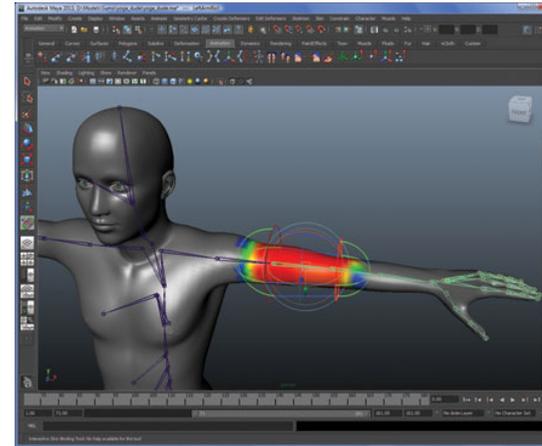
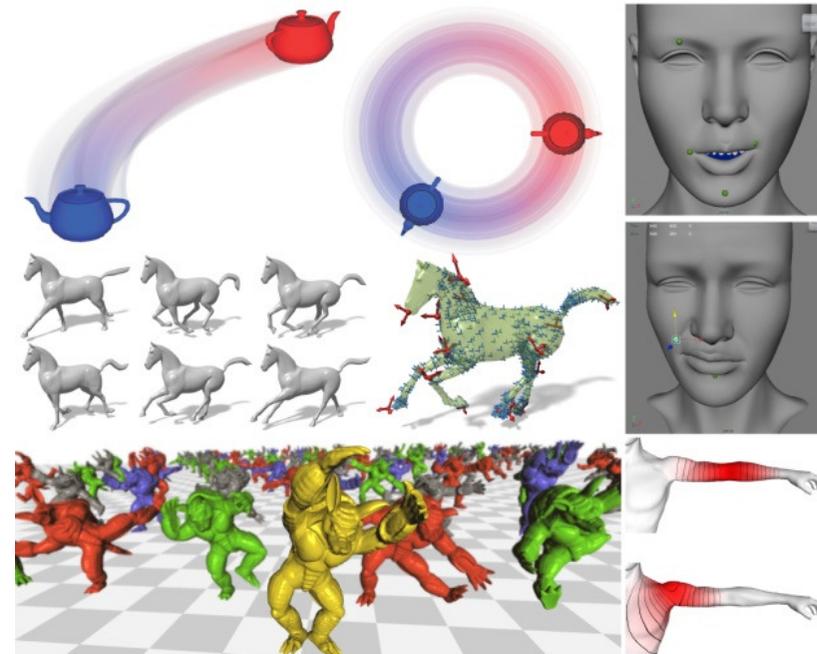


SKINNING



Alexandre Meyer
Master ID3D

Très bonne documentation
www.skinning.org



Introduction “Mesh Skinning”

Supposons qu’un artiste nous produit un modèle correspondant au squelette

Ou inversement il produit un squelette correspondant à un maillage donné

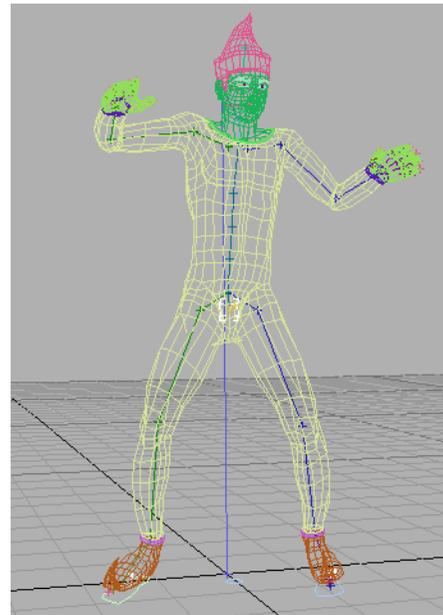
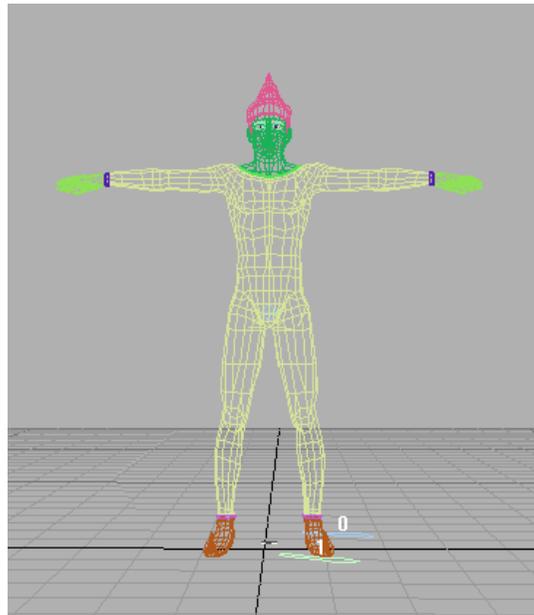
→ **Problème** : comment animer le maillage en fonction du squelette

Une réponse possible : skinning



Introduction “Mesh Skinning”

- Déformer le maillage en fonction des mouvement du squelette
- Vu comme la peau qui se déforme au dessus du squelette

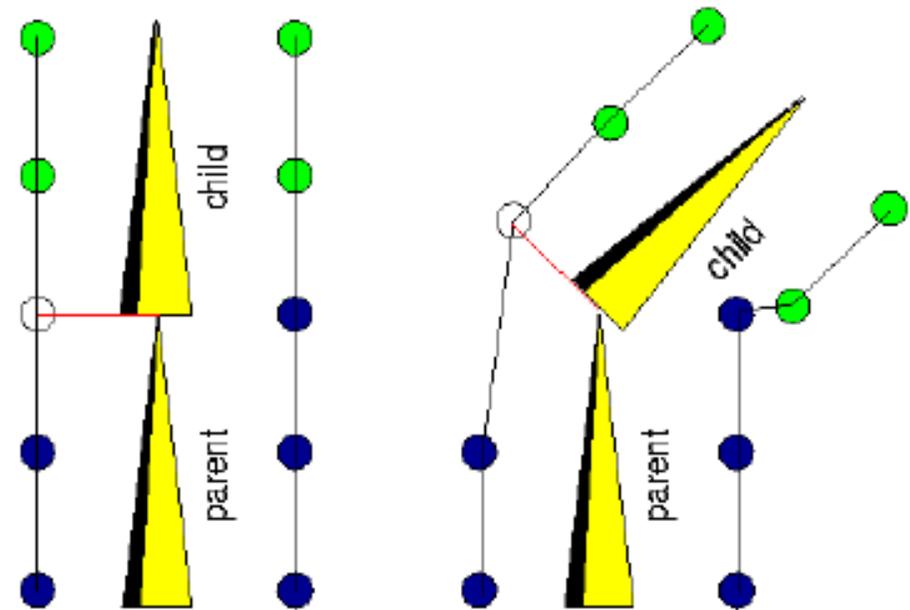
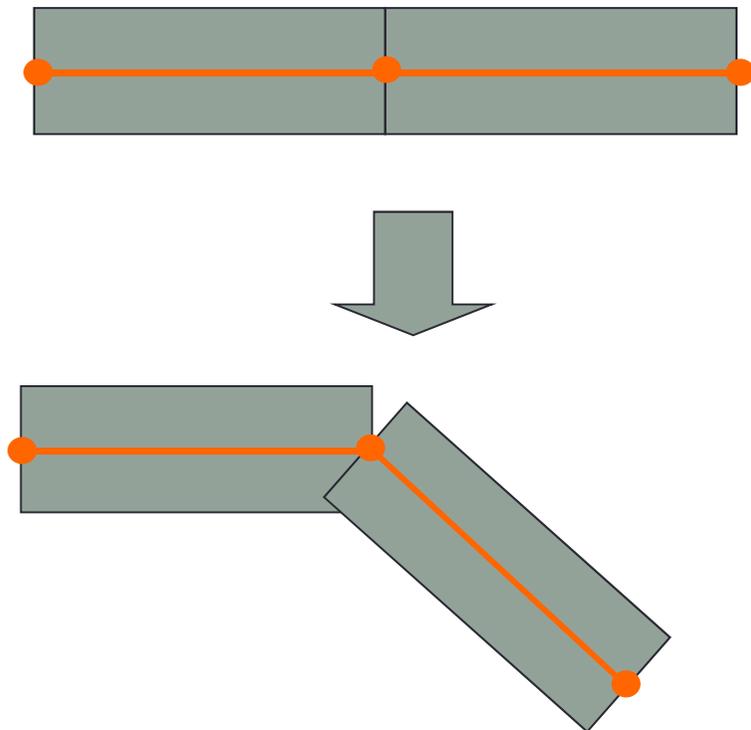


Skinning

- Maillage 3D + squelette
- Chaque sommet est attaché à un ou plusieurs os
 - Somme des poids = 1
- Pose « au repos »
 - Maillage non déformé
- Pose « animée »
 - Position squelette donnée
 - Trouver position des sommets

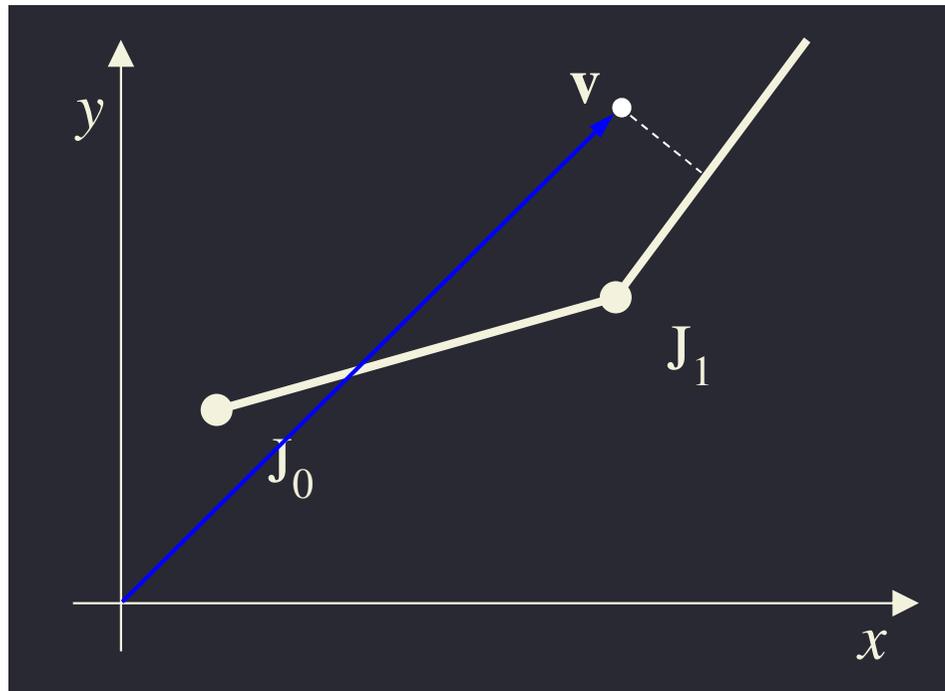
Skinning

- Sommet(vertex) du maillage associé à un os
- Déplacement de l'os → le maillage suit
 - transformation des sommets



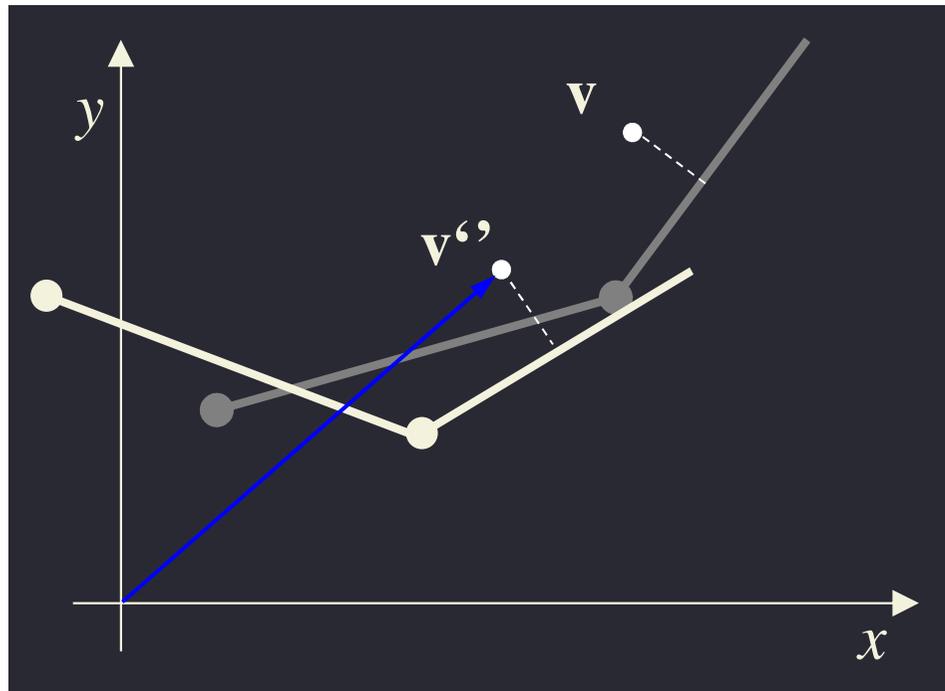
Comment ça marche (1)

- Sommet v , attaché à l'os J_1 . Au repos :



Comment ça marche (2)

