

MV52

Synthèse d'images

CM #7

Techniques d'animation classiques

Fabrice LAURI
fabrice.lauri@utbm.fr



Plan du cours

- **Définitions et principes**
- **Techniques d'animation**
- **Animation procédurale**
- **Déformations**
- **Animation par keyframes**
- **Suivi de trajectoires**
- **Animation FFD**
- **Morphing 3D**

Plan du cours

- **Définitions et principes**
- **Techniques d'animation**
- **Animation procédurale**
- **Déformations**
- **Animation par keyframes**
- **Suivi de trajectoires**
- **Animation FFD**
- **Morphing 3D**

Définitions

Animation d'une scène

Processus qui consiste à contrôler les valeurs d'un ensemble de variables associées à des objets en fonction du temps.

Formalisation

$V(t)$ représente le vecteur de variables à l'instant t .

En général : $V(t+1) = f(V(t), t)$

Définitions

Exemples d'animation

- Modifier la position, l'orientation ou la forme d'un objet en fonction du temps.
- Réaliser un *travelling* de la caméra.
- Modifier les caractéristiques des sources lumineuses en fonction du temps.

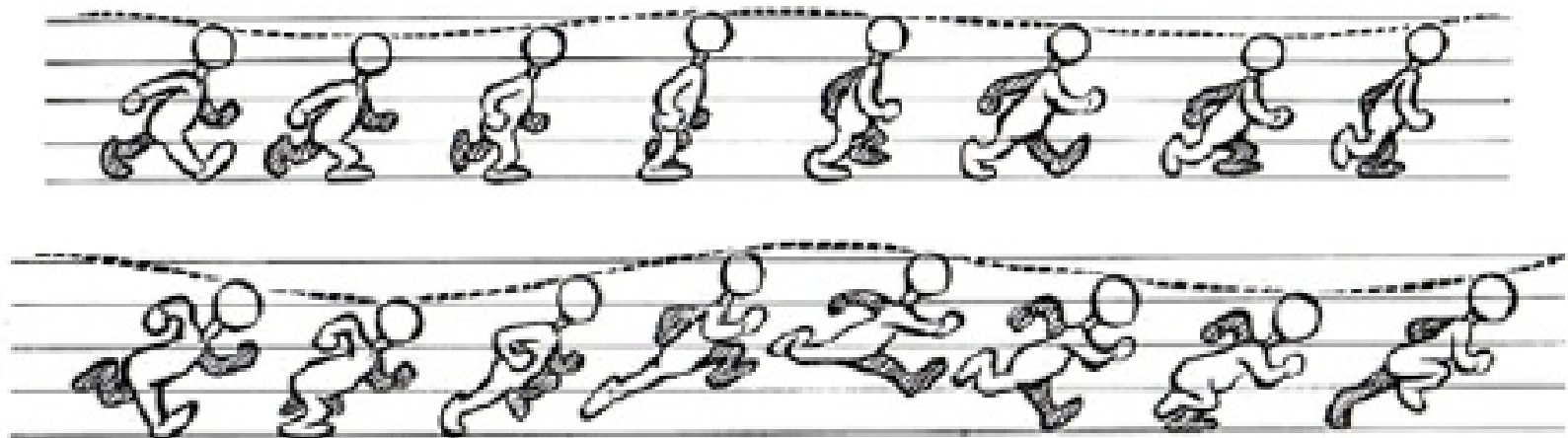
Principes de l'animation traditionnelle appliqués à l'animation 3D

Proposés par *Lasseter* en 1987 (Computer Graphics, 21:4), ces principes consistent à :

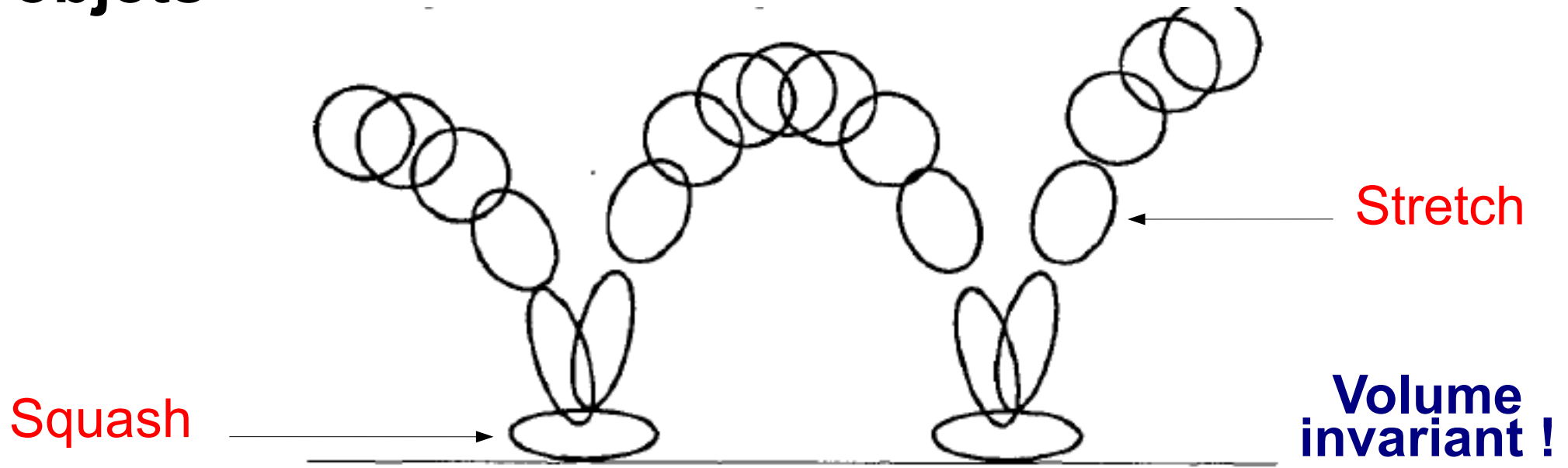
- Utiliser des techniques de production classiques (*straight ahead, pose-to-pose*)
- Simuler des lois physiques (*squash & stretch, secondary actions, arcs, slow in and out*)
- Présenter les actions de manière convaincante (*anticipation, timing, staging, follow through, overlapping*)
- Concevoir des actions esthétiques (*exaggeration, appeal*)

Techniques de production :

- *straight ahead: progressing from a starting point and moving continually along the way (physically based animation)*
- *pose-to-pose: identifying key frames and interpolating intermediate frames.*



Simuler des lois physiques pour donner vie à des objets



Faire ressentir la masse et la flexibilité d'un objet en mouvement

Simuler des lois physiques

- *arcs: due to physical laws, objects' trajectory is usually an arc.*
- *secondary action: an action that results directly from another action.*

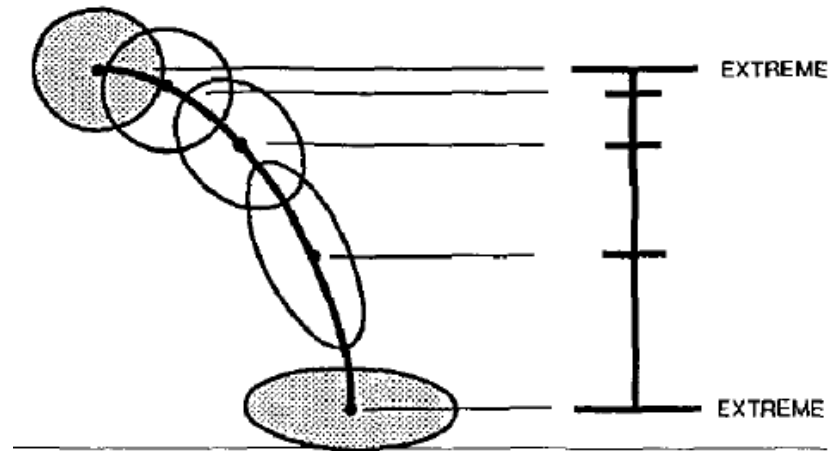


Example:

The movement of Luxo Jr's cord results directly from its jump

Simuler des lois physiques

- *slow in and slow out: it needs time to accelerate and slow down.*



More frames in the extremes of a movement.

Présentation des actions de manière convaincante

- *anticipation: the audience knows that an event is to happen*

Example: retracting a foot before kicking a ball, ...

- *timing: the speed of an action gives meaning to the weight and size of objects and/or the emotional state of characters.*

Changing the **timing** of an action can give different meanings (Thomas and Johnston, *Disney Animation, The illusion of life*, 1981) :

“Just two drawings of a head, the first showing it leaning toward the right shoulder and the second with it over on the left and its chin slightly raised.”

- *NO inbetweens The Character has been hit by a tremendous force. His head is nearly snapped off.*
- *ONE inbetweens The Character has been hit by a brick...*
- *SIX inbetweens The Character sees a good looking girl, or the sports car he has always wanted.*

Présentation des actions de manière convaincante

- *staging: direct the audience's attention, make it clear what is of greatest importance in a scene; what is happening, and what is about to happen.*

The viewer must look at the correct action at the correct time.

Examples: placement of a character in the frame, a moving object among still objects, the use of light and shadow, the angle and position of the camera...

