

Animation de personnages

SIA Ensimag 3A

Estelle Duveau

Cours de :

- Marie-Paule Cani,
- François Faure,
- Nicolas Holzschuch,
- Lionel Reveret,
- ...

Plan

1 Introduction

2 Cinématique

- Interpolation
- Modélisation hiérarchique
- Cinématique directe
- Cinématique inverse

3 Animation de surfaces

- Skinning
- Déformations basées sur des fonctions
- Changements de coordonnées
- Morphing

4 Capture de mouvements

- Dispositifs
- Traitement
- Edition
- Capture de mouvements et Physique

5 Conclusion

Plan

1 Introduction

2 Cinématique

- Interpolation
- Modélisation hiérarchique
- Cinématique directe
- Cinématique inverse

3 Animation de surfaces

- Skinning
- Déformations basées sur des fonctions
- Changements de coordonnées
- Morphing

4 Capture de mouvements

- Dispositifs
- Traitement
- Edition
- Capture de mouvements et Physique

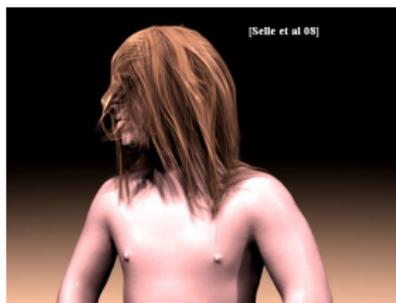
5 Conclusion

Animation 3D pour quoi?

- Crédibilité vs Expressivité



- Réalisme vs Contrôlabilité



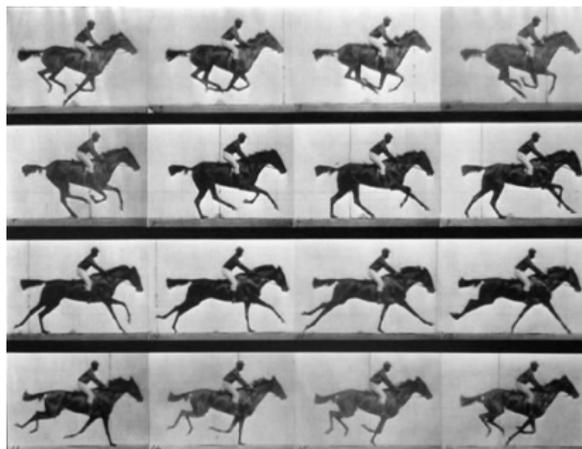
Concepts

- Limites de la simulation physique :
 - ▶ très **complexe** pour des personnages expressifs
 - ▶ manque de **contrôlabilité**
- Héritages de l'animation 3D :
 - ▶ **dessins animés** : représentation du mouvement pour une visualisation 2D
 - ▶ **robotique** : fondements mathématiques du mouvement 3D



iCub (RobotCub Consortium)

Eadweard Muybridge



- Une séquence d'images légèrement différentes peut créer une illusion de mouvement continu
- **Persistence de la vision** \Rightarrow pas de blanc entre les images
- **Fermeture visuelle** \Rightarrow remplit les trous entre deux stimuli visuels

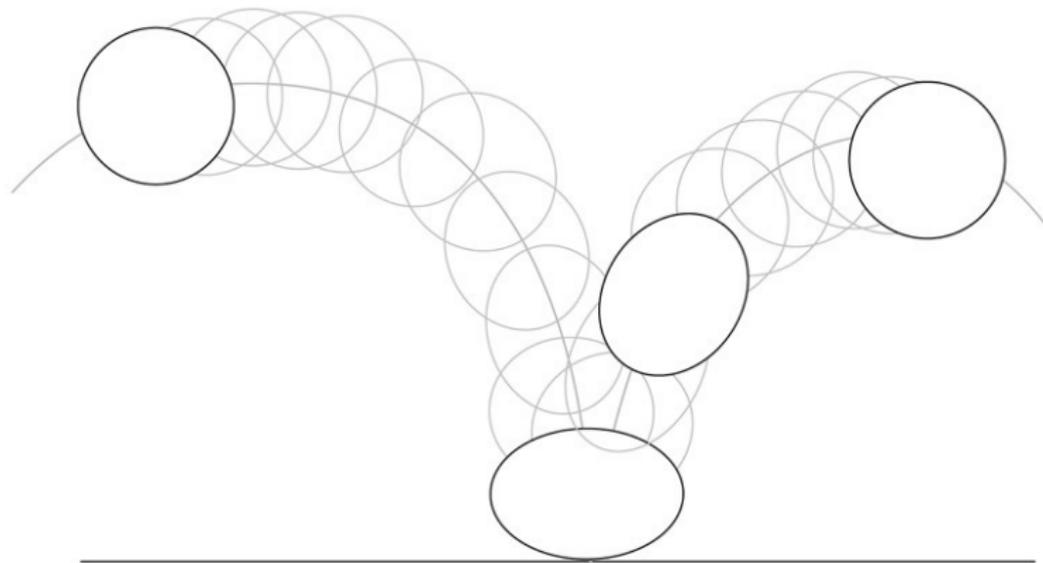
12 principes de Disney

- 1937 : premier long-métrage d'animation
- Disney Studios, 1930s : 12 principes d'animation
- ...toujours valables!



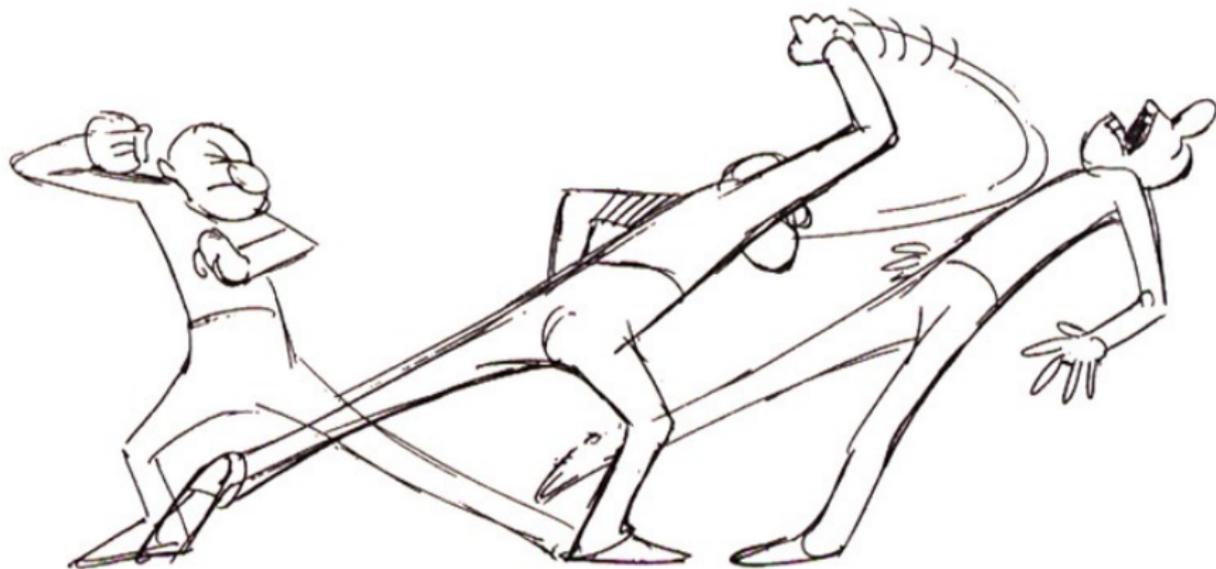
1-Squash and stretch

- Distortion extrême de la forme pour accentuer le mouvement (avec préservation de volume)



2-Anticipation

- Action inverse au mouvement pour accentuer le mouvement



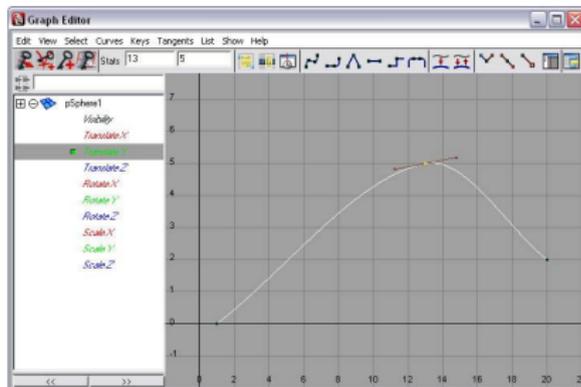
3-Staging

- Prise en compte de la caméra, du cadrage et de la position des personnages les uns par rapport aux autres et par rapport au spectateur pour exprimer au mieux l'action



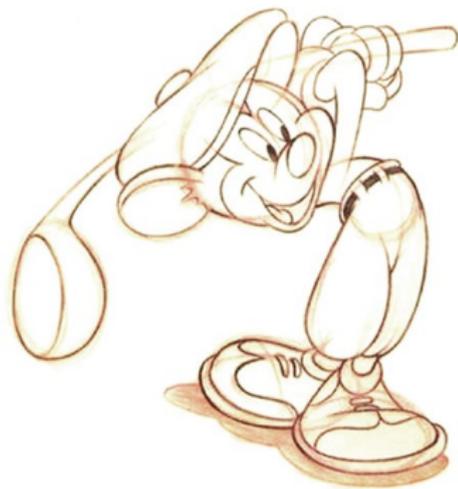
4-Straight ahead action vs pose to pose

- Straight ahead : intuition (stop motion)
- Pose to pose : positions clés



5-Follow through

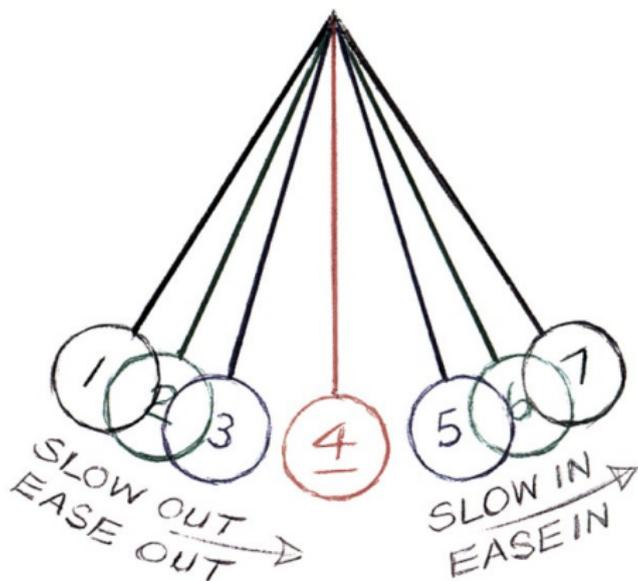
- Rien ne s'arrête brutalement



CANINE CADDY
1941

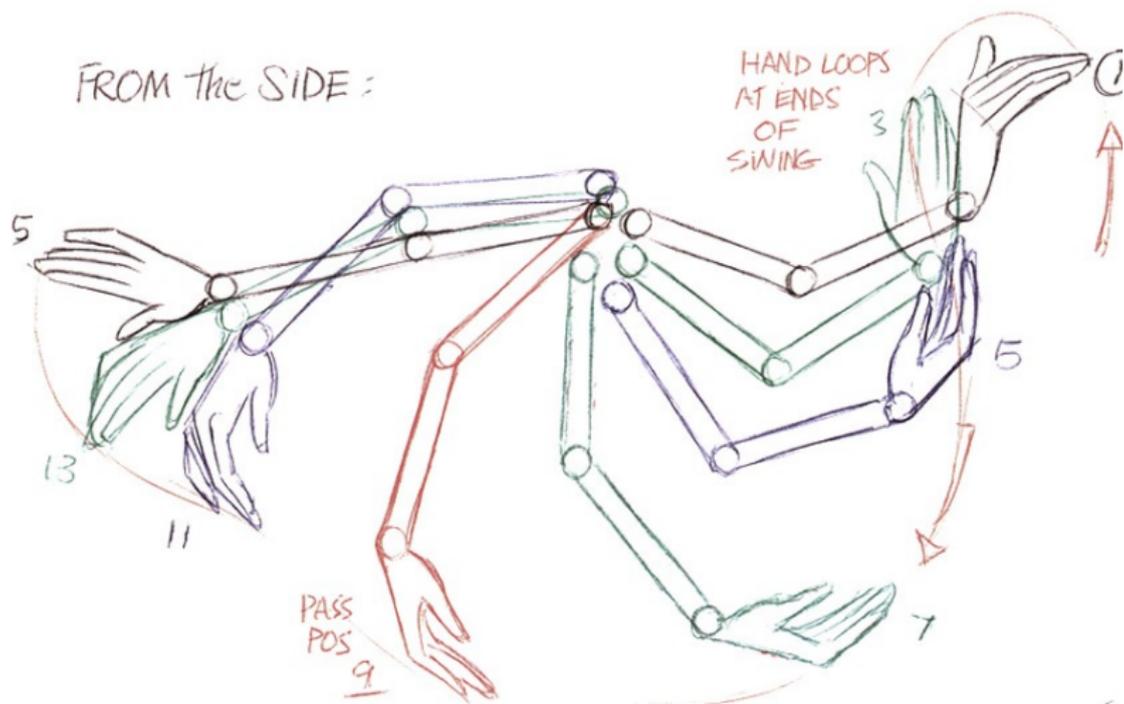
6-Slow in, slow out

- Exagération de l'accélération et de la décélération aux extrêmités de la trajectoire