- Nouvelle position du squelette
 - Trouver nouvelle position du sommet

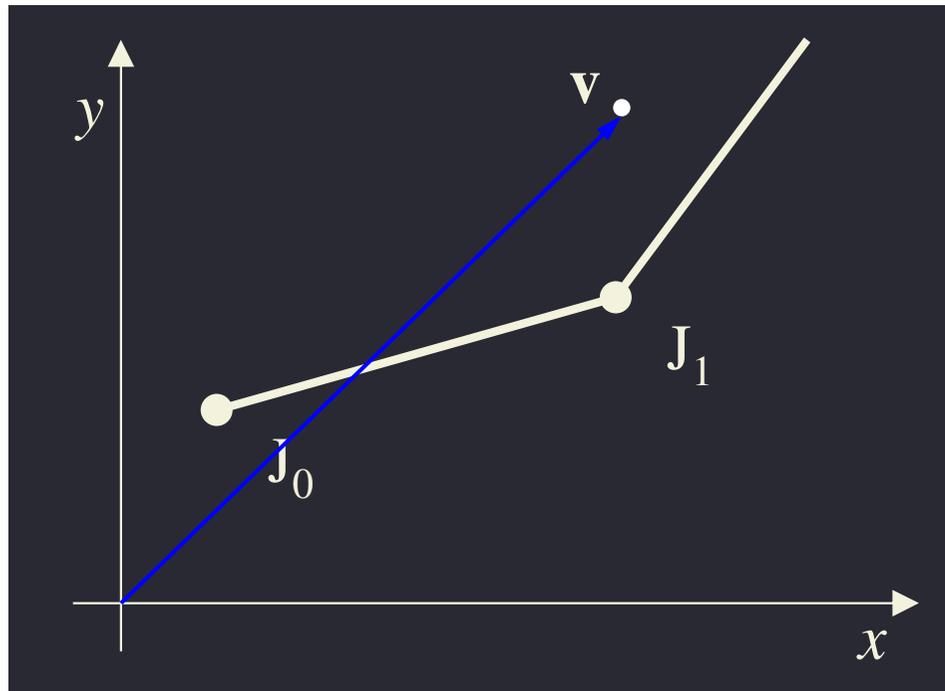


Comment ça marche (3)

- On transforme le sommet v :
 - De l'espace du modèle au repos (ou Monde)
 - Dans l'espace lié à l'os au repos (local) $\rightarrow v'$
- Le sommet est *fixe* par rapport à l'os
 - Donc on peut bouger l'os dans sa position d'animation
- Re-transformation de l'espace local animé vers l'espace du monde
 - Donne nouvelles coordonnées du sommet $\rightarrow v''$

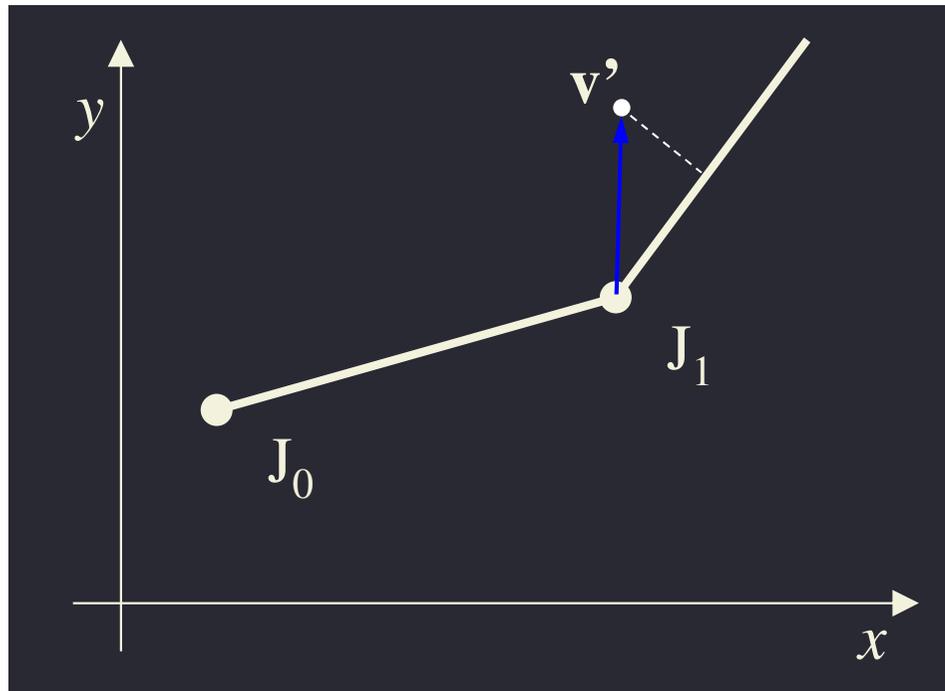
Comment ça marche (4)

- Passage du sommet v du repère du modèle (monde) dans l'espace lié à l'os (local) au repos $\rightarrow v'$



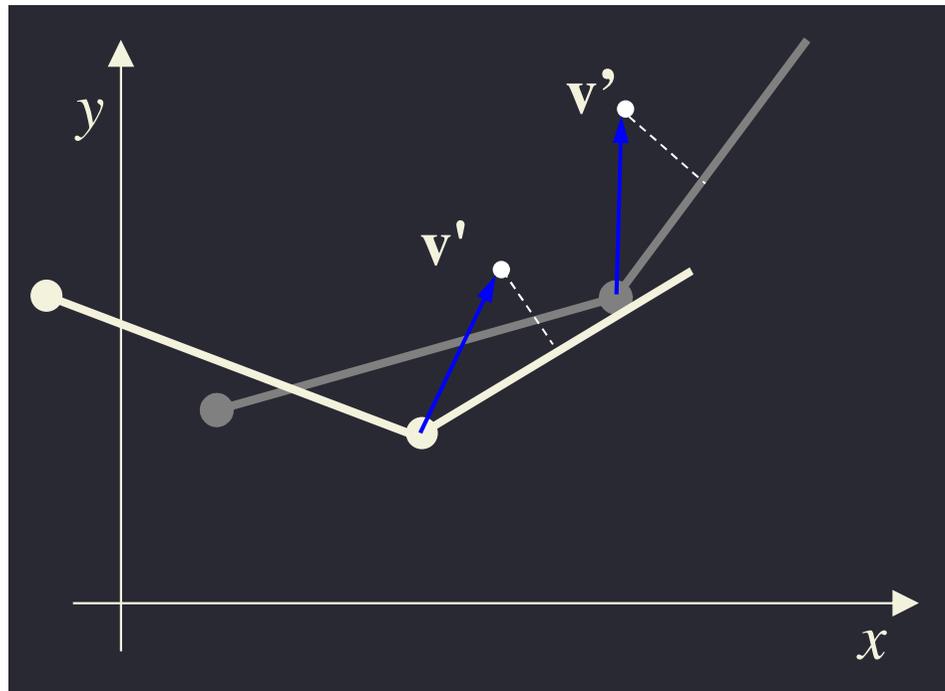
Comment ça marche (4)

- Sommet v' , dans l'espace lié à l'os (local) au repos



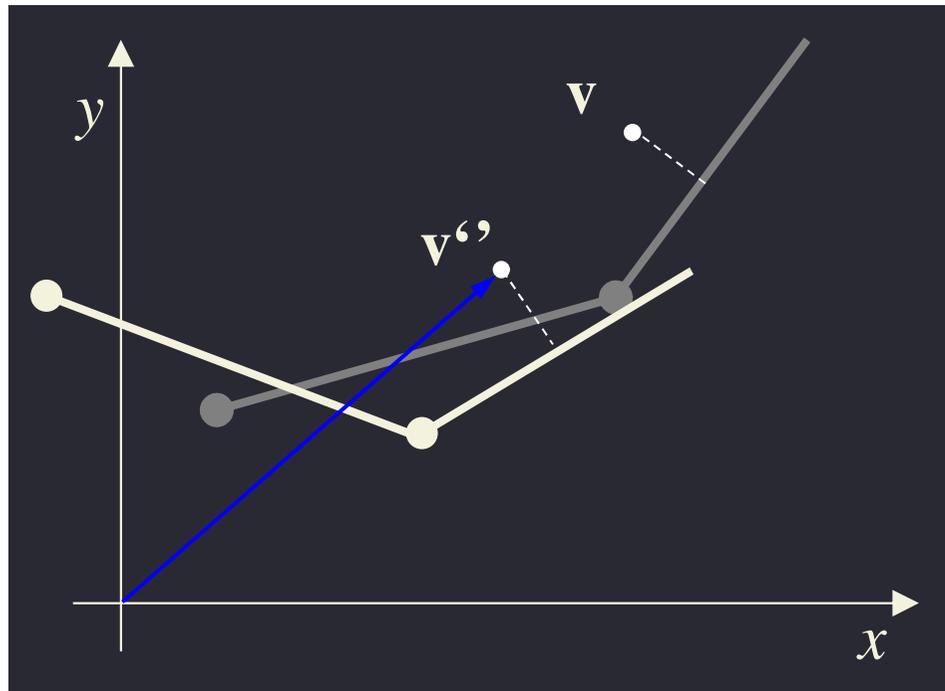
Comment ça marche (5)

- Animation du squelette
- Sommet toujours dans la même position par rapport à l'os, quelle que soit la position du squelette



Comment ça marche (6)

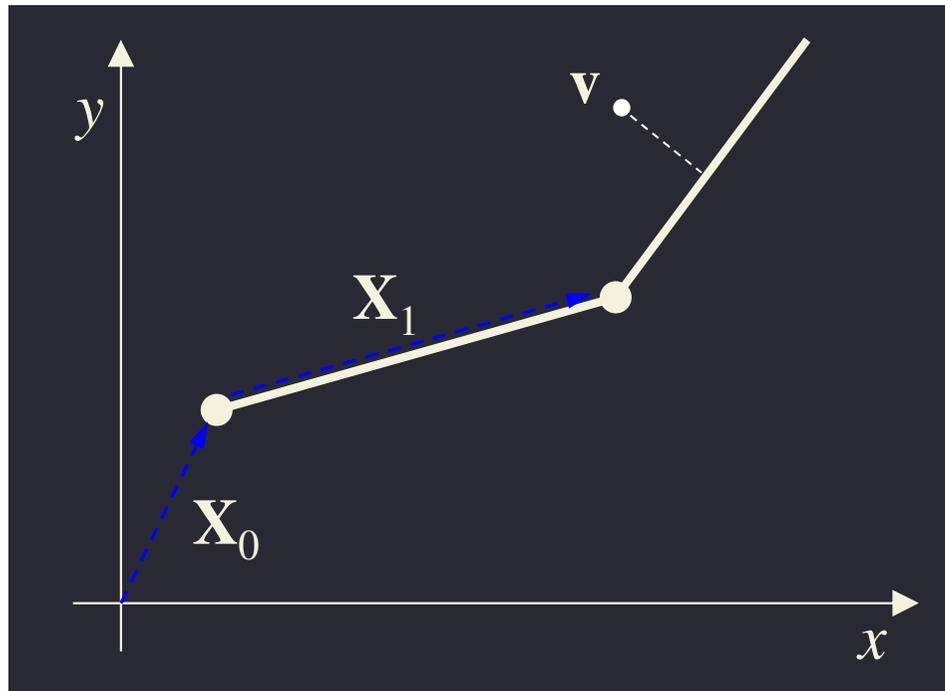
- Retour à l'espace du modèle (monde), position du sommet



Avec des maths

- **Squelette au repos**

\mathbf{X}_i = translation = position de la base de l'os i par rapport à l'os père $i-1$

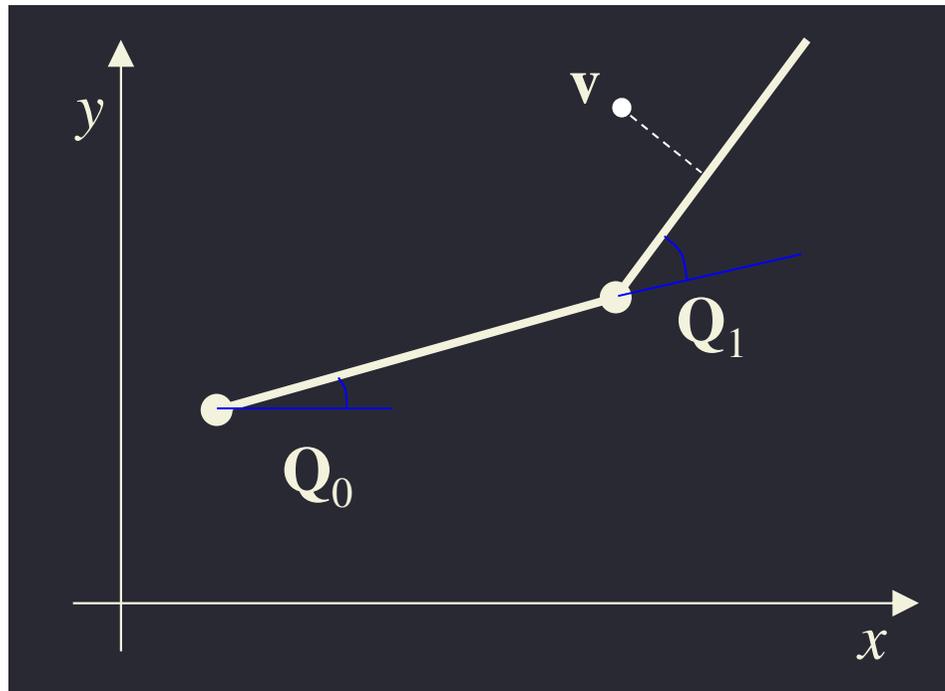


Avec des maths (2)

