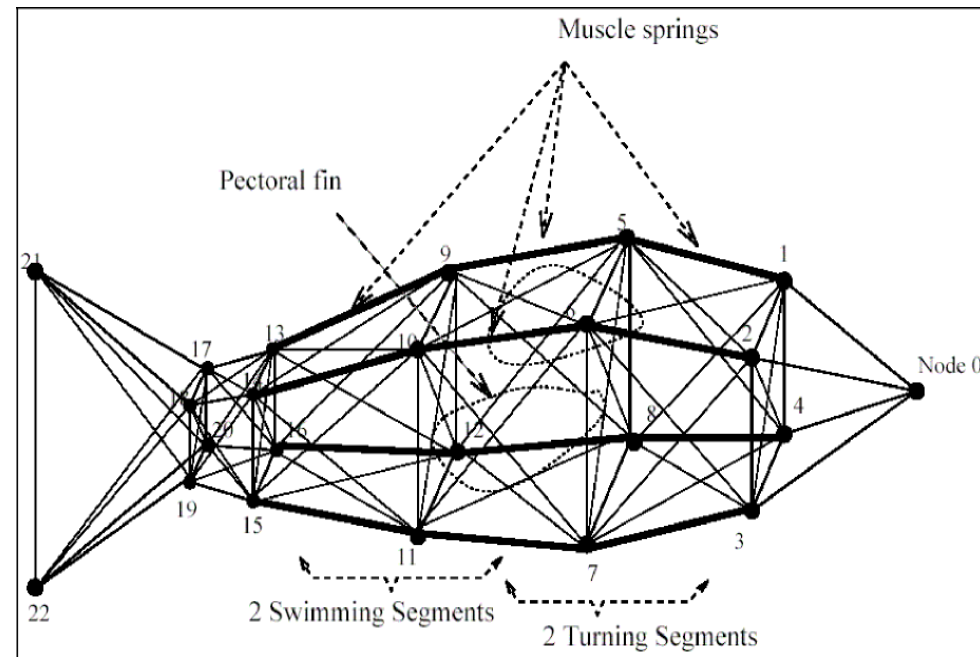
- **Systèmes à base de règles**
 - ◆ Forme générale :
 - ★ Si **condition** alors **action**
 - ★ Ex :
 - Si ennemi proche et en forme alors attaquer
 - Si ennemi proche et pas en forme alors fuir
 - ◆ Arbres de décision
 - ★ Règles définies de manière hiérarchique
- **Avantage : approche simple**
- **Problèmes**
 - ★ Gestion des conflits entre règles
 - ★ N'assure pas la cohérence du comportement

Modèles de transformations externes

Modèle des poissons Terzopoulos (1994)

- Simulation de l'apprentissage et d'autres type de comportements des poissons en utilisant le modèle dynamique du poisson artificiel composé de 23 masses ponctuelles(noeuds) et de 91 ressorts :
- **L'arrangement des ressorts maintient la stabilité de la structure;**
- **12 ressorts formant les muscles.**

Modèle dynamique
masse/ressort d'un poisson
de Terzopoulos



Modèles de transformations externes

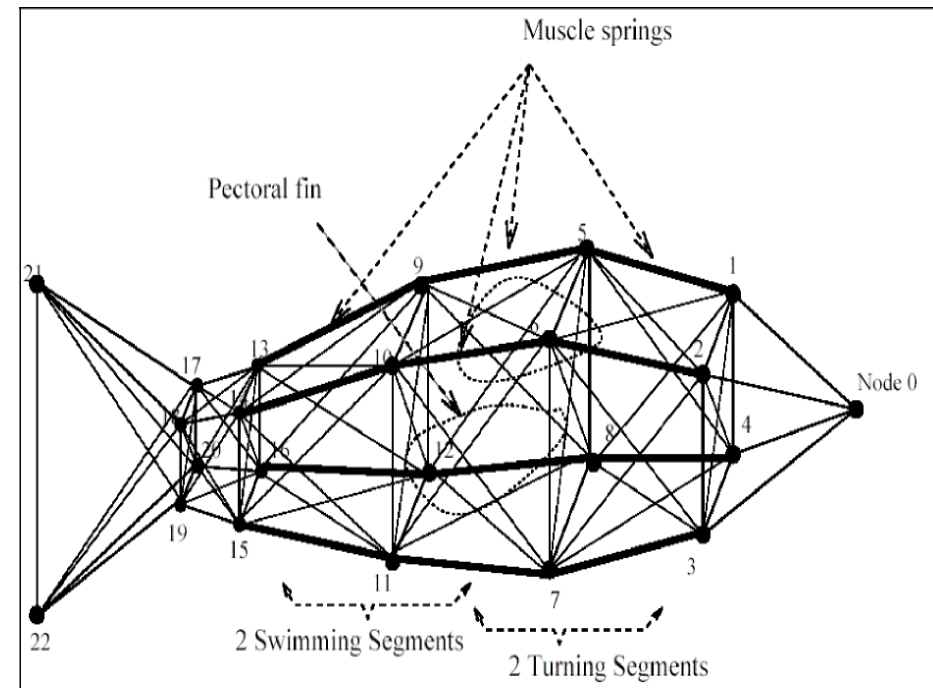
Modèle des poissons Terzopoulos (1994)

Les comportements de base:

- Se **nourrir**;
- **Éviter les prédateurs**;
- **Rechercher des compagnons**.

Système est composé de trois sous systèmes responsables de:

- la perception,
- de la sélection du comportement
- et du contrôle moteur des entités

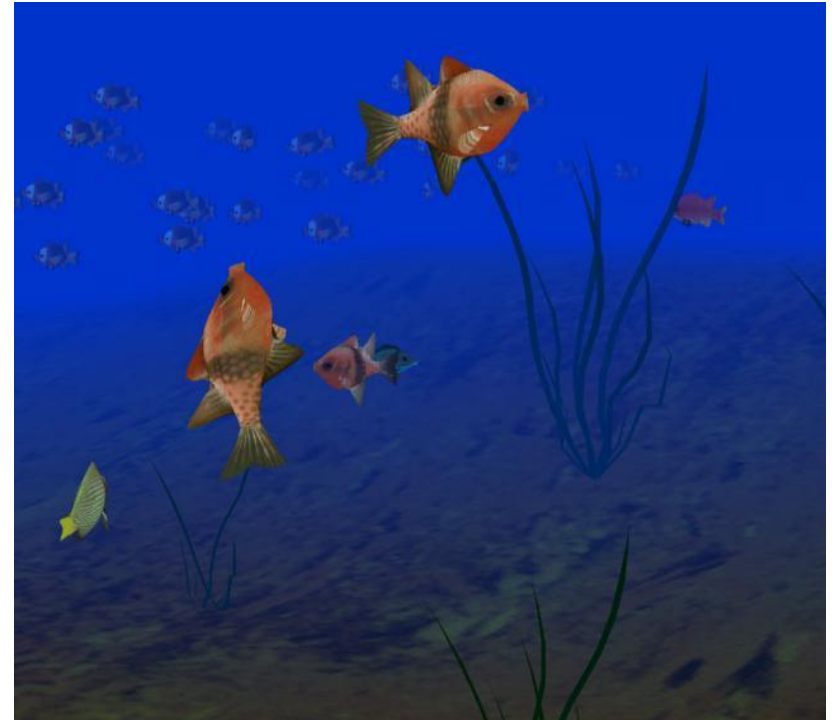


Modèles de transformations externes

Modèle des poissons Terzopoulos (1994)

Les comportements :

- Se nourrir;
- Éviter les prédateurs;
- Rechercher des compagnons.
- Simulation du comportement des différents poissons
 - ◆ Implante les comportements de haut niveau
 - ★ un générateur d'intention
 - ★ un module de comportement
- Simulation physique de l'environnement et des poissons
 - ◆ Mouvement du poisson => déplacement d'eau => avancement



Animation comportementale

Conclusion

- correspond à modéliser le comportement des personnages ou animaux
- va de la planification de chemins à des interactions émotionnelles complexes entre personnages.
- l'animateur est responsable pour la conception des comportements
- son travail correspond à celui d'un metteur en scène
- Selon la personnalité de l'acteur, ses réactions peuvent éventuellement causer parfois des surprises.
- Dans une implémentation idéale d'animation comportementale, **il est impossible de jouer la même scène deux fois exactement la même chose.**

Animation comportementale pour des *Humains virtuels*

- Acteurs(**entité graphique**) intelligents et autonomes qui réagissent à l'environnement et prennent des décisions basées sur leur système *perceptif*, leur *mémoire* et leur *raisonnement*.
- ❖ **Intelligence**: l'acteur est capable de planifier et d'exécuter des tâches basées sur le modèle de l'état courant du monde virtuel.
- ❖ **Autonomie**: l'acteur ne demande pas une intervention continuelle de l'animateur.
- ❖ **but spécifique**: permettre à l'acteur d'explorer des environnements inconnus et de construire des modèles mentaux et des cartes et plans à partir de cette exploration.
- Une fois les cartes et plans construits, l'acteur peut facilement se déplacer, trouver des choses ou jouer à des jeux stratégiques.