Présentation des actions de manière convaincante

- *follow through: separate parts of a body will continue moving after the character has stopped.*
- *overlapping: tendency for parts of the body to move at different rates.*



Concevoir des actions esthétiques

- *exaggeration: perfect imitation of reality can look static and dull in cartoons.*

The level of exaggeration depends on whether one seeks realism or a particular style.

- *appeal: interesting, enjoyable to watch.*

Several tricks for making a character connect better with the audience...

Plan du cours

- Définitions et principes
- **Techniques d'animation**
- Animation procédurale
- Déformations
- Animation par *keyframes*
- Suivi de trajectoires
- Animation FFD
- Morphing 3D

Techniques d'animation

- Animation Procédurale (AP)
Définir le mouvement d'objets par une équation
- Animation représentationnelle (Déformations)
Animer des objets dont l'apparence peut varier
- Animation comportementale (AC) : cf VI51
Définir le comportement d'entités interagissant avec leur environnement
- Animation par *keyframes* (AK)
Définir des « images » clés.
Chaque image apparaissant entre deux images clés données est obtenue par interpolation.



Plan du cours

- Définitions et principes
- Techniques d'animation
- **Animation procédurale**
- Déformations
- Animation par *keyframes*
- Suivi de trajectoires
- Animation FFD
- Morphing 3D

Animation procédurale

L'animation procédurale consiste à animer des objets virtuels en générant en temps réel des mouvements, selon un ensemble de règles procédurales.

L'animateur 3D spécifie les règles (par exemple certaines lois du monde physique sous la forme d'équations) et les conditions initiales avant de réaliser la simulation.

Animation procédurale

Deux grandes catégories de techniques d'animation procédurale : la modélisation physique et la vie artificielle.

La modélisation physique permet de décrire des animations en ajoutant aux données géométriques des paramètres physiques.

La vie artificielle vise à imiter le comportement des êtres vivants.

Modélisation physique

Plusieurs approches :

- Systèmes de particules
- Surfaces flexibles
- Dynamique des corps solides
- Dynamique des fluides

Systèmes de particules

Principe :

Lors de chaque itération, le système de particules prend en entrée les paramètres initiaux des objets (masse, force d'attraction...), leurs variables (position, vitesse, accélération, etc) ainsi que les forces en jeu dans l'environnement (gravité, vent...), pour actualiser les variables en fonction des lois physiques implémentées.

Cette technique est utilisée pour simuler des phénomènes naturels comme la fumée, les nuages, les flammes, et l'eau.

Surfaces flexibles

Principe :

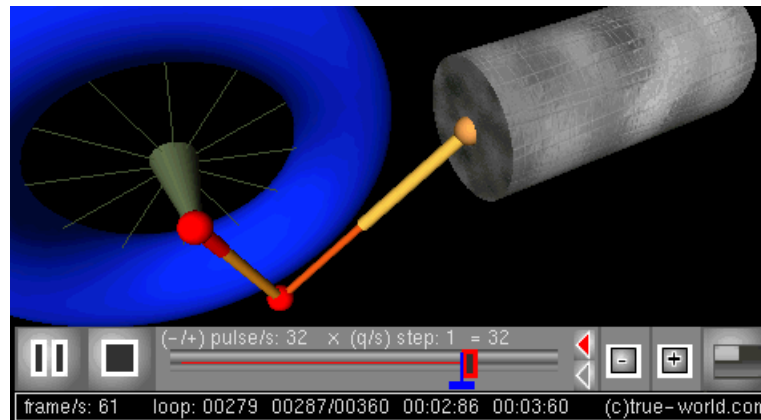
Il s'agit de modéliser les surfaces flexibles comme les tissus, les vêtements...

Typiquement, les modèles géométriques sont construits à partir de triangles, dont les sommets varient selon leur masse, position, vitesse, accélération, constantes d'élasticité, la force du vent...

Dynamique des corps solides

Principe :

Elle consiste à simuler dynamiquement les interactions entre des objets solides. Celles-ci prennent en compte divers paramètres physiques comme l'élasticité, la friction, la torsion, la masse et tiennent compte des collisions, des glissements ou des chutes.



Dynamique des fluides

Principe :

Elle consiste à simuler le mouvement des fluides : vagues, écoulement, turbulences de l'eau ou d'autres liquides.

La vie artificielle

La vie artificielle vise à simuler les interactions d'organismes vivants.

Exemples :

- Banc de poissons
- Nuées de sauterelles
- Troupeau de moutons
- Piétons et véhicules évoluant dans une ville

Animation procédurale

La société *NaturalMotion* édite deux logiciels de développement d'animations procédurales :

- Endorphin : logiciel de synthèse dynamique des mouvements, spécifique aux avatars. Les animations sont « statiques », mais générées par des règles procédurales.
- Euphoria permet en revanche de gérer des animations en temps réel. Le moteur est plus léger que celui de Endorphin. Il tourne parallèlement au moteur du jeu, qui l'appelle lorsqu'une animation procédurale est nécessaire.

Plan du cours

- Définitions et principes
- Techniques d'animation
- Animation procédurale
- **Déformations**
- Animation par *keyframes*
- Suivi de trajectoires
- Animation FFD
- Morphing 3D

Les déformations simples

Transformation de deux paramètres en fonction du troisième



a)Objet initial

b)Objet pincé

c)Objet tordu

Exemple du pincement

Mise à l'échelle de deux des trois composantes.

Par exemple :

$$r_1 = f_1(z)$$

$$r_2 = f_2(z)$$

$$x' = r_1 x$$

$$y' = r_2 y$$

$$z' = z$$

Exemple de la torsion

Rotation sur deux des trois vecteurs de base.

Par exemple :

$$a=f(z)$$

$$x'=x \cos a - y \sin a$$

$$y'=x \sin a + y \cos a$$

$$z'=z$$

Les déformations libres

Free Form Deformations (FFD)

- Réseaux parallélépipédiques (grille 3D)
- Un sommet du réseau = un point de contrôle

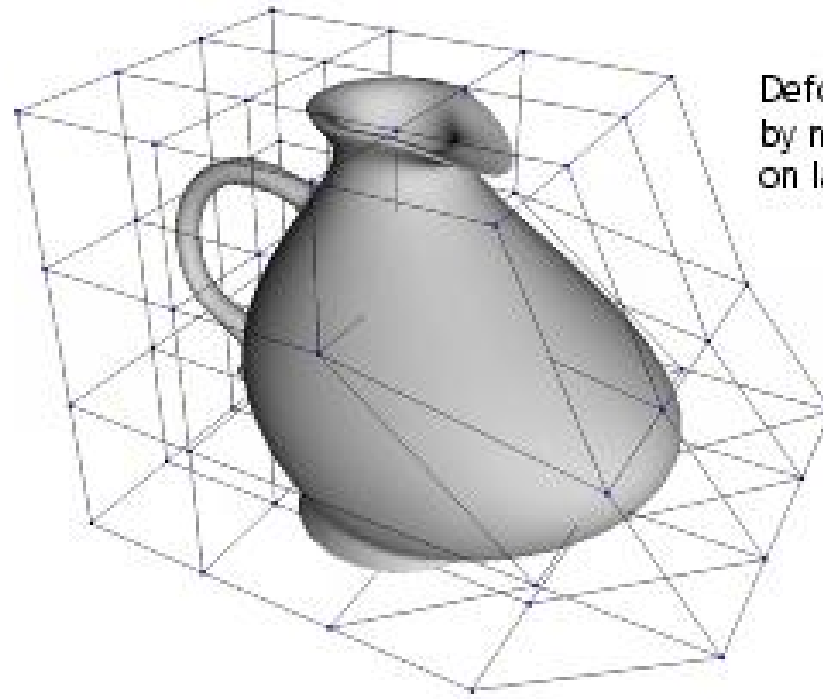
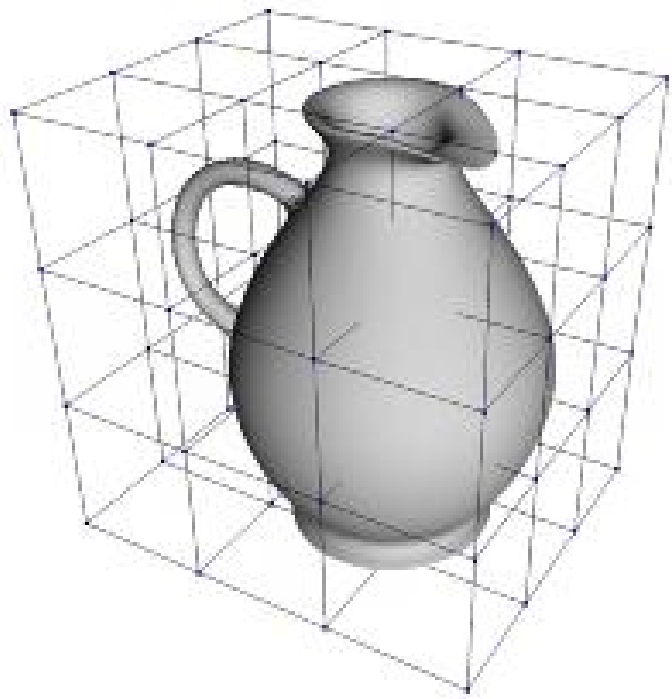
Principe : Déformer l'espace autour du modèle

- Immerger le maillage de l'objet dans un réseau parallélépipédique de points de contrôle
- Déformer le maillage du réseau en agissant sur ses sommets.