- **Squelette au repos**

Q_i rotation de l'os i par rapport à l'os père $i-1$

Souvent Q_i est l'identité (cas des fichiers BVH)



Avec des maths (3)

- Position **au repos** de l'os J_i
 - Produit matriciel des translations et rotations depuis la racine :

$$\mathbf{B}_j = \prod_{i=0}^j \mathbf{X}_i \mathbf{Q}_i = \text{Matrice}_{\text{Monde} \leftarrow \text{Local}_j}^{\text{repos}}$$

avec

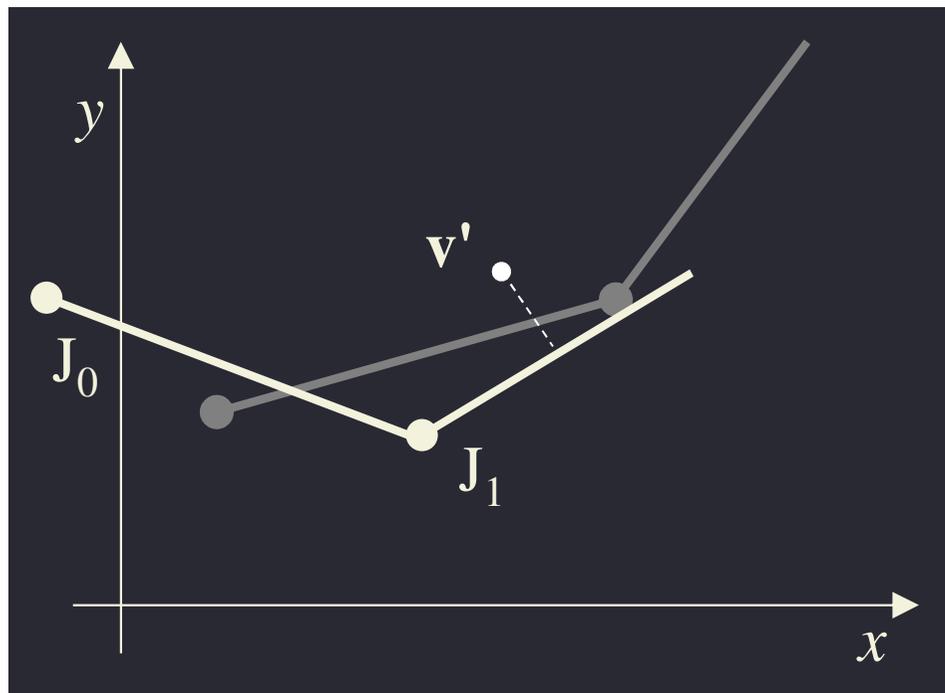
$$\mathbf{X}_i \mathbf{Q}_i = \text{Matrice}_{\text{Local}_{i-1} \leftarrow \text{Local}_i}^{\text{repos}}$$

donc

$$v' = B_j^{-1} \cdot v$$

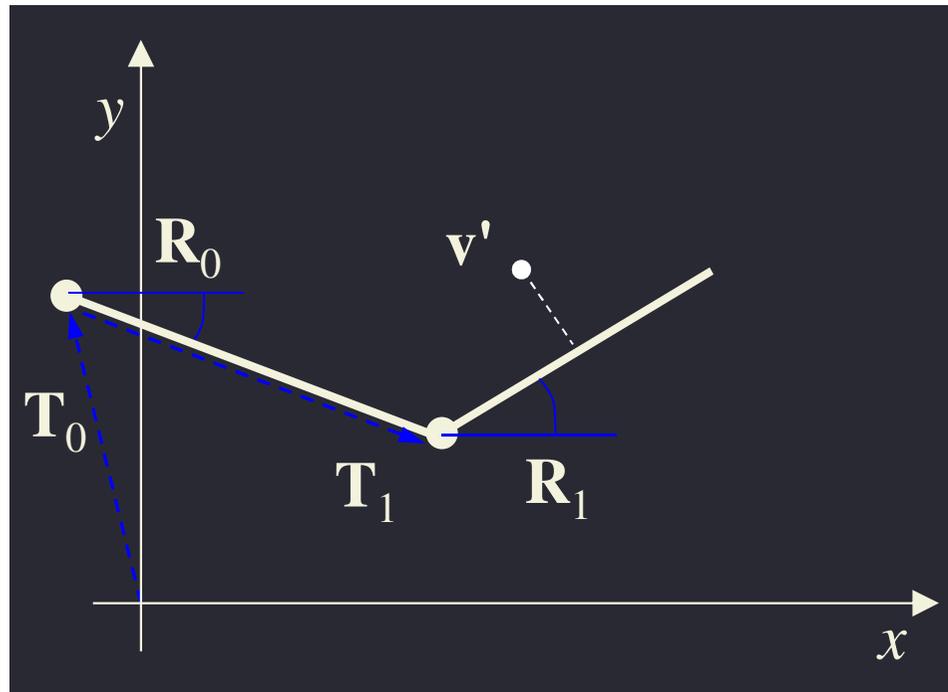
Avec des maths (4)

- On déplace le squelette (animation) :



Avec des maths (5)

- T_i la translation pour l'os i , R_i sa rotation :



Avec des maths (6)

- Pose *actuelle* décrite par matrice :

$$\mathbf{P}_j = \prod_{i=0}^j \mathbf{T}_i \mathbf{R}_i = \text{Matrice}_{\text{Monde} \leftarrow \text{Local}_j}^{\text{animation}}$$

similaire à la matrice de la pose *au repos* :

$$\mathbf{B}_j = \prod_{i=0}^j \mathbf{X}_i \mathbf{Q}_i = \text{Matrice}_{\text{Monde} \leftarrow \text{Local}_j}^{\text{repos}}$$

Avec des maths (7)

- Multiplication du sommet v du maillage par \mathbf{B}_j^{-1} pour se ramener dans l'espace lié à l'os/local (au repos)
 - Peut être fait une fois pour toutes puisque la position au repos reste la même
- Puis multiplication du résultat par \mathbf{P}_j pour se ramener dans l'espace du modèle/monde, dans la pose actuelle

Avec des maths (8)

- Ce qui nous donne, si v est influencé par l'os j

$$\mathbf{v}'' = \mathbf{P}_j \cdot \mathbf{B}_j^{-1} \cdot \mathbf{v}$$

$$= \text{Matrice}^{animation}_{Monde \leftarrow Local_j} \times$$

$$\text{Inverse}(\text{Matrice}^{repos}_{Monde \leftarrow Local_j}) \times \mathbf{v}$$

avec

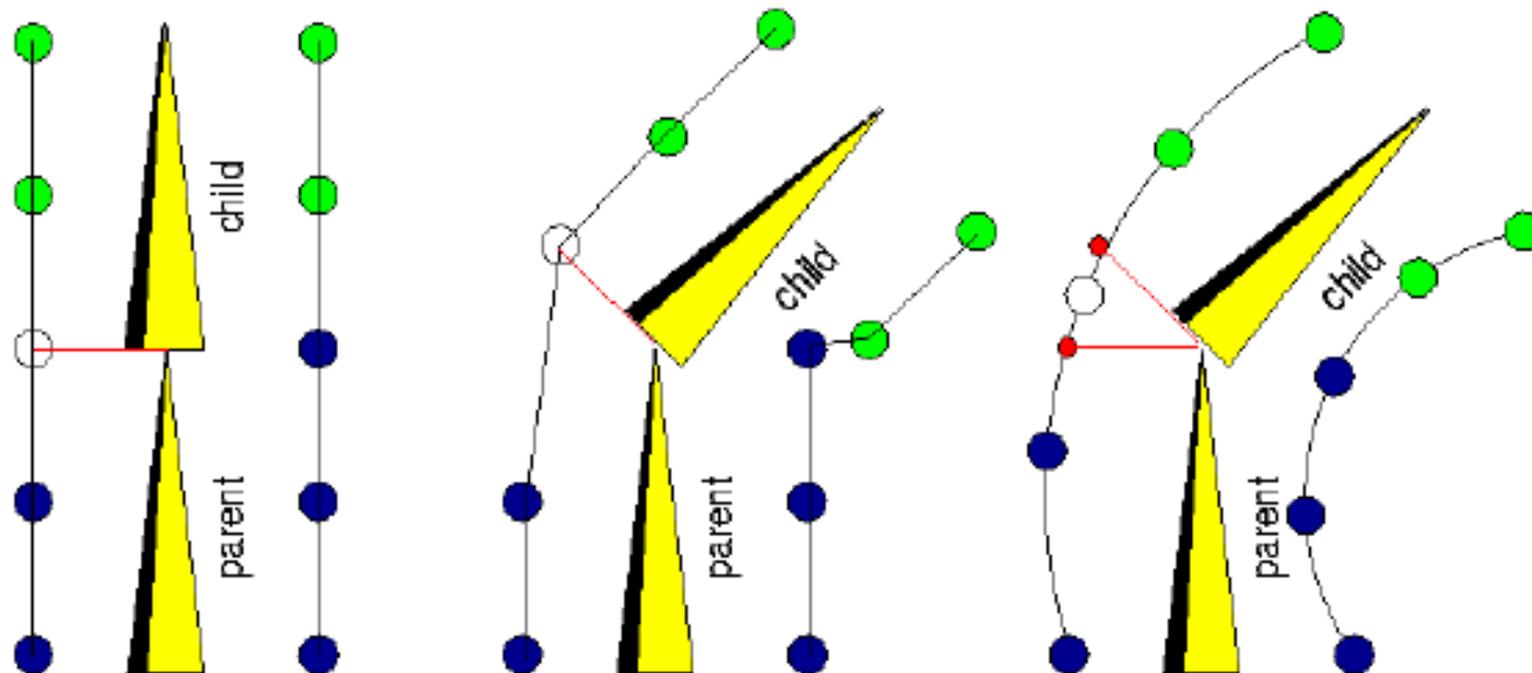
$$\mathbf{v}' = \text{Inverse}(\text{Matrice}^{repos}_{Monde \leftarrow Local_j}) \times \mathbf{v}$$

Avec des maths (9)

- Calculs effectués pour chaque sommet du maillage
 - Chaque sommet du maillage est attaché à au moins un os
- La connectivité du maillage (les triangles) reste identique
 - Dessine les sommets obtenus avec la connectivité du maillage au repos

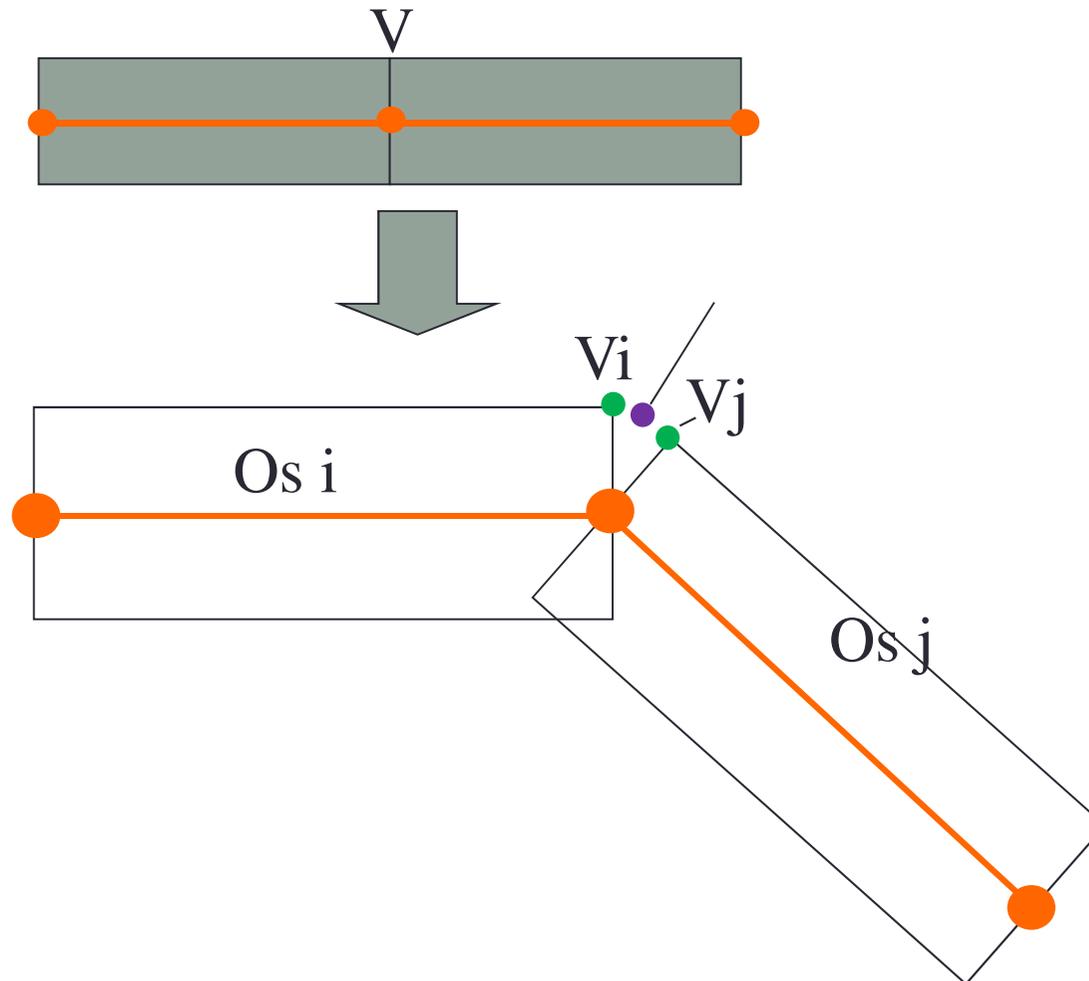
Poids

- Sommets(vertex) modifiés par plusieurs os
- Moyenne pondérée des déplacements
- Ajuster les poids



