

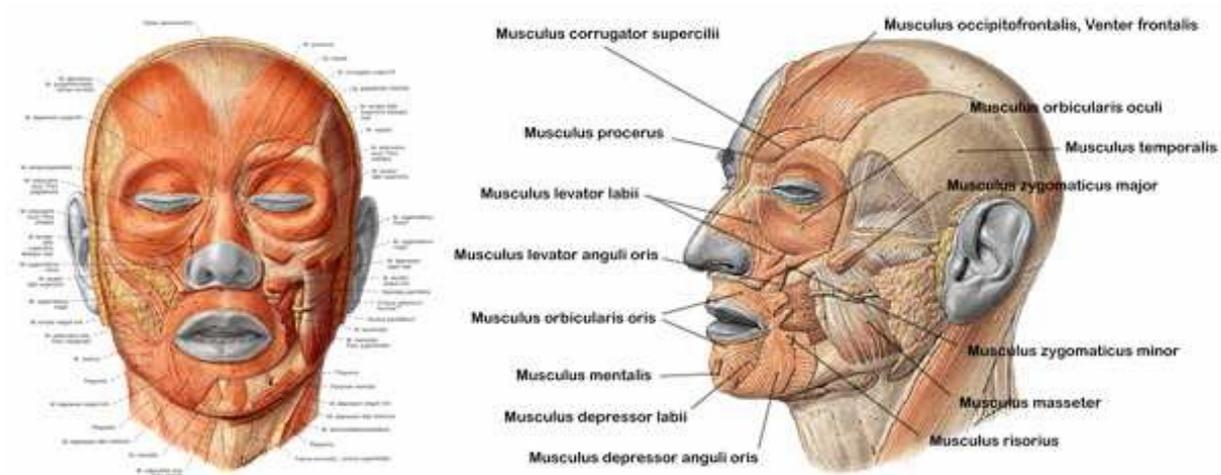
Plan

1. Introduction
2. Cinématique
3. **Déformation de surfaces**
 - *Skinning*
 - *Deformers non-linéaires*

Déformation de surfaces

Squelette d'animation vs. **modèle visuel**

En réalité, forme visible composée de **tissus organiques**



De quel niveau de détails se satisfaire dans l'animation ?

Modèle visuel

Le niveau de réalisme dépend de l'application

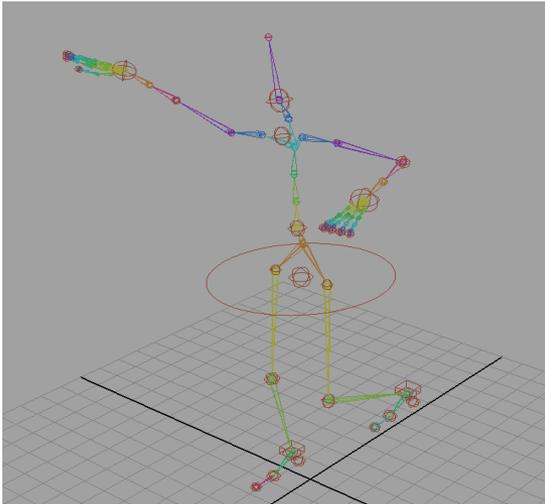
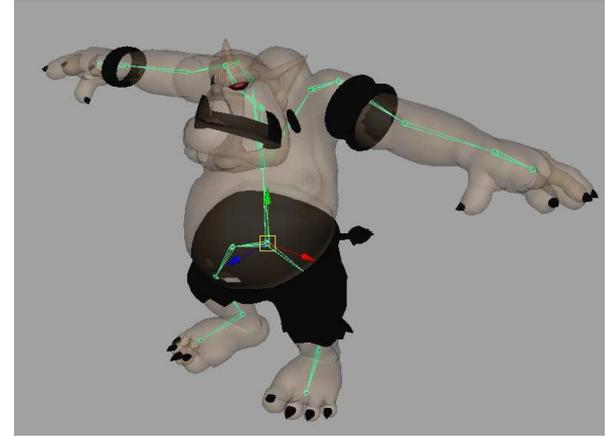
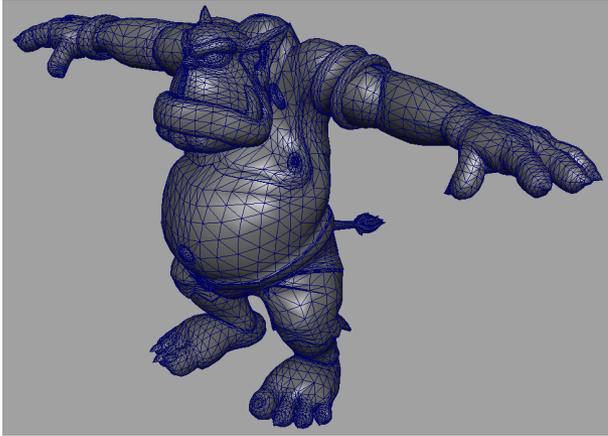


Déformation de surfaces

Souvent, on se satisfait de **l'approximation par une surface 3D**

- ✓ rapport direct avec la modélisation (forme et texture)
- ✓ structure légère facile à animer (en temps réel)
- ✗ approximation grossière de la réalité

Pipeline 3D



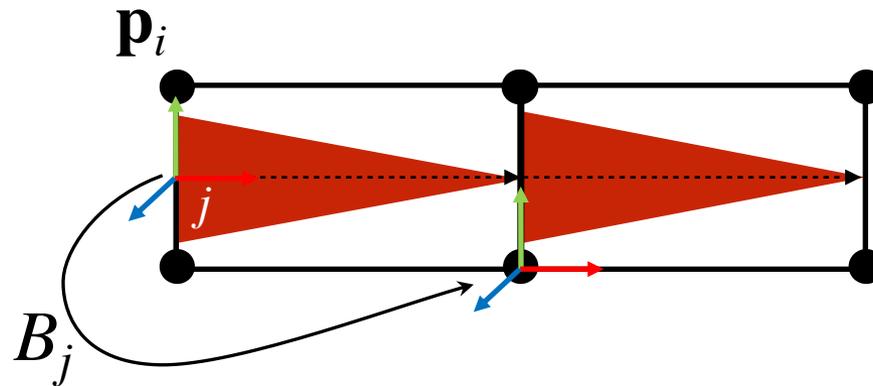
Binding

Entrées :

- sommets \mathbf{p}_i de la surface 3D (*skin*) dans son repère local
- squelette dans une pose de base (*bind/rest pose*)

Sortie pour chaque os j :

matrice B_j (*binding matrix*) de passage du repère de l'os vers le repère local de la surface dans la pose de base



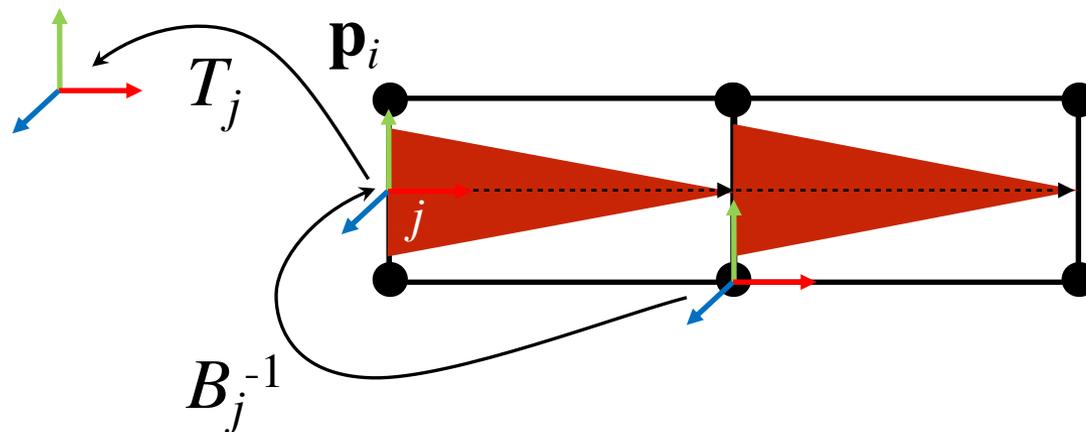
Skinning rigide

Idée : associer un groupe de sommets à **un** os
et l'animer de façon **rigide** comme cet os

Entrée : matrice de transformation T_j du repère de l'os
à l'**espace monde**

Sortie : positions des sommets en espace monde :

$$\mathbf{p}'_i = T_j B_j^{-1} \mathbf{p}_i = M_j \mathbf{p}_i$$



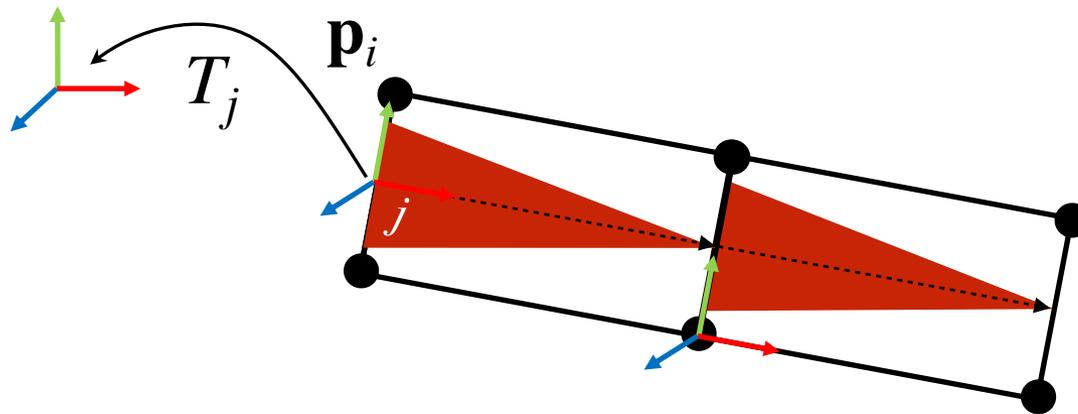
Skinning rigide

Idée : associer un groupe de sommets à **un** os
et l'animer de façon **rigide** comme cet os