Conséquence :

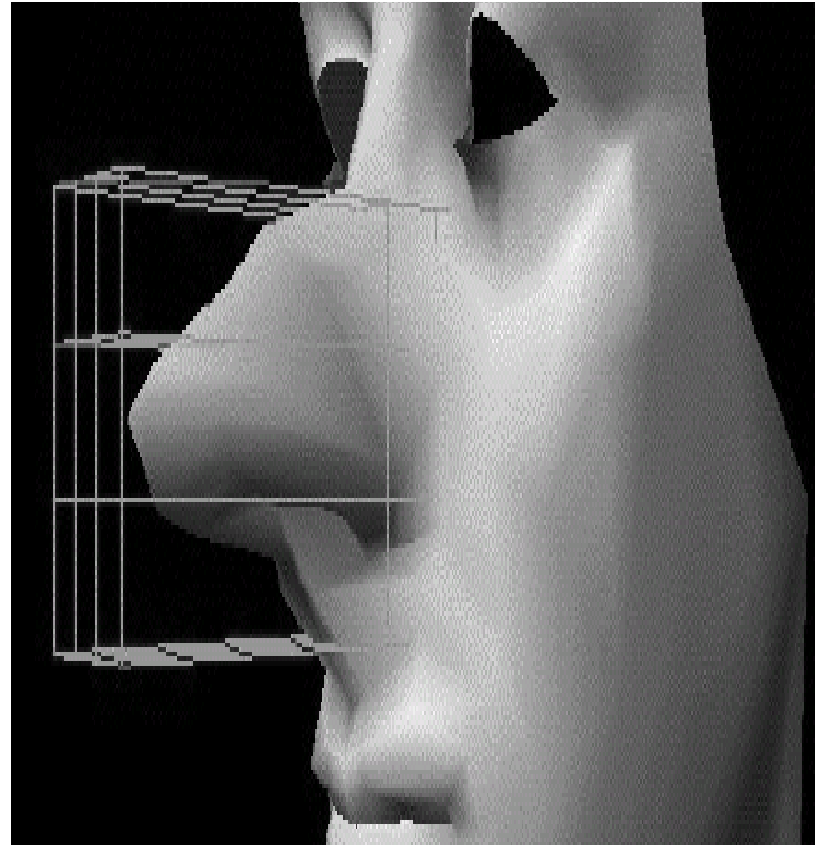
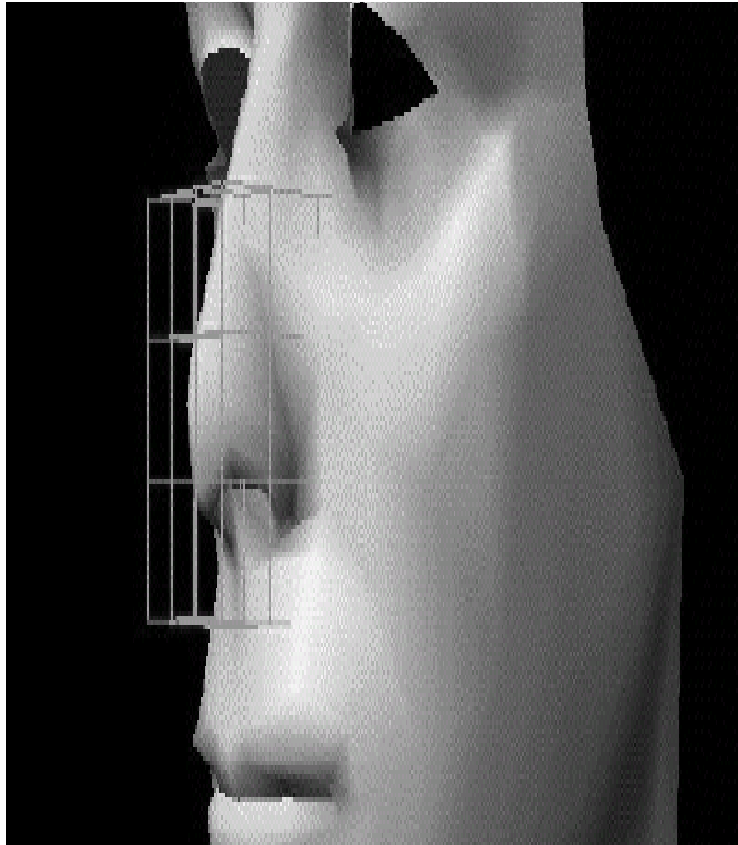
- Modifie l'aspect de l'objet plongé dans ce réseau.

Les déformations libres

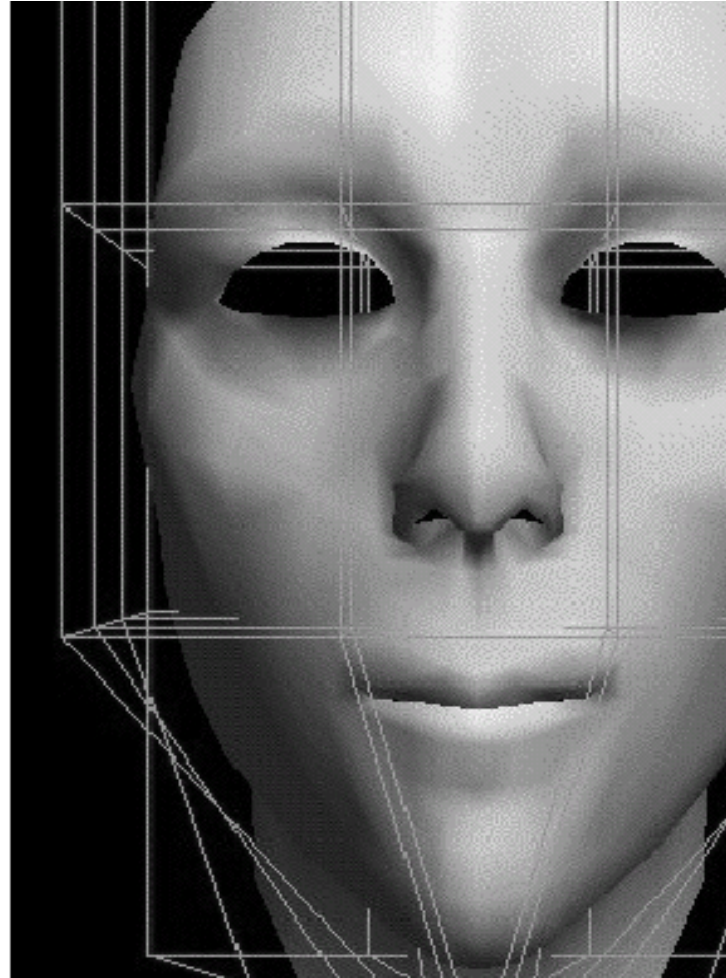


Deform objects
by moving points
on lattices

Les déformations libres



Les déformations libres



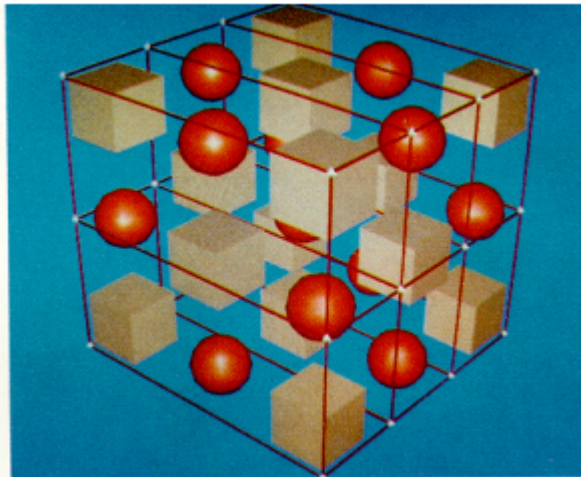
Les déformations libres

Plusieurs étapes :

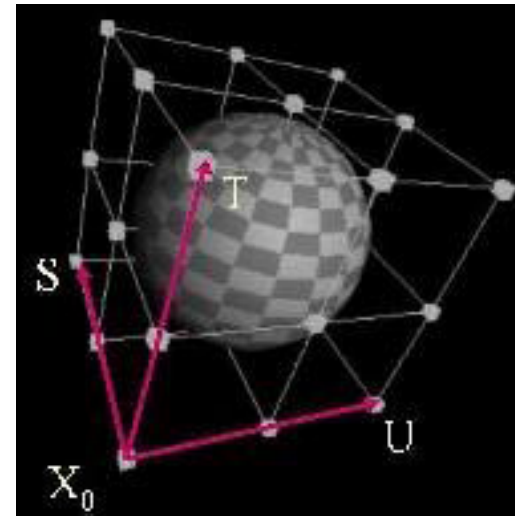
- Créer un volume parallélépipédique autour de l'objet
- Imposer une grille de points de contrôle, tels que :

$$P_{ijk} = X_0 + \frac{i}{l}S + \frac{j}{m}T + \frac{k}{n}U$$

$l+1$ plans selon S
 $m+1$ plans selon T
 $n+1$ plans selon U



$$l=1, m=2, n=3$$



Les déformations libres

Plusieurs étapes :

- La position $X=(x \ y \ z)^T$ d'un vertex de l'objet devient $(s \ t \ u)^T$, où :