Smooth Skinning

- Un sommet V est influencé par plusieurs os
 - Ici l'os i et l'os j



Sommet $V =$
moyenne pondérée
des sommets V_i et V_j

Skinning : en résumer

$$v' = \sum_i^n w_i M_i v \quad \text{avec} \quad \sum_i w_i = 1$$

où:

n est le nombre d'os influant le vertex

i est la position du sommet

w_i est le poids associé

M_i est la matrice de transformation P.B⁻¹

M_i

Skinning : en résumé

- Pour les normales:

$$n' = \sum_i^N w_i M_i^{-1T} n \quad \text{avec} \quad \sum_i w_i = 1$$

Où

N est le nombre de matrice

n est la normale

w_i est le poids associé

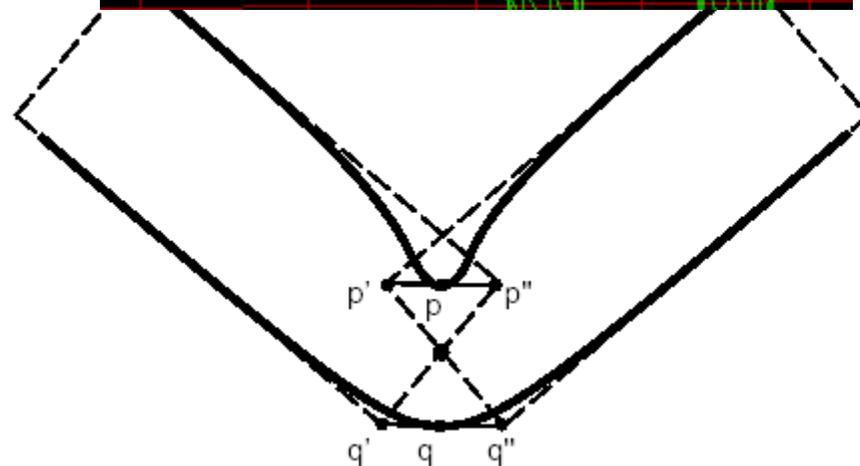
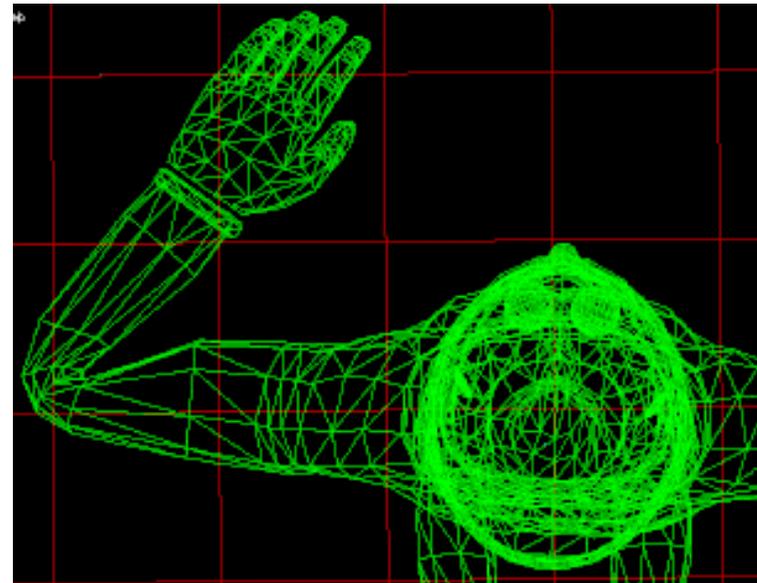
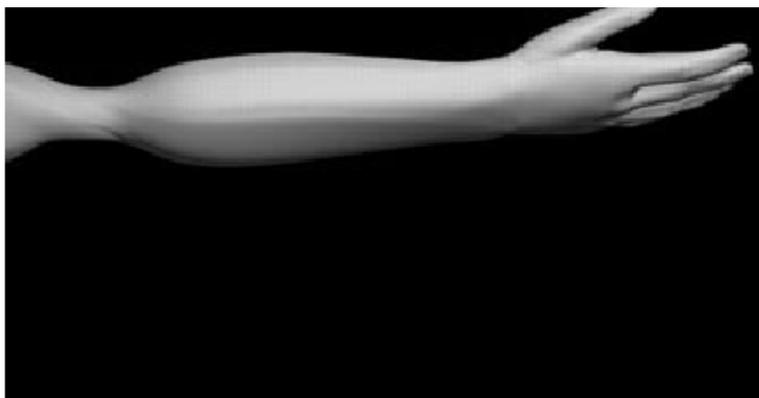
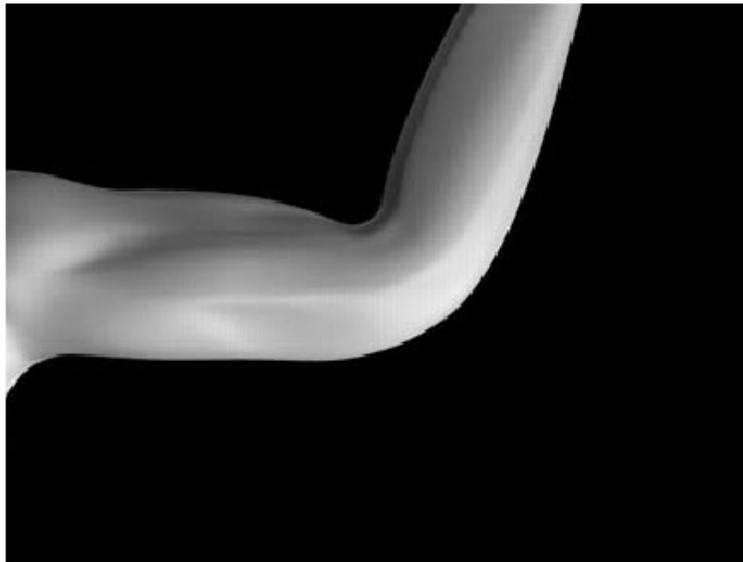
M_i^{-1T} est la transposé inverse de la matrice M_i

Skinning

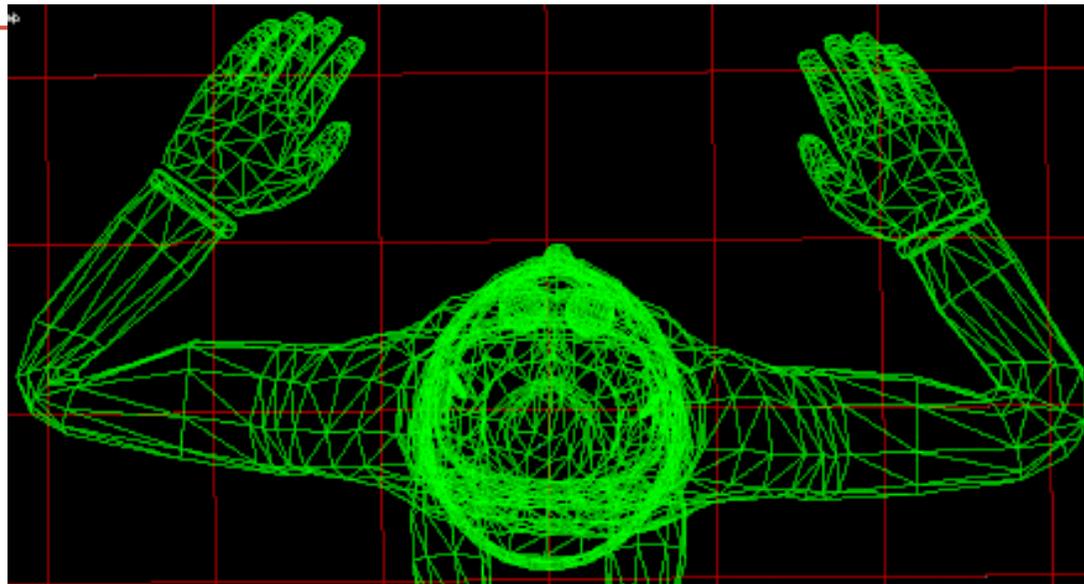
- Problème : étant donné un maillage
 - Comment trouver un squelette approprié
 - Pour chaque point du maillage, comment trouver le ou les os associés? + poids?
- Différentes pistes
 - Artiste à la main
 - Squelette : avec une contraction du maillage
 - Poids
 - Distance à l'os (cf. TP1 Blender)
 - Diffusion de la chaleur [cf. SIGGRAPH2007]

Skinning: limitations

Le skinning que nous venons de voir est le **Smooth skinning**.



SKINNING++



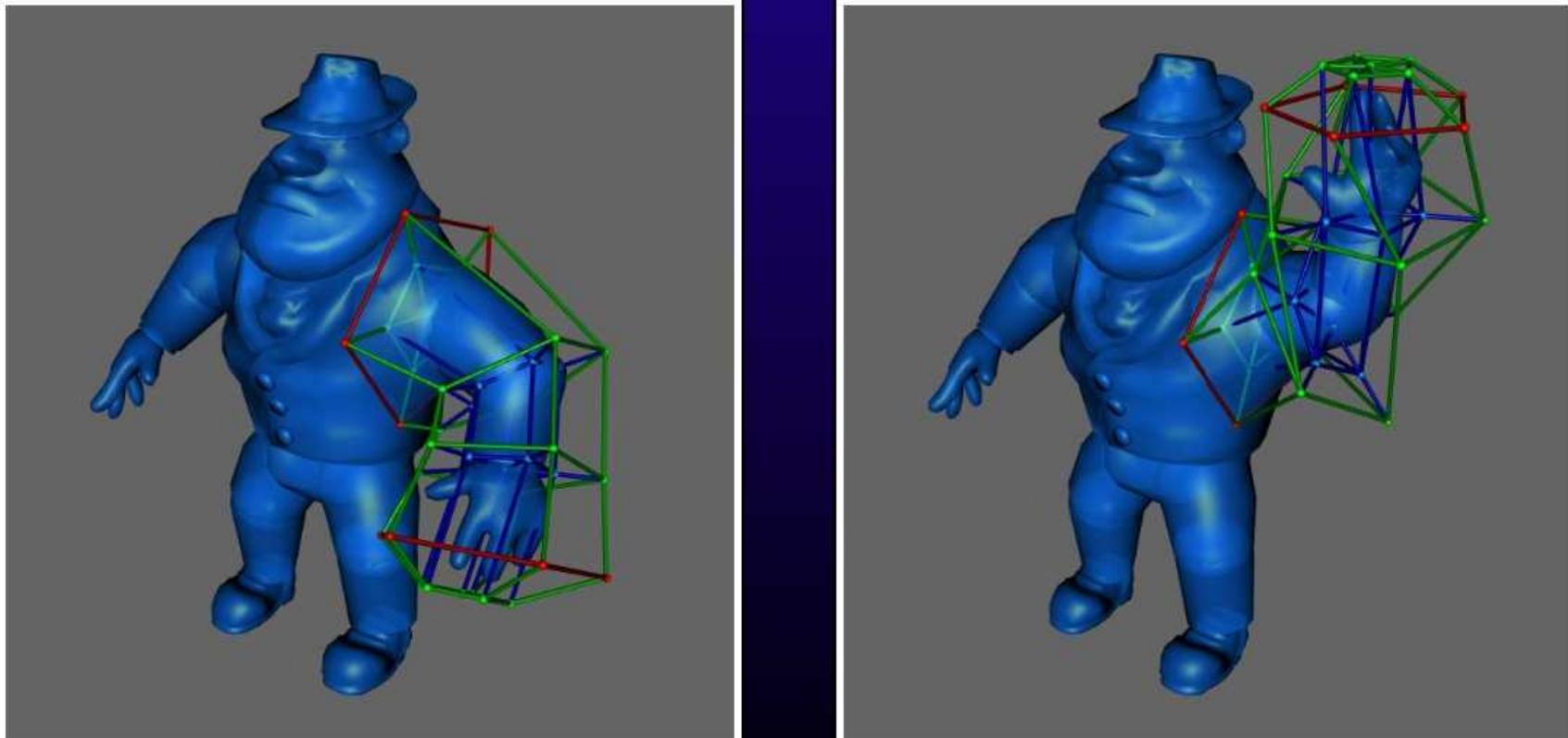
Problème avec le smooth skinning classique (coude gauche)

Skinning++

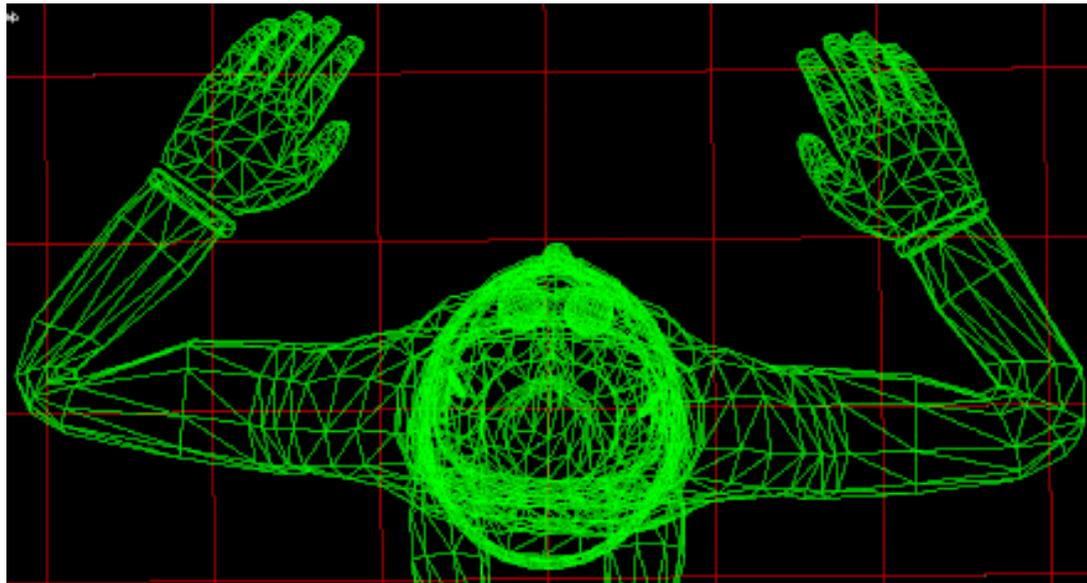
- Puisque problème avec smooth skinning
- Autres réponses (cf. transparents suivants)
 - Skinning + Free Form Deformation (FFD)
 - Skinning classique avec dual quaternion
 - « Simulation » de la déformation de la peau
 - [Larboulette05]: cherche à conserver une surface de peau constante
 - en utilisant des muscles
 - etc.