Entrée : matrice de transformation T_j du repère de l'os
à l'**espace monde**

Sortie : positions des sommets en espace monde :

$$\mathbf{p}'_i = T_j B_j^{-1} \mathbf{p}_i = M_j \mathbf{p}_i$$



Skinning linéaire

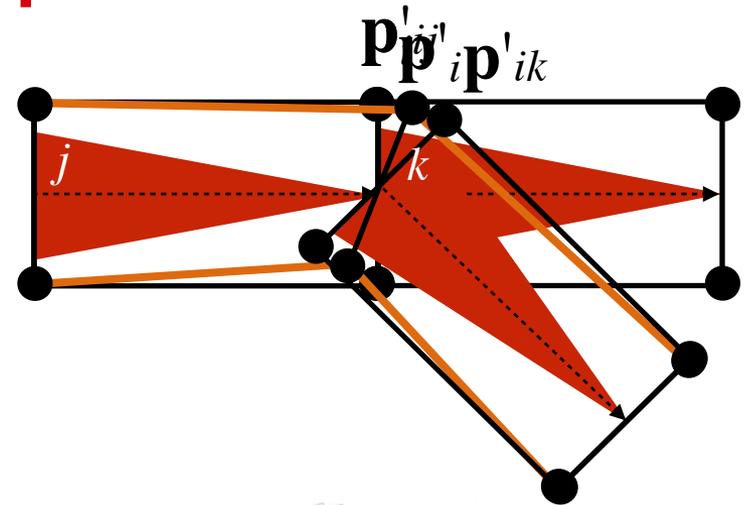
Idée : sommet influencé par **plusieurs os**

⇒ **interpolation linéaire des positions**

Si \mathbf{p}_i lié aux os j et k :

$$\mathbf{p}'_i = w \mathbf{p}'_{ij} + (1-w) \mathbf{p}'_{ik}$$

avec $w \in [0,1]$

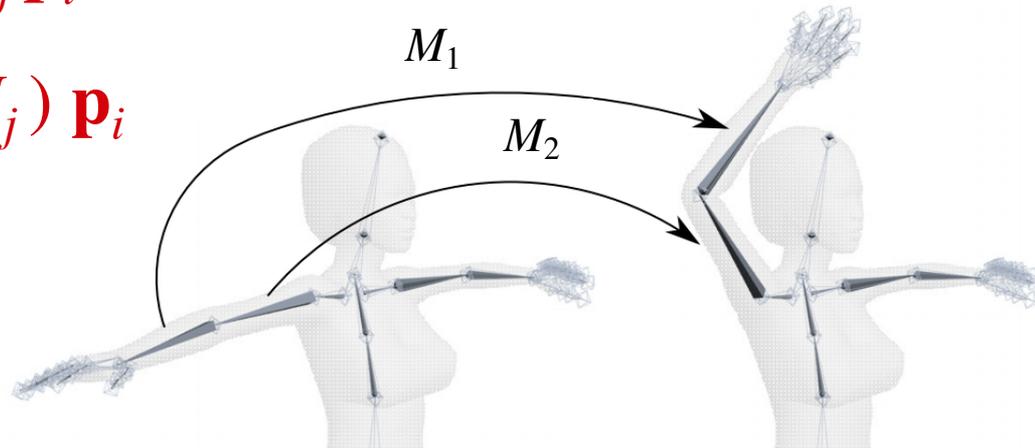


Cas général

$$\mathbf{p}'_i = \sum_j w_{ij} M_j \mathbf{p}_i$$

$$= (\sum_j w_{ij} M_j) \mathbf{p}_i$$

avec $\sum_j w_{ij} = 1$



Poids de *skinning*

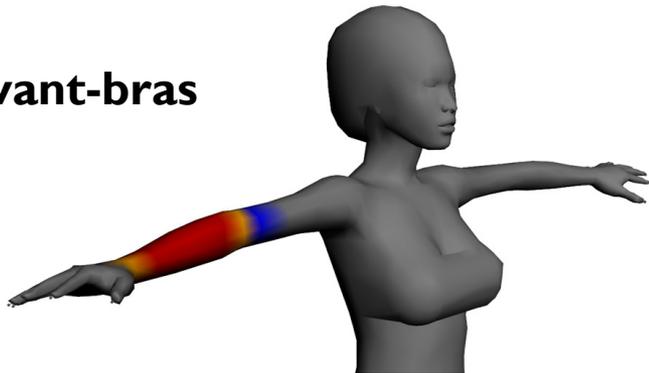
Spécifiés (peints) par un artiste os par os

- $w_{ij} = 1 \Rightarrow$ mouvement rigide avec l'os
- Limiter le nombre de poids par sommet (4-5)
 - \Rightarrow coût de la somme
 - \Rightarrow stockage mémoire

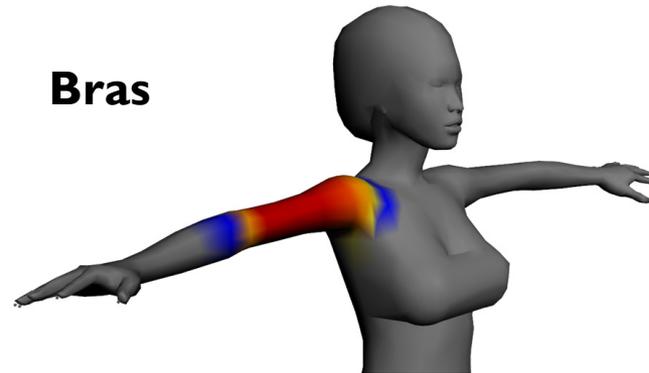
et/ou calculés automatiquement

(distance euclidienne, harmonique, géodésique)

Avant-bras



Bras



Skinning linéaire

En pré-calcul, **binding** :

⇒ matrices de pose : B_j

⇒ poids de *skinning* : w_{ij}

À chaque temps t :

1. **Cinématique** directe ou inverse

⇒ matrices de transformation : $M_j(t) = T_j(t) B_j^{-1}$

2. **Skinning linéaire** – **vertex shader**

⇒ $\mathbf{p}'_i = (\sum_j w_{ij} M_j(t)) \mathbf{p}_i$

et la normale au point \mathbf{p}'_i ?

Recalcul des normales

Calculer la **transformation linéaire moyenne**

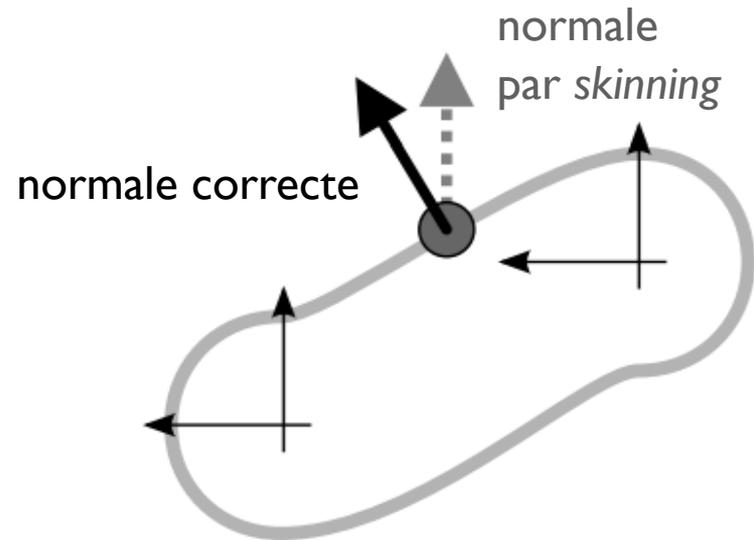
pour le sommet i : $C_i = \sum_j w_{ij} M_j$ (bloc 3x3 supérieur)