7-Arcs and pendulum

- Dans le monde réel, rien ne bouge en ligne droite

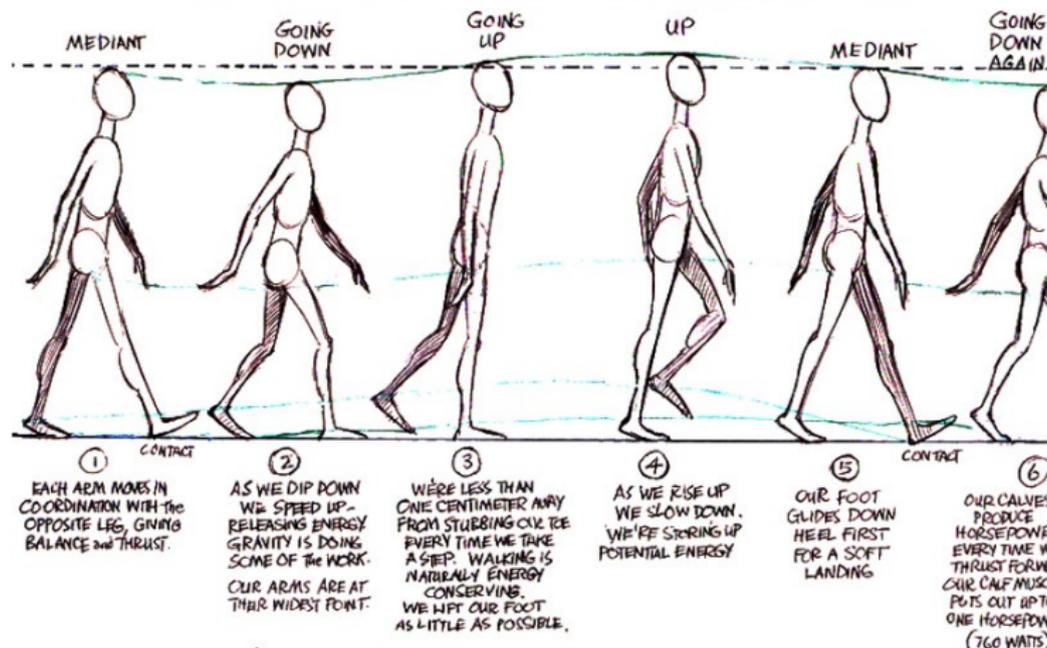


7-Arcs and pendulum

- Dans le monde réel, rien ne bouge en ligne droite

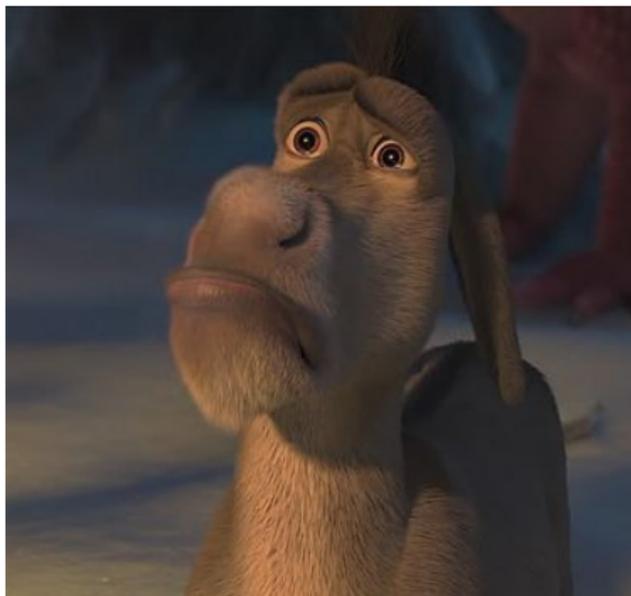
USELESS(?) BUT INTERESTING SCIENTIFIC INFORMATION ON WALKS:

DID YOU KNOW WE PUT A MILLION POUNDS OF WEIGHT ON OUR FEET EACH DAY?



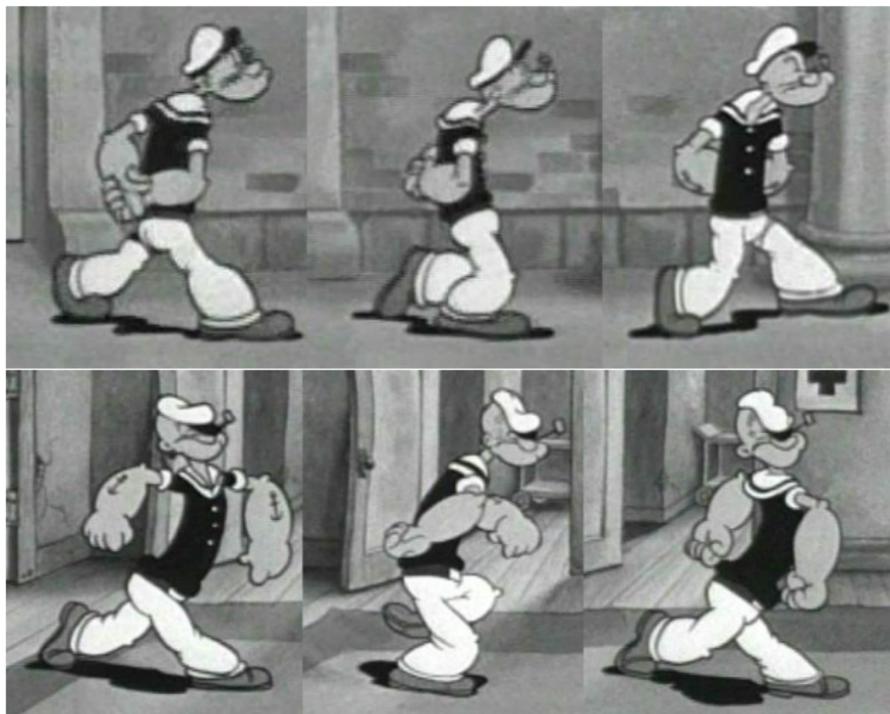
8-Animation secondaire

- Détails, actions qui améliorent une scène



9-Timing and pace

- Durée d'une action, transition entre les actions, rythme
⇒ impact, humour, émotions



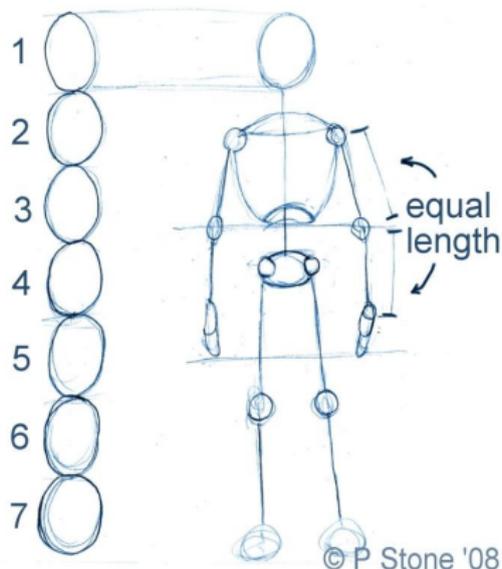
10-Exaggeration

- Augmente la lisibilité des émotions et des actions



11-Solid drawing

- L'artiste doit comprendre les bases de l'anatomie, composition, poids, équilibre, lumière...



12-Appeal

- L'animation doit toujours être créée pour provoquer une réaction voulue chez le spectateur.



Plan

1 Introduction

2 Cinématique

- Interpolation
- Modélisation hiérarchique
- Cinématique directe
- Cinématique inverse

3 Animation de surfaces

- Skinning
- Déformations basées sur des fonctions
- Changements de coordonnées
- Morphing

4 Capture de mouvements

- Dispositifs
- Traitement
- Edition
- Capture de mouvements et Physique

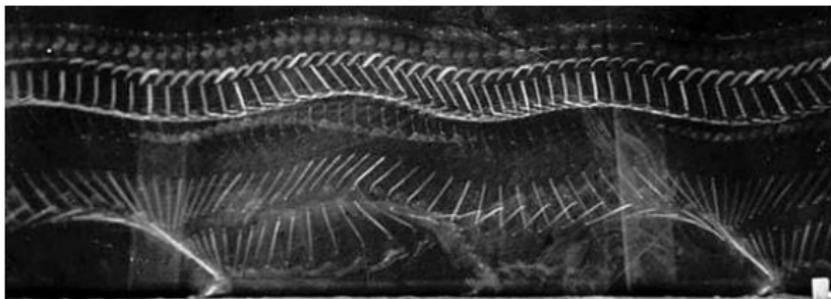
5 Conclusion

Origine

- Etienne-Jules Marey (1830-1904) :
 - ▶ physiologiste, inventeur de la chronophotographie



- ▶ représentation du mouvement par une **courbe d'animation**



- Dessin animé :
 - ▶ animateur confirmé : dessins clés
 - ▶ aides animateurs : dessins intermédiaires pour avoir 30 fps
 - ▶ ⇒ **interpolation**

Plan

1 Introduction

2 Cinématique

- Interpolation
- Modélisation hiérarchique
- Cinématique directe
- Cinématique inverse

3 Animation de surfaces

- Skinning
- Déformations basées sur des fonctions
- Changements de coordonnées
- Morphing

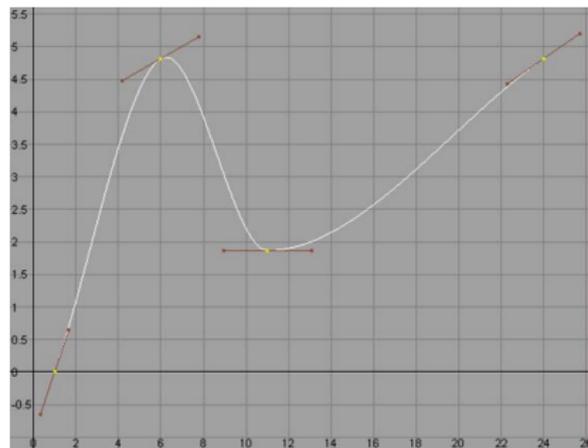
4 Capture de mouvements

- Dispositifs
- Traitement
- Edition
- Capture de mouvements et Physique

5 Conclusion

Interpolation

- **Valeurs clés**
- Compléter ces valeurs clés pour obtenir des **courbes d'animation**
- Valeur scalaire (1D) :
 - ▶ approximation
 - ▶ interpolation
 - ▶ Hermite, Bézier...
- Quid des rotations?



Représentation canonique

- Matrices orthonormales (**SO(3)**)
- 3 degrés de liberté mais 9 paramètres
- $M_0, M_1 \in SO(3) \not\Rightarrow (1 - k)M_0 + kM_1 \in SO(3)$
- Interpolation : interpoler les coefficients un par un puis re-orthonormaliser
- \Rightarrow Coûteux
- \Rightarrow Non adapté

Angles d'Euler

- $(\theta_x, \theta_y, \theta_z)$

$$M = R_{x,\theta_x} R_{y,\theta_y} R_{z,\theta_z}$$

Attention à l'ordre!