Skinning+ FFD

- Placer squelette simplifié sur modèle
- Squelette se transforme en armature puis FFD=Free Form Deformation



Skinning+FFD : résultat



Smooth skinning

Skinning + FFD

Skinning : dual quaternion

- Quasiment identique au smooth skinning
 - Les rotations et translation sont regroupés dans des quaternions++ = dual quaternions dont l'interpolation se passe mieux



Smooth skinning

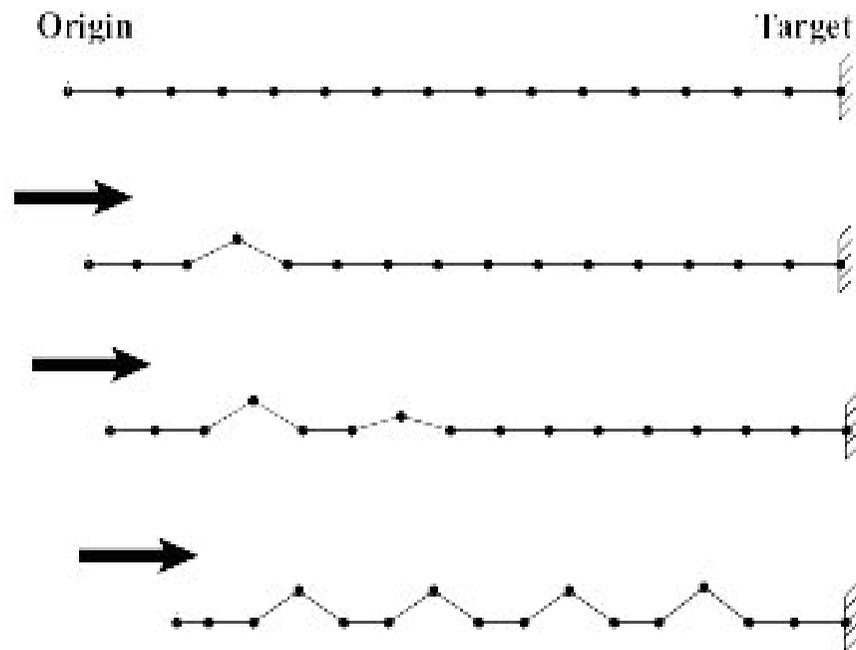


Dual quaternion

VIDEO

“*Dynamic Wrinkles*” [Larboulette05]

- Conservation de l’aire de la surface durant la pliure
- Par un système de masse-ressort peu dense donc peu couteux à résoudre

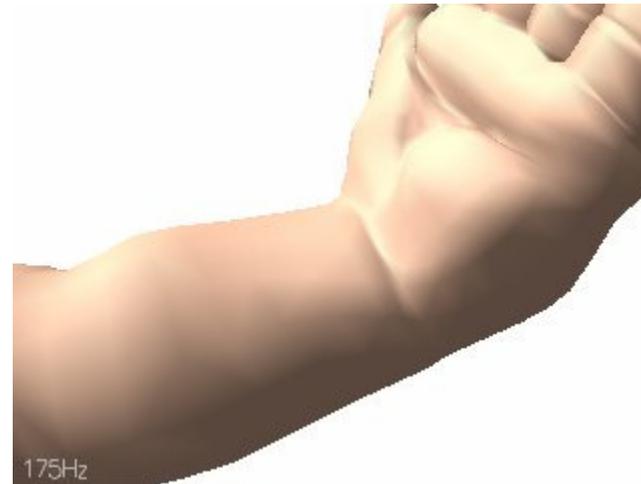


Résultats : “Dynamic Wrinkles”



Résultats : “Dynamic Wrinkles”

Skinning classique



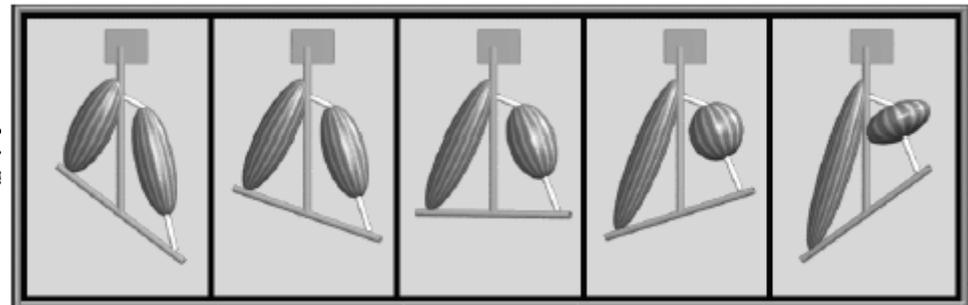
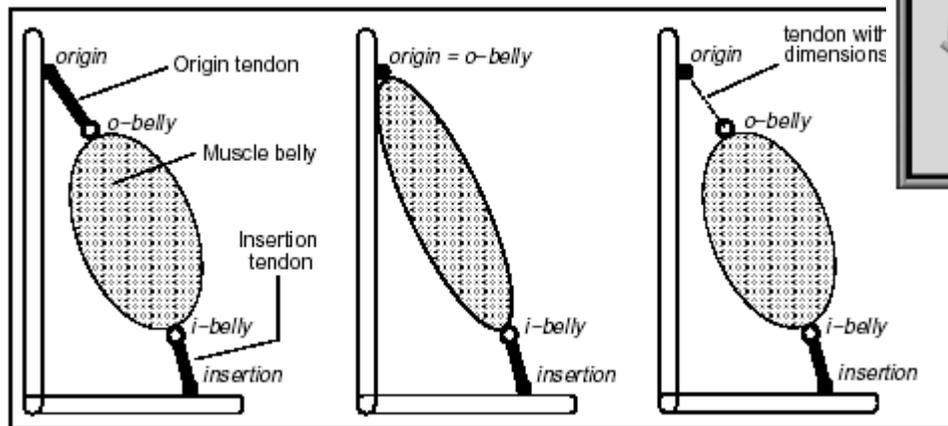
Dynamic Wrinkles



VIDEO

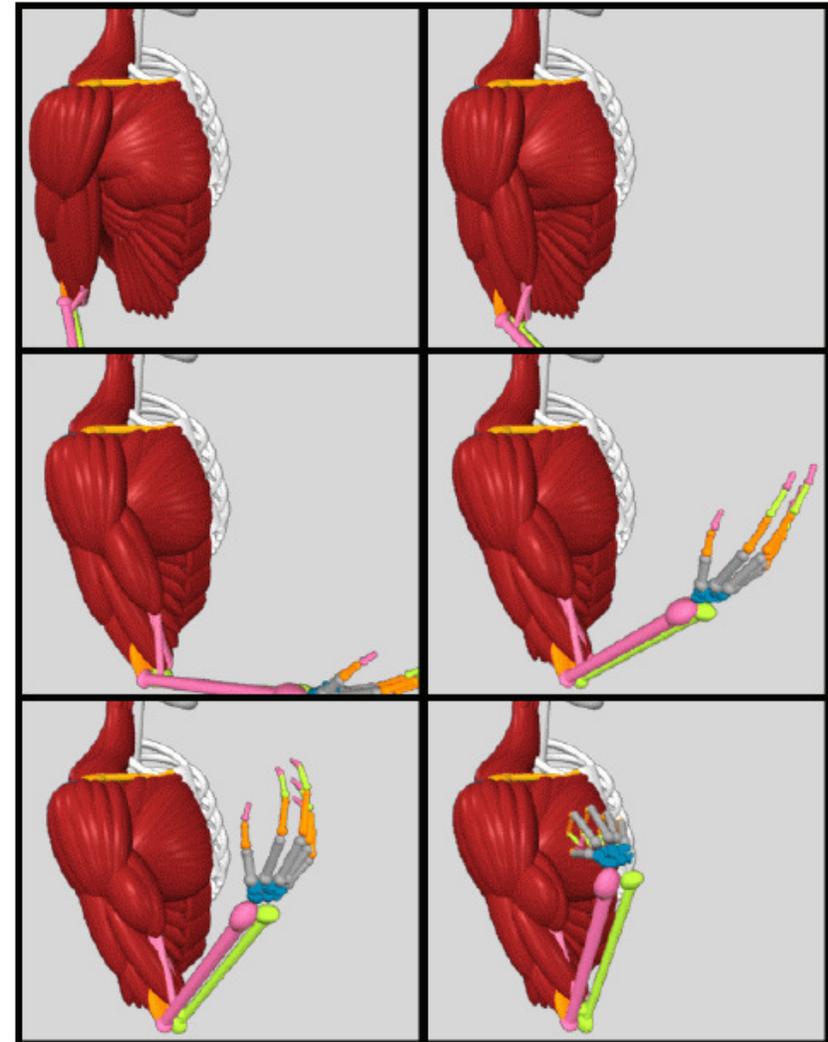
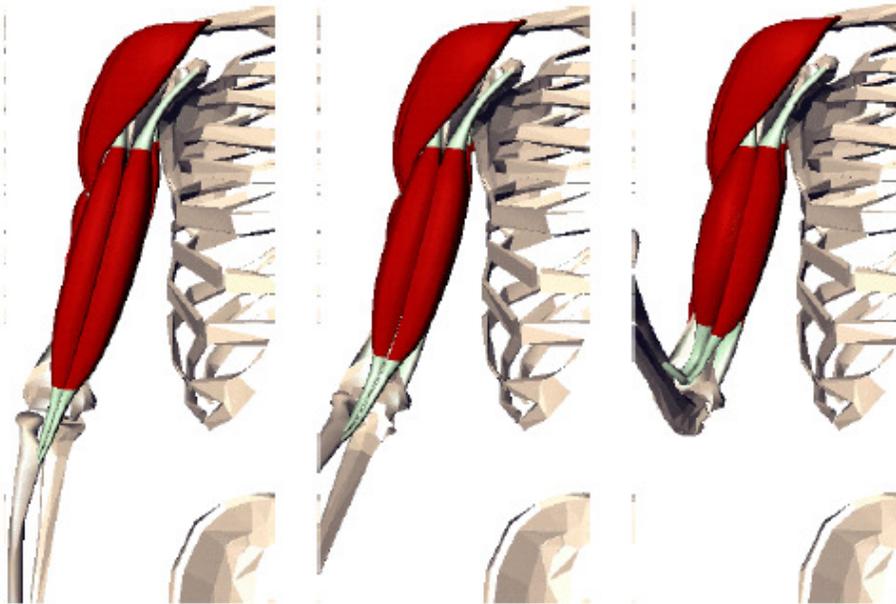
Modèle Anatomique

- Des muscles sont attachés aux os (avec des tendons)
- Contraction des muscles avec calcul du volume du muscles