...et transformer sa normale par $(C_i^{-1})^T$

⇒ **approximation**



Pose de base



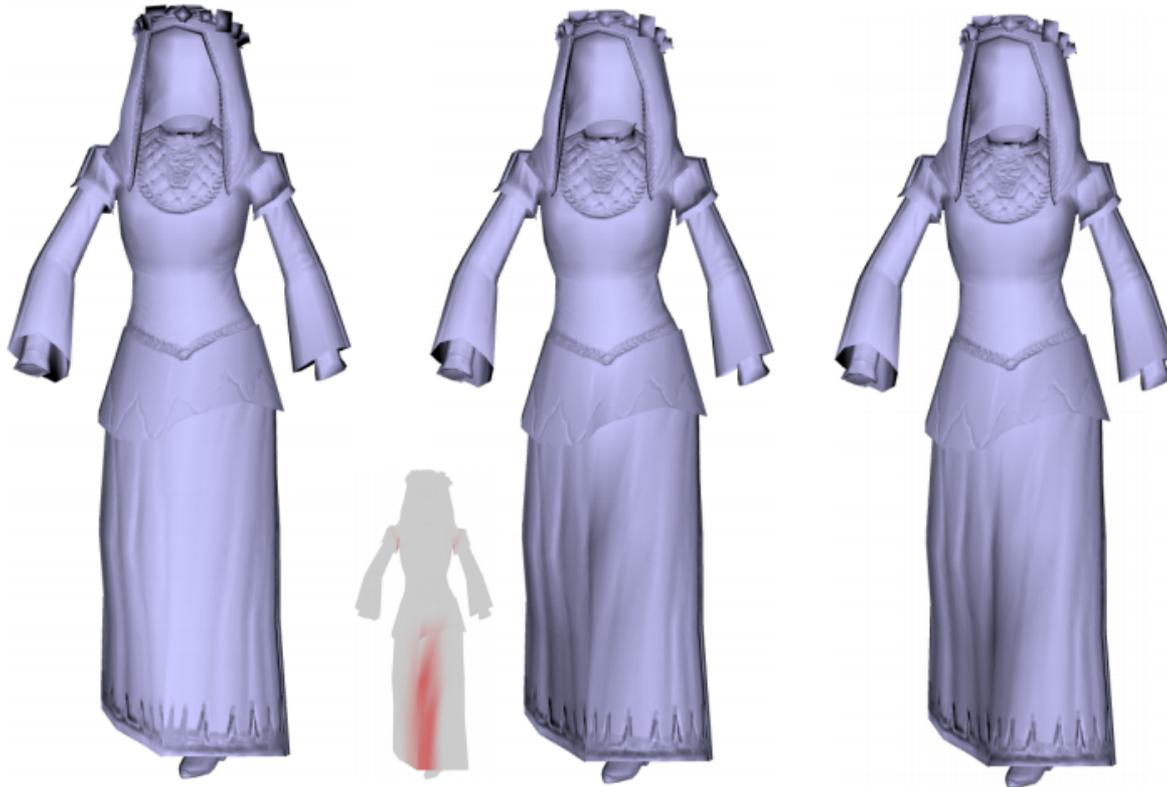
Pose déformée
(translation)

Recalcul des normales

[Merry et al. 2006, Tarini et al. 2014]

Prise en compte du **gradient** des poids de *skinning* :

$$C_i = \sum_j w_{ij} M_j + \sum_j M_j \mathbf{p}_i (\nabla w_{ij})^\top$$



LBS

[Tarini et al. 2014]

Normales exactes

Skinning linéaire

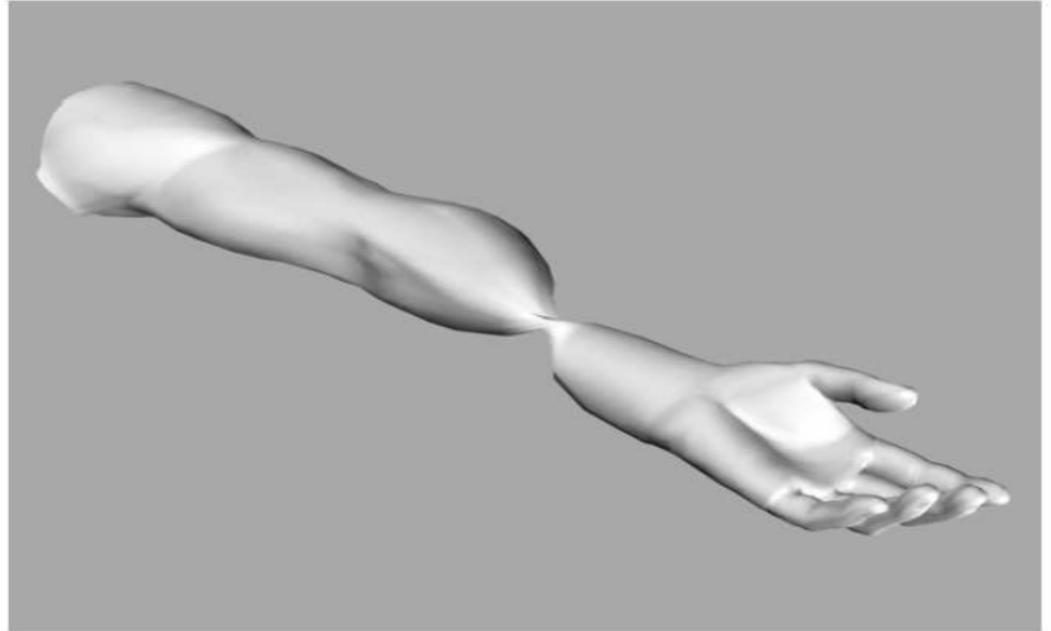
Limitation : **rotations**

(la moyenne de 2 rotations n'est pas une rotation !)

⇒ **perte de volume**



skin collapse

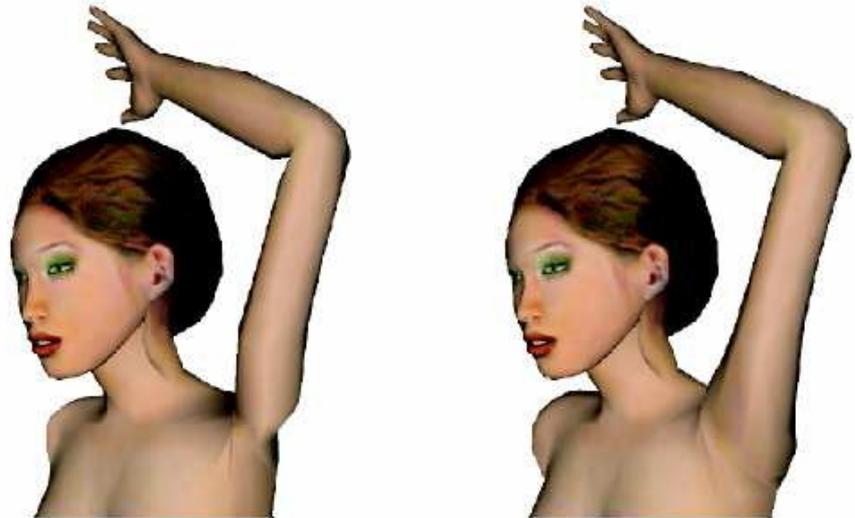
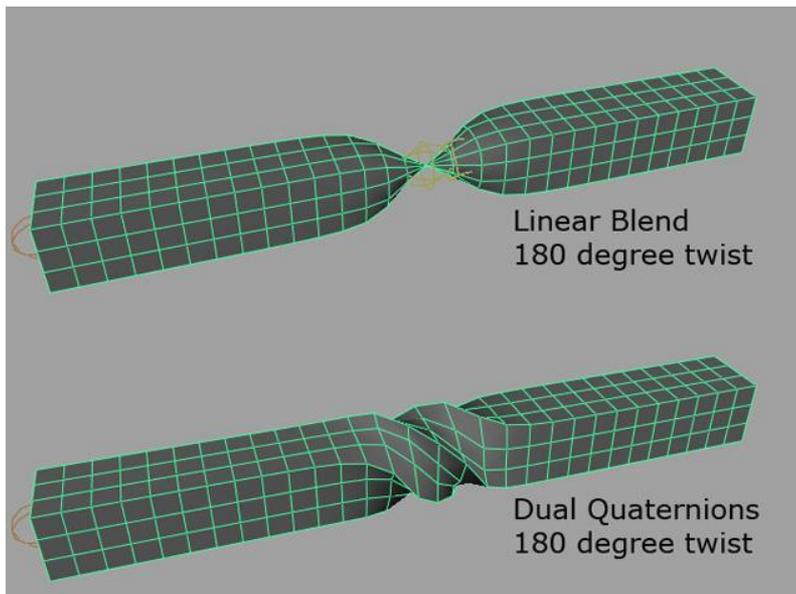


candy-wrapper artifact

Skinning + quaternions duaux

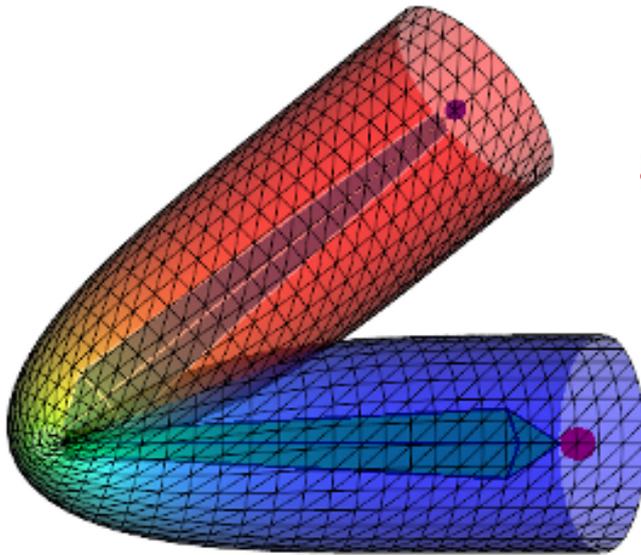
[Kavan et al. 08]

Interpolation des matrices de transformation à l'aide de **quaternions duaux** (encodant rotation et translation)