- 3 degrés de liberté, 3 paramètres
- \Rightarrow Intuitif
- Interpolation : interpolation de chacun des angles
- \Rightarrow Peu coûteux

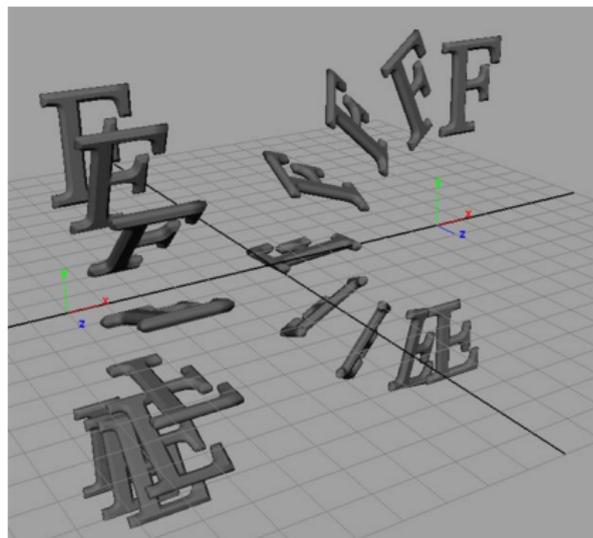
Angles d'Euler

• \Rightarrow Non-unicité de la trajectoire :

▶ $(0, 0, 0) \rightarrow (0, \pi, \pi)$

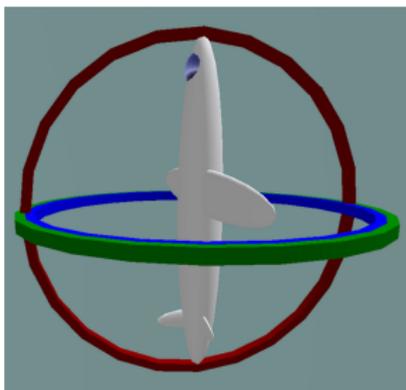
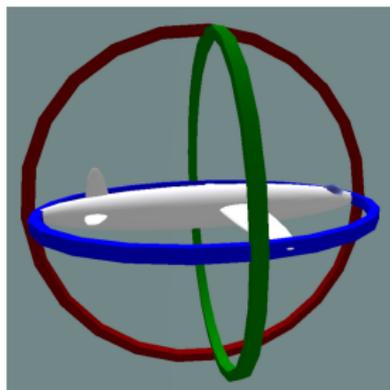
▶ $(0, 0, 0) \rightarrow (\pi, 0, 0)$

▶ Même matrice de transformation :
$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$



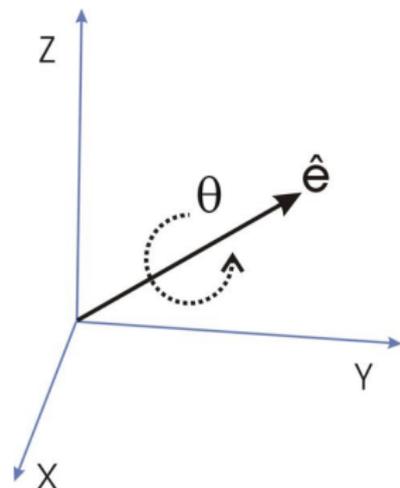
Angles d'Euler

- **Gimbal lock** : perte d'un degré de liberté :



Vecteur rotation

- Toute rotation dans \mathbb{R}^3 est une rotation planaire autour d'un axe
- $V = \theta \hat{e}$ avec \hat{e} unitaire
- 3 degrés de liberté, 4 paramètres
- Comment interpoler?



Quaternions

- Extension des nombres complexes :

$$q = [s, x, y, z] = s + ix + jy + kz$$

$$\text{avec } i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1$$

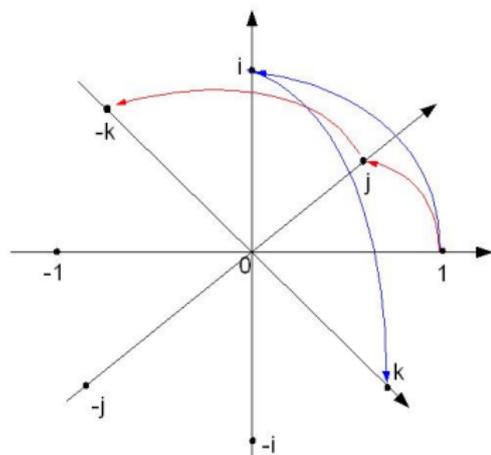
- 3 degrés de liberté, 4 paramètres

- Comme les nombres complexes :

- ▶ $q^* = [s, -x, -y, -z]$

- ▶ $\|q\| = qq^* = s^2 + x^2 + y^2 + z^2$

- ▶ $q^{-1} = q^* / \|q\|^2$



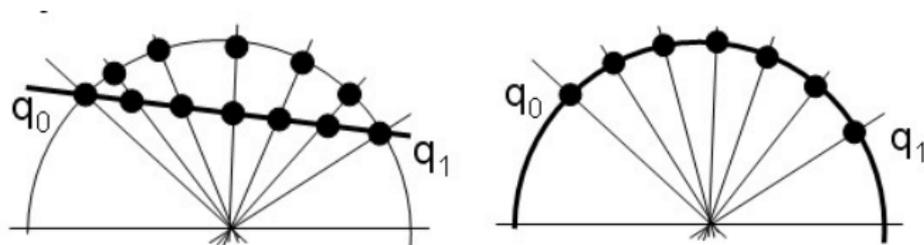
Graphical representation of quaternion units product as 90°-rotation in 4D-space

$$\begin{aligned} ij &= k \\ ji &= -k \\ ij &= -ji \end{aligned}$$

Quaternions et rotations

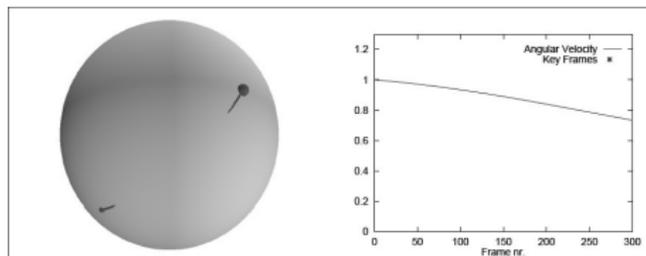
- $\|q\| = 1 \Rightarrow q = [\cos(\theta), \sin(\theta)n]$ avec $n \in \mathbb{R}^3$ unitaire
- Toute rotation dans R^3 peut être représentée par un quaternion :
 - ▶ $x' = R_{\theta,n}x \Leftrightarrow [0x'] = q[0x]q^{-1}$
avec $q = [\cos(\theta/2), \sin(\theta/2)n]$
 - ▶ **composition de rotations = multiplication de quaternions**
- Interpolation :
 - ▶ linéaire \Rightarrow vitesse non-uniforme
 - ▶ sphérique (**slerp**) \Rightarrow mieux!

$$\text{slerp}(q_0, q_1, t) = q_0(q_0^{-1}q_1)^t$$

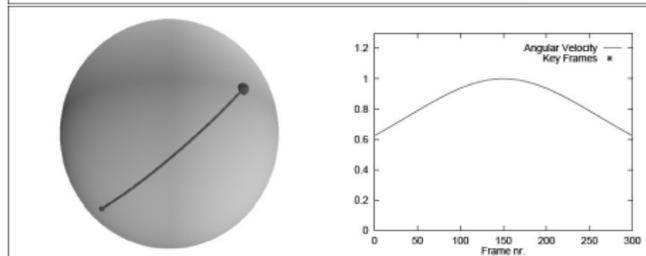


Quaternions et rotations

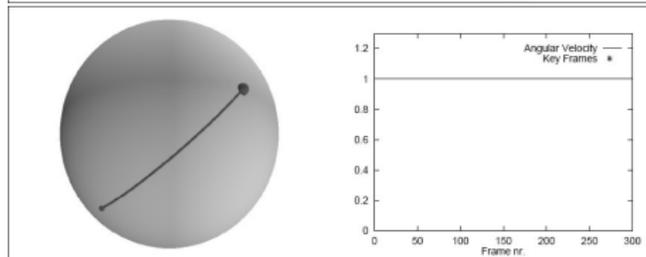
- Interpolation d'Euler linéaire :



- Interpolation linéaire des quaternions :



- Interpolation linéaire sphérique :



[Erik Dam et al. Quaternions, Interpolation and Animation.]

Interpolation

- Permet de passer de valeurs clés aux courbes d'animation
- \Rightarrow Base de l'animation non simulative
- Attention aux **représentations** des éléments à interpoler!
- Rotations :
 - ▶ chaque représentation a ses points forts
 - ★ Matrices : transformations
 - ★ Angles d'Euler : intuitif
 - ★ Vecteur rotation : compact
 - ★ Quaternions : interpolation
 - ▶ Formules pour passer de l'une à l'autre des représentations

Plan

1 Introduction

2 Cinématique

- Interpolation
- **Modélisation hiérarchique**
- Cinématique directe
- Cinématique inverse

3 Animation de surfaces

- Skinning
- Déformations basées sur des fonctions
- Changements de coordonnées
- Morphing

4 Capture de mouvements

- Dispositifs
- Traitement
- Edition
- Capture de mouvements et Physique

5 Conclusion

Origine

- Robotique : chaîne d'articulations rigides
- Objet décomposé en une **hiérarchie de repères**
- Transformation d'un noeud au niveau $j =$ composition des transformations depuis la racine
- La base se déplace, tout suit
 - ▶ le torse se déplace, la tête suit
 - ▶ la tête se déplace, les yeux et le nez suivent.

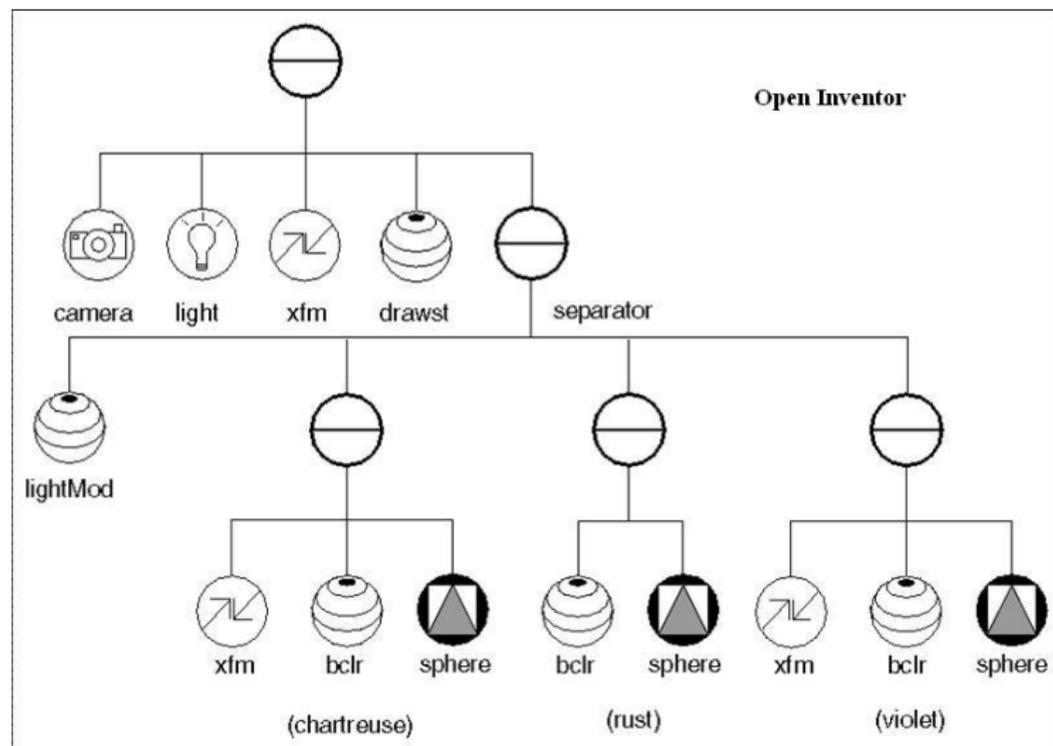


Nao (Aldebaran Robotics)

Graphe de scène

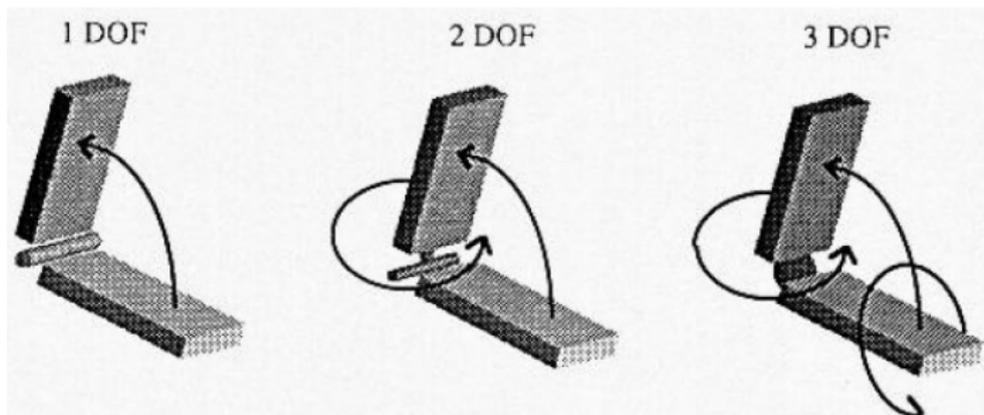
- **Graphe de scène** : noeuds distincts :
 - ▶ caméra,
 - ▶ sources lumineuses,
 - ▶ transformations,
 - ▶ groupes,
 - ▶ surfaces,
 - ▶ matériaux,
 - ▶ ...
- **Objet de la scène** :
 - ▶ transformation en coordonnées locales
 - ▶ modèle simple en coordonnées locales