Avantages et inconvénients:

- *La technique nous permet de créer des mouvements réalistes mais*
- *Il est difficile de le faire car cela demande d'avoir une connaissance de base de littérature d'agent autonome qui joue le rôle fondamental d'animation comportementale.*

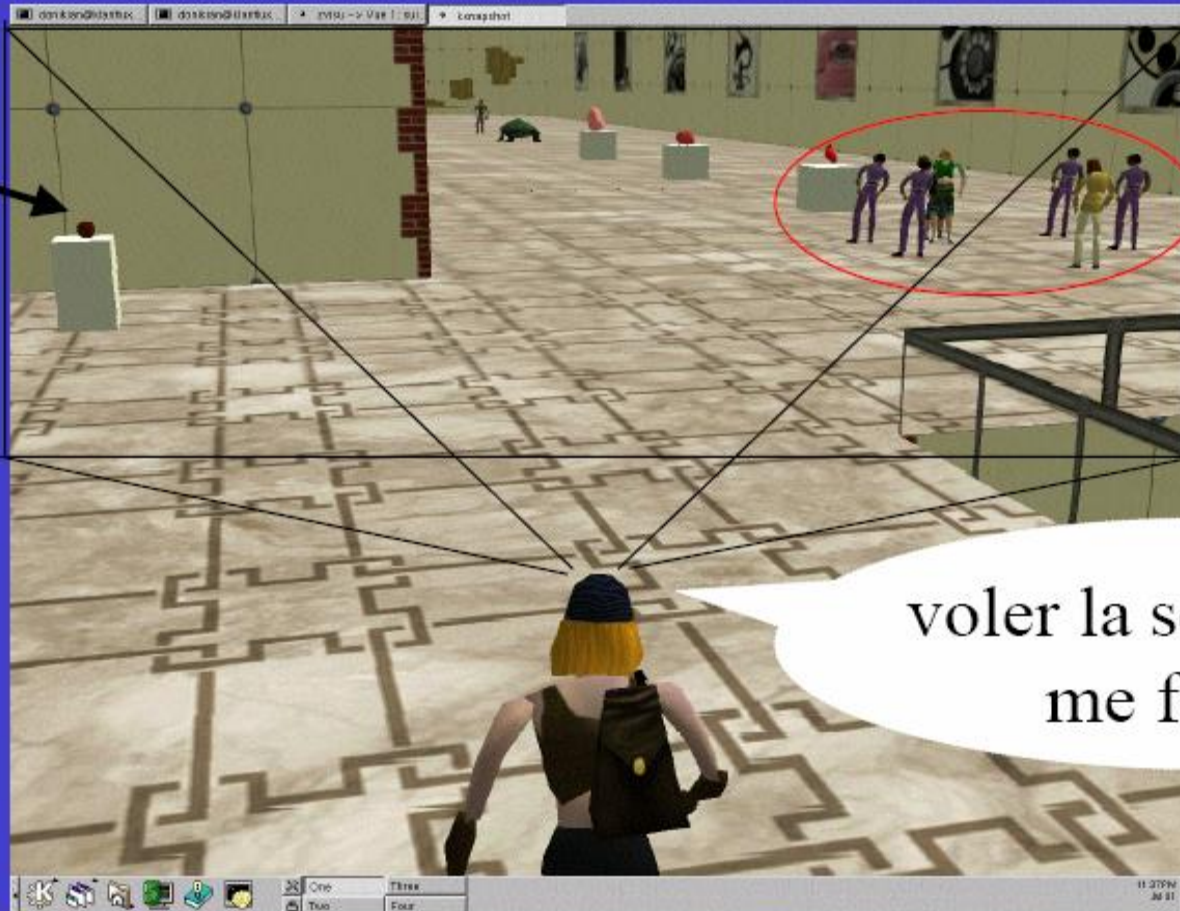
Les composantes du comportement humain

- Le comportement humain typique peut se baser sur trois composantes:
 - ❖ ***Le système locomoteur*** concerné par comment on anime les mouvements physiques de l'humain dans son environnement.
 - ❖ ***Le système perceptuel*** concerné par la perception de l'environnement. Modes d'attention: s'orienter, entendre, toucher, sentir, goûter, et regarder.
 - ❖ ***Le système organique*** concerné par les règles, les talents, les motivations, la mémoire => c'est en quelque sorte le cerveau de l'acteur.

Exemple: Décomposition de tâche

Perception / Décision / Action

Objet à voler



individus
à éviter

Travaux de Donikian

voler la sculpture sans
me faire voir

Modélisation du comportement humain

Capacités de l'être humain

- perception
 - ★ perception de l'environnement par les cinq sens.
 - ★ perception de son propre état interne, en particulier la faim, la soif, la fatigue...
- traitement
 - ★ raisonnements plus ou moins intuitifs basés sur les données perçues mais aussi sur ses propres connaissances
 - ★ décision : fondée sur le résultat du raisonnement
- actions
- mémorisation des expériences vécues (apprentissage ???)
- **Conclusion**: si nous pouvons implémenter toutes ces capacités → Nous aurons des mouvements réalistes

La boucle d'animation comportementale

Une simulation est produite par la boucle comportementale suivante:

t_global = 0.0

code pour initialiser l'environnement de l'animation

tantque (t_global < t_final) fin d'animation

{ code pour mettre à jour la scène

pour chaque acteur

★ *code pour réaliser la perception de l'environnement*

★ *code pour sélectionner les actions sur la base des entrées sensorielles, de l'état courant et du comportement spécifique pour chaque acteur*

★ *code exécutant les actions sélectionnées au dessus*

Fin pour

t_global += t_interval (pas d'animation)

} Fin tantque

La boucle d'animation comportementale (suite)

- temps global t_{global} sert de paramètre de synchronisation pour différentes actions et événements.
- Chaque itération représente un petit pas de temps.
- actions à exécuter par chaque acteur **sont sélectionnées par le modèle comportemental** à chaque pas de temps.
- Sélection des actions s'opère en trois phases.
 - ◆ 1. acteur perçoit objets et autres acteurs dans environnement, => fournit de information sur la nature et la position des objets.
 - ◆ 2. information utilisée par modèle comportemental pour décider action à exécuter, => paramètres pour procédure de mouvement:
 - ★ p.e. saisir objet ou marcher avec nouvelles vitesse et direction.
 - ◆ 3. Finalement, acteur effectue mouvement résultant.

Perception à l'aide de sens virtuels

- Pour réaliser cette perception, les humains virtuels doivent être équipés de sens virtuels: **vision, audition et toucher**.
- Ces sens sont utilisés comme une base pour implanter les comportements usuels comme **le déplacement, la préhension, la réponse à des sons**.
- Pour l'audition, il faut modéliser un environnement audio tel que l'acteur peut directement avoir accès à la position et la signification sémantique de l'événement sonore.
- La simulation du toucher repose essentiellement sur une détection de collision.
- Plus important des sens: **certainement la vision**.

Vision de synthèse

- Vision: un sous-système perceptuel fondamental pour l'acteur
- une approche idéale pour modéliser de l'animation comportementale
- fournit à l'acteur un flot d'information réaliste à partir de l'environnement.
- Applications: recherche de chemin, évitement d'obstacles, jeux de balle

Vision de synthèse(suite)

- Vision de synthèse: on n'adresse pas les réels problèmes de reconnaissance et d'interprétation. Reconnaissance des formes
- Chaque pixel de la vision de synthèse a une information sémantique donnant l'objet projeté sur le pixel et une information numérique donnant la distance de l'acteur à l'objet.
- il est facile de savoir, par exemple, qu'il y a une table a 3 mètres.
- Avec cette information, on peut directement passer à la question problématique: "que fait-on avec cette information dans un système de navigation?"

Navigation basée sur la vision de synthèse

- Tâche d'un système de navigation: planifier chemin vers un but spécifique et exécuter ce plan en le modifiant si nécessaire à cause d'obstacles à éviter.
- Pour résoudre problème de l'acteur de synthèse traversant pièce avec des meubles, algorithme de Lozano-Perez fournit trajectoire qui évite les obstacles.
- Mais la trajectoire n'est pas naturelle. Aucun humain ne suivrait ce chemin qui est rationnel et rare obstacles.
- La décision où passer doit être basée sur la vision et il faut prévoir de l'espace pour le confort.
- On va donc introduire une notion de distance de sécurité par rapport à chaque obstacle.
- On peut décomposer navigation en **navigation locale** et **navigation globale**.