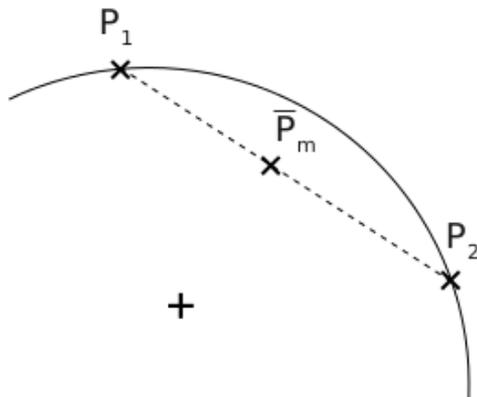


Skinning + quaternions duaux

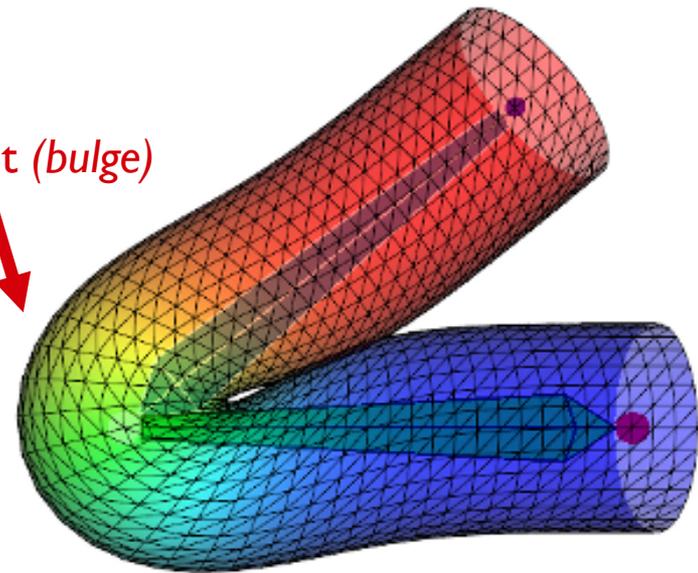
[Kavan et al. 07]



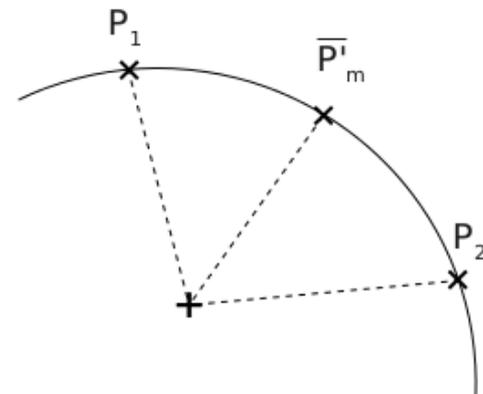
Skinning linéaire



gonflement (bulge)



Dual quaternions

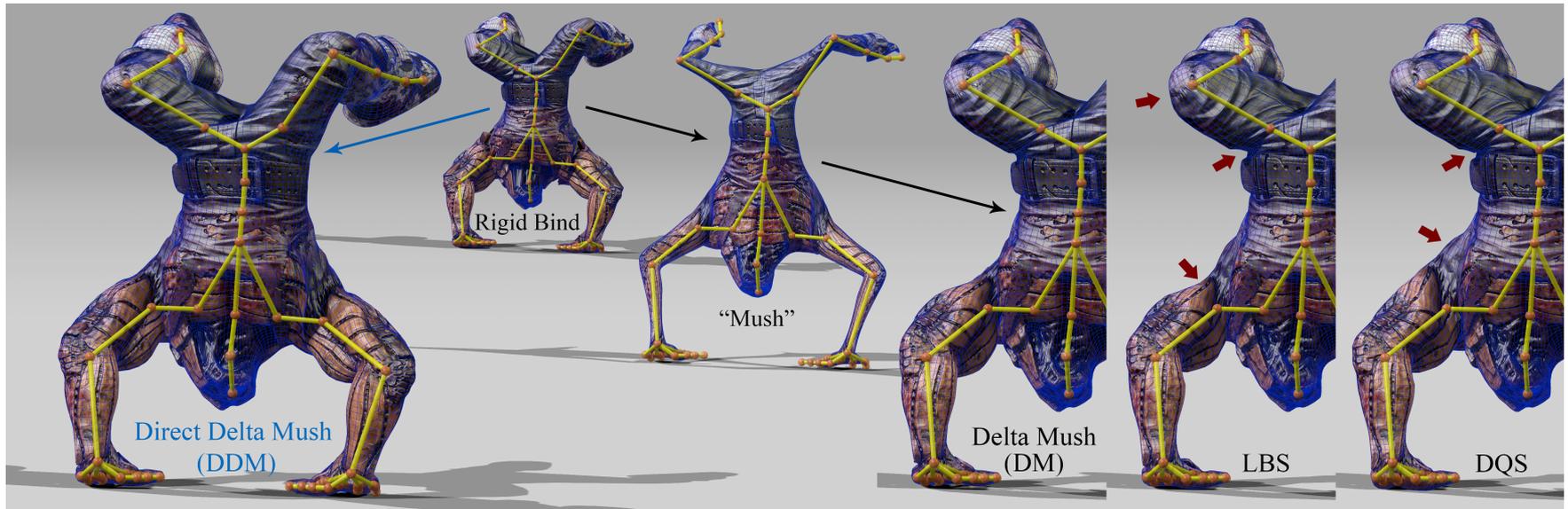


Skinning + Delta Mush

[Mancewicz et al. 2014, Huy & Lewis 2019]

Principe :

1. décomposer le maillage en **base + détails** par lissage
⇒ stocker les détails dans le **repère tangent** de la base
2. animer le maillage complet
3. lisser le maillage déformé, puis réintroduire les détails



[Huy & Lewis 2019]

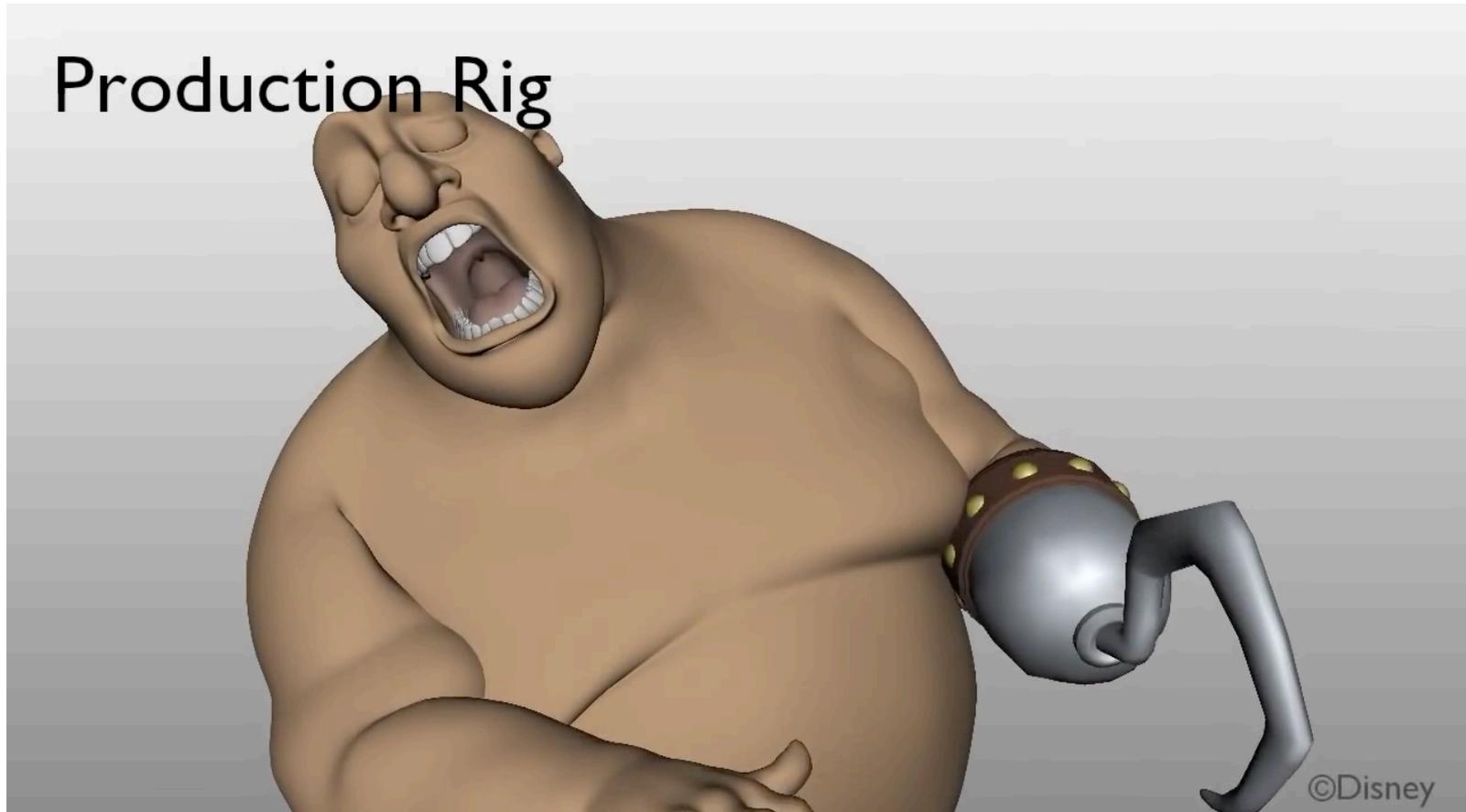
[Mancewicz et al. 2014]