Graphe de scène



Squelette d'animation - Articulations

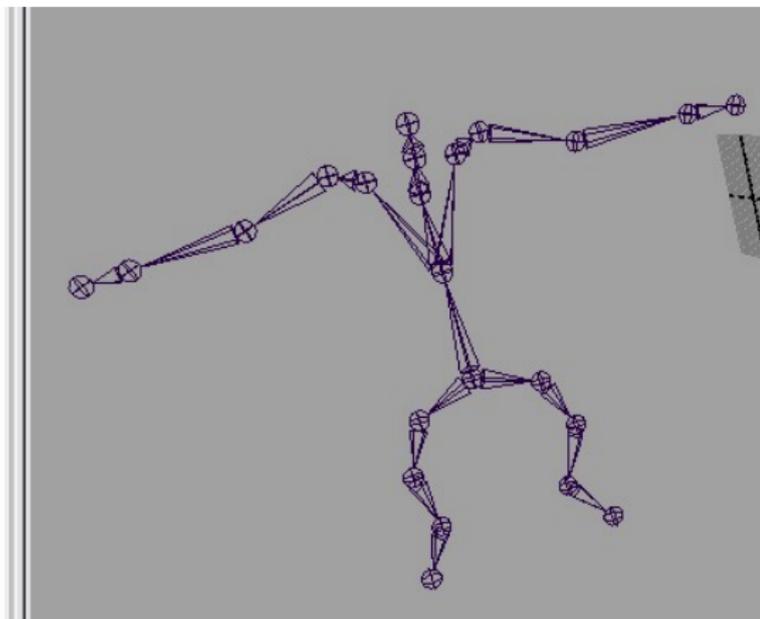
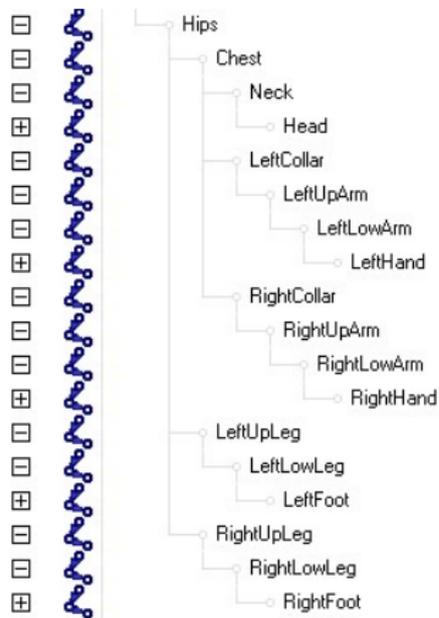
- Hiérarchie de repères **contraints**
- Pas de géométrie, que de solides appelés **os** et des liens appelés **articulations**
- Articulations :
 - ▶ **6 degrés de liberté** (mouvements relatifs indépendants autorisés) : 3 en translation + 3 en rotation
 - ▶ restreignent le mouvement relatif entre les os
 - ▶ permettent de créer la hiérarchie d'os



Squelette d'animation - Hiérarchie

● Hiérarchie :

- ▶ Chaque noeud a un père (sauf noeud racine)
- ▶ Chaque noeud a un ou plusieurs fils
- ▶ $T_{fils} = T_{parent} T_{fils}^{parent}$



Animation d'un modèle hiérarchique

Deux cas :

- mouvement **non-contraint** :

- ▶ hocher la tête,
- ▶ faire un signe de la main,
- ▶ ...
- ▶ ⇒ **cinématique directe**

- mouvement **contraint** :

- ▶ attraper quelque chose,
- ▶ marcher sur le sol,
- ▶ ...
- ▶ ⇒ **cinématique inverse**

Plan

- 1 Introduction
- 2 Cinématique
 - Interpolation
 - Modélisation hiérarchique
 - **Cinématique directe**
 - Cinématique inverse
- 3 Animation de surfaces
 - Skinning
 - Déformations basées sur des fonctions
 - Changements de coordonnées
 - Morphing
- 4 Capture de mouvements
 - Dispositifs
 - Traitement
 - Edition
 - Capture de mouvements et Physique
- 5 Conclusion

Cinématique directe

- **Donnée** = valeurs des paramètres des articulations à un temps donné

$$\theta = (\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, t_1, t_2, \dots)$$

- **Sortie** = position à atteindre M
- On **calcule** $f(\theta) = M$.
- $f(\theta) = R_1(\theta_1)T_1R_2(\theta_2)T_2R_3(\theta_3)T_3\dots M_0$
où M_0 est la position initiale.
- Interpolation des orientations clés
- Problèmes :
 - ▶ contrôle des extrémités
 - ▶ accumulation des erreurs

Plan

1 Introduction

2 Cinématique

- Interpolation
- Modélisation hiérarchique
- Cinématique directe
- **Cinématique inverse**

3 Animation de surfaces

- Skinning
- Déformations basées sur des fonctions
- Changements de coordonnées
- Morphing

4 Capture de mouvements

- Dispositifs
- Traitement
- Edition
- Capture de mouvements et Physique

5 Conclusion

Problème

- Hérité de la robotique
- **Objectif à atteindre** → application de contraintes
- **Donnée** = position à atteindre M
- **Sortie** = valeurs des paramètres des articulations

$$\theta = (\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, t_1, t_2, \dots)$$

- On veut **trouver** θ tel que $f(\theta) = M$
- 2,3 rotations : calcul direct
- $N > 3$ articulations : ?

Difficultés

- **Non-linéarité** à cause des rotations :

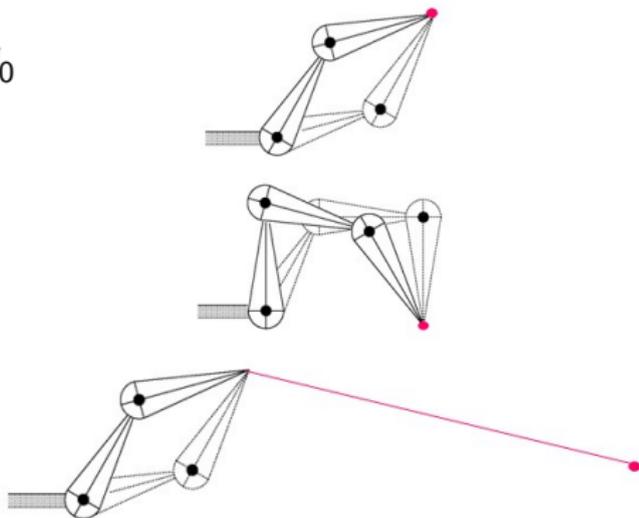
$$f(\theta) = R_1(\theta_1)T_1R_2(\theta_2)T_2\dots M_0$$

- **Non-unicité** :

- ▶ plusieurs solutions
- ▶ intervalle de solutions
- ▶ pas de solution

- **Pas toujours bien conditionné** :

petite différence sur M
 \Rightarrow grande différence sur θ



Linéarisation du problème

- On part d'une valeur de θ et de $f(\theta)$ et on cherche Λ tel que $f(\theta + \Lambda) = M$
- **Linéarisation** du problème :

- ▶ Si une variable :

$$f(\theta + \Lambda) = f(\theta) + f'(\theta)\Lambda + f''(\theta)\Lambda^2 + \dots$$

- ▶ Si plusieurs variables :

$$f(\theta + \Lambda) = f(\theta) + J(\theta)\Lambda + \Lambda^t H(\theta)\Lambda + \dots$$

J = **jacobien** de f , forme linéaire : $J_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial x_j}$

H = **hessien** de f , forme quadratique

Algorithme

- Erreur actuelle : $E = M - f(\theta)$
- On cherche Λ tel que $f(\theta + \Lambda) = M$
- Approximation linéaire (petits déplacements) : $E = J(\theta)\Lambda$
- **Résolution du système linéaire** $\Rightarrow \Lambda$
- Mise-à-jour : $\theta = \theta + \Lambda$
- On recommence : itérations = série de petits déplacements pour atteindre le but

Résolution du système

- Système linéaire : $J\Lambda = E$
- Souvent, système **sous-contraint** :
 - ▶ nombre de contraintes $<$ nombre d'inconnues
 - ▶ J non carrée : taille $m \times n$ (ici, $m=3$)
 - ▶ \Rightarrow **J non-inversible**
- Utilisation du **pseudo-inverse** de J :
 - ▶ si $m > n$: $J^+ = (J^T J)^{-1} J^T$
 - ▶ si $m < n$: $J^+ = J^T (J J^T)^{-1}$
 - ▶ si J carrée et inversible : $J^+ = J^{-1}$
- $J\Lambda = E \Leftrightarrow \Lambda = J^+ E$
- Calcul de J^+ : Singular Value Decomposition

Limite aux articulations

- Important pour le réalisme : respect des **contraintes morphologiques**
- Exemple : l'angle du coude varie sur $[0, \pi]$
- Modification de l'algorithme :
 - ▶ Tester si dépassement pour paramètre i
 - ▶ Annuler paramètre i : en pratique, enlever la colonne correspondante dans J
 - ▶ Recalculer sans i
 - ▶ Vérifier les autres paramètres

Choix de la configuration

- Si $m < n$: plusieurs solutions, certains degrés de liberté non déterminés
- \Rightarrow On peut ajouter une nouvelle **contrainte**
- si $\theta \in \text{Ker}(J)$ (i.e. $J\theta = 0$)
et Λ solution
alors $\Lambda + \theta$ solution (i.e. $J(\theta + \Lambda) = E$)
- Contrainte C :
 - ▶ Projection sur $\text{Ker}(J)$: $C_{proj} = (J^+J - I)C$
 - ▶ Utilisation de $\Lambda = J^+E + C_{proj}$ au lieu de $\Lambda = J^+E$
 - ▶ Exemple : $C = \theta_i - \theta_{i,pref}$: angle de préférence

Bilan

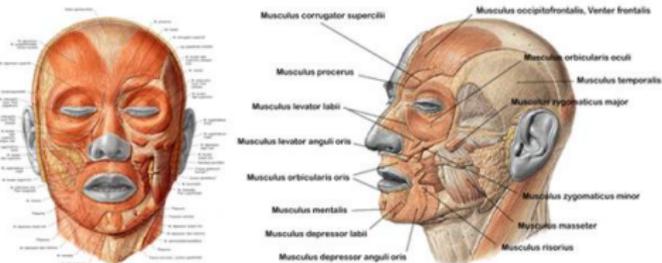
- La cinématique inverse nous permet d'**atteindre un but**
- Le noyau de J nous permet d'atteindre des **buts secondaires**
- Linéarisation : résolution itérative
- Dégénérescences/Instabilité

Plan

- 1 Introduction
- 2 Cinématique
 - Interpolation
 - Modélisation hiérarchique
 - Cinématique directe
 - Cinématique inverse
- 3 Animation de surfaces
 - Skinning
 - Déformations basées sur des fonctions
 - Changements de coordonnées
 - Morphing
- 4 Capture de mouvements
 - Dispositifs
 - Traitement
 - Edition
 - Capture de mouvements et Physique
- 5 Conclusion

Animation de surfaces 3D

- **Squelette d'animation/Modèle visuel**
- En réalité : forme visible composée de **tissus organiques**



- Quel est le but de l'animation 3D?

Avatar



Ubisoft



Animation de surfaces 3D

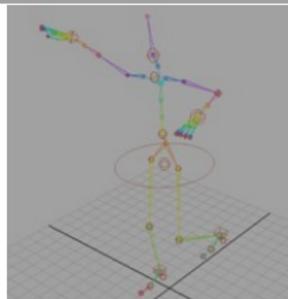
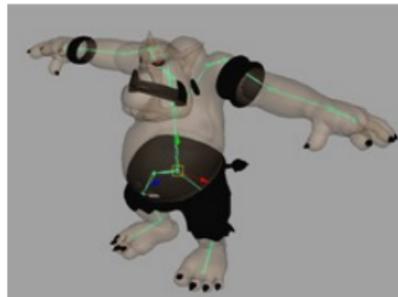
- De quel **niveau de détails** se satisfaire dans l'animation ?
- Souvent, on se satisfait de l'**approximation par une surface 3D** de la réalité :
 - ▶ rapport direct avec la modélisation (forme et texture)
 - ▶ structure légère facile à animer (en temps réel)
- Modèles tous basés sur points de contrôle
⇒ **Déformer un modèle** ⇔ **Agir sur les points de contrôle**

Plan

- 1 Introduction
- 2 Cinématique
 - Interpolation
 - Modélisation hiérarchique
 - Cinématique directe
 - Cinématique inverse
- 3 Animation de surfaces
 - **Skinning**
 - Déformations basées sur des fonctions
 - Changements de coordonnées
 - Morphing
- 4 Capture de mouvements
 - Dispositifs
 - Traitement
 - Edition
 - Capture de mouvements et Physique
- 5 Conclusion

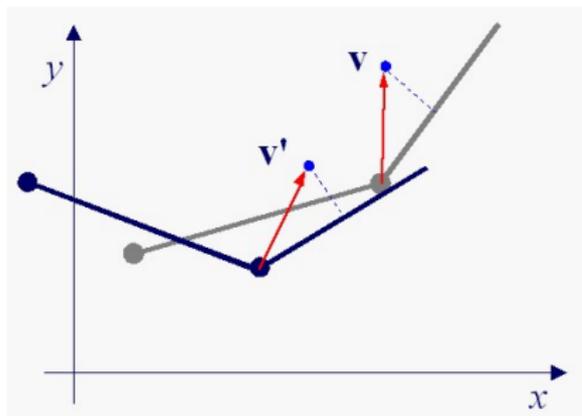
Skinning

- **Modèle 3D (peau) + squelette d'animation**
⇒ comment **attacher** la peau au squelette?
- **Pose au repos** : modèle non déformé
- **Pose animée** : position squelette donnée
⇒ trouver nouvelles positions des sommets du modèle