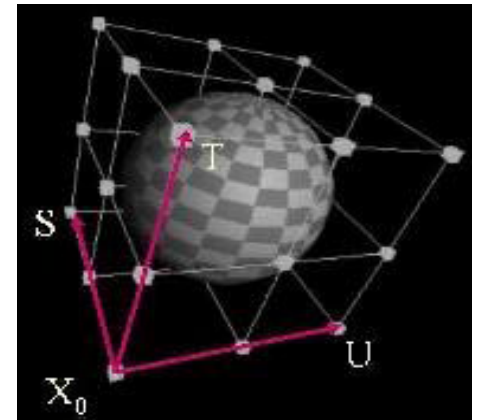
$$X = X_0 + sS + tT + uU$$

avec :

$$s = \frac{T \times U \cdot (X - X_0)}{T \times U \cdot S}$$

$$t = \frac{S \times U \cdot (X - X_0)}{S \times U \cdot T}$$

$$u = \frac{S \times T \cdot (X - X_0)}{S \times T \cdot U}$$



Les déformations libres

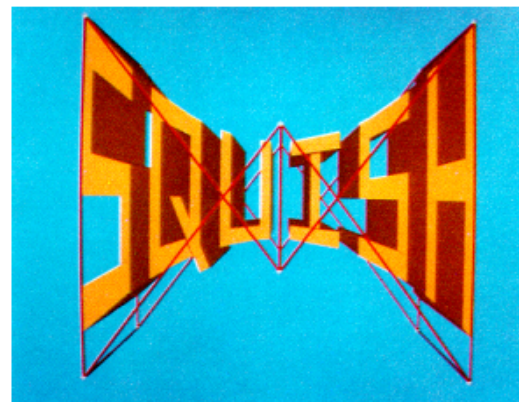
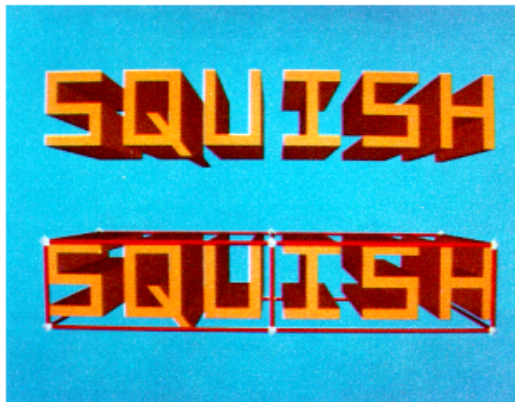
Plusieurs étapes :

- La nouvelle position X_{FFD} d'un vertex de **coordonnées normalisées** $(s \ t \ u)^T$ est donnée par :

$$X^{FFD} = \sum_{i=0}^l \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^n B_i^l(s) B_j^m(t) B_k^n(u) P_{ijk}$$

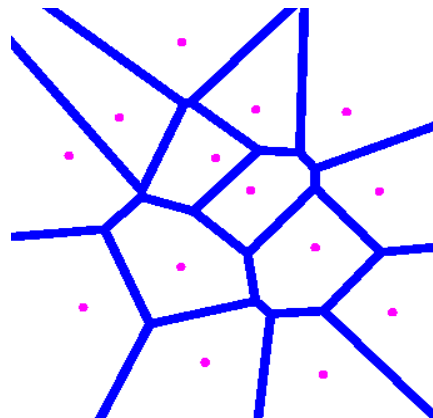
Polynôme de Bernstein :

$$B_i^l(s) = C_l^i s^i (1-s)^{l-i}$$

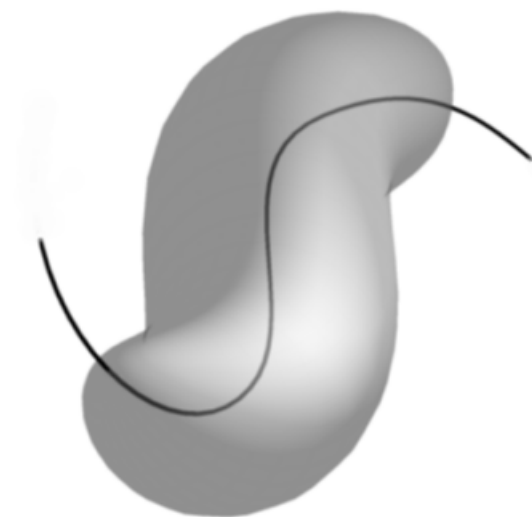
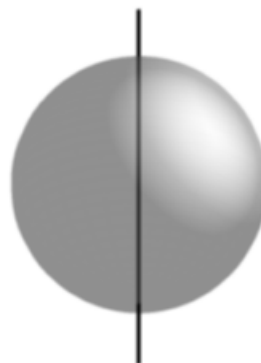
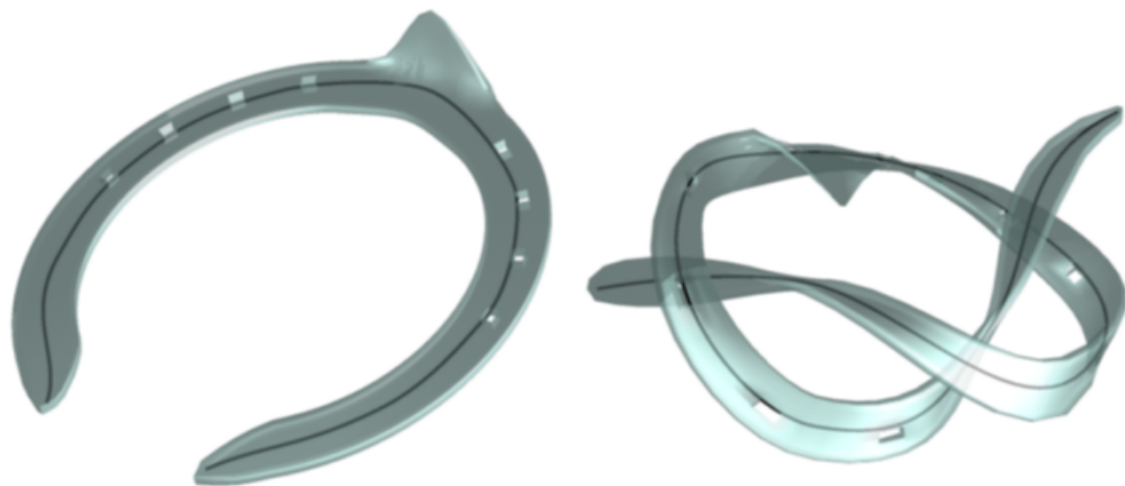


Autres types de déformations

- Déformations libres avec des réseaux non parallélépipédiques
- Déformations diverses :
 - 1) AxDf : *Axial Deformations*
 - 2) NFFD : *Nurbs-Based Free Form Deformations*
 - 3) CFFD : *Continuous Free Form Deformations*
 - 4) DFFD : *Dirichlet Free Form Deformations*



Déformations axiales



Plan du cours

- Définitions et principes
- Techniques d'animation
- Animation procédurale
- Déformations
- **Animation par *keyframes***
- Suivi de trajectoires
- Animation FFD
- Morphing 3D

Animation par *keyframes*

Hypothèses :

Pour animer un objet 3D, on suppose que l'on dispose pour certains vertices des ensembles suivants ordonnés dans le temps :

- ensemble de positions $\{(t_{i,1}, P_i)\}_{i=1, \dots, N1}$ telles que

$$t_{1,1} < t_{2,1} < \dots < t_{N1,1}$$

- ensemble d'orientations $\{(t_{i,2}, O_i)\}_{i=1, \dots, N2}$ telles que

$$t_{1,2} < t_{2,2} < \dots < t_{N2,2}$$

- ensemble de facteurs de mise à l'échelle

$\{(t_{i,3}, S_i)\}_{i=1, \dots, N3}$ telles que $t_{1,3} < t_{2,3} < \dots < t_{N3,3}$

Animation par *keyframes*

Principe :

A un instant t donné, interpoler la position, l'orientation ou les facteurs d'échelle.

Interpoler à un instant t donné consiste à :

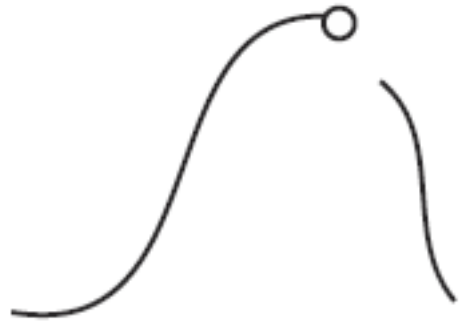
- rechercher l'indice i tel que : $t_i \leq t \leq t_{i+1}$
- calculer u tel que :
$$u = \frac{t - t_i}{t_{i+1} - t_i}$$
- interpoler avec le facteur u (compris entre 0 et 1)

Animation par *keyframes*

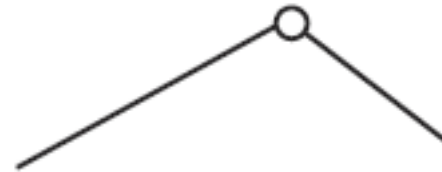
Il existe plusieurs méthodes d'interpolation, selon le type de données à interpoler (positions, orientations ou facteurs d'échelle)...