Navigation locale et globale

Navigation globale

- utilisation d'un modèle préappris du domaine (description simplifiée du monde virtuel)
- peut ne pas refléter les changements récents dans l'environnement
- utilisé pour l'algorithme de planification de chemin. Ou trouver un **itinéraire**

Navigation locale

- utilise directement en entrée l'information de l'environnement pour atteindre les buts et sous-buts donnés par la navigation globale et/ou pour éviter des obstacles inattendus.
- pas de modèle de l'environnement
- ne connaît pas la position de l'acteur dans le monde virtuel.
- L'environnement est dynamique

Systeme de navigation globale

- La navigation globale a besoin d'un modèle de l'environnement pour effectuer la planification de chemin.
- Le modèle consiste d'un ensemble de noeuds et d'arcs, où les noeuds représentent des endroits distinctement reconnaissables dans l'environnement et les arcs représentent des arêtes de voyage reliant ces endroits.
- Les arêtes de voyage correspondent à des arcs définis par les stratégies de navigation locale qui décrivent comment un acteur peut suivre les liens entre deux endroits distincts.

Recherche de chemin

- Algorithme basé sur une recherche de chemin dans un graphe.
- Chaque voxel non occupé par un obstacle interprété comme un noeud du graphe.
- Tous les voxels voisins sont considérés comme étant connectés par une arête. Ainsi, l'octree représente un graphe avec noeuds et arêtes.
- L'algorithme de recherche de chemin utilise le principe de “backtracking” et mémorise tous les noeuds testés dans une liste triée.

Perception

- Prendre connaissance de l'état de l'environnement
- Trois catégories de perception:
 - ★ *Perception des objets et des acteurs*
 - ★ *Perception des actions des acteurs*
 - ★ *Perception des événements*
- Module le plus gourmand en temps de calcul

- **Perception des objets et des acteurs**
 - ◆ Perception visuelle
 - ★ *Vision synthétique*
 - ★ *Calcul géométrique*
 - ◆ Perception sonore
 - ★ *Audition synthétique*
- **Perception des actions des acteurs**
 - ◆ Reconnaissance des actions par accès direct au modèle d'un acteur
 - ◆ Délai de perception à partir du début de l'activation d'une action

Entités environnementales

Etude de cas: cité virtuelle

- **information géométrique et sémantique**
- **Ville décomposée en:**
 - ◆ **Blocs,**
 - ◆ **Rues (trottoirs, passages à piétons, arrêt de bus ...)**
 - ◆ **Bâtiments (sols, chambres...)**
- **Objets utilisés par piétons (trottoirs, passages)**
=> **concept d'objets intelligents**



■ Travaux de R. Mandiau

Entités environnementales

Etude de cas: cité virtuelle



Travaux Ouanas, Saadi et Cherif

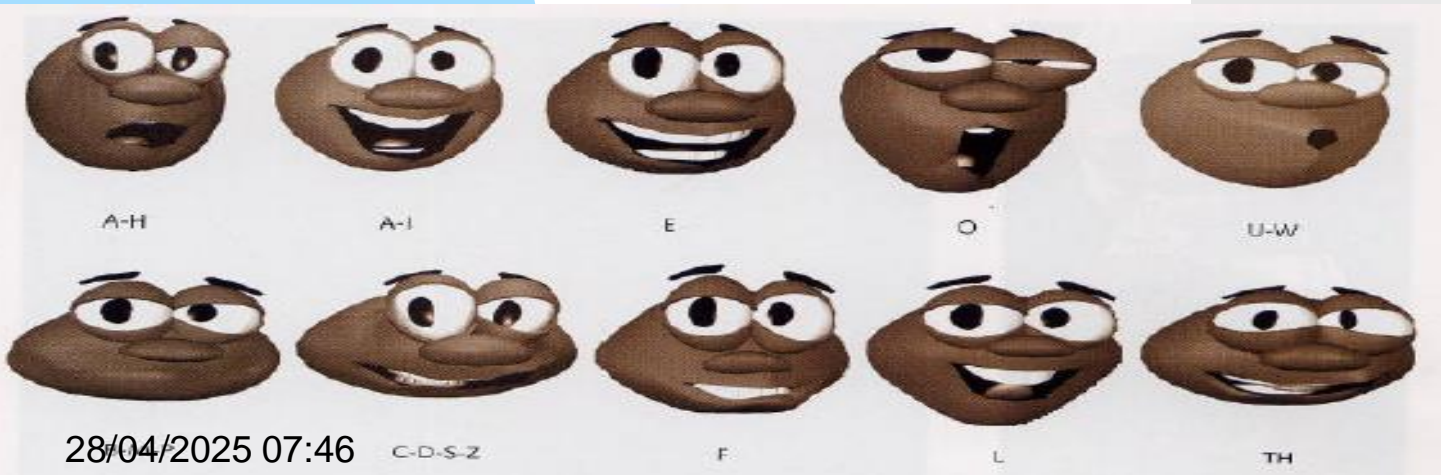
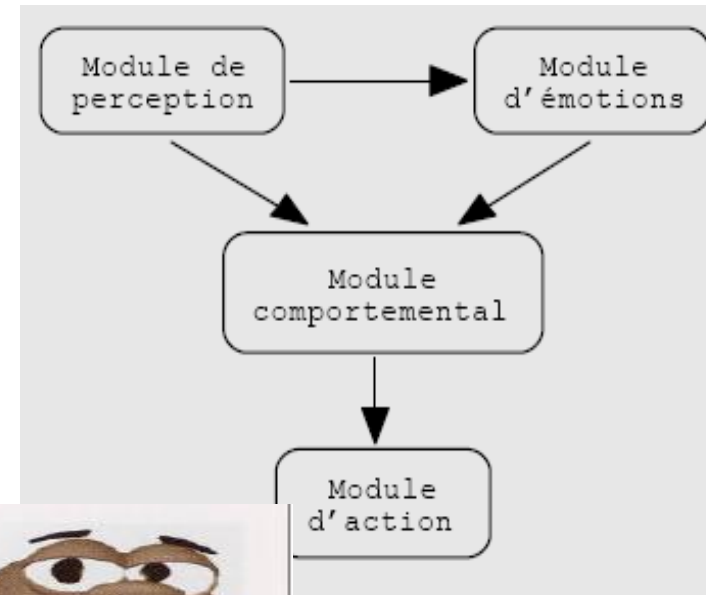


Etude de cas: aller au supermarché

- **De la maison au supermarché**
- **Objets intelligents: feu de circulation, porte automatique**
- **contrôle de comportement basé sur règles va demander à base de données de ville comment aller au supermarché:**
 - ◆ **Si trop loin alors prendre bus**
 - ◆ **=> va générer procédure pour prendre bus (aller arrêt bus, attendre bus, entrer, descendre au bon arrêt)**

Approche orientée émotion de P. Becheiraz

- ❑ P. Becheiraz a fait le choix de créer une structure comportementale pour animer des humains virtuels utilisant les émotions afin de leur rajouter de la crédibilité. En complément des modules perception/comportement/action, il ajoute un module **d'émotions**.
- **Perception**
 - ◆ *connaissance du monde virtuel*
- **Comportement**
 - ◆ *sélection des actions appropriées*
- **Action**
 - ◆ *matérialisation du comportement*
- **Emotion**
 - ◆ *personnalisation du comportement*



Boucle de l'animation comportementale

❑ Mise à jour par une boucle d'animation

◆ *répéter*

- ★ pour tous les acteurs
 - *perception*
- ★ pour tous les acteurs
 - *génération des émotions*
- ★ pour tous les objets dynamiques et les acteurs
 - *exécution du comportement*
- ★ pour tous les objets dynamiques et les acteurs
 - *exécution des actions*

❑ Pseudo-parallélisme

Classification des humains virtuels

L'équipe de Thalmann ont donné une classification des humains virtuels:

- les avatars
- les acteurs guidés
- les acteurs autonomes
- les acteurs perceptifs interactifs

Classification des humains virtuels les avatars

- les avatars correspondent à des représentations fidèles de l'utilisateur
- La technique consiste à enregistrer directement les mouvements de l'utilisateur et à les transposer sur un humain virtuel qui devrait avoir aussi son apparence.
- Pour implanter de tels avatars, il est nécessaire d'avoir des séries de capteurs



Avatar et l'utilisateur

Classification des humains virtuels les acteurs guidés

- Les acteurs guidés sont des acteurs qui sont conduits par l'utilisateur mais sans que leurs mouvements ne correspondent directement à ceux de l'utilisateur.
- Pour comprendre le concept, prenons un exemple de métaphore traditionnelle: le contrôle d'une marionnette.
 - ◆ Une marionnette peut être définie comme une poupée avec des membres déplacés par des fils ou des ficelles. Les doigts humains sont employés pour diriger la mouvement de la marionnette.
- Les mouvements de l'avatar sont commandés par l'utilisateur. Il n'y a pas obligatoirement de rapport direct entre les gestes du personnage virtuel et ceux effectivement réalisés par le «marionnettiste».