Principe

- On connaît v dans l'espace du modèle
- On exprime v dans l'espace lié à l'os
- **Le sommet est fixe par rapport à l'os**
- On fait bouger le squelette
- On exprime v dans l'espace du modèle
⇒ nouvelles coordonnées de v
- Position au repos de l'os j : $P_{0,j}$
- Pose actuelle : P_j
- $v' = P_j P_{0,j}^{-1} v$



Sommet influencés par plusieurs os

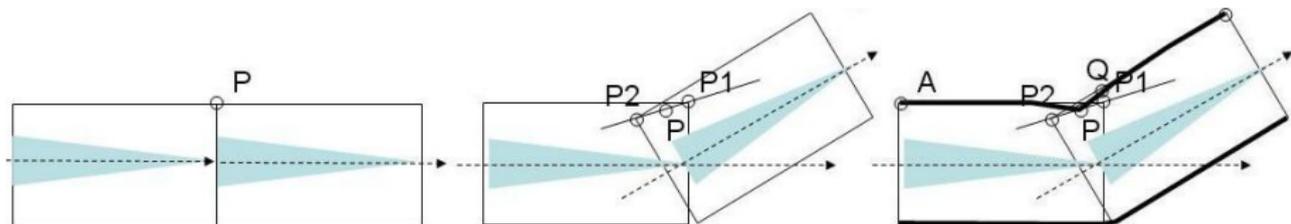
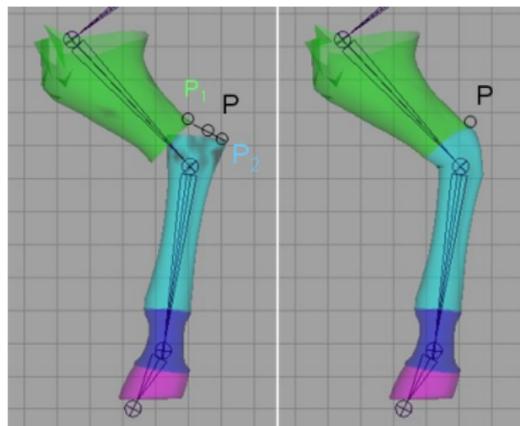
- **Interpolation** des positions

- Si v lié aux os j et k :
$$v' = wv'_j + (1 - w)v'_k$$

- Généralisation :

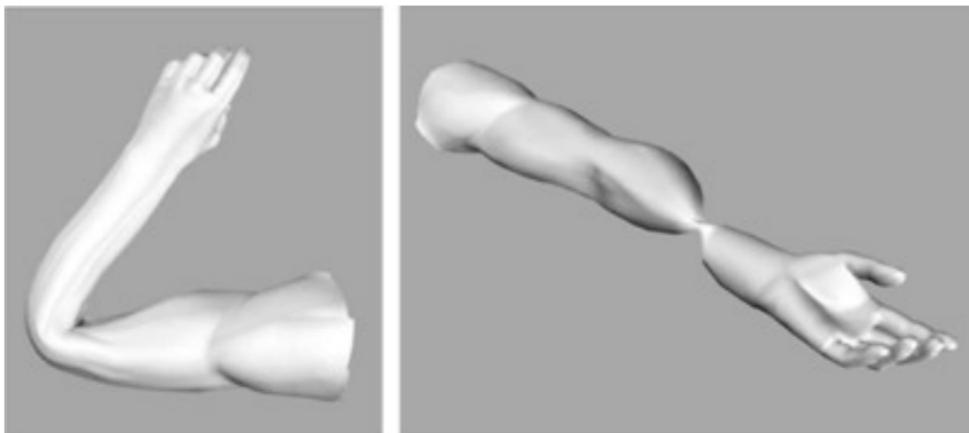
$$v' = \sum_i w_i P_i P_{0,i}^{-1} v$$

avec $\sum_i w_i = 1$



Problèmes

- $v' = Qv$ avec Q transformation **non rigide**



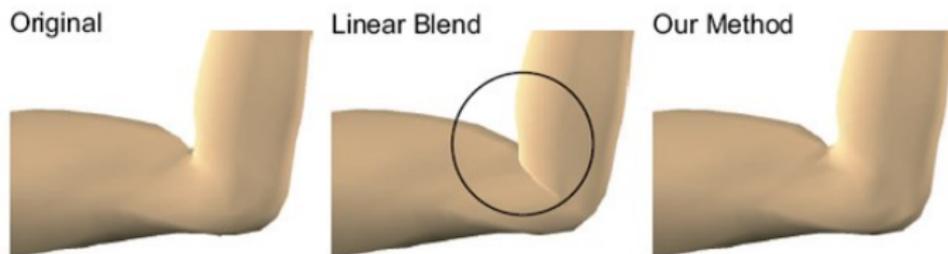
Améliorations - Prédiction

- Skinning = fonction de prédiction [Lewis et al 00] :
 - ▶ entrée = configuration des articulations
 - ▶ sortie = forme 3D



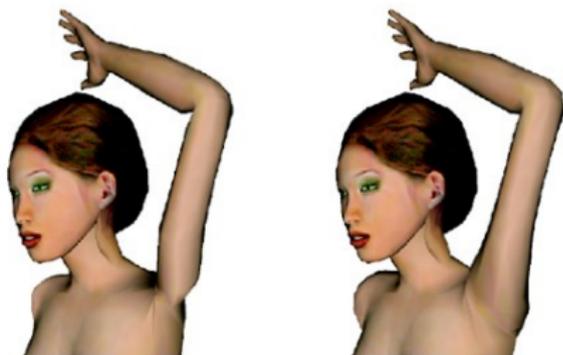
Améliorations - Exemples

- Utilisation d'exemples [Mohr et Gleicher 03] :
 - ▶ incorporer des exemples définis par l'utilisateur
 - ▶ ajouter des articulations et poids en fonction



Améliorations - Quaternions duaux

- Utiliser les quaternions duaux [Kavan et al 07] :
 - ▶ Interpoler les matrices Q ($v' = Qv$)
 - ▶ Le faire tout en maintenant des rotations correctes en utilisant les quaternions duaux



$$\begin{aligned} P &= \sum_i w_i * M_i M^{-1}_{0,i} P_0 \\ &= \left(\sum_i w_i * M_i M^{-1}_{0,i} \right) P_0 \end{aligned}$$

Plan

- 1 Introduction
- 2 Cinématique
 - Interpolation
 - Modélisation hiérarchique
 - Cinématique directe
 - Cinématique inverse
- 3 Animation de surfaces
 - Skinning
 - **Déformations basées sur des fonctions**
 - Changements de coordonnées
 - Morphing
- 4 Capture de mouvements
 - Dispositifs
 - Traitement
 - Edition
 - Capture de mouvements et Physique
- 5 Conclusion

Principe

- Modification **globale** des formes 3D
- Définir une fonction dans l'espace :

$$P \in \mathbb{R}^3 \rightarrow M(P)$$

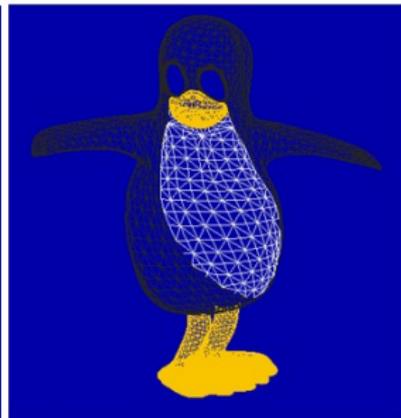
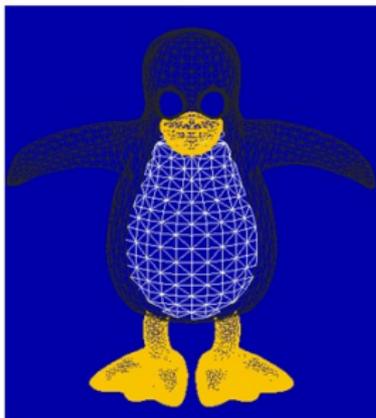
où $M(P)$ est une matrice de transformation

- Action sur un point P :
 - ▶ évaluer M au point P
 - ▶ faire agir M sur P : $P' = M(P)P$

Exemple : twist (rotation non-uniforme)

$$r(z) = \begin{cases} 0 & z \leq z_0 \\ \frac{z - z_0}{z_1 - z_0} \theta_{\max} & z_0 \leq z \leq z_1 \\ \theta_{\max} & z_1 \leq z_0 \end{cases}$$

$$P' = \begin{bmatrix} \cos(r(p_z)) & -\sin(r(p_z)) & 0 \\ \sin(r(p_z)) & \cos(r(p_z)) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix}$$

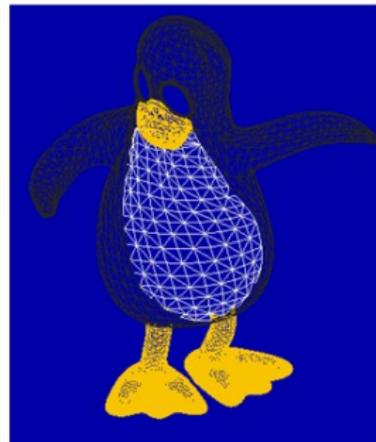
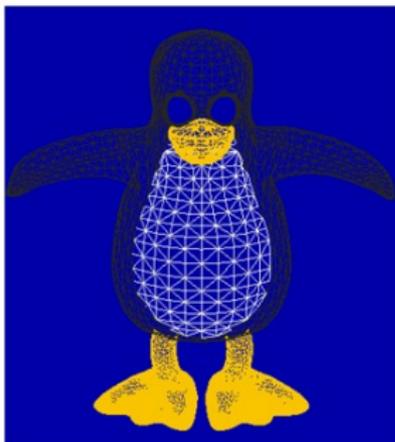


Exemple : vortex

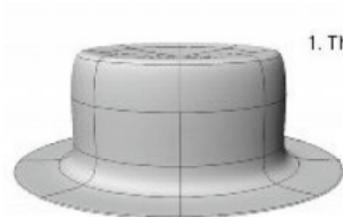
$$r(z) = \begin{cases} 0 & z \leq z_0 \\ \frac{z - z_0}{z_1 - z_0} \theta_{\max} & z_0 \leq z \leq z_1 \\ \theta_{\max} & z_1 \leq z \end{cases}$$

$$\alpha(P) = r(p_z) e^{-(p_x^2 + p_y^2)}$$

$$P' = \begin{bmatrix} \cos(\alpha(P)) & -\sin(\alpha(P)) & 0 \\ \sin(\alpha(P)) & \cos(\alpha(P)) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix}$$



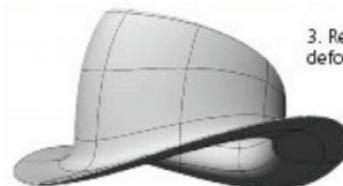
Exemple : combinaison



1. The original hat



2. Result of a deformation (bend)



3. Result of a second deformation (twist)



4. Muting the Bend yields a twist.

Bilan

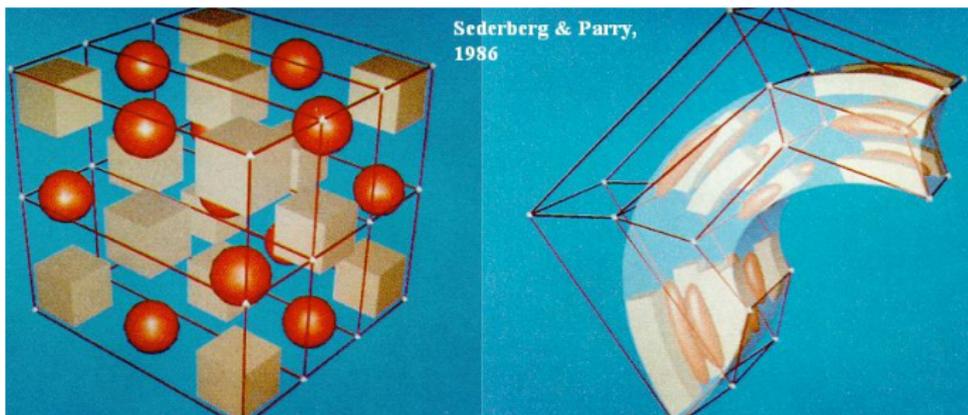
- Avantages :
 - ▶ pratique
 - ▶ simple
- Inconvénients :
 - ▶ pas de contrôle fin des déformations
 - ▶ le modèle peut se recouper

Plan

- 1 Introduction
- 2 Cinématique
 - Interpolation
 - Modélisation hiérarchique
 - Cinématique directe
 - Cinématique inverse
- 3 Animation de surfaces
 - Skinning
 - Déformations basées sur des fonctions
 - **Changements de coordonnées**
 - Morphing
- 4 Capture de mouvements
 - Dispositifs
 - Traitement
 - Edition
 - Capture de mouvements et Physique
- 5 Conclusion