Critères pour choisir une technique d'interpolation :

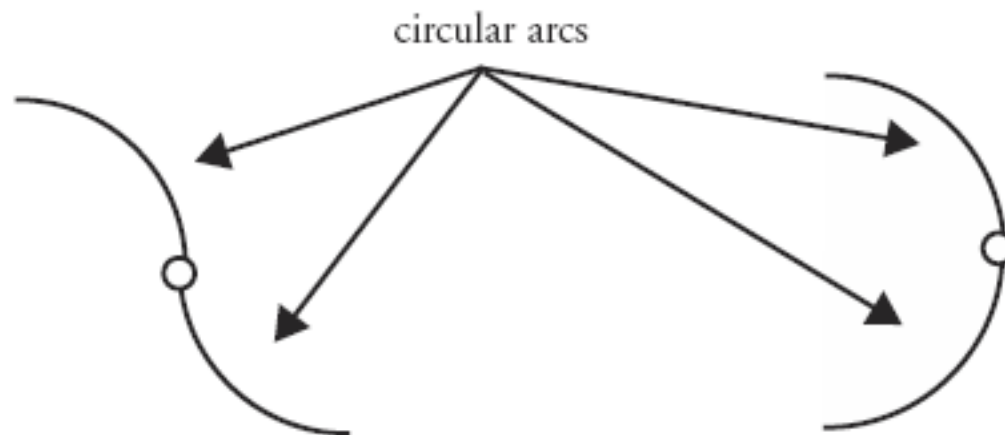
- complexité : compromis entre précision de l'interpolation et temps nécessaire au calcul
- propriétés de continuité...



Positional discontinuity at the point



Positional continuity but not tangential continuity at the point



Positional and tangential continuity but not curvature continuity at the point

Positional, tangential, and curvature continuity at the point

Animation par *keyframes*

Exemples de techniques d'interpolation de positions :

- interpolation linéaire
- interpolation *Hermite*
- interpolation *Catmull-Rom*
- interpolation *Kochanek-Bartels...*

Technique d'interpolation d'orientations :

- SLERP

Techniques d'interpolation de facteurs d'échelle :

- interpolation géométrique
- interpolation linéaire...

Techniques d'interpolation pour les positions

Toutes ces techniques peuvent s'exprimer par :

$$f(P,u)=U^T M P$$

où :

- U^T = variables de temps, avec u le facteur d'interpolation compris entre 0 et 1.
- M = coefficients
- P = informations géométriques

Généralement : fonctions cubiques.

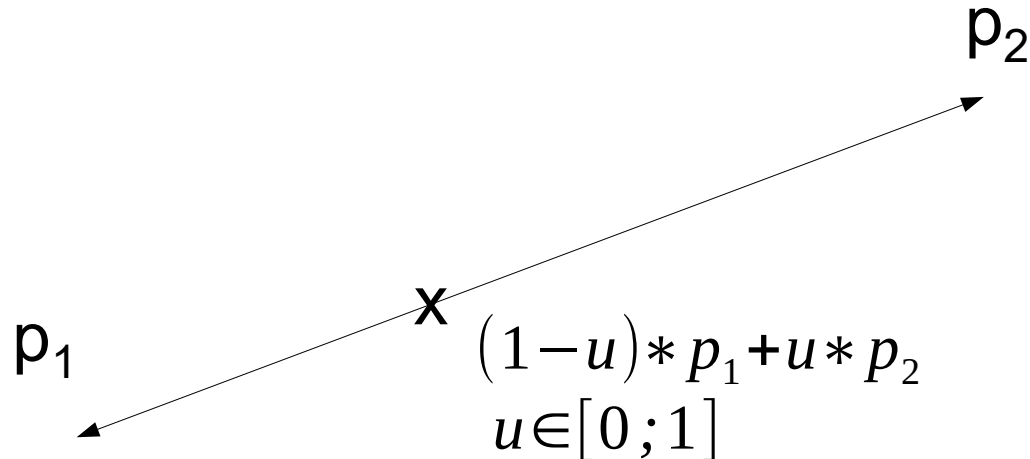
Techniques d'interpolation pour les positions

- Interpolation linéaire :

$$f(P, u) = (1-u) * p_1 + u * p_2 = U^T M P$$

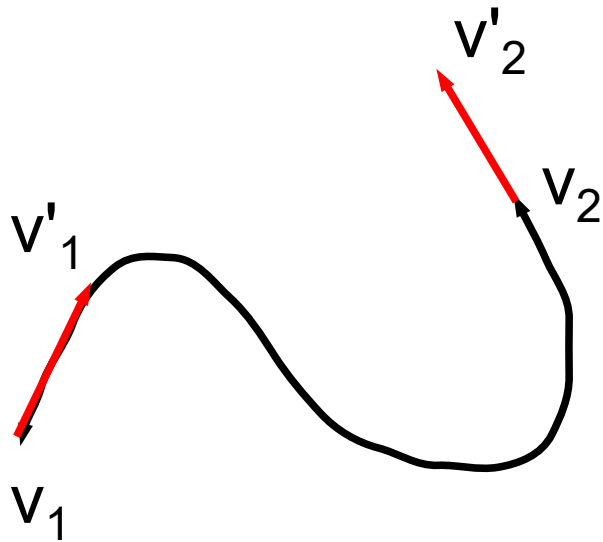
avec :

$$U^T = (u \quad 1) \quad M = \begin{pmatrix} -1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \quad P = \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \end{pmatrix}$$

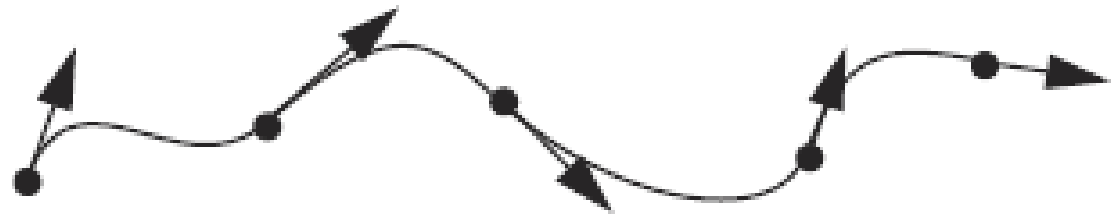


Techniques d'interpolation pour les positions

- Interpolation *Hermite*



Beginning and
ending tangents
have to be specified



Composite hermite curve

Techniques d'interpolation pour les positions

- Interpolation *Hermite* : $f(P, u) = U^T M P$

avec :

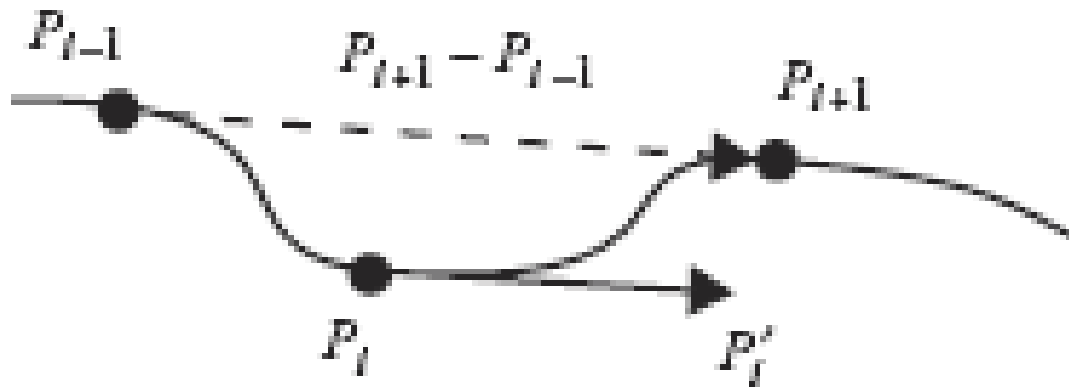
$$U^T = (u^3 \quad u^2 \quad u \quad 1)$$

$$M = \begin{pmatrix} 2 & -2 & 1 & 1 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$P = \begin{pmatrix} v_i \\ v_{i+1} \\ v'_i \\ v'_{i+1} \end{pmatrix}$$

Techniques d'interpolation pour les positions

- Interpolation *Catmull-Rom* :



Computes a tangent between two positions

$$P'_i = \frac{P_{i+1} - P_{i-1}}{2}$$

Techniques d'interpolation pour les positions

- Interpolation *Catmull-Rom* $f(P, u) = U^T M P$

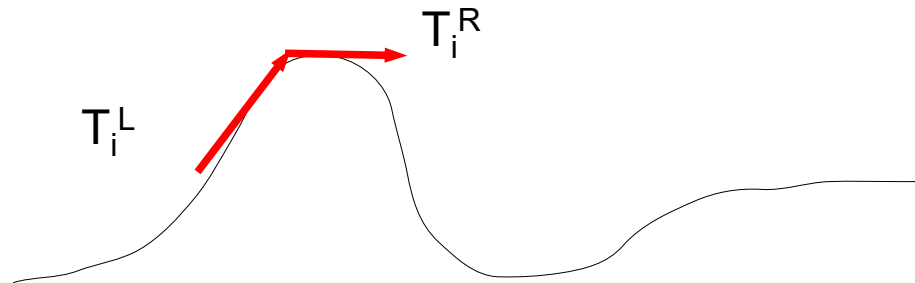
$$U^T = (u^3 \quad u^2 \quad u \quad 1)$$

$$M = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 2 & -5 & 4 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$P = \begin{pmatrix} v_{i-1} \\ v_i \\ v_{i+1} \\ v_{i+2} \end{pmatrix}$$

Techniques d'interpolation pour les positions

- Interpolation *Kochanek-Bartels*
 - Meilleur contrôle sur l'aspect de la courbe.
 - Trois paramètres : tension τ , continuité γ et biais β
Leurs valeurs : entre -1 et 1.
 - τ , γ et β contrôlent en fait la tangente gauche (T_i^L) entrante et la tangente droite (T_i^R) entrante du point P_i .