Classification des humains virtuels les acteurs autonomes

- L'avatar n'est pas guidé :
- il doit réagir à des situations nouvelles et avoir des comportements «intelligents» pour accomplir ses tâches.
- Possédant des compétences sensorielles, il peut se mouvoir dans son environnement virtuel.
- Grâce à des lois du comportement, il est possible de définir des acteurs capables d'agir par eux-mêmes,
- Perception-décision-action
- Les sens virtuels: vision, audition et toucher

Classification des humains virtuels

Les acteurs perceptifs et interactifs

- un acteur perceptif et interactif comme un acteur conscient d'autres acteurs et des gens réels. Un tel acteur est aussi supposé être **autonome bien sûr**.
- De plus, il est capable de communiquer interactivement avec les autres acteurs quelque soit leur type et avec les gens réels.
- Intercommunication entre acteurs de synthèse
- Communication entre personnes réelles et virtuelles

Foules d'humains virtuels

■ *Pourquoi On modélise les foules d'humains virtuels?*

- ❖ Pour contrôler le flux de piétons afin d'éviter les encombrements et les accidents.
- ❖ Pour concevoir les sorties et les issues de secours en cas d'urgence.



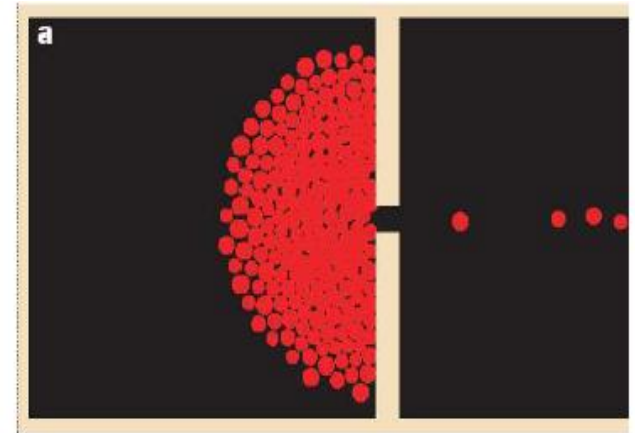
Exemples de foules

Modèles de foule

1- Systèmes de particules (microscopique)

- ✓ Utilisant la physique pour décrire les forces d'attraction-répulsion associées aux obstacles et aux entités en mouvement;
- ✓ La somme des forces détermine le mouvement de la particule;
- ✓ Modèle très utilisé dans l'évacuation des personnes en cas de danger → Modèle acceptable dans les foules denses;
- ✓ Quand le flot se dirige vers une sortie (phénomène d'agglutination) → incohérence du modèle;
- ✓ Modèles ne prennent pas en compte la perception visuelle ni les règles sociales;

D. Helbing et al, 2000.



Modèles de foule

2- Les modèles continus(macroscopique).

Le déplacement est représenté par des équations de flux, qui dépendent de l'application.

3 phénomènes:

- gaz;
- liquide;
- statistique;

Le problème de ce modèle réside au niveau de manipulation des équations.

Modèles de foule

3- Les Modèles comportementaux

- La modélisation comportementale diffère quelque peu de la modélisation par système de particules dans la mesure où le comportement d'une entité est défini par rapport à un certain nombre de règles, qui, dans certains cas, s'inspirent des études sur le comportement humain.

C'est l'objectif de notre travail

Systèmes de foules (Labos)

- Equipe de Terzoupoulos (New York)
 - ◆ Sites archéologiques;
- Equipe de Donikian (SIAMES Rennes)
 - ◆ Environnement Urbain;
- Equipe de Thalmann (LIG EPFL Zurich)
 - ◆ Humains virtuels.

Simulation d'humains virtuels dans un contexte urbain - LIG

- Propose un système complet de simulation temps réel.
- Six modules sont utilisés pour réaliser les simulations:

CITY : *base de données urbaine ;*

SMART OBJECTS: *gère les interactions entre les agents et les objets ;*

CROWD: *simulation de foules ;*

AGENTLib: *module de contrôle du mouvement et du comportement bas niveau ;*

RBBS (Rule-Based-Behavior-System): *ordres de l'utilisateur;*

Le contrôleur: *synchronise tous ces modules.*

Pathfinding

- **C'est la recherche de chemin entre deux points en évitant les obstacles statiques de l'environnement.**
- **L'approche la plus adoptée est de rechercher un chemin minimisant certains critères comme la distance, le coût énergétique...**
- **Deux grands types d'approches:**
 - **les approches à base de graphe ;**
 - **Nécessitent une discrétisation de l'environnement;**
 - **Algorithme le plus utilisé est l'algorithme A*.**
 - **les approches à base de champs de potentiel:**
 - **La discrétisation n'est pas nécessaire ;**
 - **Les obstacles sont vus comme des émetteurs de forces répulsives, alors que le but est un attracteur ;**
 - **Méthodes simples mais posent le problème de chemin local.**

Problèmes de navigation

- Un environnement avec un seul individu ne pose aucun problème de planification de chemin.
- Dans le cas où plusieurs piétons naviguent, un nouveau facteur est à prendre en compte : l'évitement de collision avec les entités dynamiques.
- Deux problèmes se posent alors : comment détecter efficacement les collisions et quelle réaction adopter ?
- La détection de collision pose le problème de la complexité des calculs ; la réaction à adopter pose le problème du réalisme du comportement.

Contributions

- Nous présentons deux systèmes rentrant dans le cadre de simulation de foule :

1/ Système dédié à la simulation de l'évacuation d'une foule humaine dans une situation de panique, en exploitant la notion d'autonomie de la foule.

2/ Système présentant notre modèle de simulation de comportement de navigation de piétons, résolvant les principaux problèmes d'évitement de collision.

Evacuation d'une foule en cas de panique

- Une foule est un ensemble de groupes d'individus autonomes.
- Suivant le niveau d'autonomie:
 - ◆ Une foule autonome;
 - ◆ Une foule guidée;
 - ◆ Une foule autonome guidée.

Observations sur le mouvement de piétons

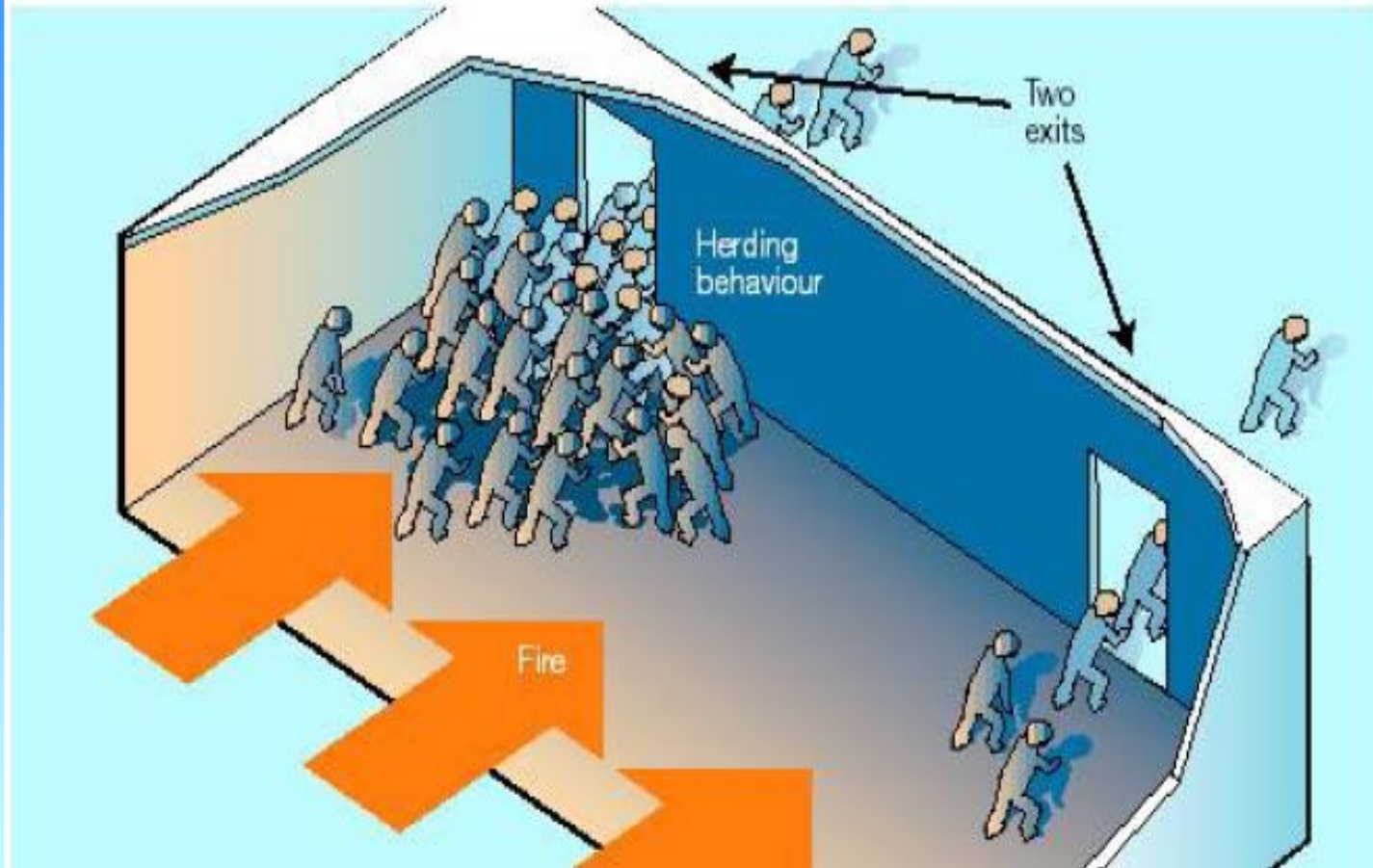
1- situation normale.