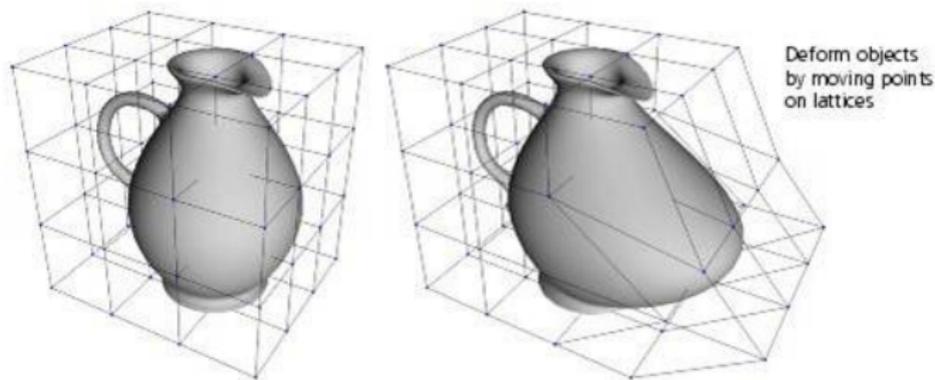
Free-form deformations - Principe

- **Déformer l'espace** autour du modèle
- Maillage de points de contrôle : le modèle est plongé dans du caoutchouc 3D
- Déformer le maillage
- L'espace suit le maillage



Free-form deformations - Détails

- Parallélépipède de l'espace (S,T,U)
- **Paramétrisation locale** : conversion $(x,y,z) \rightarrow (s,t,u)$
- Points de contrôle P_{ijk}
- Déplacement des points de contrôle
- Nouvelle position (x',y',z') en fonction de (s,t,u)



Free-form deformations - Plongement

- Paramétrisation locale :

$$M = M_0 + sS + tT + uU$$

$$s = \frac{T \times U \cdot (M - M_0)}{T \times U \cdot S}$$

$$t = \frac{S \times U \cdot (M - M_0)}{S \times U \cdot T}$$

$$u = \frac{S \times T \cdot (M - M_0)}{S \times T \cdot U}$$

- Points de contrôle : par ex, régulier :

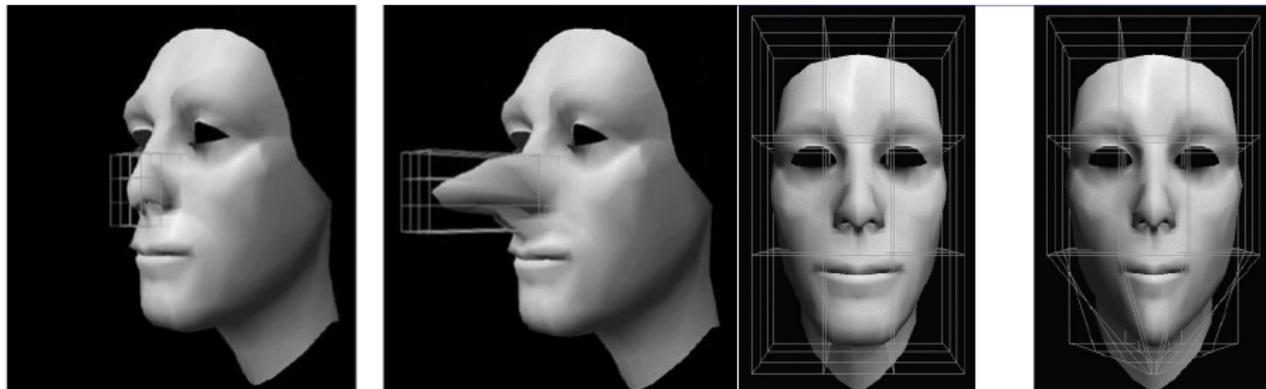
$$P_{ijk} = M_0 + \frac{i}{i_{\max}} S + \frac{j}{j_{\max}} T + \frac{k}{k_{\max}} U$$

Free-form deformations - Plongement

- Nouvelle position :

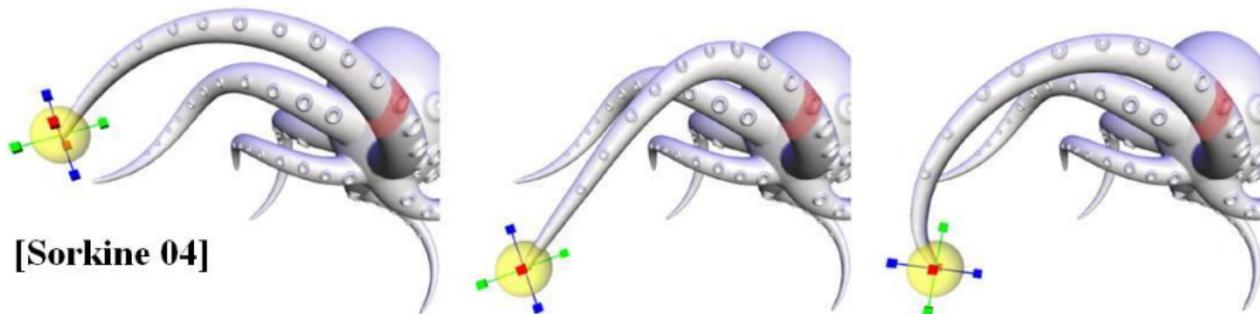
$$M_{FFD} = \sum_{i=0}^{i_{max}} \sum_{j=0}^{j_{max}} \sum_{k=0}^{k_{max}} B_i^{i_{max}}(s) B_j^{j_{max}}(t) B_k^{k_{max}}(u) P_{ijk}$$

avec B polynôme de Bernstein



Laplacian mesh edition - Principe

- Animation de personnages sans squelette
- Ensemble de sommets **déformés localement** tout en préservant les détails
- Basée sur la **géométrie différentielle discrète**



Laplacian mesh edition - Détails

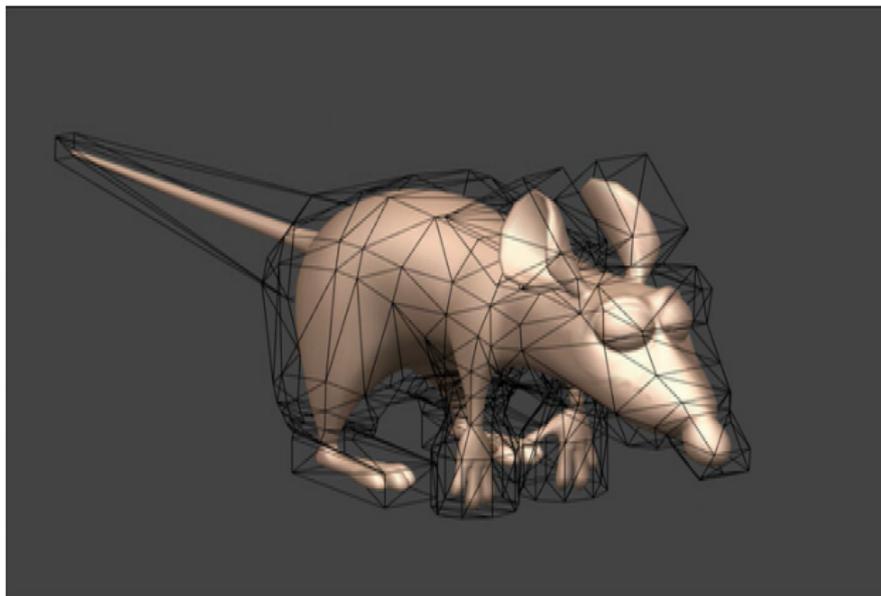
- Chaque coordonnée de sommet est remplacée par la différence avec ses voisins : $D = LV$ (L : poids)
- Ajout des contraintes : ajout de lignes à L et D : L' et D'
- Reconstruction de V par approximation : $V' = \operatorname{argmin}_V (\|L'V - D'\|)$

Laplacian Mesh Editing

A short editing session
with the *Octopus*

Autres systèmes de coordonnées

- Coordonnées harmoniques [DeRose et al 07]
- Coordonnées de Green [Lipman et al 08]
- Coordonnées mean-value, ...



Plan

1 Introduction

2 Cinématique

- Interpolation
- Modélisation hiérarchique
- Cinématique directe
- Cinématique inverse

3 Animation de surfaces

- Skinning
- Déformations basées sur des fonctions
- Changements de coordonnées
- **Morphing**

4 Capture de mouvements

- Dispositifs
- Traitement
- Edition
- Capture de mouvements et Physique

5 Conclusion

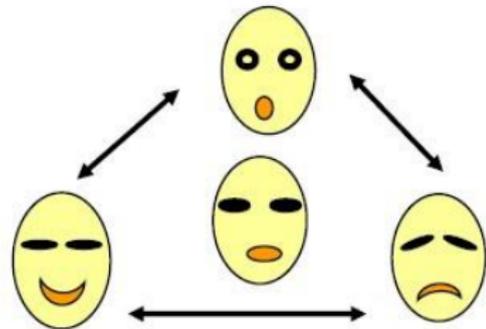
Principe

- Interpolation de **formes clés**
- Surtout pour animation faciale
- **Interpolation temporelle** : modéliser et stocker toutes les keyframes

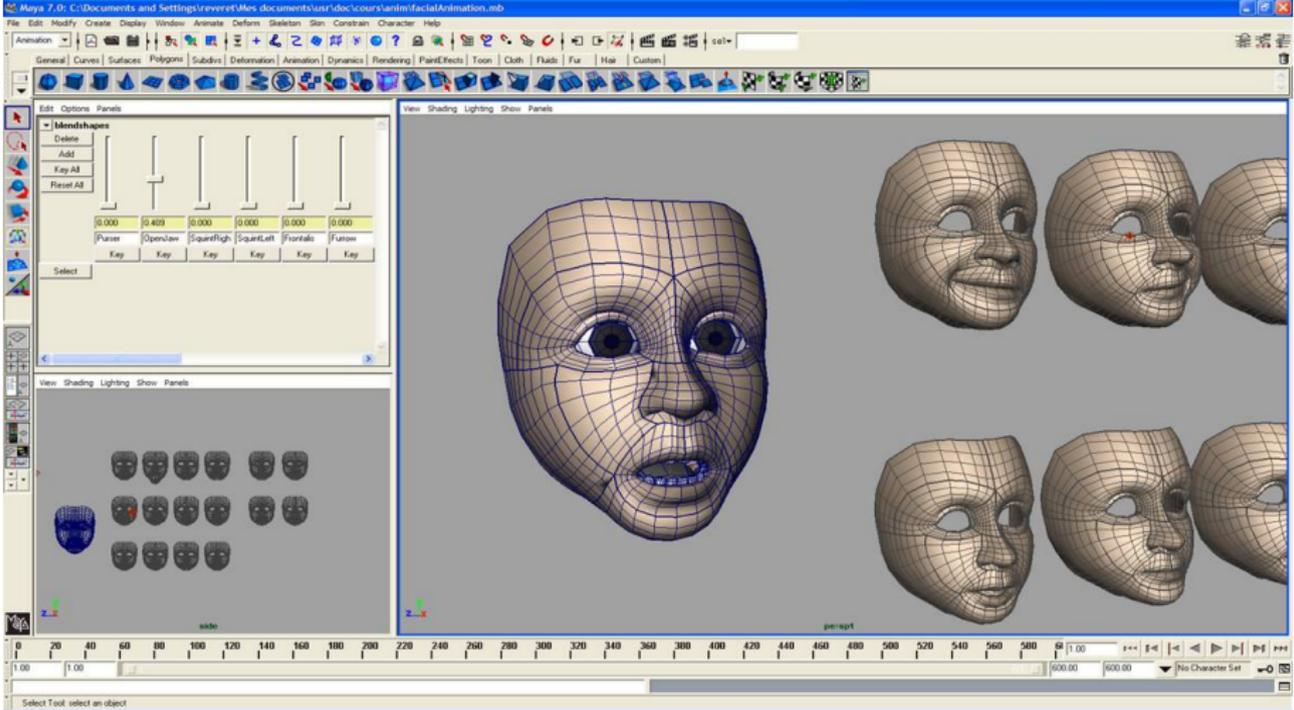


Interpolation multi-cibles

- **Blendshapes**
- Modéliser des visages extrêmes à partir d'un visage neutre
⇒ **formes de références**
- La forme 3D pour une key-frame donnée est une **combinaison linéaire** des formes de références
- Chaque sommet est l'interpolation linéaire de ce sommet aux key-frames

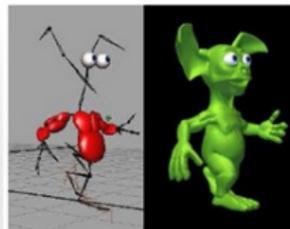
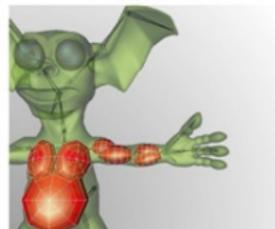
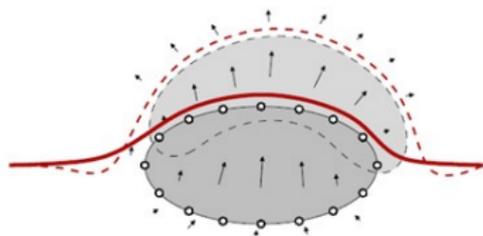