Techniques d'interpolation pour les positions

- Tension τ : contrôle la pente de la courbe à un point de contrôle
- Continuité γ : fournit une variation visuelle lisse de la continuité à un point de contrôle
- Biais β : contrôle la direction du chemin à un point de contrôle

Techniques d'interpolation pour les positions

- Interpolation *Kochanek-Bartels* : basée sur une interpolation *Hermite*

$$U^T = (u^3 \quad u^2 \quad u \quad 1)$$

$$M = \begin{pmatrix} 2 & -2 & 1 & 1 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$P = \begin{pmatrix} v_i \\ v_{i+1} \\ T_i^0 \\ T_{i+1}^1 \end{pmatrix}$$

Techniques d'interpolation pour les positions

avec :

$$\mathbf{T}_i^0 = \frac{(1 - \tau)(1 - \gamma)(1 - \beta)}{2} (\mathbf{v}_{i+1} - \mathbf{v}_i) + \frac{(1 - \tau)(1 + \gamma)(1 + \beta)}{2} (\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_{i+1})$$

$$\mathbf{T}_{i+1}^1 = \frac{(1 - \tau)(1 + \gamma)(1 - \beta)}{2} (\mathbf{v}_{i+1} - \mathbf{v}_i) + \frac{(1 - \tau)(1 - \gamma)(1 + \beta)}{2} (\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_{i+1})$$

Techniques d'interpolation pour les positions

Tension

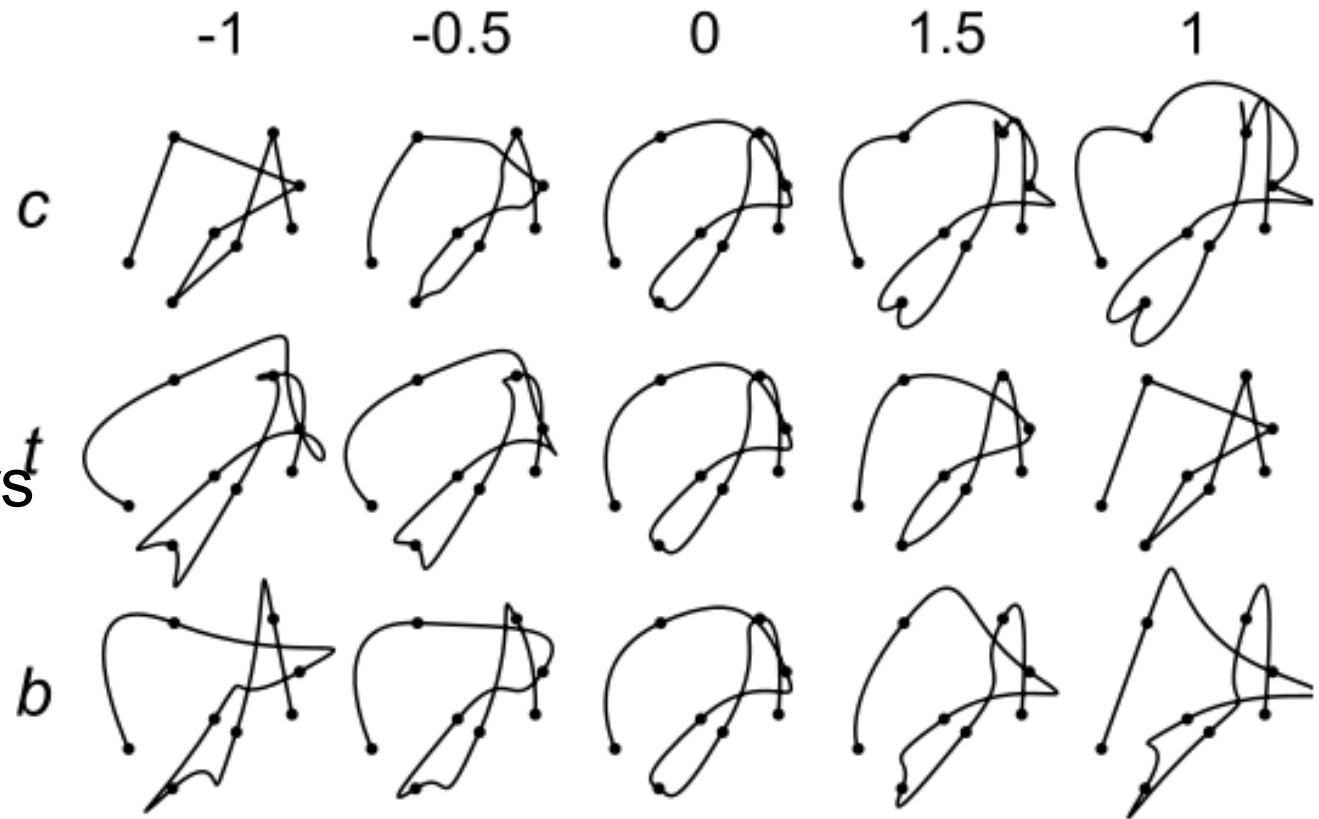
-1: round
+1: tight

Bias

-1: Pre Shoot
+1: Post Shoot

Continuity

-1: box corners
+1: inverted corners



Techniques d'interpolation pour les orientations

- Interpolation SLERP :

$$q(u) = \frac{\sin(\theta(1-u))}{\sin\theta} q_1 + \frac{\sin(\theta u)}{\sin\theta} q_2$$

avec :

$$\cos\theta = q_1 \cdot q_2 \geq 0$$

et

$$\theta = \arccos(q_1 \cdot q_2)$$

Technique d'interpolation pour les facteurs d'échelle (positifs)

- Interpolation géométrique (si variations importantes dans les tailles d'un objet) :

$$s = s_i^{(1-u)} s_{i+1}^u$$

avec : s , s_i et s_{i+1} des facteurs d'échelle.

- Interpolation linéaire (sinon)

Plan du cours

- Définitions et principes
- Techniques d'animation
- Animation procédurale
- Déformations
- Animation par keyframes
- **Suivi de trajectoires**
- Animation FFD
- Morphing 3D

Suivi de trajectoire

Un objet (ou une caméra) se déplaçant le long d'une trajectoire donnée nécessite de modifier son orientation, en plus de lui faire subir une translation.

L'orientation d'un objet peut être représentée par un système de coordonnées local (u v w) et la matrice associée, tels que :

- w est le vecteur de vue
- v est le vecteur Haut
- u est le vecteur orthogonal aux deux précédents.

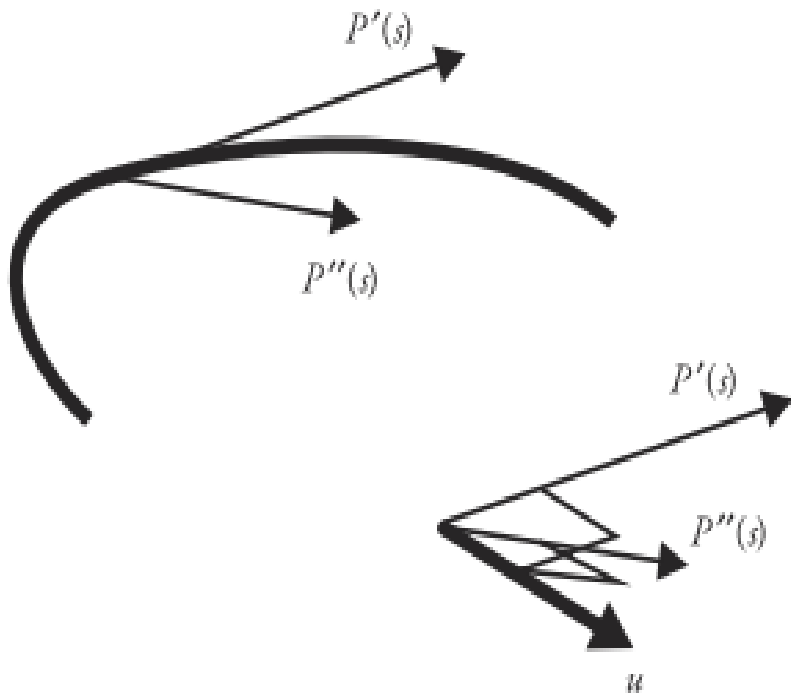
Suivi de trajectoire

Plusieurs méthodes pour déterminer l'orientation d'une caméra le long d'une trajectoire.