- ◆ *Les piétons gardent une certaine distance entre eux et les frontières ;*
- ◆ *Les piétons marchent en groupes avec une même vitesse;*
- ◆ *Ils peuvent modifier leurs buts, etc...*

2- Situation de panique.

- ◆ *Les individus se dirigent vers la sortie visible;*
- ◆ *Les individus deviennent nerveux;*
- ◆ *Les interactions entre les individus deviennent de nature physique;*
- ◆ *Les sorties seront encombrées;*
- ◆ *La vitesse des individus augmente, etc...*

Modèle de Helbing



Etapes de conception

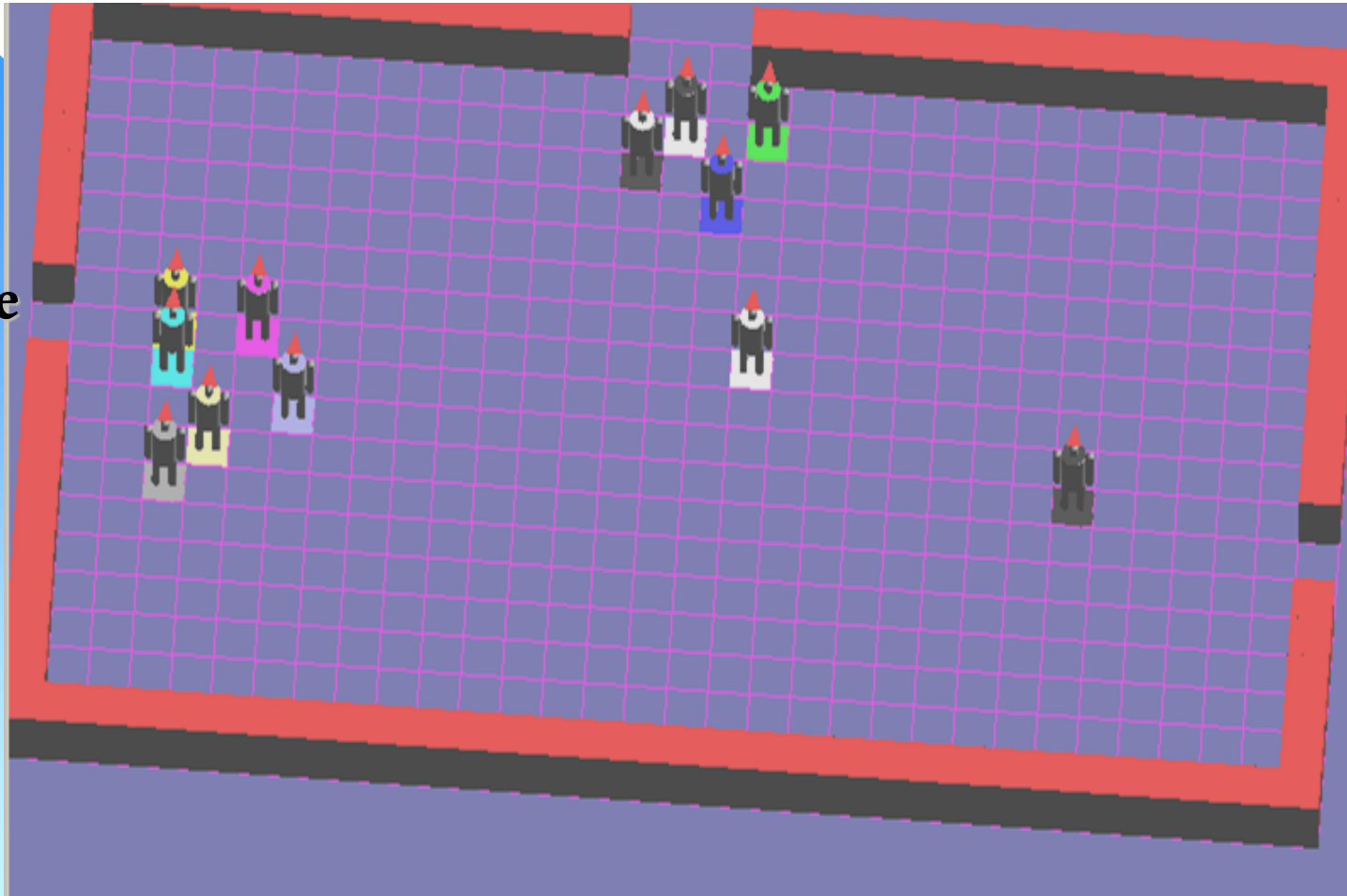
- Modélisation de l'environnement
 - ◆ **Les obstacles fixes: position, forme, taille;**
 - ◆ **Les sorties: position, taille, et type ouverte ou bloquée;**
 - ◆ **Les individus (la foule);**
 - *Nombre de groupes.*
 - *Nombre d'individus dans chaque groupe.*
 - *Position de chacun individu.*
 - *Vitesse initiale de chaque groupe .*

Etapes de conception

- Déplacement normale de la foule d'une façon aléatoire.
- Situation de panique: provoquée par l'utilisateur
→ Les buts deviennent les sorties;
- Choix de la méthode d'évacuation (groupe ou individu):
 - ◆ **La sortie la moins encombrée ;**
 - ◆ **La sortie la plus proche ;**
 - ◆ **La sortie guidée .**
- Comparaison du temps d'évacuation.