[Kavan et al. 07]

Skinning + simulation physique

[McAdams et al. 2011]

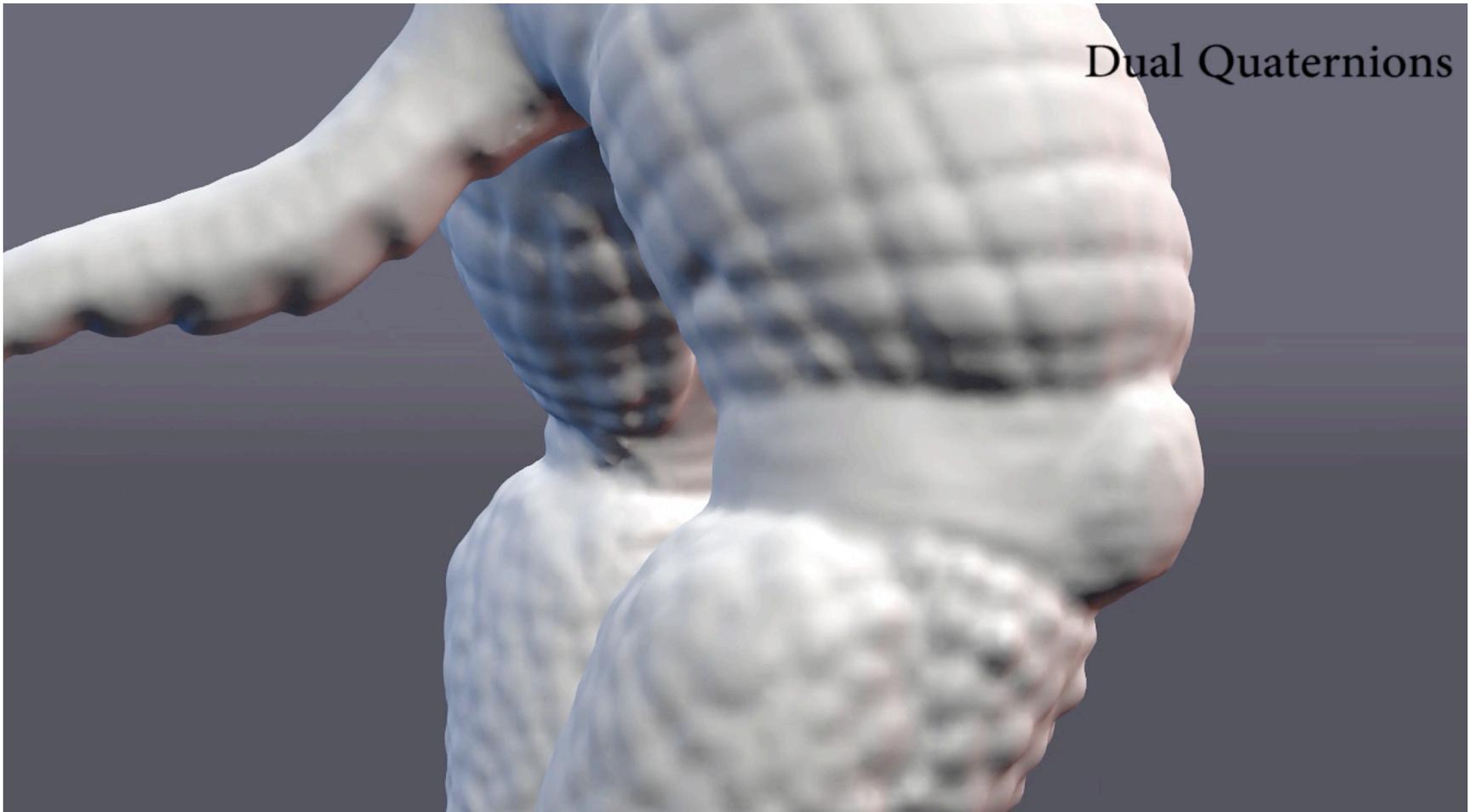
Élasticité de la peau et **contacts**



Skinning + surfaces implicites

[Vaillant et al. 2013, 2014]

Élasticité de la peau et **contacts**



Blend Shapes

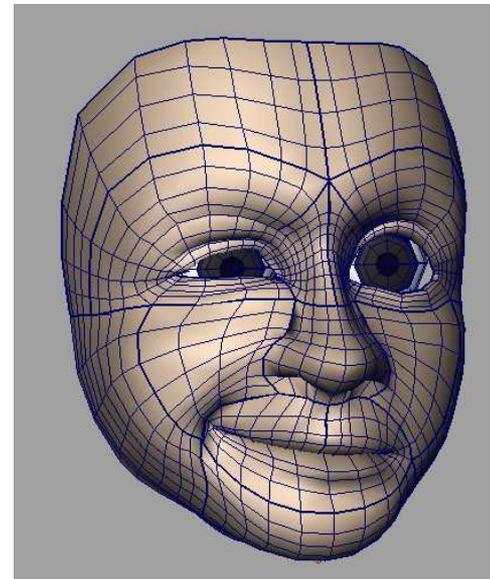
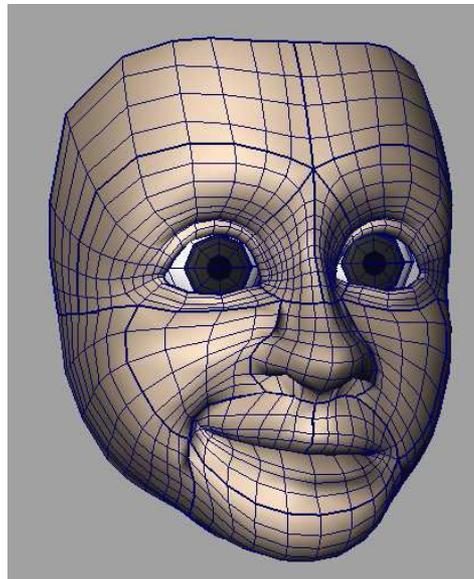
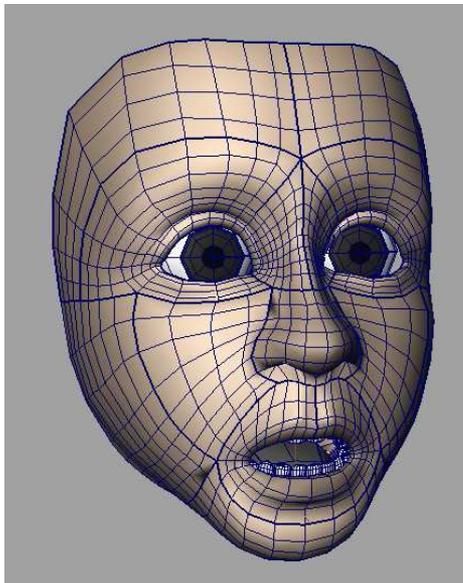
Interpolation de **formes clés**

- Interpolation linéaire de la position des sommets

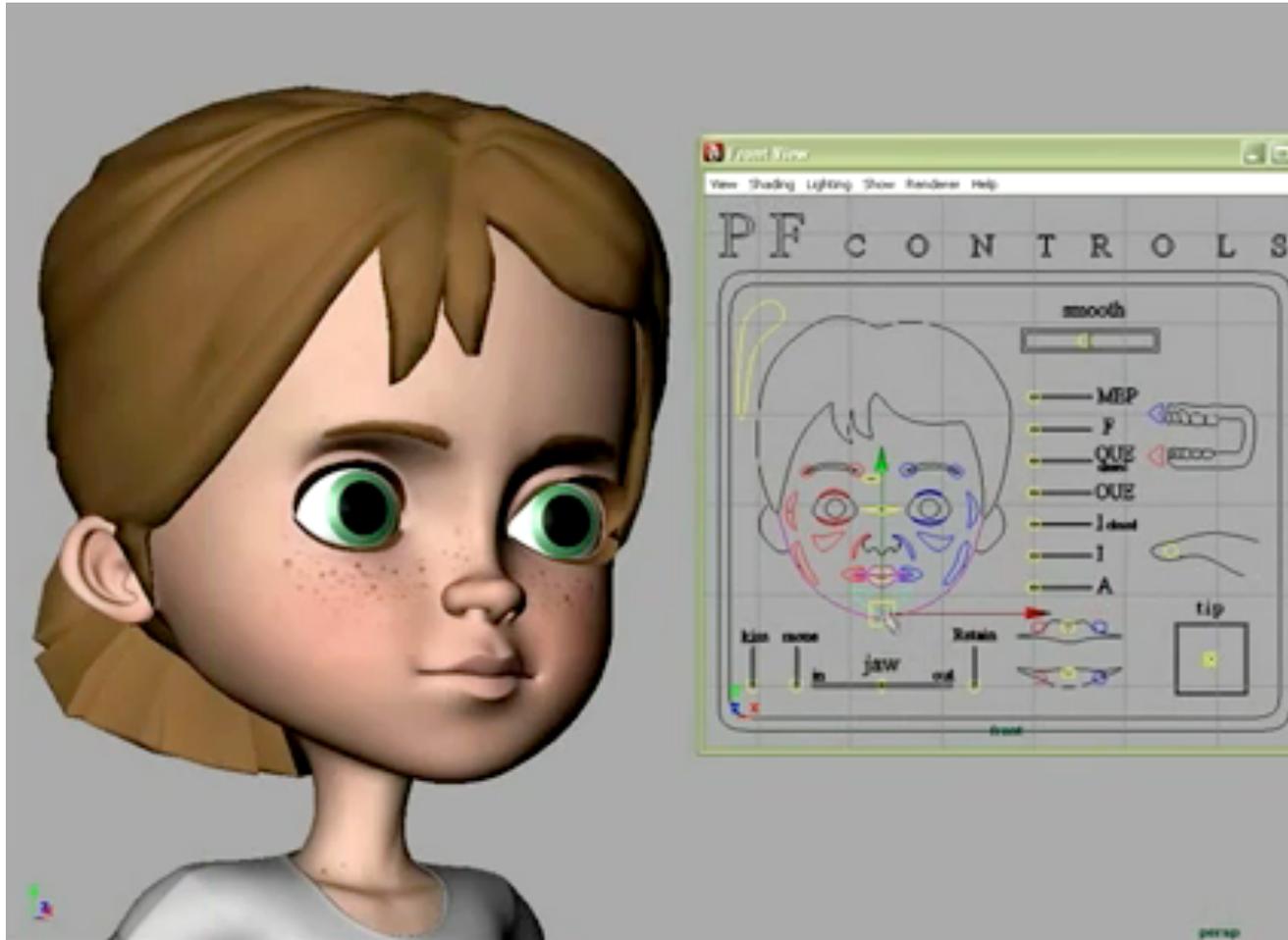
$$\mathbf{p}' = \mathbf{p}_0 + \sum_i w_i (\mathbf{p}_i - \mathbf{p}_0)$$