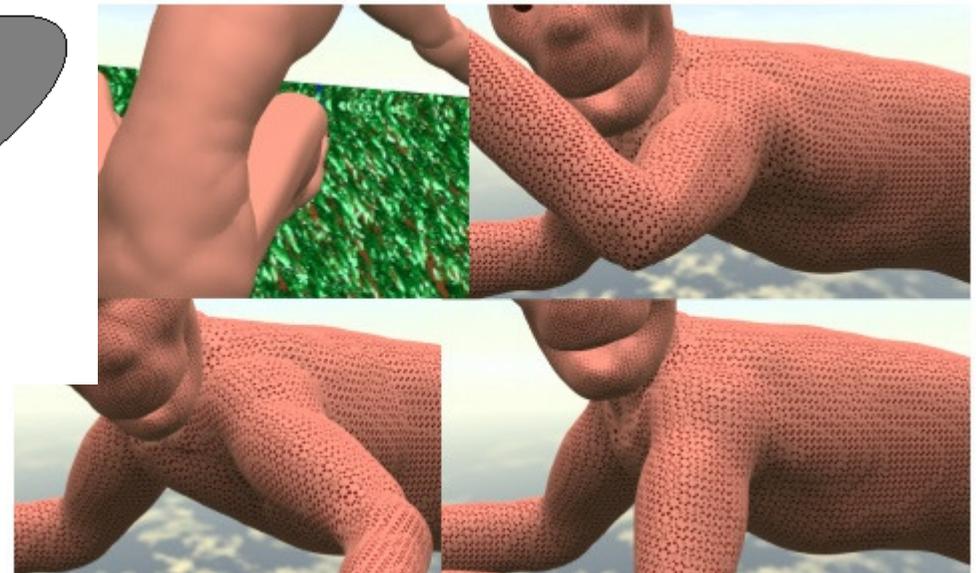
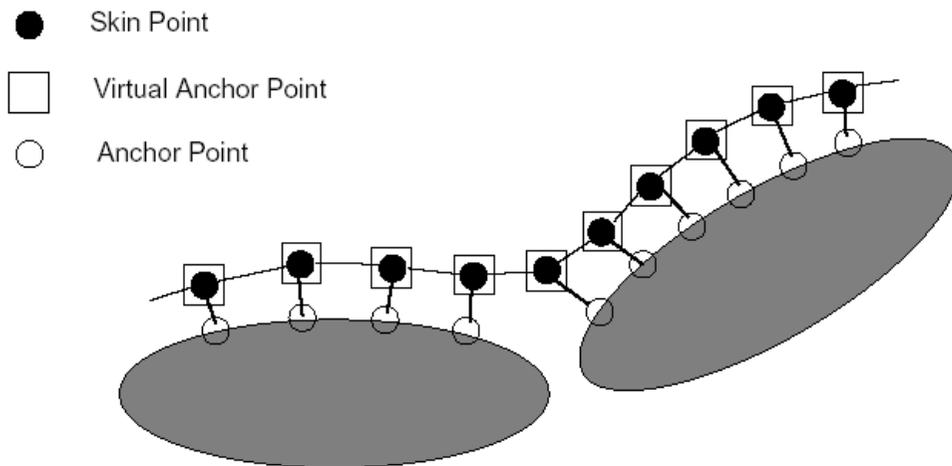
Modèle Anatomique

- Muscles complexes construits à partir de plusieurs muscles simples



Modèle Anatomique

- Peau est attachée aux muscles avec un système masse-ressorts et une simulation physique avec collision os/muscle/peau



Modèle Anatomique

- Couplé à des paramètres physiques réels
 - résultats très réaliste
- Couteux en calculs
- Mise en place lourde
- Ne gère que les déformations de la peau
 - (ce n'est pas une animation physique, pas de notion d'équilibre, etc.)
- Voir :
<http://www.cgcharacter.com>

Modèle Anatomique + VIDEO



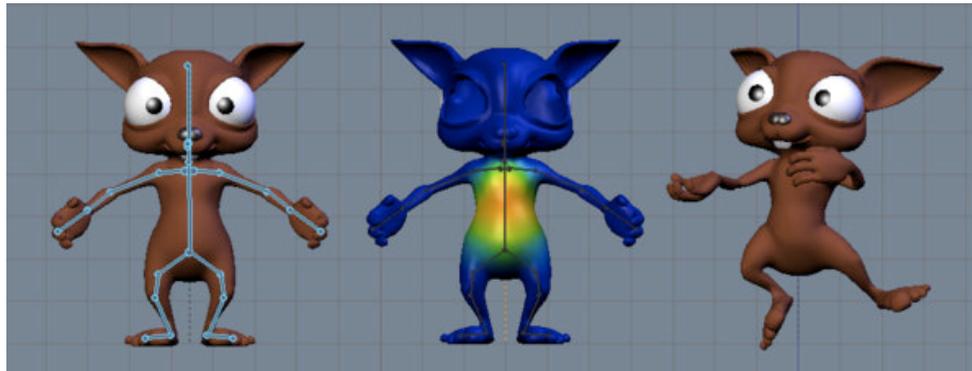
SKINNING ET POIDS

METHODES AUTOMATIQUES

Alexandre Meyer

Equipe SAARA, Laboratoire LIRIS

M2pro Image

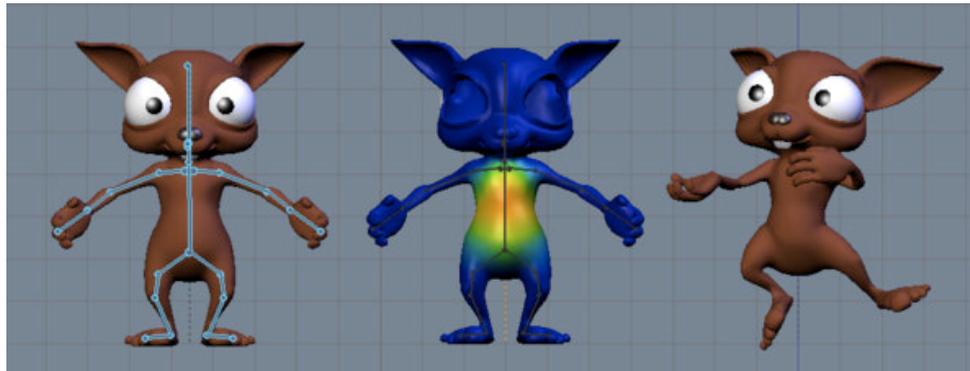


SKINNING ET POIDS

À PARTIR D'UN UNIQUE MAILLAGE

- GÉOMÉTRIQUE
- ÉQUATION DE LA CHALEUR
- PAR TRANSFERT

À PARTIR DE PLUSIEURS MAILLAGES
LORS DE LA MODÉLISATION



Linear Blend Skinning : rappel

- LBS : Skinning "classique"

$$v'_i = \sum_j^n w_{ij} M_j v_i \quad \text{avec} \quad \sum_j w_{ij} = 1$$

où:

n est le nombre d'os influençant le sommet i

v_i est la position du sommet i

w_{ij} est le poids associé de l'os j pour le sommet i

M_j est la matrice de transformation P.B⁻¹

Linear Blend Skinning : rappel

* Problème

Attacher un sommet i aux os = calculer les poids d'influence des n os

poids du sommet i $w_i = (w_{i0} \dots w_{ij} \dots w_{in})$

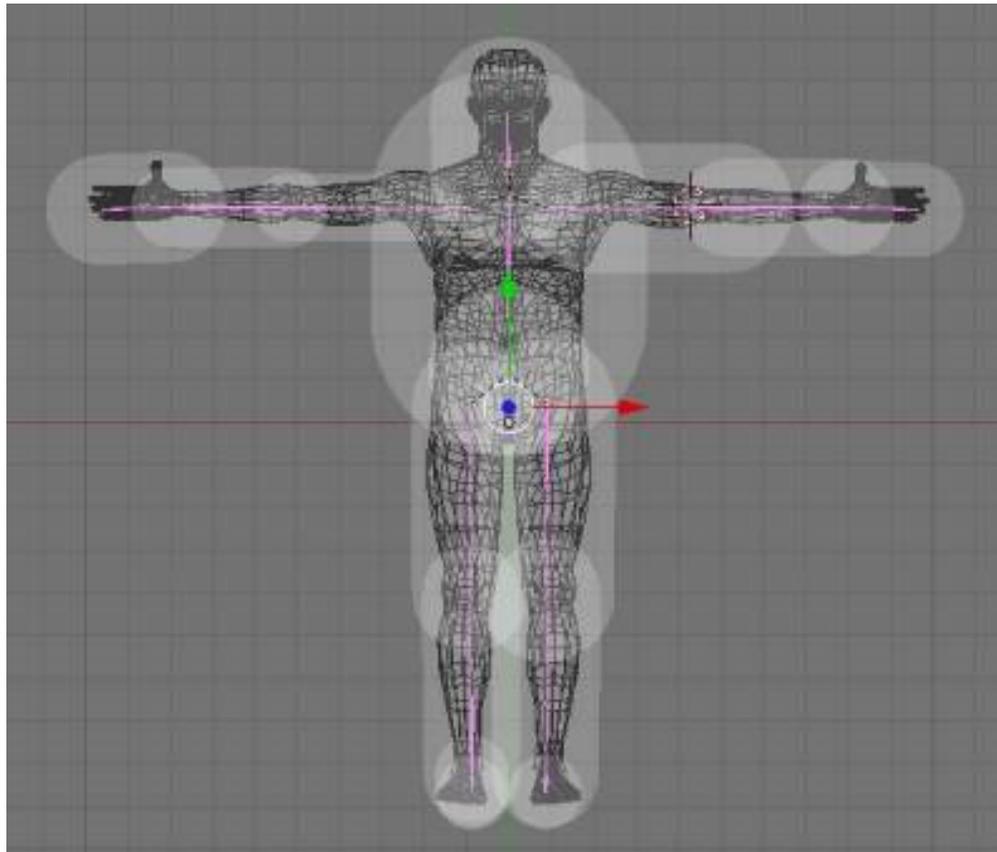


SKINNING ET POIDS

À PARTIR D'UN UNIQUE MAILLAGE
- GÉOMÉTRIQUE

Poids et distances : méthode de base

- Attaché chaque sommet à l'os le plus proche pondéré par la distance D (capsule autour de l'os)

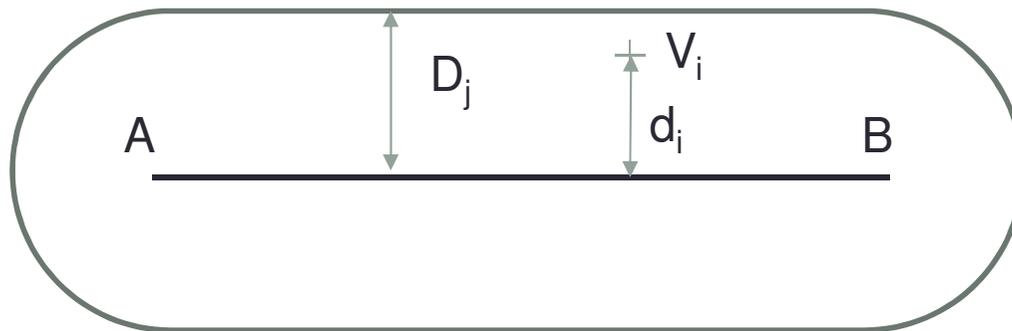


Poids et distances : méthode de base

- Attaché chaque sommet à l'os le plus proche pondéré par la distance D (capsule autour de l'os)
- w_{ij} = le poids du sommet i (V_i) attaché à l'os j (AB sur la figure)

$$w'_{ij} = \begin{cases} \frac{d_i}{D_j} & \text{si } d_i \leq D_j \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad \text{donc } w'_i = \left(\frac{d_0}{D_0} \text{ ou } 0 \dots \frac{d_j}{D_j} \text{ ou } 0 \dots \frac{d_n}{D_n} \text{ ou } 0 \right)$$

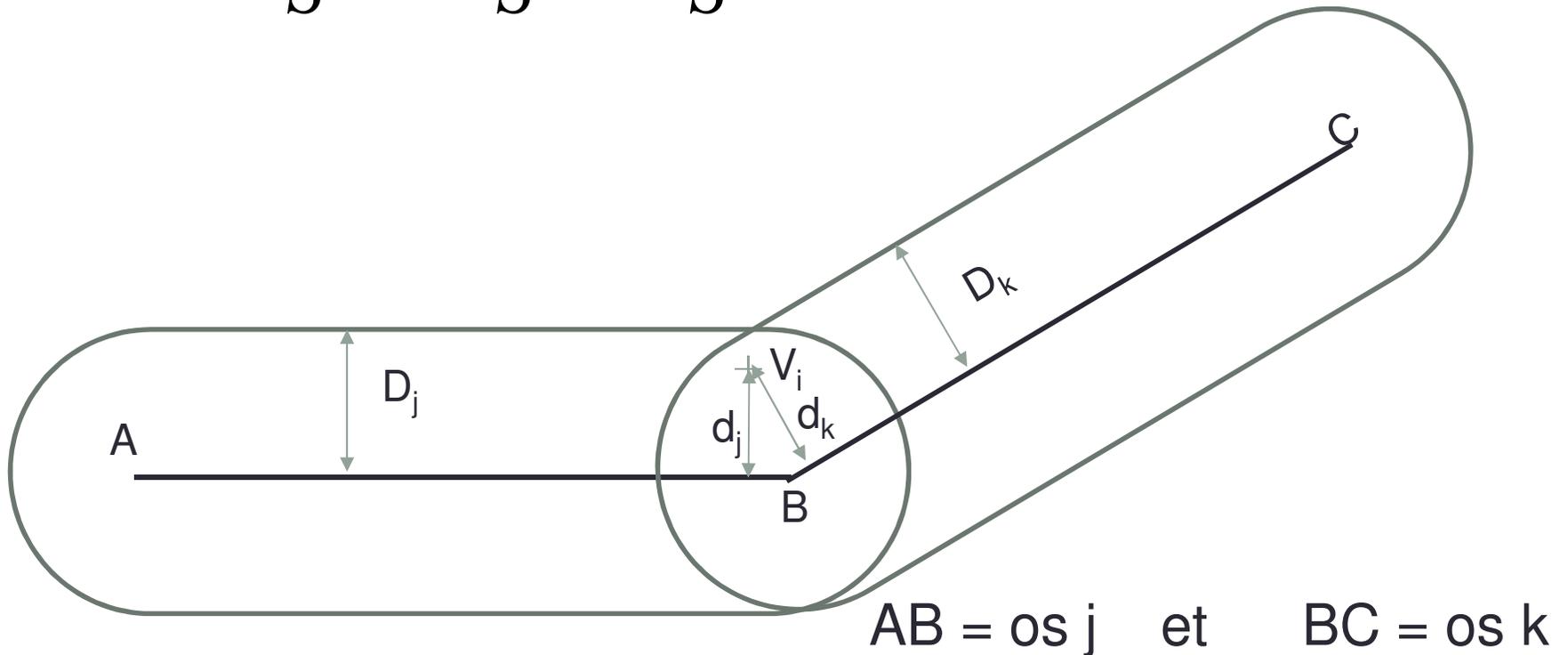
' signifie non normalisé



Poids et distances : méthode de base

- Normalisation

$$w_i = \left(\frac{w'_{i0}}{S} \dots \frac{w'_{ij}}{S} \dots \frac{w'_{in}}{S} \right) \quad \text{avec } S = \sum_{j=1}^n w'_{ij}$$