Sortie bloquée

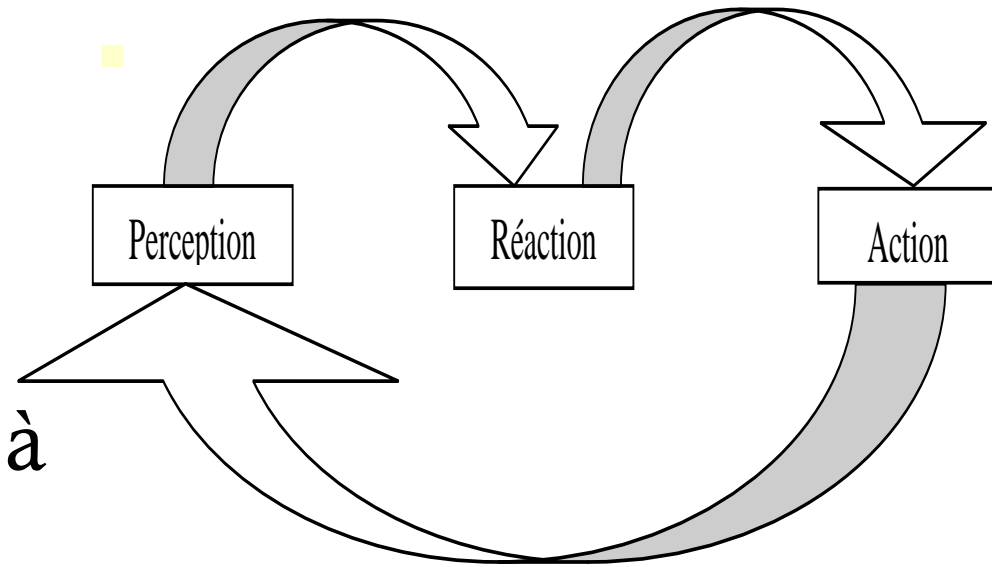
Sortie
Ouverte



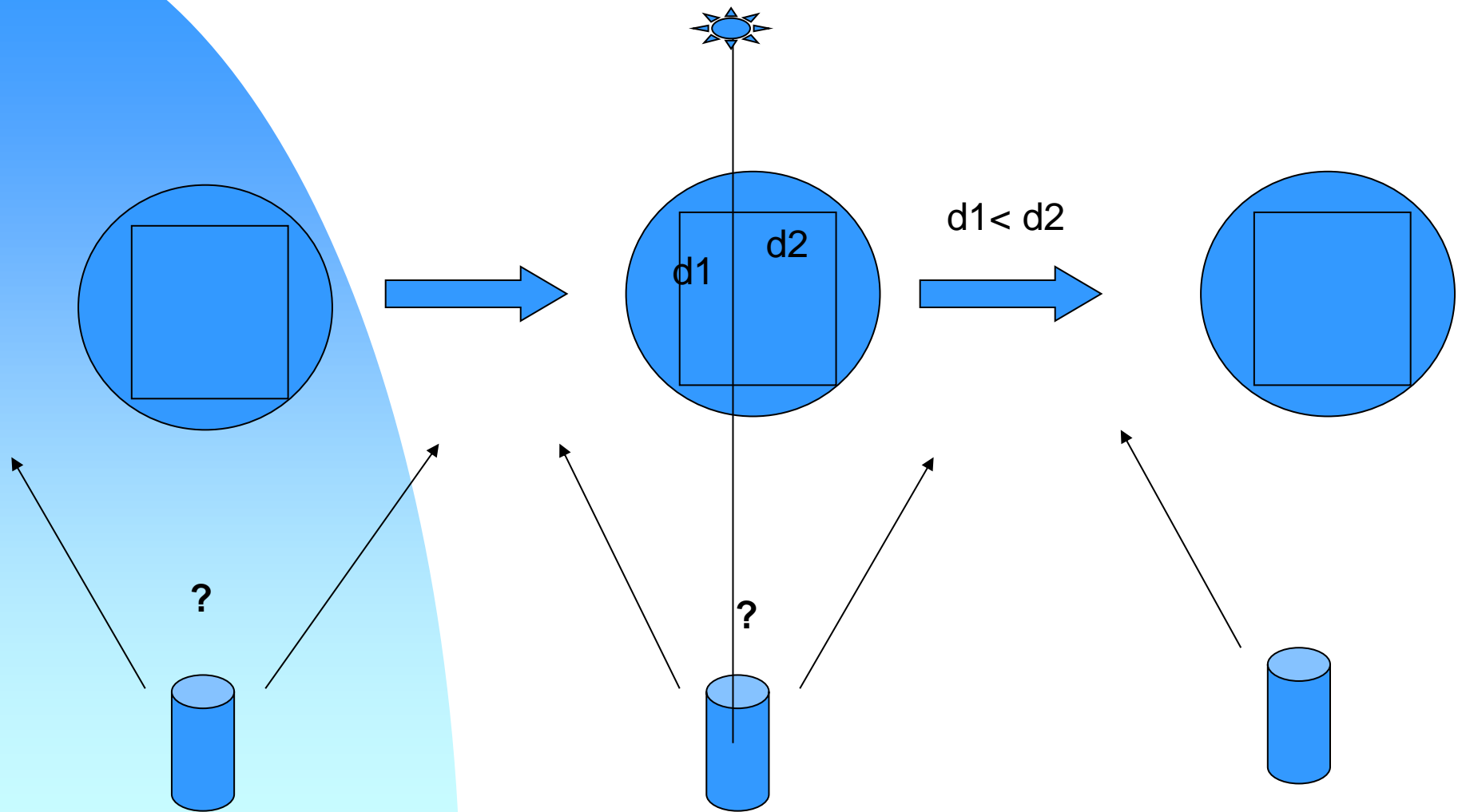
Sortie
Ouverte

Boucle d'animation comportementale

- Perception de l'environnement en utilisant le volume englobant ;
- Décision de l'action à exécuter ;
- Action = mouvement.

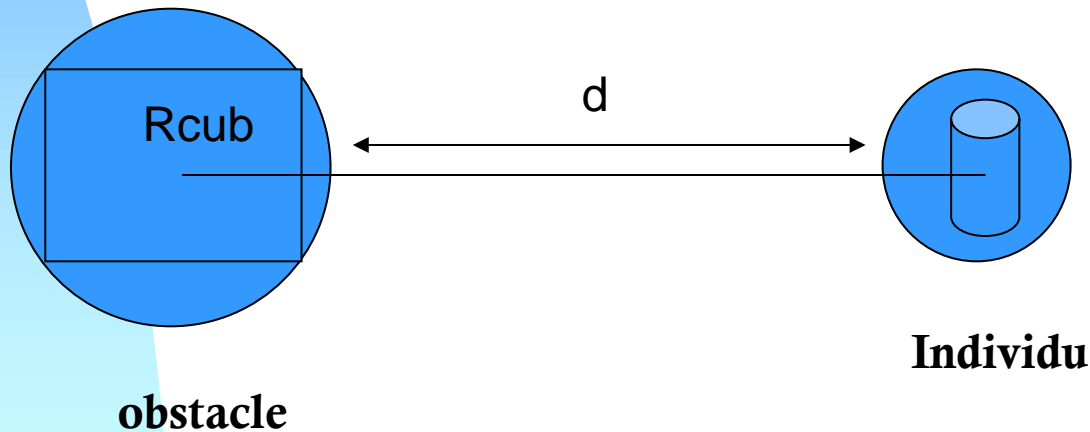


Perception de loin: évitement d'obstacles



Perception de près; évitement de collisions

- Le principe de l'évitement collision est basé sur la perception de près ;
- En cas de collision l'individu moins prioritaire va s'arrêter ;



Analyse des résultats

- **Pour comparer les différentes stratégies, on doit modifier certains paramètres:**
 - ◆ **La dimension des sorties;**
 - ◆ **La vitesse des individus**
 - ◆ **Le nombre, la taille des obstacles;**
 - ◆ **Le nombre des groupes;**
 - ◆ **Le nombre d'individus par groupe**
 - ◆ **Le type et le nombre et la dimension des sorties.**

Variation du nombre d'individus

	Groupe			Individus		
Méthodes Nbre ind	Pproche gt (sec)	mencom g t (sec)	Superv g t (sec)	Pproch e I t (sec)	m-encom I t (sec)	Superv I t (sec)
48	60	52	49	61	52	43
42	45	38	32	48	37	33
36	35	27	24	38	30	25
30	26	23	21	30	25	22
24	17	17	17	19	17	17
18	12	13	12	12	12	13
12	7	9	8	8	7	9
6	5	5	7	6	5	7

Analyse des résultats

- Pour une seule sortie : semblable au modèle Helbing (modèle macroscopique);
- Le temps d'évacuation de la méthode moins encombrée est variable : Problème d'anticipation;
- La densité de la foule à une influence sur le temps d'évacuation;
- La méthode guidée donne de meilleurs résultats;
- La sortie bloquée pose des problèmes de croisement d'individus pendant leurs retours.
 - ➔ C'est le problème d'évitement de collision.

Objectifs

- On va présenter un système de simulation de comportement de navigation de piétons, résolvant quelques problèmes d'évitement de collisions.
- Chaque individu doit trouver un chemin optimal (généralement le plus court) entre un point de départ et un point de destination dans un environnement virtuel, évitant des obstacles fixes ainsi que les collisions entre les autres individus.

Etapes du système

1- Modélisation de l'environnement.

Les informations à donner sont:

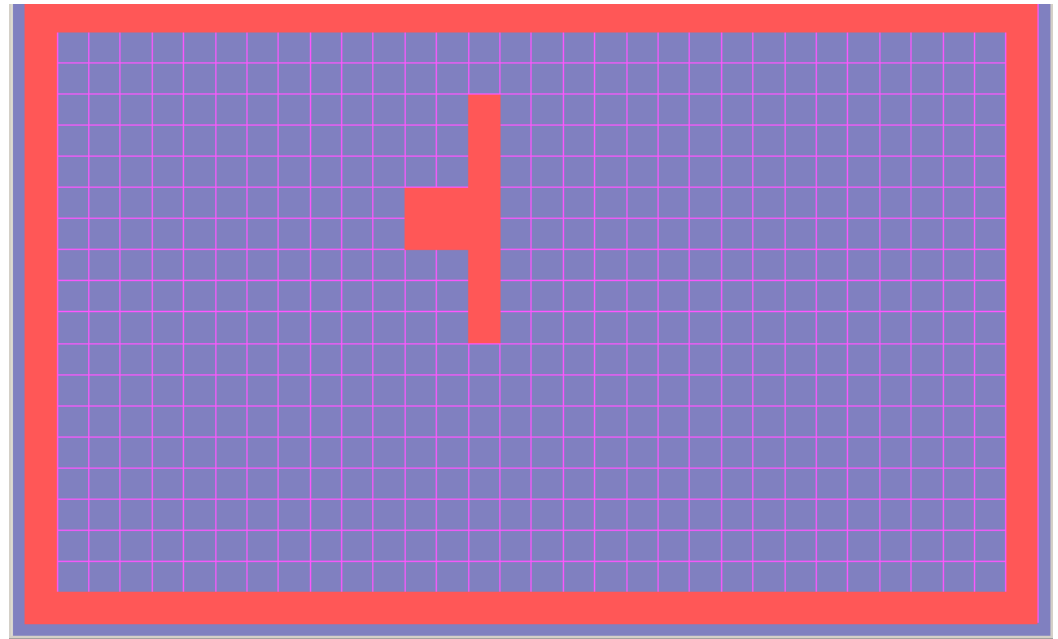
- Le nombre et les positions des obstacles;
- Le nombre d'individus et la position du but pour chaque individu.
- Plusieurs agents peuvent avoir le même but.