Blenshapes



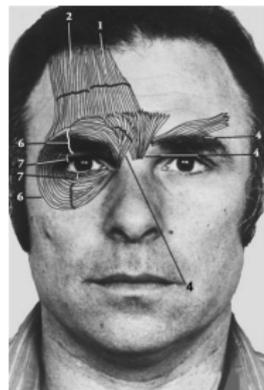
Animation de surfaces - Questions ouvertes

- **Préservation de volume?** [Angelidis 07]



- **Animation faciale** : 2 domaines principaux :

- ▶ **expressions** : toute expression est une combinaison d'expressions de base communes à tout homme [Ekman 75]
- ▶ **conversation** : perception visuelle de la production de paroles (**lip-synching**)
 - ★ problème difficile
 - ★ solution courante : utilisation de **visèmes** (p,b,m/t,v)
 - ★ effet de **co-articulation**



Plan

- 1 Introduction
- 2 Cinématique
 - Interpolation
 - Modélisation hiérarchique
 - Cinématique directe
 - Cinématique inverse
- 3 Animation de surfaces
 - Skinning
 - Déformations basées sur des fonctions
 - Changements de coordonnées
 - Morphing
- 4 Capture de mouvements
 - Dispositifs
 - Traitement
 - Edition
 - Capture de mouvements et Physique
- 5 Conclusion

Motivations

- Origine : marionnettes :
 - ▶ J.Henson, The Muppet Show, années 80 : contrôle à distance avec la capture des gestes du marionnettiste
 - ▶ Tippett Studio, Jurassic Park, 1992 : robotique inverse, le mouvement est généré par un moteur électrique
- But :
 - ▶ **capturer** les mouvements et postures du monde réel
 - ▶ **extraire** les données pertinentes
 - ▶ **plaquer** les mouvements sur une créature virtuelle



Plan

- 1 Introduction
- 2 Cinématique
 - Interpolation
 - Modélisation hiérarchique
 - Cinématique directe
 - Cinématique inverse
- 3 Animation de surfaces
 - Skinning
 - Déformations basées sur des fonctions
 - Changements de coordonnées
 - Morphing
- 4 **Capture de mouvements**
 - **Dispositifs**
 - Traitement
 - Edition
 - Capture de mouvements et Physique
- 5 Conclusion

Systèmes magnétiques

- Fonctionnement :

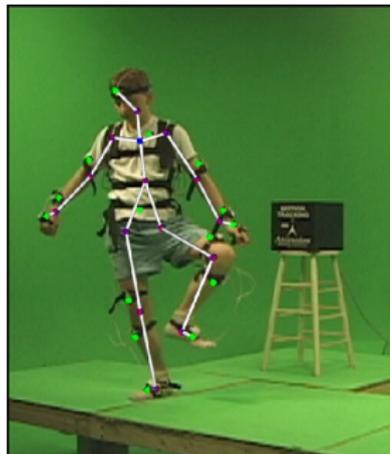
- ▶ source et capteurs émettent et reçoivent des champs magnétiques
- ▶ unité de contrôle électronique calcule les positions et les orientations 6D
- ▶ échantillonnage : 15-120Hz
- ▶ Nombre de capteurs : 10-20
- ▶ Coût : 40000\$

- Avantages :

- ▶ pas d'occlusions
- ▶ donne position et orientation
- ▶ pas beaucoup de calibration
- ▶ peu cher

- Inconvénients :

- ▶ perturbé par métal
- ▶ champ d'action réduit :
10-15m²
- ▶ échantillonnage



Systèmes embarqués

- Fonctionnement :
 - ▶ gyroscopes,
 - ▶ accéléromètres
- Avantages :
 - ▶ pas d'occlusions
 - ▶ taille : jusqu'à 5mm^3
 - ▶ sans fil
- Inconvénients :
 - ▶ problèmes de dérive
 - ▶ signal difficile à calibrer

Nintendo Wii



Systèmes mécaniques

- Fonctionnement :
 - ▶ Exemples : exo-squelette, gant
- Avantages :
 - ▶ très fiable
- Inconvénients :
 - ▶ encombrant



Gypsy Motion Capture System

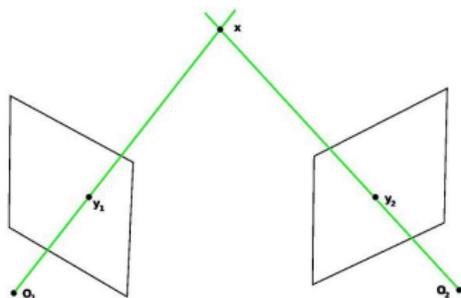


AnthroTronix Acceleglove

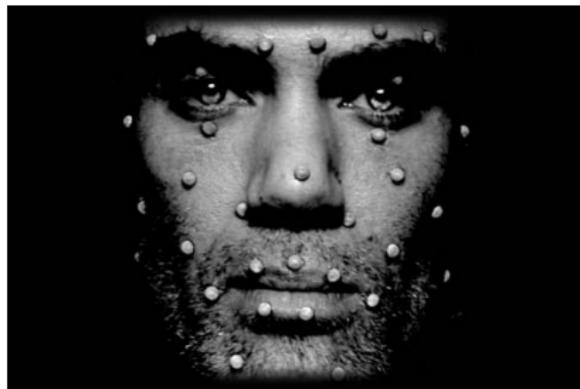
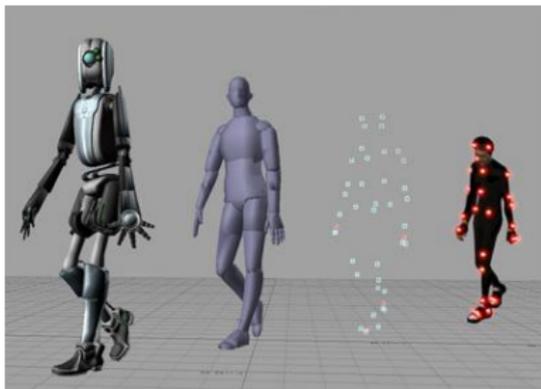
Systèmes optiques - Fonctionnement

- Fonctionnement :

- ▶ marqueurs + caméras (1 pour visage, 2-6 pour corps)
- ▶ post-traitement des images : **tracking** = image matching + **triangulation**.
- ▶ positions 3D des marqueurs
- ▶ **marqueurs actifs** : chaque marqueur encodé par une impulsion LED
- ▶ **marqueurs passifs** : stickers ou petites sphères rétro-réfectifs
- ▶ échantillonnage : 100-250Hz
- ▶ nombre de marqueurs : 20-30 marqueurs situés aux points d'intérêts
- ▶ coût : 100000\$



Systèmes optiques - Exemples



Systèmes optiques - Evaluation

- Avantages :

- ▶ liberté de mouvement, grandes zones
- ▶ échantillonnage
- ▶ marqueurs actifs : pas d'ambiguïté entre les marqueurs
- ▶ marqueurs passifs : ajout de marqueurs faciles

- Inconvénients :

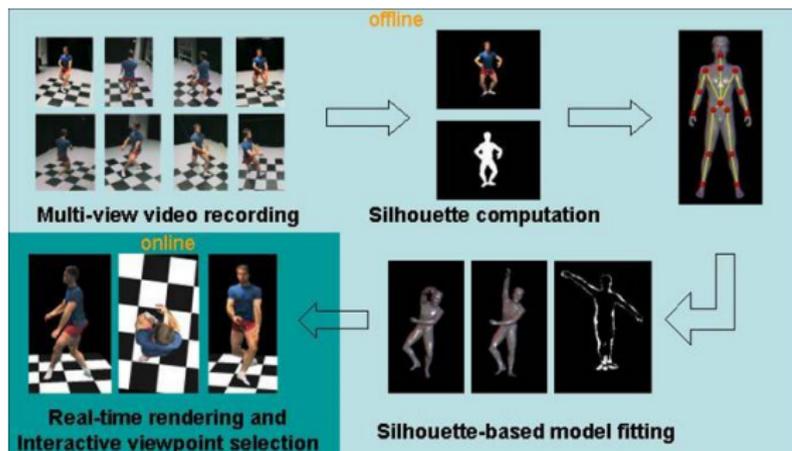
- ▶ occlusions
- ▶ cher
- ▶ seulement positions
- ▶ calibration
- ▶ marqueurs actifs : nombre de marqueurs limité
- ▶ marqueurs passifs : ambiguïté entre les marqueurs

Au delà des marqueurs

- Scanner avec **lumière structurée** [Zhang et al 04],



- Silhouettes** et enveloppe visuelle [Carranza et al 03]



cf : cours génération de contenu

Plan

- 1 Introduction
- 2 Cinématique
 - Interpolation
 - Modélisation hiérarchique
 - Cinématique directe
 - Cinématique inverse
- 3 Animation de surfaces
 - Skinning
 - Déformations basées sur des fonctions
 - Changements de coordonnées
 - Morphing
- 4 Capture de mouvements
 - Dispositifs
 - **Traitement**
 - Edition
 - Capture de mouvements et Physique
- 5 Conclusion

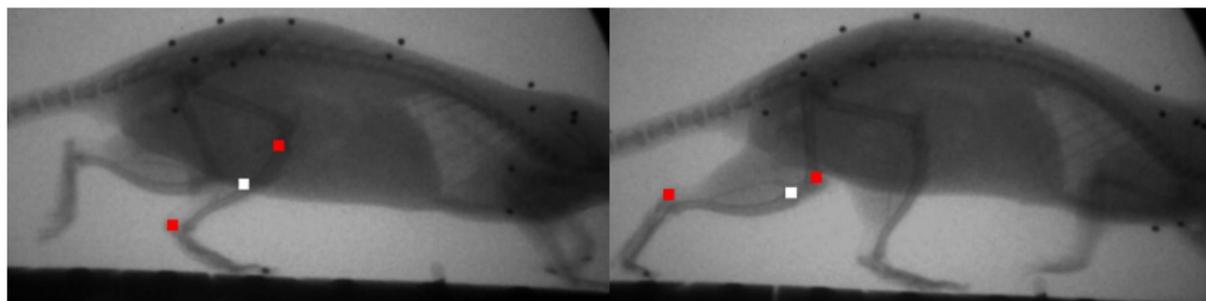
Des données à l'animation

- **But** : trouver les rotations 3D définissant la pose d'un squelette 3D
⇒ animer la hiérarchie en fonction des données
- Si en entrée, mesure de la rotation 3D (par rapport au monde)
⇒ déduire (de manière directe) les rotations relatives
- Si en entrée, positions 3D
⇒ au moins 3 points pour retrouver les 6 degrés de liberté d'une articulation

Traitement des données

● Problèmes :

- ▶ erreurs inhérentes au matériel : capteurs magnétiques, calibration
- ▶ erreurs inhérentes à la méthode : peau attachée de manière non rigide aux os



● Nettoyage des données :

- ▶ filtrer le bruit
- ▶ compenser la perte des marqueurs
- ▶ ...

- Grand choix de techniques
- Correction des données nécessaires
- Problèmes ouverts :
 - ▶ données bruitées,
 - ▶ contraintes (pied qui glisse)
 - ▶ particuliers aux marqueurs optiques passifs :
 - ★ identifier les marqueurs
 - ★ occlusion/croisement de marqueurs
 - ★ perte et récupération de marqueurs

Plan

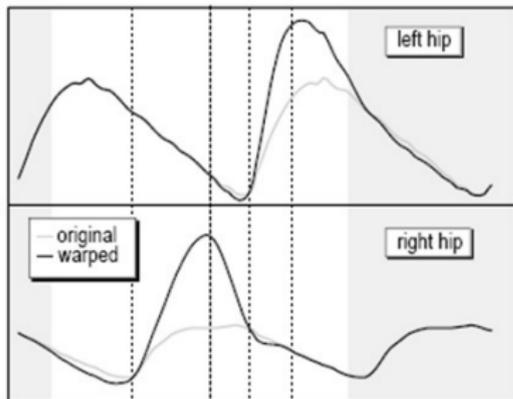
- 1 Introduction
- 2 Cinématique
 - Interpolation
 - Modélisation hiérarchique
 - Cinématique directe
 - Cinématique inverse
- 3 Animation de surfaces
 - Skinning
 - Déformations basées sur des fonctions
 - Changements de coordonnées
 - Morphing
- 4 **Capture de mouvements**
 - Dispositifs
 - Traitement
 - **Edition**
 - Capture de mouvements et Physique
- 5 Conclusion

Besoin

- Clip du mouvement limité à la séance de capture
- A partir de **données originales** (marche d'un acteur sur sol plat) : on peut vouloir ;
 - ▶ **éditer** le mouvement (marche plus rapide),
 - ▶ le **combiner** avec d'autres données (marche tête baissée),
 - ▶ ajouter des **contraintes** (marche sur terrain accidenté),
 - ▶ le **concaténer** avec un autre (marche puis course),
 - ▶ **réagir** à de l'inattendu (jeux vidéos)
- ⇒ Besoin de modifier les données sans détruire **le naturel du mouvement**