Poids et distances : méthode de base

- Problème : un sommet peut être influencé par un os d'un membre opposé. Voir la jambe ici :

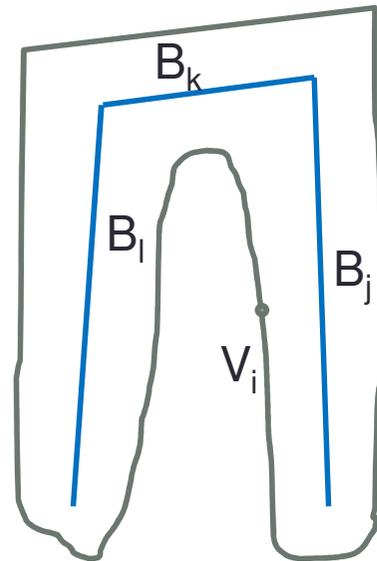


<http://blog.wolfire.com/2009/11/volumetric-heat-diffusion-skinning/>

Poids et distances : méthode de base

- Problème
 - Un sommet peut être influencé par un os opposé
- Solutions possibles
 - Notion de visibilité entre un sommet et l'os
 - Distance calculée à l'intérieur du volume

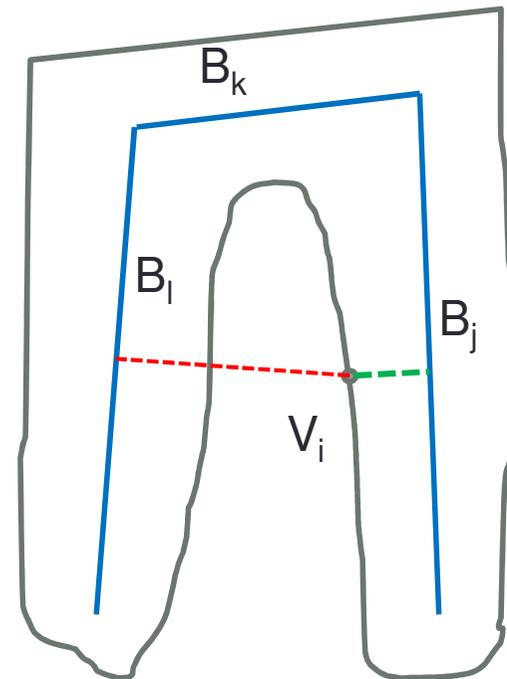
Ici V_i peut être influencer par B_j



Poids et distances : méthode de base

- Solutions possibles
 - Notion de visibilité entre un sommet et l'os
 - B_j influence V_i car la droite directe ne traverse pas le maillage
 - B_i n'influence pas V_i car la droite directe traverse le maillage

Peu se résoudre par lancer de rayons
→ Test : est-ce que le segment entre V_i et le point le plus proche sur l'os traverse un triangle ?





SKINNING ET POIDS

À PARTIR D'UN UNIQUE MAILLAGE
- ÉQUATION DE LA CHALEUR

Automatic Rigging and Animation of 3D Characters

Ilya Baran, Jovan Popović

SIGGRAPH 2007

Code disponible sur leur page

Automatic Rigging and Animation of 3D Characters

- Entrée
 - 1 maillage (statique)
 - 1 squelette (générique)

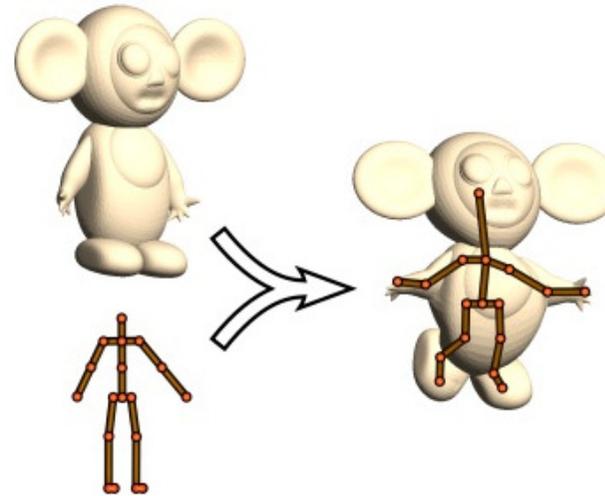


Figure 1: Our method takes a static character mesh and an input skeleton and rigs the character so that it can be animated by controlling the skeleton.

- Ajuste le squelette sur le maillage
- Attache le maillage au squelette
 - Skinning (Linear Blend Skinning)
 - Calcul automatique des poids par diffusion de chaleur

Automatic Rigging and Animation of 3D Characters

- Ajuste le squelette sur le maillage

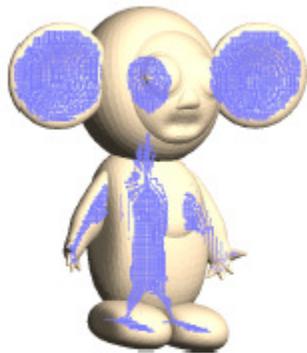


Figure 2: Approximate Medial Surface

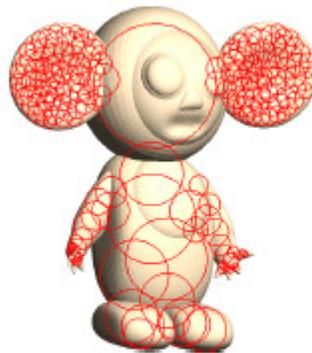


Figure 3: Packed Spheres

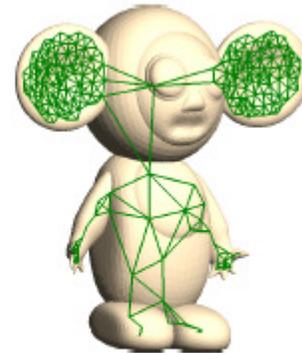


Figure 4: Constructed Graph

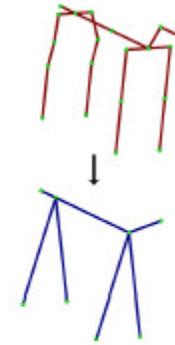


Figure 5: The original and reduced quadruped skeleton

Equation de la chaleur

- Idée
 - Tous les sommets ont une température initiale de 0 degré
 - Un unique os émet de la chaleur (ici celui de droite en rouge)
 - Simulation de la diffusion
 - La température arrivant au sommet donne le poids

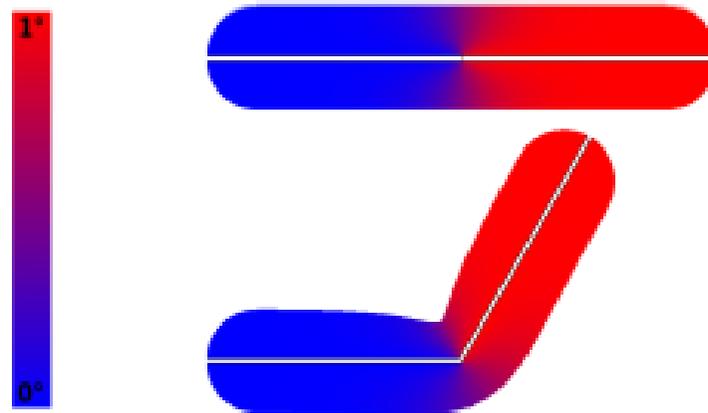


Figure 8: Top: heat equilibrium for two bones. Bottom: the result of rotating the right bone with the heat-based attachment

Equation de la chaleur (wikipedia)

$$\forall x \in \Omega, \quad \frac{\partial T}{\partial t}(x, t) = D \Delta T(x, t) + \frac{P}{\rho c}$$

• où

- Δ est l'opérateur [Laplacien](#) (somme des dérivées secondes),

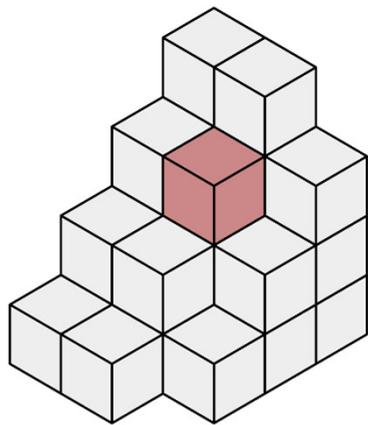
$$\Delta \phi = \nabla^2 \phi = \nabla \cdot (\nabla \phi) = \operatorname{div}(\overrightarrow{\operatorname{grad}} \phi)$$

$$\Delta = \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

- D est le [coefficient de diffusivité thermique](#) (en m²/s),
- P une éventuelle production volumique de chaleur (en W/m³),
- ρ est la [masse volumique](#) du matériau (en kg/m³),
- c la [chaleur spécifique](#) massique du matériau (en J/kg·K).

Equation de la chaleur : volumique

- Pour calculer la diffusion de chaleur
 - Peut-être calculé en voxelisant le maillage dans une grille 3D
 - Assez précis

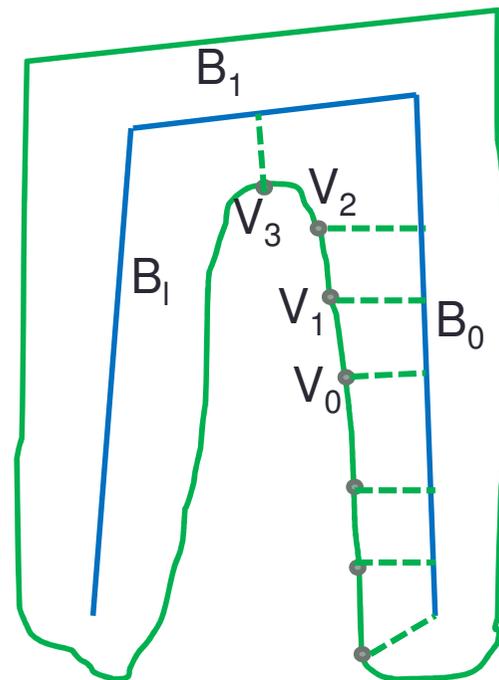
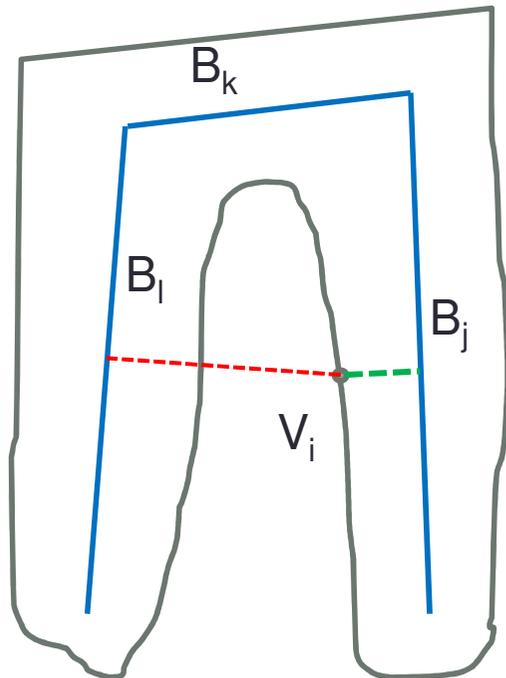


Assez lourd, on peut se passer de cette approche



Equation de la chaleur : maillage

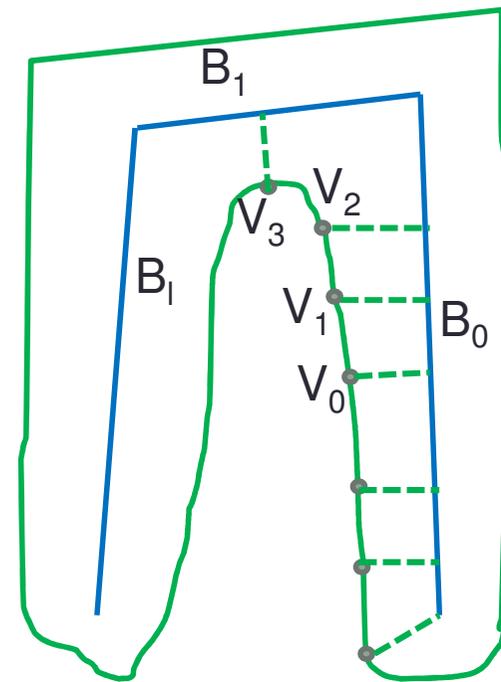
- La chaleur passe
 - par les arêtes du maillage donc entre deux sommets
 - Entre un os et un sommet quand il y a visibilité directe
- Sur la figure, rouge la chaleur ne passe pas, vert la chaleur passe