- Contrôle de l'animation par les poids w_i

Surtout pour l'**animation faciale**



Blend Shapes (198 expressions)



Remy Terreaux

Pose Space Deformation (PSD)

[Lewis et al. 2000, Sloan et al. 2001]

En pré-calcul :

1. Mettre le squelette dans une **pose** donnée \Rightarrow **fixer** q_k
2. **Sculpter** la surface \Rightarrow **fixer** $p(q_k)$

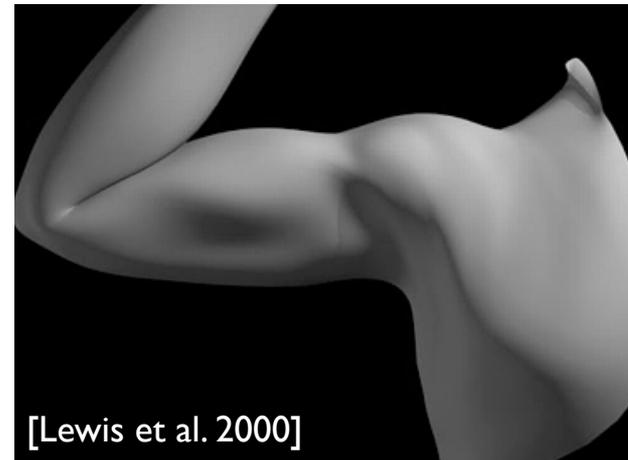
Pour une nouvelle pose q :

$p(q)$ obtenue par **interpolation** dans l'espace des poses

En pratique, PSD sculptée **au dessus** de la surface skinnée

\Leftrightarrow **correction** stockée dans la *rest pose*

$\Rightarrow p' = SKIN(PSD(p))$



Deformers non-linéaire

Modification **globale** de l'espace 3D

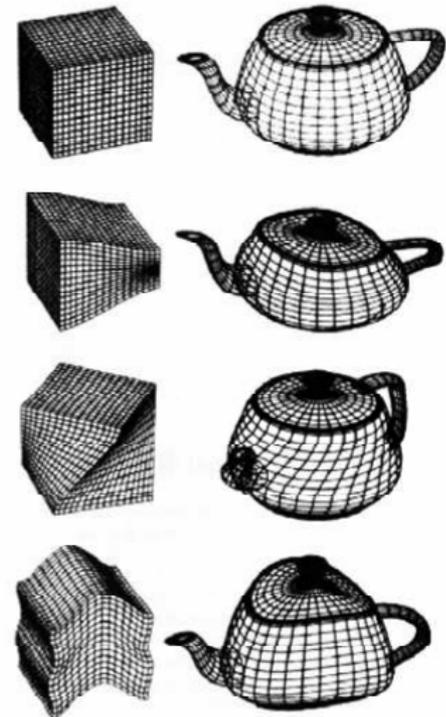
Définir une **fonction dans l'espace** :

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

où $M(\mathbf{p})$ est une matrice de transformation

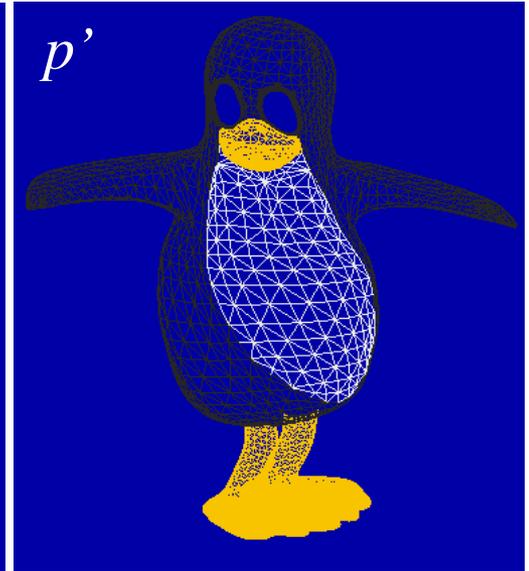
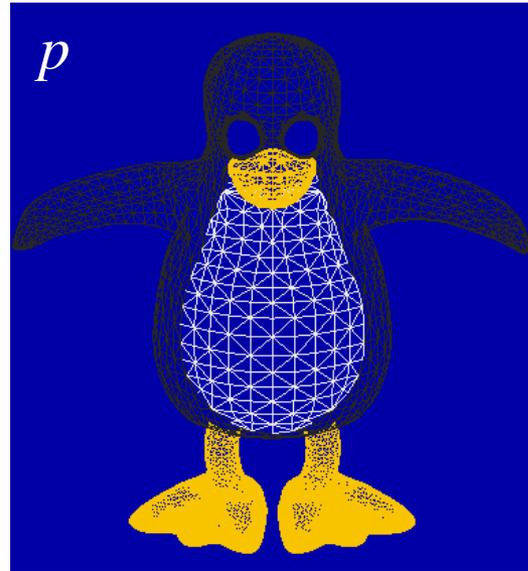
Action sur un point \mathbf{p}

- Évaluer M au point \mathbf{p} : $M(\mathbf{p})$
- Faire agir M sur \mathbf{p} : $\mathbf{p}' = M(\mathbf{p})\mathbf{p}$



Twist (rotation non-uniforme)

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



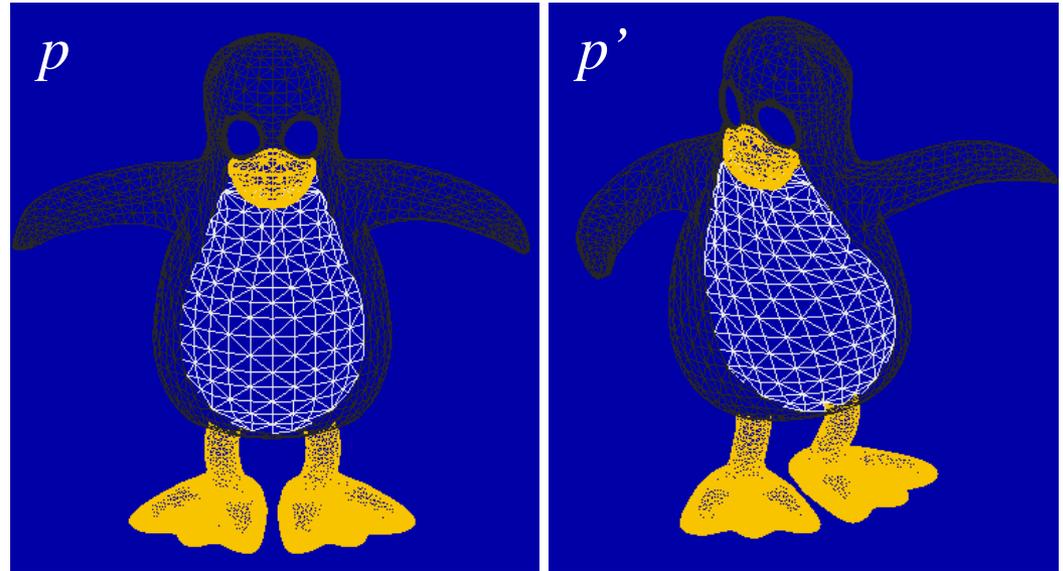
$$\mathbf{p}' = \begin{bmatrix} \cos(r(p_z)) & -\sin(r(p_z)) & 0 \\ \sin(r(p_z)) & \cos(r(p_z)) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{bmatrix}$$

Vortex

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

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

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



Combinaison

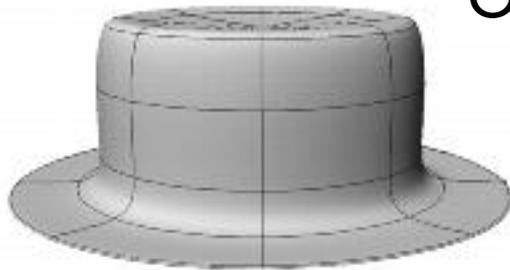
Avantage :