Etapes du système

2- Discrétisation

La première tâche est la discrétisation de la scène en cellules.

Chaque individu occupe une cellule mais un obstacle peut en occuper plusieurs.

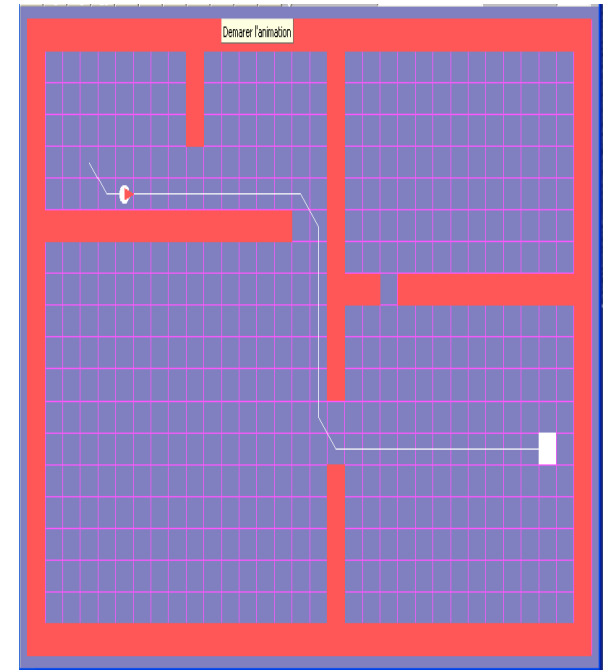


Obstacle à 12
cellules

Etapes du système

3. Recherche de chemin (itinéraire)

- Chaque agent calcule son chemin en appliquant l'algorithme A^* dans sa région visible.
- La frontière entre la région courante et le prochain devient l'endroit intermédiaire de cible.
- À ce stade l'algorithme tient compte seulement des obstacles statiques pour calculer un itinéraire entre deux points libre d'obstacles



Etapes du système

4. Mouvement.

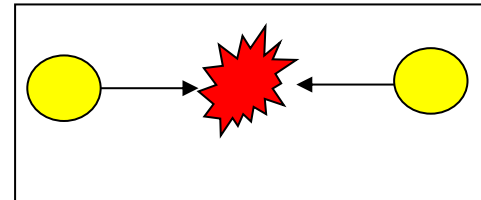
La prochaine étape est la plus importante.

Elle consiste en la simulation du mouvement du piéton. Ainsi, dans chaque pas de l'animation comportementale et avant d'obtenir la prochaine position, chaque agent doit traiter la prévision de collision pour éviter la collision avec les autres agents de l'environnement

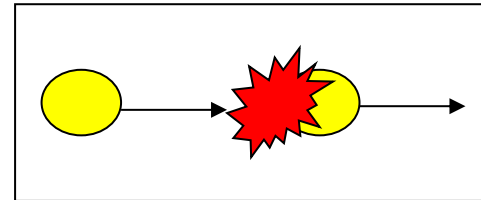
Etapes du système

5. Prévision de collision

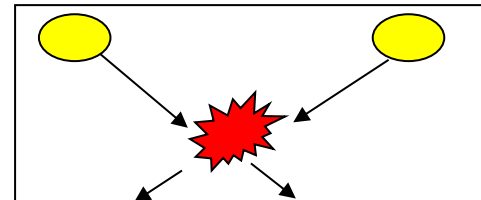
- **Collision face à face:** si les agents marchent l'un vers l'autre ;
- **Collision en arrière:** quand l'agent est derrière un autre agent ;
- **Collision de côté:** si les deux agents marchent presque dans la même direction ;



Collision face à face



Collision en arrière



Collision de côté

Etapes du système

6. Evitement de collision

■ Problèmes.

- *Scène dynamique;*
- *Plus de contraintes dans un environnement complexe: objets fixes, objets mobiles, petites régions de marche;*
- *La conservation de la structure du groupe ajoute une autre complexité.*

■ Solutions.

- *On doit tenir compte des priorités;*
- *On a simulé les règles sociales de l'être humain par deux types de priorités : des priorités sur les individus, et des priorités sur les règles de comportements (méta-règles).*

Etapes du système

- *Les priorités sur les individus.*
 - Le sexe : homme ou femme;
 - L'âge: enfant, jeune ou vieux;
 - Les cas spéciaux:
 - *Handicapés;*
 - *femme enceinte;*
 - *personne avec bagage;*
 - *grade (une personnalité importante) etc.*
- *Les priorités sur les comportements*
 - *Les escaliers : descendants prioritaires;*
 - *Les portes : les sortants prioritaires;*
 - *Les métros : ajout de la contrainte du temps d'attente.*

Comportements d'évitement

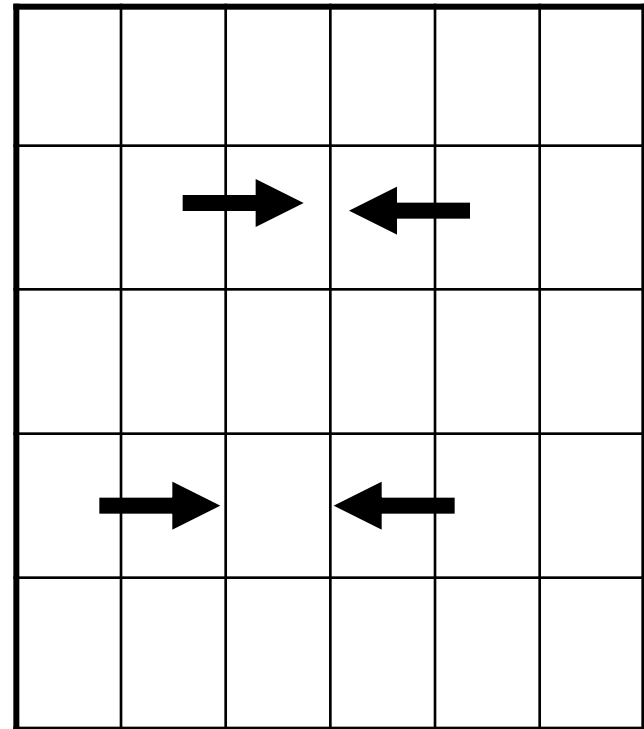
- chaque action d'évitement de collision a besoin de différents comportements et de traitement différent (face à face, de côté ou en arrière)
- liste de comportements employés
 - *Avancement ;*
 - *Changement de directions (gauche ou droite) ;*
 - *Attente ;*
 - *Accélération ;*
 - *Ralentissement ;*
 - *Retour .*

Solutions

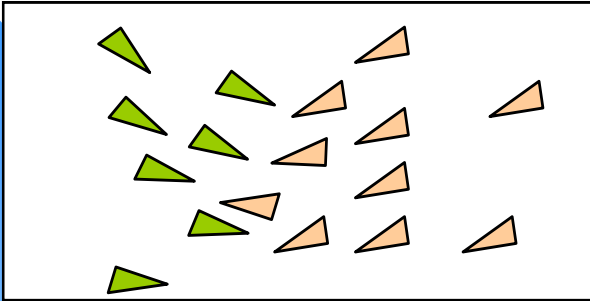
- Chaque individu a une priorité et plusieurs individus peuvent avoir la même priorité;
- Un deuxième niveau de priorité est indiqué aux comportements. C'est un phénomène complexe parce qu'il dépend du type de la collision et des situations de collision;
- Donc on note deux types de collisions.