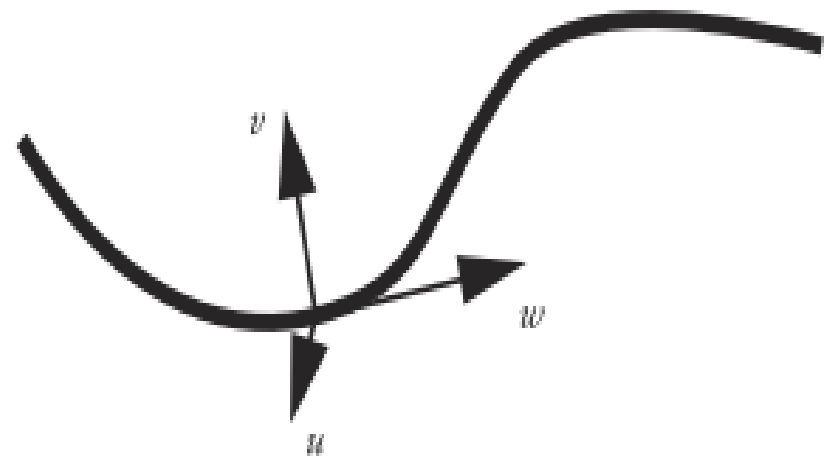
L'approche générale est de déterminer la direction de w et de v . u est alors le produit vectoriel de w et de v .

Suivi de trajectoire

Approche 1 : cadre de Frénet



$$\begin{aligned} w &= P'(s) \\ v &= P'(s) \times P''(s) \\ u &= w \times v \end{aligned}$$

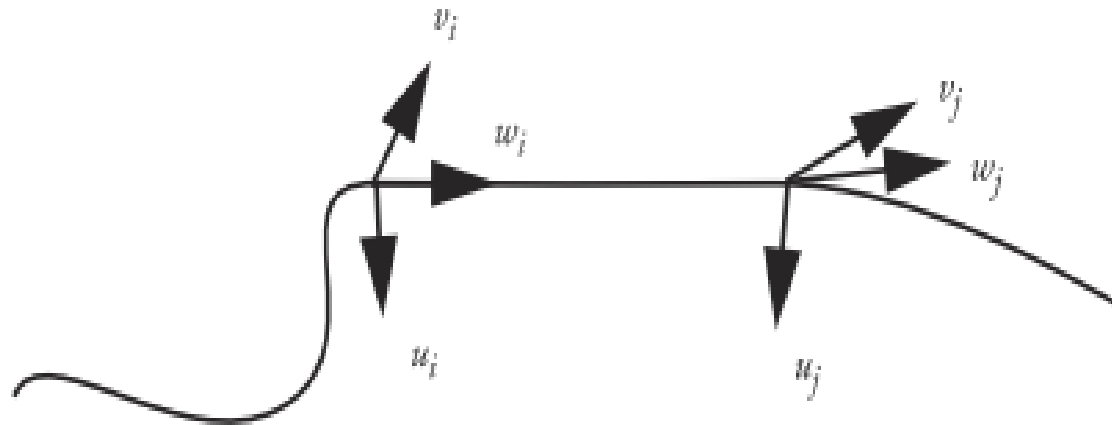


Suivi de trajectoire

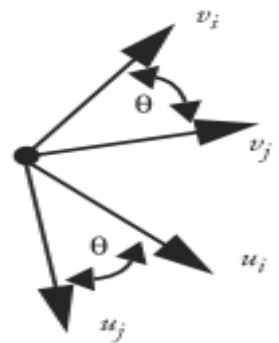
Problèmes dans l'utilisation du cadre de Frénet :

- Quid lorsque $P''(s)=0$? Cadre de Frénet indéfini !

Une solution : interpoler un cadre de Frénet le long du segment en prenant les extrémités du segment.



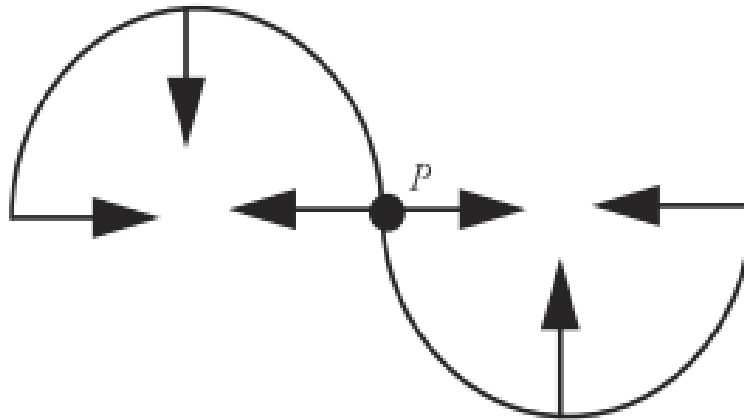
Les cadres de Frénet aux extrémités diffèrent d'une rotation autour de w , d'un angle $\theta = ?$



Suivi de trajectoire

Problèmes dans l'utilisation du cadre de Frénet :

- Lorsqu'il y a une discontinuité de la courbure en un point :



Saut de discontinuité à la jonction des deux demi-cercles.

Utiliser le vecteur tangente peut donc avoir des effets indésirables...

Suivi de trajectoire d'une caméra avec ajout d'un centre d'intérêt

Approche 2 : prise en compte d'un centre d'intérêt COI fixe

$$w = \text{COI} - P(s)$$

$$u = w \times (0 \ 1 \ 0)^T$$

$$v = u \times w$$

Approche 3 : prise en compte d'un centre d'intérêt variable

$$w = C(s) - P(s)$$

$$u = w \times (U(s) - P(s))$$

$$v = u \times w$$

Plan du cours

- Définitions et principes
- Techniques d'animation
- Animation procédurale
- Déformations
- Animation par keyframes
- Suivi de trajectoires
- Animation FFD
- Morphing 3D

Animation *FFD*

Une déformation FFD permet de modifier la forme d'un objet en déplaçant ses vertices.

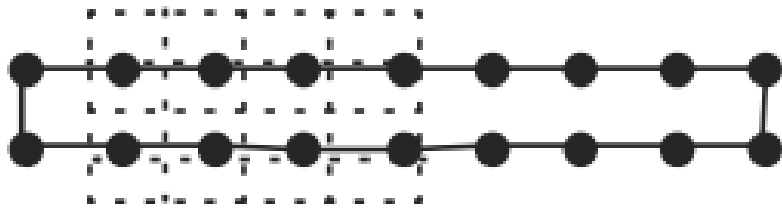
Il y a deux approches pour animer un objet à l'aide d'une FFD :

- le faire passer dans une grille FFD
- animer les points de contrôle

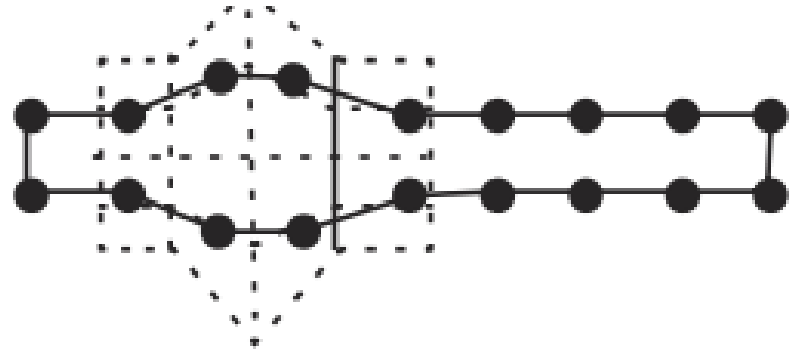
Outil de déformation

Principe :

- Définir une grille de déformation représentant un certain type de déformation (gonflement...)