Motion warping

- Déformation du signal



Warp: $C(t) \Rightarrow C'(t')$

Time warp : $t = g(t')$

Curve warp: $C'(t) = a(t)C(t) + b(t)$

1. Choose key-frame
2. Edit pose $C'(t_i)$ at key-frame
3. Solve for $a(t_i)$ xor $b(t_i)$
4. Interpolate $a(t)$ and $b(t)$

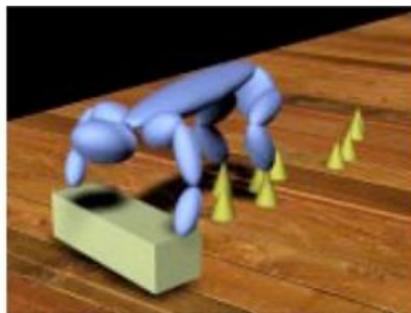
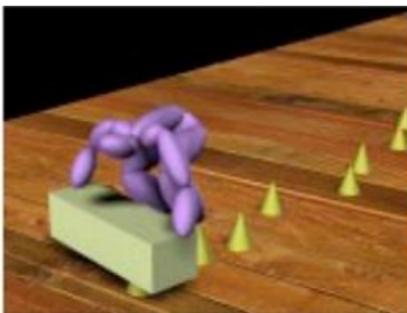
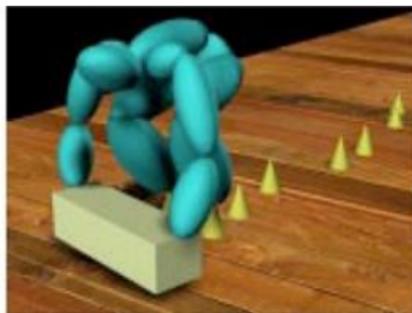
[Popovic and Witkin, 95]

Motion signal processing

- Basses fréquences = mouvement de base
- Hautes fréquences = bruit, emotion
- **Capture de style** : conserver le style et le réalisme
⇒ grande importance des hautes fréquences
- ⇒ Possibilité de mélanger 2 mouvements

Motion re-targetting

- Ajout de **contraintes** morphologiques, physiques, d'objectifs
- Minimisation :
 - ▶ Objectif : proche du mouvement original
 - ▶ Contraintes : tout en respectant les contraintes
 - ▶ Initialisation : les données de capture de mouvement



[Gleicher, 98]

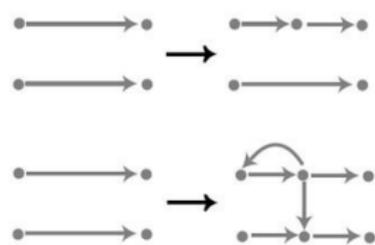
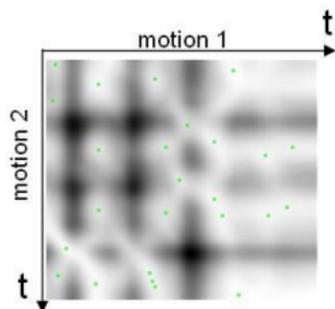
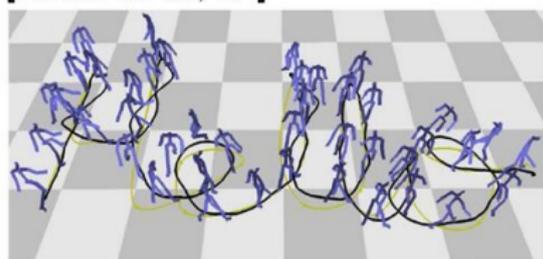
Motion re-use - Origine

- A partir de 2002, bases de données massives de capture de mouvement
 - ▶ initiative de CMU
 - ▶ 2605 motion clips catégorisés
 - ▶ gratuit pour la recherche

Motion re-use - Motion graph

- Transition/mélange entre 2 segments de mouvement
- **Métrique entre 2 frames** \Rightarrow trouver le meilleur chemin

[Kovar et al., 02]



[Arikan et al., 03]

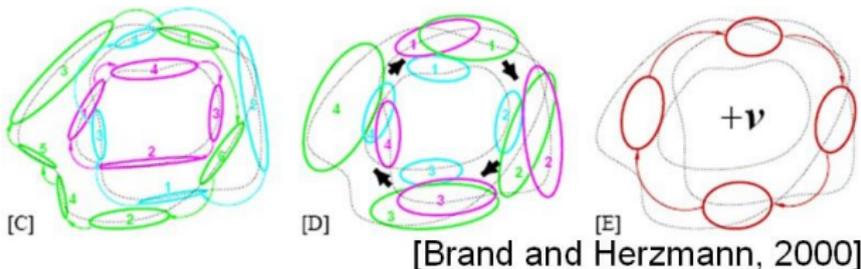


[Treuille et al., 07]



Motion re-use - Méthodes statistiques

- Réduction du nombre de degrés de liberté
- Optimisation dans le nouvel espace étant donné des contraintes définies par l'utilisateur



Besoin

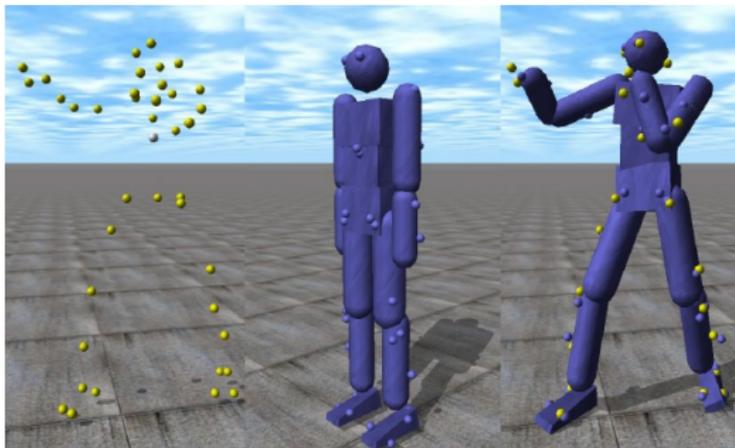
- Clip du mouvement limité à la séance de capture
- A partir de **données originales** (marche d'un acteur sur sol plat) : on peut vouloir ;
 - ▶ **éditer** le mouvement (marche plus rapide),
 - ▶ le **combiner** avec d'autres données (marche tête baissée),
 - ▶ ajouter des **contraintes** (marche sur terrain accidenté),
 - ▶ le **concaténer** avec un autre (marche puis course),
 - ▶ **réagir** à de l'inattendu (jeux vidéos)
- ⇒ Besoin de modifier les données sans détruire **le naturel du mouvement**

Plan

- 1 Introduction
- 2 Cinématique
 - Interpolation
 - Modélisation hiérarchique
 - Cinématique directe
 - Cinématique inverse
- 3 Animation de surfaces
 - Skinning
 - Déformations basées sur des fonctions
 - Changements de coordonnées
 - Morphing
- 4 Capture de mouvements
 - Dispositifs
 - Traitement
 - Edition
 - Capture de mouvements et Physique
- 5 Conclusion

Modèle physique

- Plaquer des marqueurs optiques sur de la physique
- Modèle physique du personnage : articulation = ressort angulaire
- Marqueurs 3D attachés par des **ressorts virtuels** au modèle
- \Rightarrow Le modèle physique sert de **filtre de réalisme**



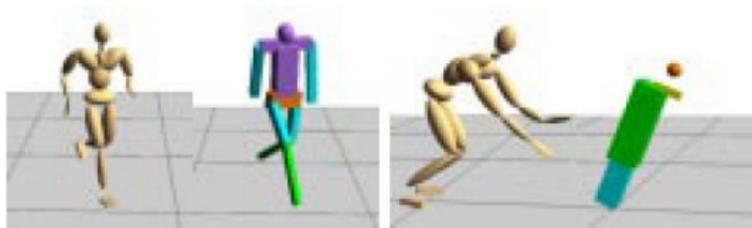
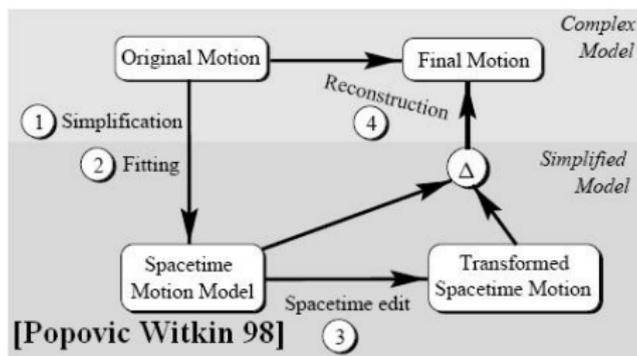
[Zordan et al 03]

Space-time constraints

- Witkin et Kass 88 : la simulation physique manque de contrôle
⇒ re-écrire les lois de la physique comme une optimisation
- **Exemple** : trajectoire d'une particule avec une force de propulsion f entre 2 positions a et b :
 - ▶ $m \frac{d^2x}{dt^2} - f - mg = 0$
 - ▶ Discrétisation : $x_0 = x(t_0) = a$, $x_n = x(t_n) = b$, $x_i = x(t_0 + \frac{i}{n}(t_n - t_0))$
 - ▶ Trouver f_i , x_i tel que
 - ★ $\sum_{i=1}^n f_i$ soit minimal
 - ★ $m \frac{x_{i+1} - 2x_i + x_{i-1}}{h^2} - f_i - mg = 0 \forall i$
 - ★ $x_0 = a$ et $x_n = b$
- Simulation physique entre 2 positions clés qui sont des contraintes de pose \Leftrightarrow key-frames plus intuitives

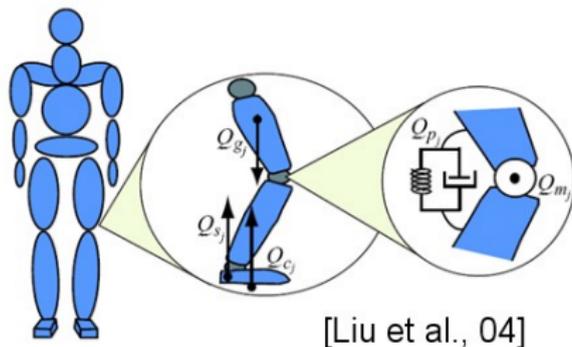
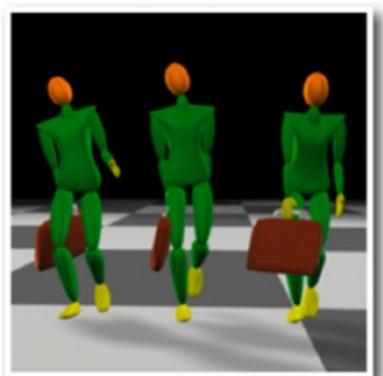
Space-time constraints et mocap 1/2

- Les key-frames sont prises comme contraintes de pose
- Estimation des couples sur un modèle physique simplifié
- **Edition du mouvement** en changeant un paramètre physique



Space-time constraints et mocap 2/2

- Les key-frames sont prises comme contraintes de pose
- Estimation de tous les paramètres physiques
- **Edition du mouvement** en changeant un paramètre physique



- On peut :
 - ▶ **éditer** le mouvement,
 - ▶ le **combiner** avec d'autres données,
 - ▶ ajouter des **contraintes**,
 - ▶ le **concaténer** avec un autre,
 - ▶ **réagir** à de l'inattendu (jeux vidéos)
- Besoin de modifier les données sans détruire **le naturel du mouvement**
- Encore du travail de recherche sur ce qui définit le mouvement

Plan

- 1 Introduction
- 2 Cinématique
 - Interpolation
 - Modélisation hiérarchique
 - Cinématique directe
 - Cinématique inverse
- 3 Animation de surfaces
 - Skinning
 - Déformations basées sur des fonctions
 - Changements de coordonnées
 - Morphing
- 4 Capture de mouvements
 - Dispositifs
 - Traitement
 - Edition
 - Capture de mouvements et Physique
- 5 Conclusion

- Comment animer des **objets complexes**?

Un corps a 150 degrés de liberté : impossibilité de les animer tous à la main tout en maintenant le réalisme!

- **Imposer le mouvement d'un certain nombre de degrés de liberté** et laisser la simulation faire le reste

- ▶ dynamique inverse, cinématique inverse
- ▶ + : facile
- ▶ - : n'aide pas au réalisme ni aux mouvements inattendus

- **Améliorer les trajectoires données** : rester proches des positions clés tout en améliorant la trajectoire par optimisation
 - ▶ capture de mouvements + physique
 - ▶ + : grande qualité, pratique
 - ▶ - : limité, risqué
- **Utiliser de contrôleurs de mouvements** :
 - ▶ inspiré par la robotique
 - ▶ utiliser une vraie simulation,
 - ▶ déterminer les contrôleurs,
 - ▶ utiliser les contrôleurs

Modèle à couches

- **Idéal** : **automatiser** le travail manuel fastidieux tout en préservant le **contrôle** total de l'animateur
- Mélange de méthodes : **modèle à couches** :
 - ① Identifier les sous-phénomènes à reproduire
 - ② Les représenter indépendamment en choisissant le meilleur modèle
 - ③ Coupler les modèles pour avoir une simulation cohérente