✓ Simple

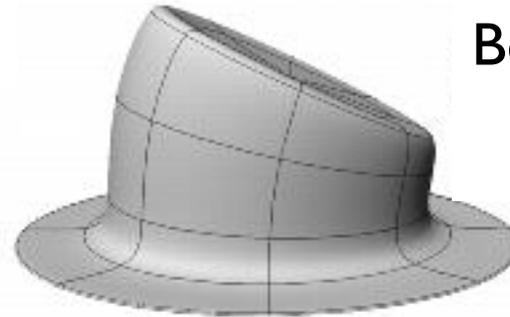
Inconvénients :

✗ pas de contrôle fin des déformations

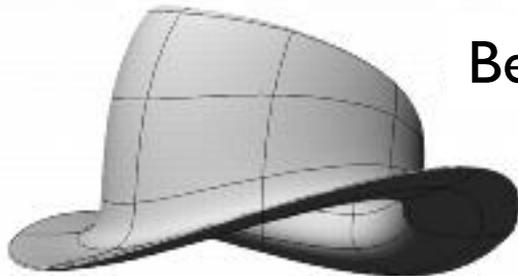
✗ le modèle peut s'auto-intersecter



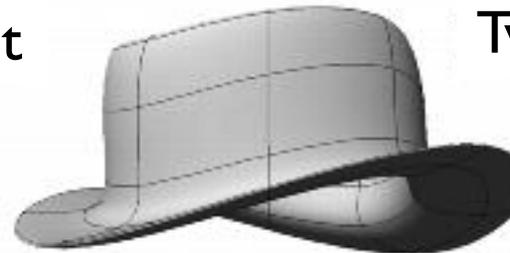
Original



Bend



Bend+Twist



Twist

Free-Form Deformations (FFD)

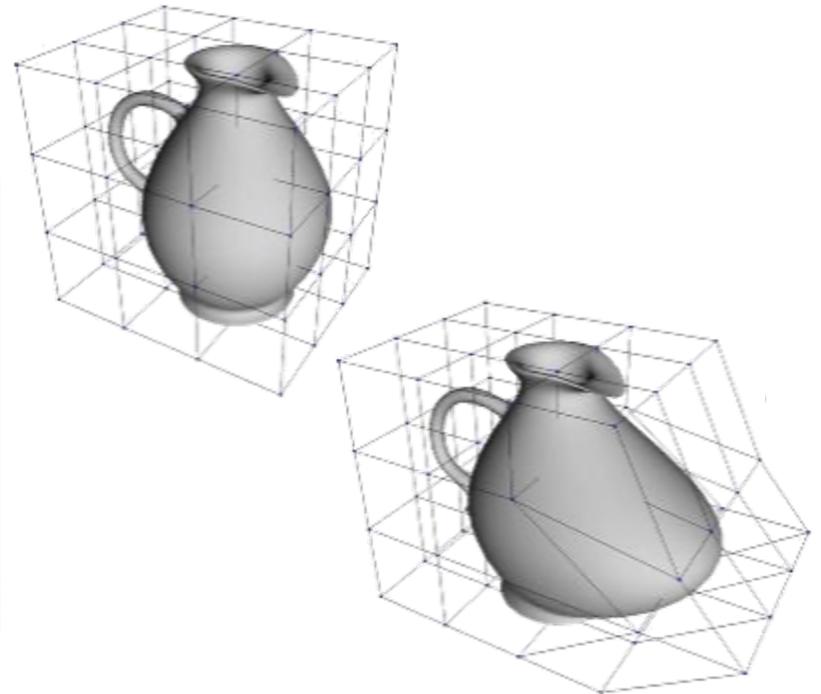
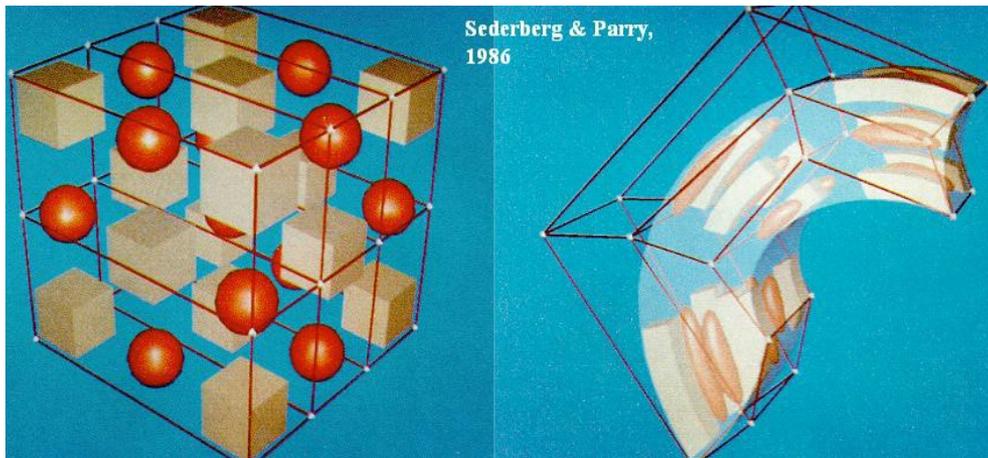
Treillis de points de contrôle (maillage régulier)

le modèle est plongé dans du « caoutchouc » 3D

Déformer le treillis

⇒ l'espace « suit » le maillage

⇒ interpolation dans la grille par Bézier (ou autre)



Free-Form Deformations (FFD)

Grille :

- Origine = \mathbf{o} , axes orthogonaux = $(\mathbf{u}, \mathbf{v}, \mathbf{w})$, #cellules = l, m, n

- Points de la grille :

$$\mathbf{g}_{ijk} = \mathbf{o} + \frac{i}{l} \mathbf{u} + \frac{j}{m} \mathbf{v} + \frac{k}{n} \mathbf{w}$$

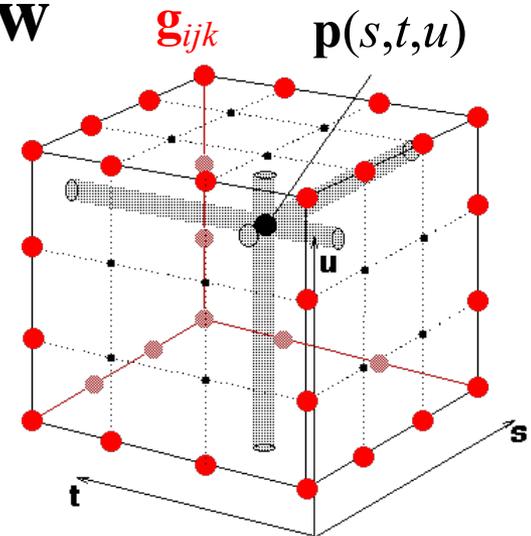
Point \mathbf{p} à déformer :

$$\mathbf{p}(s, t, u) = \mathbf{o} + s\mathbf{u} + t\mathbf{v} + u\mathbf{w}$$

avec : $s = (\mathbf{p} - \mathbf{o}) \cdot \mathbf{u} / \|\mathbf{u}\|$

$$t = (\mathbf{p} - \mathbf{o}) \cdot \mathbf{v} / \|\mathbf{v}\|$$

$$u = (\mathbf{p} - \mathbf{o}) \cdot \mathbf{w} / \|\mathbf{w}\|$$



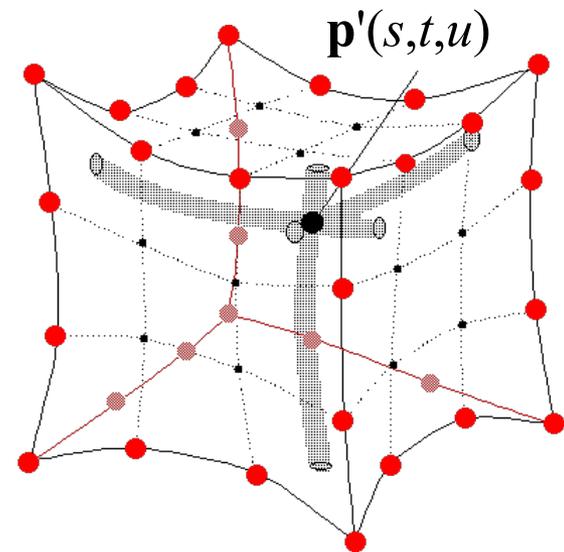
Free-Form Deformations (FFD)