Types de collisions

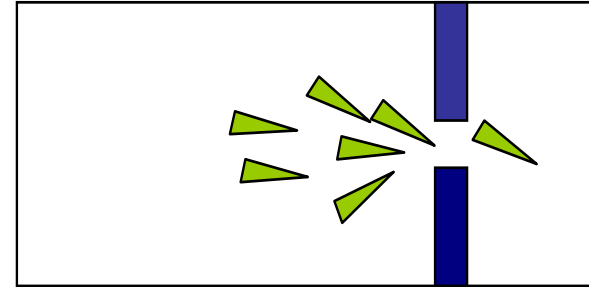
- **Collision 1** : les deux agents accèdent chacun à la cellule de l'autre ;
- **Collision 2** : les deux agents accèdent à la même cellule;



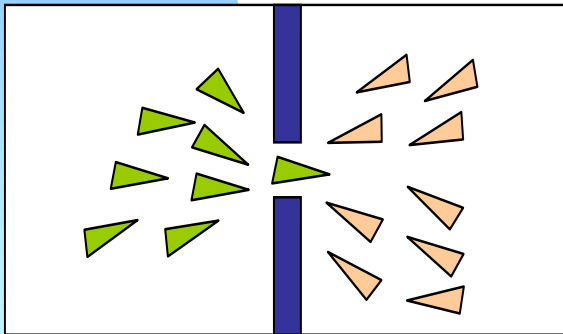
Situations de collisions



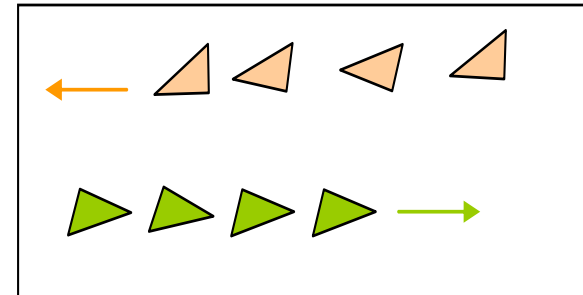
Croisement de groupes



Goulots d'étranglement



S'aligner dans deux directions



Passage étroit

Processus d'évitement de collision

Pour *chaque agent* **faire**

Appliquer l'algorithme A^* pour chercher l'itinéraire

Fin pour

Pour *chaque pas d'animation comportementale* **faire**

Pour *chaque agent* **faire**

prédiction (détection) de Collision

Si *pas de collision* **alors**

L'agent suit son chemin

Sinon

Appliquer l'algorithme l'évitement de collision agent par

agent

Fin si

Fin pour

Fin pour

Algorithme d'évitement de collision agent par agent

- **pour** chaque paire d'agents **faire**
- **si** *collision face à face* **alors**
- **si** les agents ont la même priorité **alors**
- Choisir un agent d'une manière aléatoire
- **si** collision 1 **alors** (deux agents accèdent à la même cellule)
- Ordre1
- **sinon** (collision 2 les deux agents accèdent les cellules de l'autre)
- Ordre2
- **Fin si**
- **sinon** commencer par l'agent qui a la priorité la plus élevée et traiter ce cas comme dans les mêmes priorités.
- **Fin si**
- **sinon si** collision en arrière **alors** (agent 2 derrière agent 1)
- Ordre 3
- **sinon** (collision de coté)
- Ordre 4.
- **Fin si**
- **Fin si**
- **Fin pour.**

■ **Ordre 1**

Agent 1

Avancement
Avancement
Droite
Gauche
Avancement

Agent 2

Droite
Gauche
Avance
Avance
Attente

■ **Ordre 2**

Avancement
Avancement
Droite
Gauche
Attente

Droite
Gauche
Avance
Avance
Attente

■ **Ordre 3**

Avance
Avance
Avance

Dépassement par la droite
Dépassement par la gauche
Ralentissement

■ **Ordre 4**

Avance
Avance
Droite
Gauche
Avance

Droite
Gauche
Avance
Avance
Attente

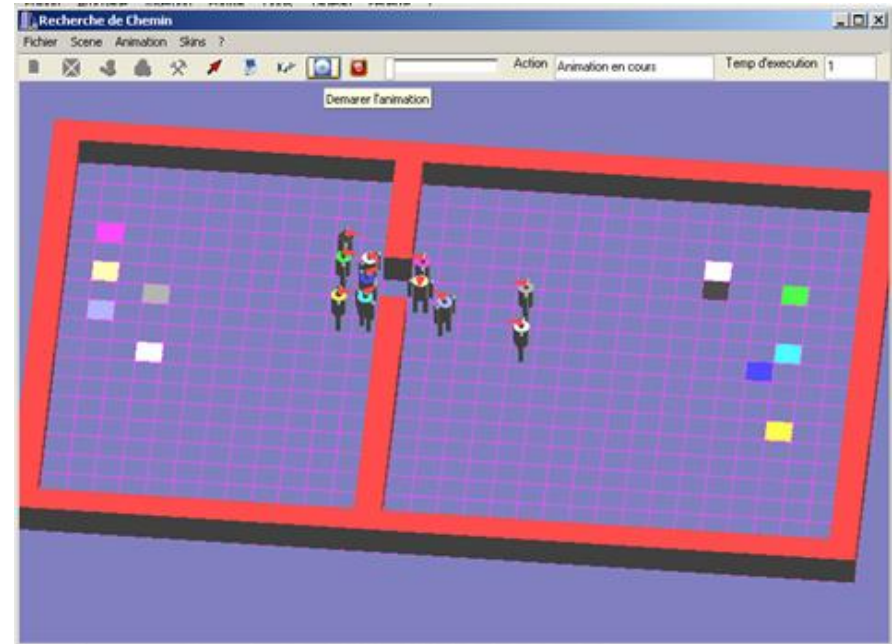
Résultats

- Pour valider notre plateforme de simulation, on a choisi 4 types d'applications et à chaque collision l'algorithme agent par agent est appliqué;
- **Croisement de groupes**
Dans la réalité, ils forment des lignes de piétons se déplaçant dans la même direction.



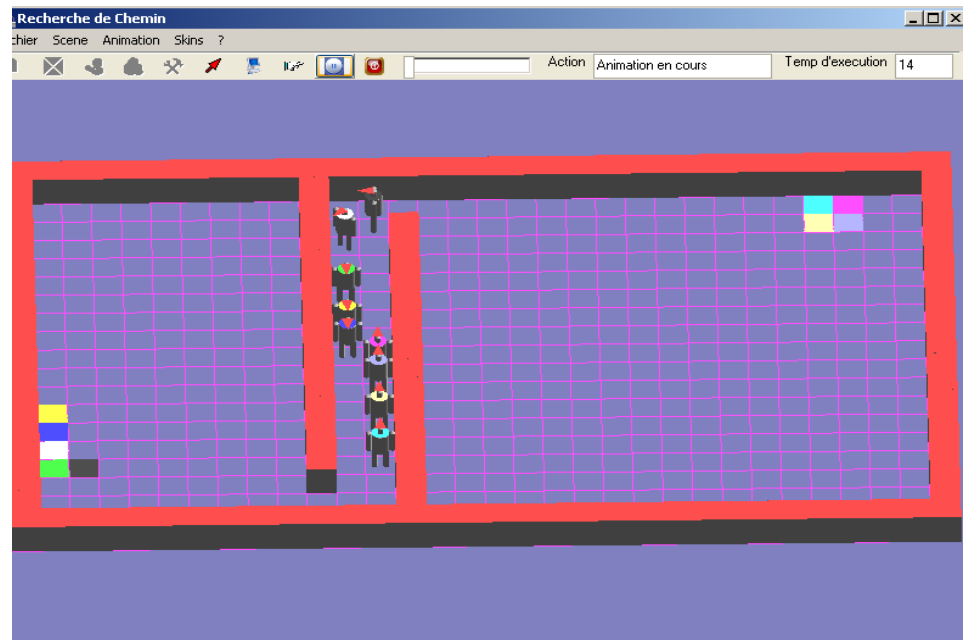
Résultats (1)

- **Goulots d'étranglement (s'alignant dans une sortie)**
L'algorithme A* résout le problème;
- **S'aligner dans deux directions**
En cas de blocage, l'algorithme A* est utilisé pour recalculer le chemin.



Résultats (2)

- **Passage étroit:**
L'algorithme A* résout le problème sinon l'algorithme agent par agent est appliqué.



Analyse des résultats (1)

- Implémentation des algorithmes en C++ , avec la bibliothèque graphique OpenGL ;
- Une foule d'environ 640 agents peut être simulée en un temps acceptable ;
- L'utilisateur peut simuler n'importe quel type de situations de collision ;
- La combinaison de l'algorithme A* avec l'application des comportements d'évitement de collision donne de bons résultats.

Analyse des résultats (2)

- L'utilisation des règles de priorités a résolu le problème du désordre dans le mouvement de la foule;
- Le temps de déplacement dépend de plusieurs paramètres, entre autres, la densité de la foule et les méthodes d'évitement de collision;
- Pour la quasi-totalité des situations, le temps de déplacement est meilleur avec l'utilisation de ces règles.

Conclusions

- L'utilisation des règles de priorités a résolu le problème du désordre dans le mouvement de la foule et dans la quasi-totalité des situations, le temps de déplacement est meilleur avec l'utilisation de ces règles.

Perspectives

- Application de notre plateforme pour des simulations réelles d'évacuation de foule;
- Exploitation de notre plateforme pour des applications réelles telle que: Métro, Bus, Escalier, Couloir, Trottoir, Passage de piéton, etc...