Undeformed object

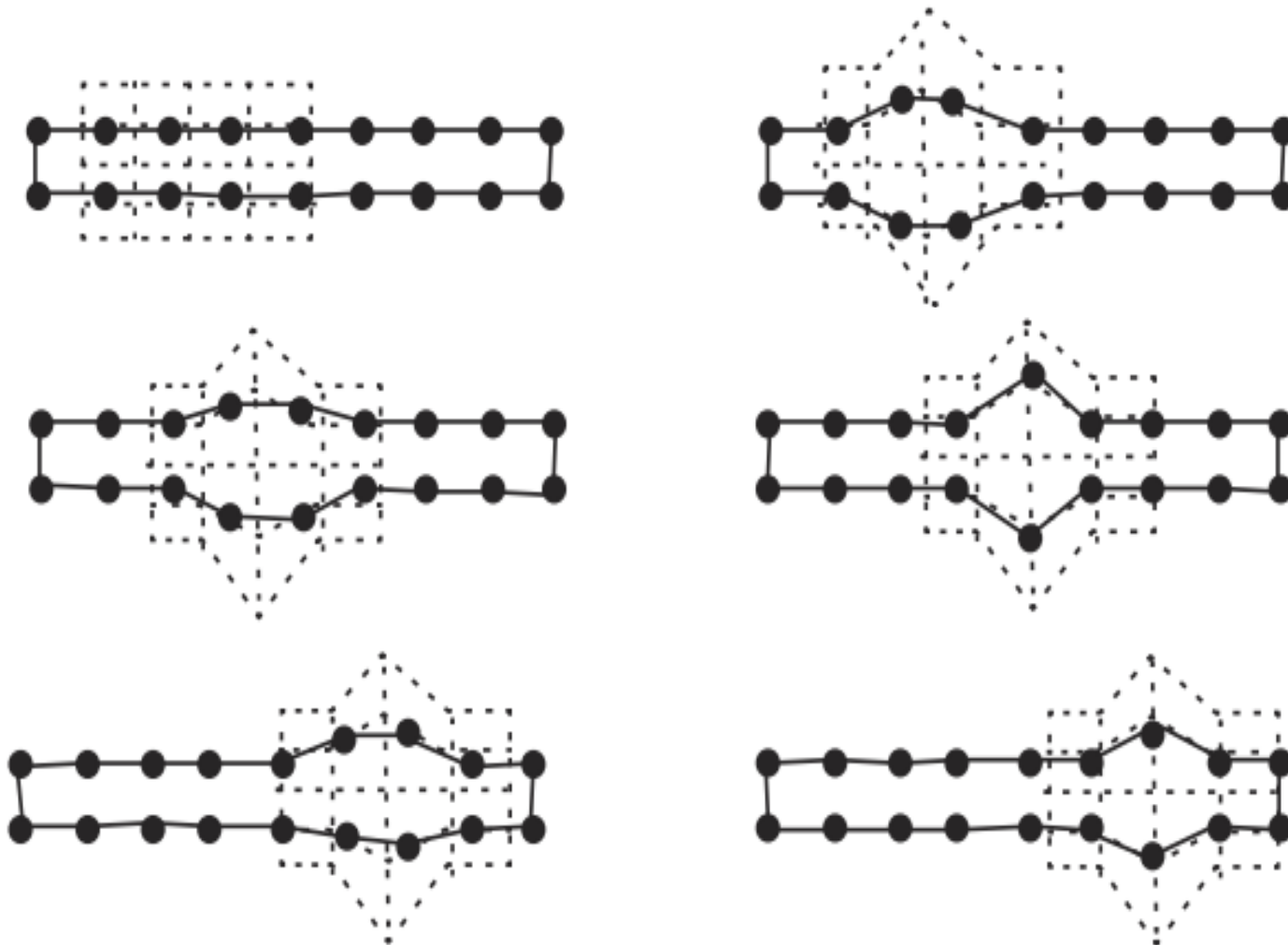


Deformed object

Outil de déformation

Approche 1 :

- Spécifier une trajectoire dans l'espace local à l'objet
- Faire suivre la trajectoire par l'outil de déformation



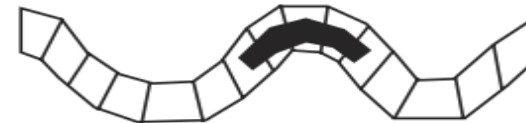
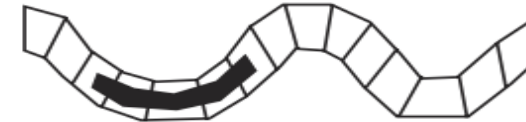
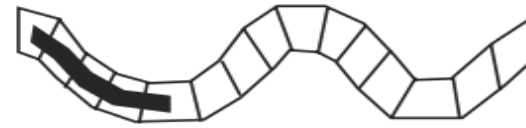
Outil de déformation

Approche 2 :

- Spécifier une trajectoire dans l'espace local à la grille
- Faire suivre la trajectoire par l'objet



Object traversing the logical FFD coordinate space



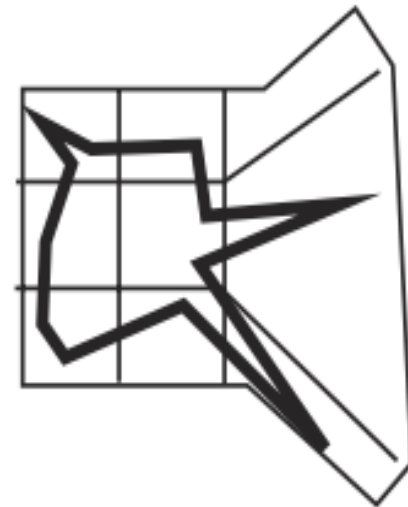
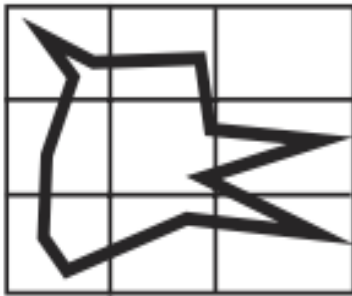
Object traversing the distorted space

Animation des points de contrôle

Principe :

Déplacer les points de contrôle de la grille au cours du temps, en utilisant :

- animation par key-frames
- animation "physique"



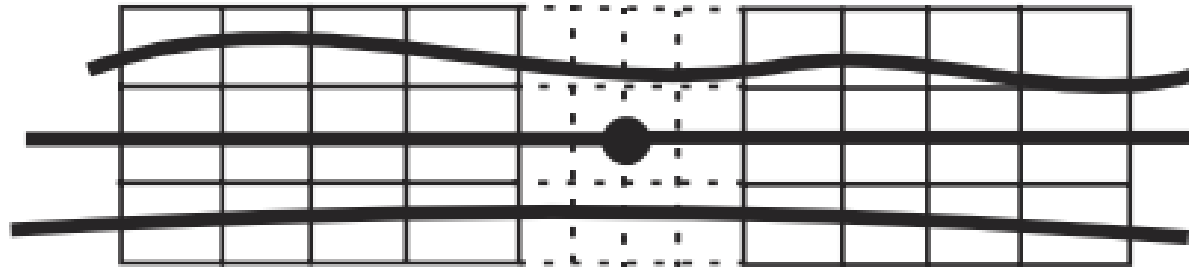
Animation des points de contrôle basée sur des calculs de physique

Approche 1 : Association des points de contrôle aux vertices d'un squelette

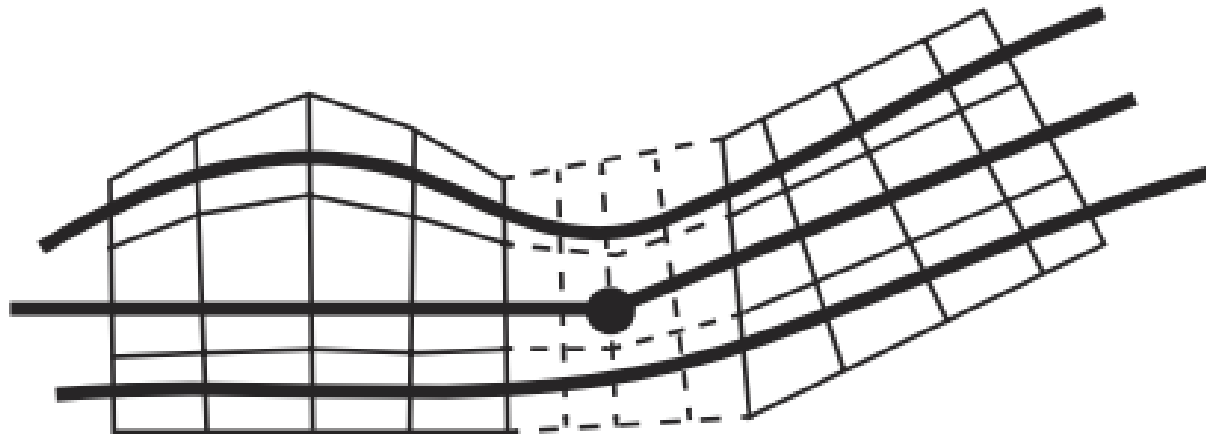
Lorsque le squelette est animé, les positions des points de contrôle sont modifiées.

Le maillage de la figure articulée est plongé dans cette grille FFD et animé comme si la grille agissait comme autant de muscles influençant l'aspect du maillage représentant la peau.

Animation des points de contrôle basée sur des calculs de physique



Initial configuration



Surface distorted after joint articulation

Animation des points de contrôle basée sur des calculs de physique

Approche 2 : modélisation du réseau à l'aide de ressorts, amortisseurs, masses...

Les points de contrôle peuvent alors être influencés par la gravité ou des mouvements kinématiques.

Le centre de la grille est fixé relativement à un squelette. L'utilisateur contrôle le squelette, et le mouvement du squelette modifie le point central de la grille. Le reste des points de contrôle de la grille réagissent au déplacement du centre car liés par des équations d'interactions.

Plan du cours

- Définitions et principes
- Techniques d'animation
- Animation procédurale
- Déformations
- Animation par keyframes
- Suivi de trajectoires
- Animation FFD
- **Morphing 3D**

Technique simple de *Morphing* 3D

Définition

Réaliser un morphing consiste à interpoler une forme à partir de deux formes.

Cette forme peut être une image (morphing d'images), un objet 3D (morphing 3D)...

Hypothèses dans le cas du morphing 3D :

- les deux objets 3D ont le même nombre de vertices.
- les deux objets 3D ont le même maillage.
- les deux objets sont *homéomorphes* : il existe une bijection continue entre les points des deux objets.

Exemple de shader de *Morphing 3D*

Objectif :

Effectuer le rendu d'un objet obtenu par morphing entre deux objets *homéomorphes*.



Vertex Shader :

- Attributs : position+couleur vertex #1, position+couleur vertex #2
- Variables uniformes : matrice MVP, temps

Fragment Shader :

- Entrée : couleur “*smooth*” transmise par le VS