Interpolation

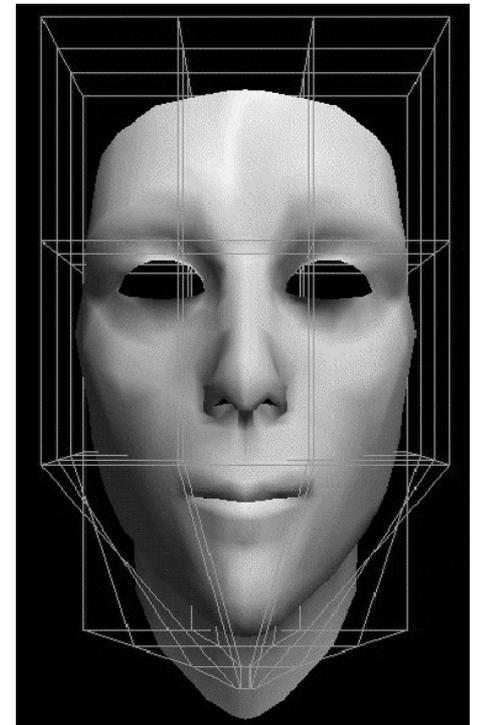
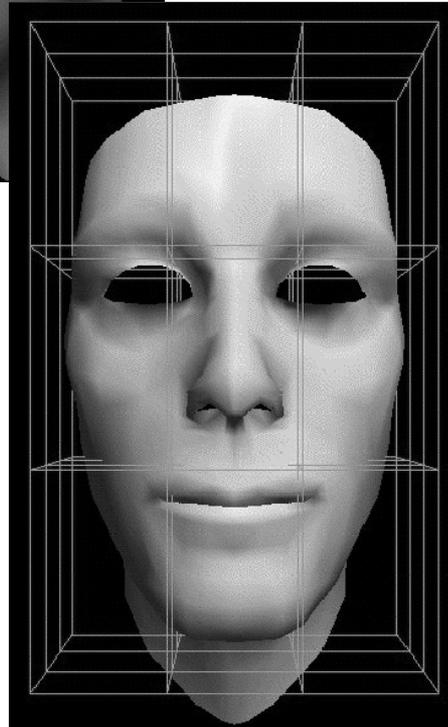
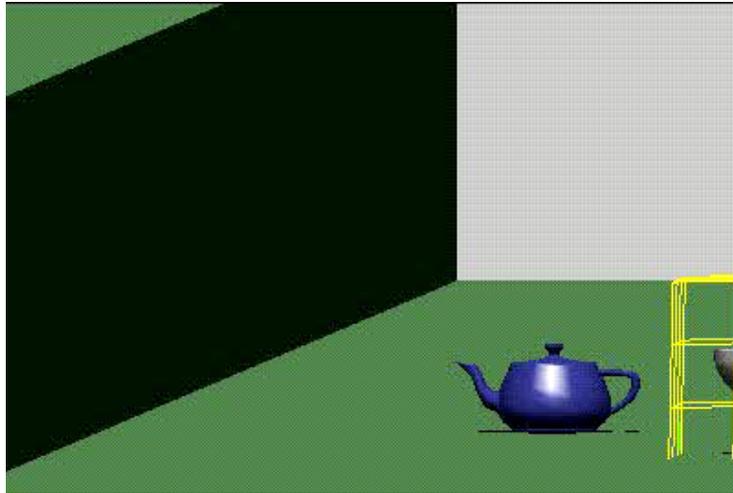
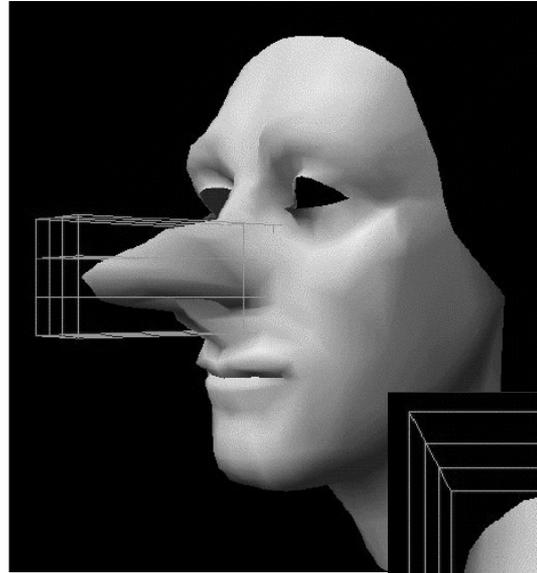
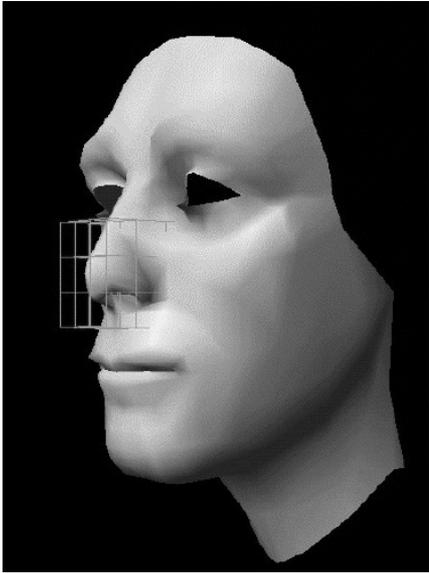
- Points de la grille **déplacés en \mathbf{g}'_{ijk}**
- **Interpolation** dans la grille par Bézier (ou autre) :

$$\mathbf{p}'(s, t, u) = \sum_{i=0}^l \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^n \mathbf{g}'_{ijk} B_i^l(s) B_j^m(t) B_k^n(u)$$

$$\text{avec } B_i^l(s) = \binom{l}{i} s^i (1-s)^{l-i}$$



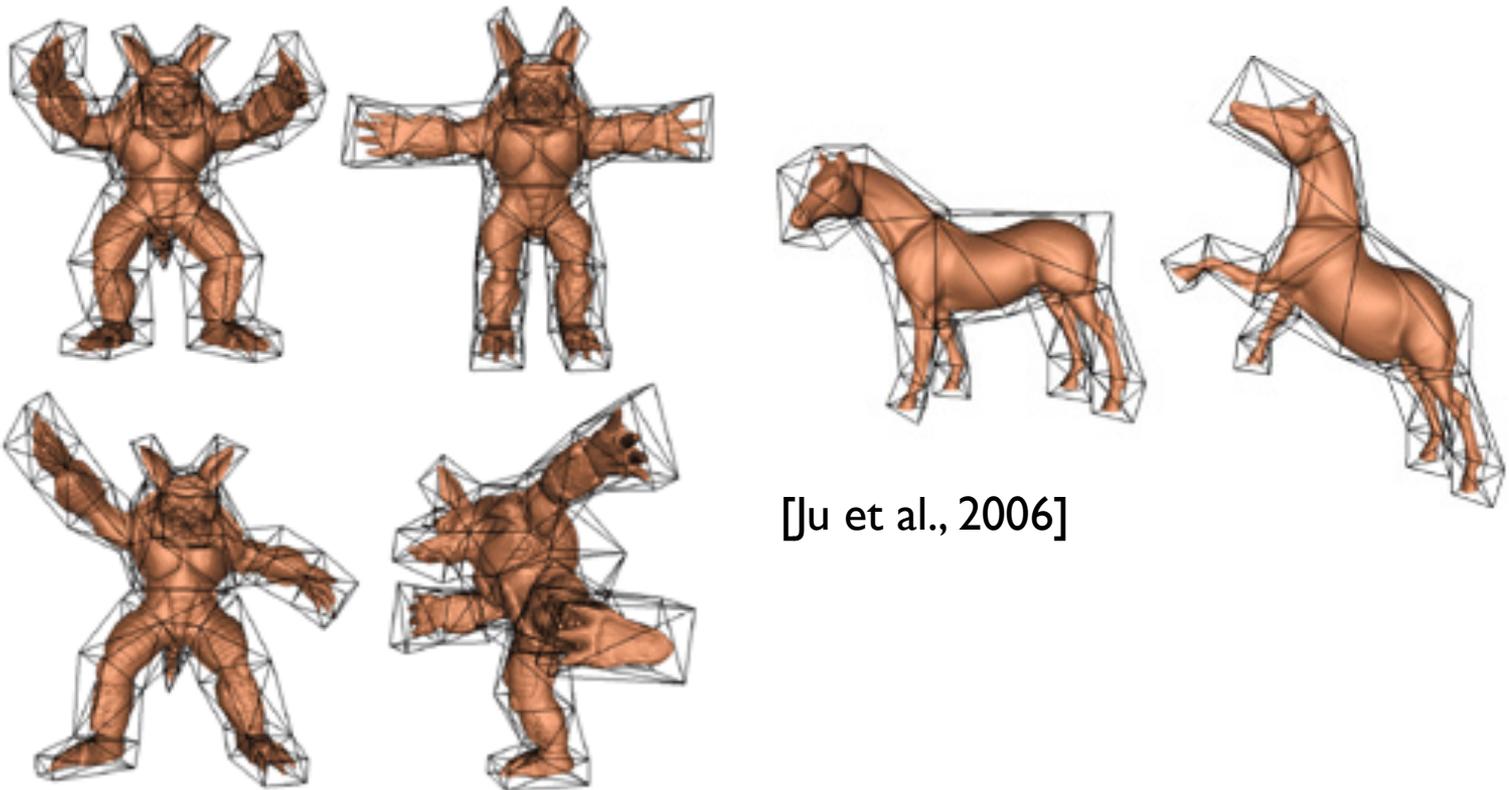
Free-Form Deformations (FFD)



Caged-based deformation

Cage de basse résolution contrôlant un maillage fin

- Pas de contrainte sur la topologie de la cage
- Position des sommets du maillage = **combinaison linéaire** des positions et normales des sommets de la cage



[Ju et al., 2006]

Autres systèmes de coordonnées

- *Mean Value Coordinates (MVC)* [Floater, 2003]
- Coordonnées harmoniques [DeRose et al., 2007]
- Coordonnées de Green [Lipman et al., 2008]