Equation de la chaleur : maillage

- On traite chaque os séparément
- Initialisation
 - Os j : $w=1$ (chaud), autre os $w=0$ (froid)
Température des os = constante
 - Poids du sommet i avec l'os $j = w_{ij}=0$
- Chaleur sur tout le maillage par un calcul de simulation

$$\frac{dw_j}{dt} = \Delta w_j + H(p_j - w_j)$$



Equation de la chaleur : maillage

- Sur tout le maillage

$$\frac{dw_j}{dt} = \Delta w_j + H(p_j - w_j)$$

avec

- w_j température du sommet j
- p_j est un la production de chaleur de l'os j (1 quand l'os le plus proche du sommet i est l'os j , 0 sinon)
- H matrice diagonale avec H_{ii} la contribution de chaleur de l'os le plus proche du sommet i , c'est-à-dire

$H_{ii} = c/d_i^2$ si l'os i est le plus proche, 0 sinon

avec d_i la distance entre le sommet i et l'os le plus proche (cela correspond aux arêtes en pointillées de la figure du slide précédent)

c =constante réglée empiriquement à 0.22 dans l'article

Equation de la chaleur : maillage

- Deux manière de calculer les poids à partir de cette éq.
 - Simulation par différence finie et itérations (solver explicite)

$$\frac{w_j^{t+1} - w_j^t}{dt} = \Delta w_j^t + H(p_j - w_j^t)$$

- Equilibre est atteint quand $dw/dt=0$
 - résolution du système (matrice creuse, résolution de Cholesky)
 - le papier utilise la librairie TAUCS (solver implicite)

$$\frac{dw_j}{dt} = \Delta w_j + H(p_j - w_j) = 0$$

$$\Leftrightarrow -\Delta w_j + Hw_j = Hp_j$$

Equation de la chaleur : maillage

- Deux manière de calculer les poids à partir de cette éq.
 - Simulation par différence finie et itérations

$$\frac{w_j^{t+1} - w_j^t}{dt} = \Delta w_j^t + H(p_j - w_j^t)$$

- Equilibre est atteint quand $dw/dt=0$
 - résolution du système (matrice creuse, résolution de Cholesky)
 - le papier utilise la librairie TAUCS

$$\frac{dw_j}{dt} = \Delta w_j + H(p_j - w_j) = 0$$

$$\Leftrightarrow -\Delta w_j + Hw_j = Hp_j$$

Eq. chaleur : Laplacien

The mesh is represented as a graph $\mathbf{G} = (\mathbf{V}, \mathbf{E})$, with vertices \mathbf{V} and edges \mathbf{E} , where $\mathbf{V} = [\mathbf{v}_1^T, \mathbf{v}_2^T, \dots, \mathbf{v}_n^T]^T$, $\mathbf{v}_i = [v_{ix}, v_{iy}, v_{iz}]^T \in \mathbb{R}^3$ is the original geometry, and \mathbf{V}' denotes the displaced geometry. Furthermore, δ_i is the Laplacian of \mathbf{v}_i , the result of applying the discrete Laplace operator to \mathbf{v}_i , i.e.

$$\delta_i = \sum_{\{i,j\} \in \mathbf{E}} w_{ij}(\mathbf{v}_j - \mathbf{v}_i) = \left[\sum_{\{i,j\} \in \mathbf{E}} w_{ij} \mathbf{v}_j \right] - \mathbf{v}_i, \quad (1)$$

where $\sum_{\{i,j\} \in \mathbf{E}} w_{ij} = 1$, and the choice of weights

$$w_{ij} = \frac{\omega_{ij}}{\sum_{\{i,k\} \in \mathbf{E}} \omega_{ik}} \quad (2)$$

defines the nature of δ_i . Some popular choices are

$$\omega_{ij} = 1, \quad (3)$$

$$\omega_{ij} = \cot \alpha + \cot \beta, \quad (4)$$

where (3) are the uniform and (4) the cotangent weights. The angles used in these equations are shown in Fig. 4. In the remainder of

Eq. chaleur : Laplacien

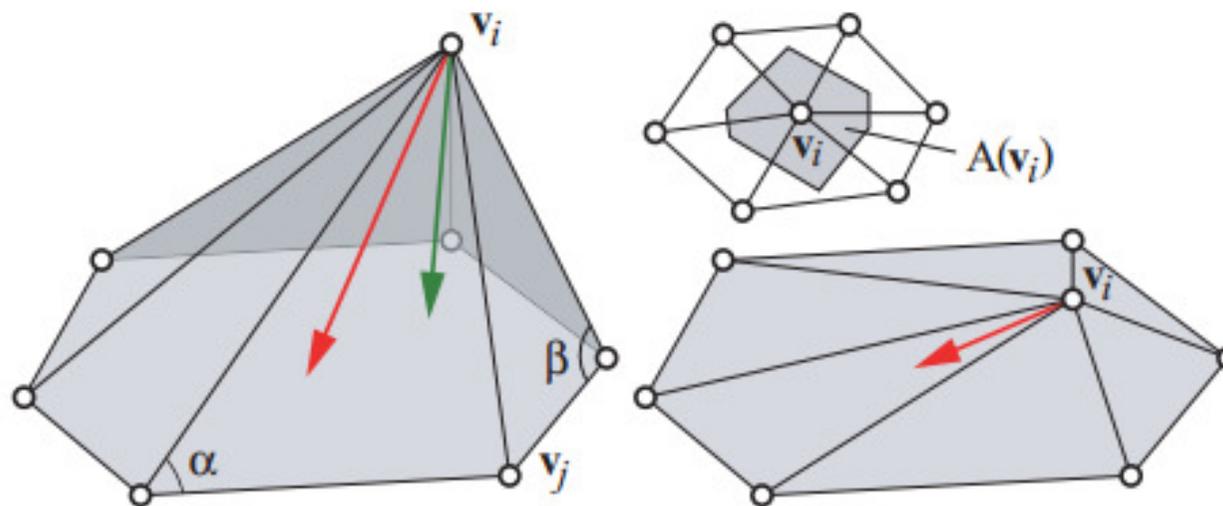


Figure 4: Left: uniform (red) and cotangent (green) Laplacian vectors for a vertex v_i and its (in this case planar) 1-ring, as well as the angles used in Eqn. 4 for one v_j , Bottom right: the effect of flattening v_i into the 1-ring plane. While the cotangent Laplacian vanishes, the uniform Laplacian generally does not. Right top: the Voronoi region $A(v_i)$ around a vertex.

Eq. chaleur : Laplacien

- Pour le Laplacien un choix populaire et simple est
 - Equation (3), dans deux transparents précédents
 - Moyenne des écarts avec les sommets voisins

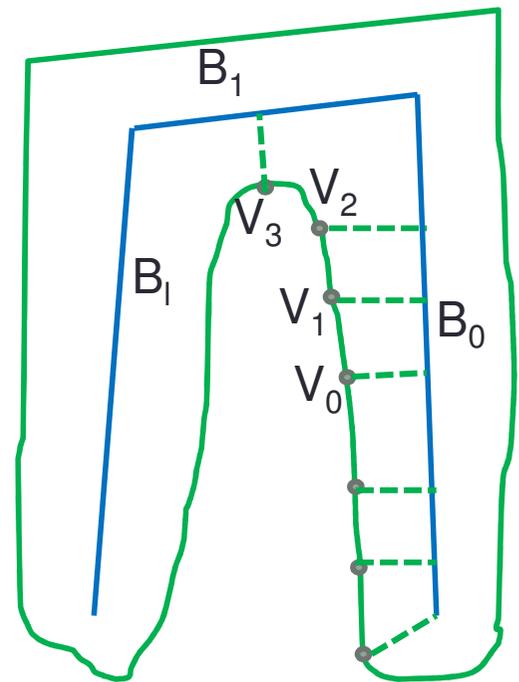
$$\Delta w_i = \frac{1}{\text{nombre de sommets voisins}} \sum_{\text{sommets voisins } k} (w_k - w_i)$$

$$\Delta w_i = w_i + \frac{\sum_{\text{sommets voisins } k} w_k}{\text{nombre de sommets voisins}}$$

Eq. chaleur : Laplacien

- Sur notre exemple ca donne en notation matricielle
 - -1 sur la diagonale
 - 1 pour les voisins divisé par le nombre de voisins
 - 0 pour les autres

$$\begin{pmatrix} \Delta w_0 \\ \Delta w_1 \\ \Delta w_2 \\ \Delta w_3 \\ \dots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & \dots \\ 1/2 & -1 & 1/2 & 0 & \dots \\ 0 & 1/2 & -1 & 1/2 & \dots \\ 0 & 0 & 1/2 & -1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_0 \\ w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \dots \end{pmatrix}$$



Equation de la chaleur : maillage

- Pour l'os 0, température os 0 = 1, autres os t=0
 - Refaire ce calcul pour os 1, 2, etc.
- Système à résoudre pour trouver l'influence de l'os 0 :

$$\Delta w_j + H(p_j - w_j) = 0$$

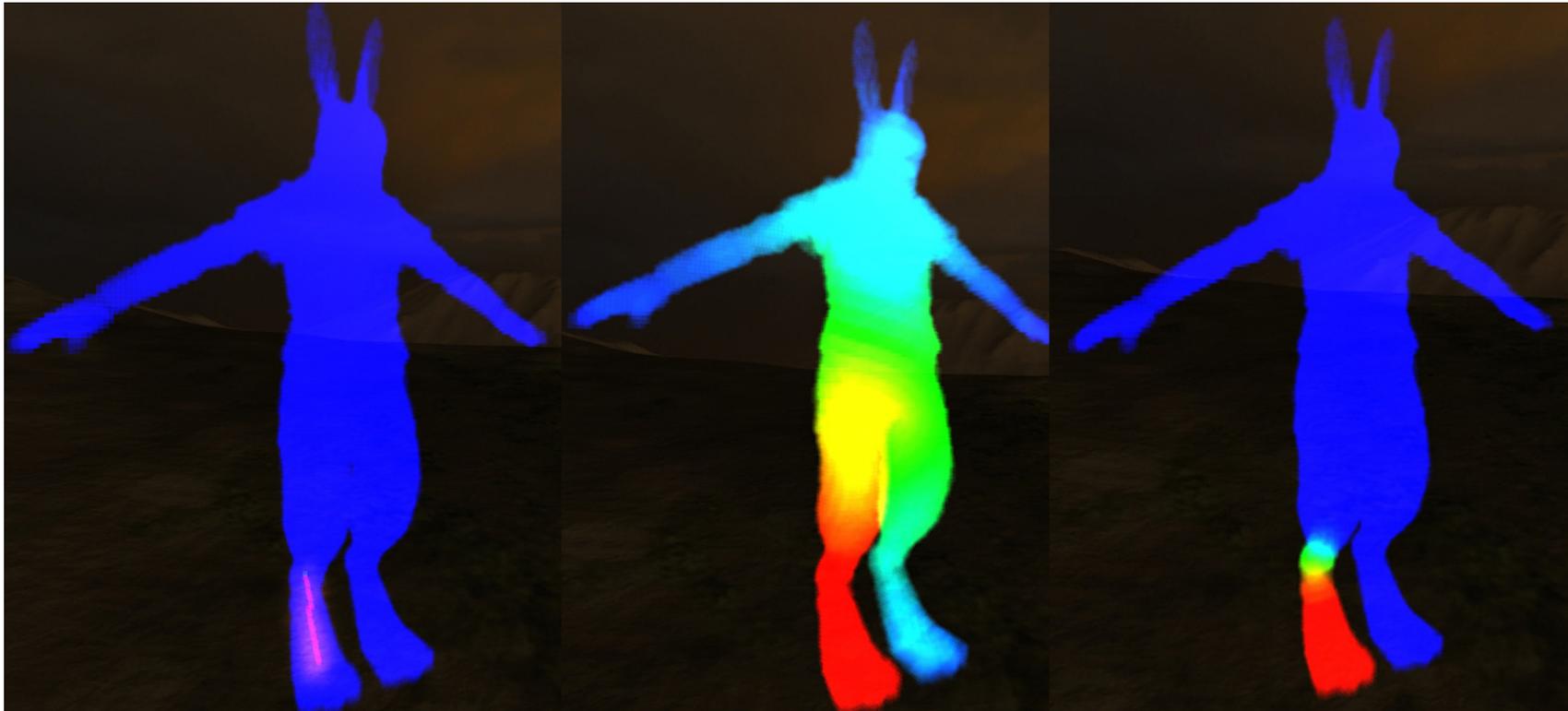
$$\underbrace{\begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & \dots \\ 1/2 & -1 & 1/2 & 0 & \dots \\ 0 & 1/2 & -1 & 1/2 & \dots \\ 0 & 0 & 1/2 & -1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w_0 \\ w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ \dots \end{pmatrix} + \underbrace{\begin{pmatrix} c/d_0 & & & 0 & \dots \\ & c/d_1 & & & \dots \\ & & c/d_2 & & \dots \\ 0 & & & 0 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & w_0 \\ 1 & w_1 \\ 1 & -w_2 \\ 0 & w_3 \\ \dots & \dots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dots \end{pmatrix}$$

Laplacien

Ecart de température entre le sommet i et son os le plus proche (la source de chaleur) multiplié par l'inverse du carré de la distance

Poids par eq. chaleur : résultats

+ VIDEO + DEMO de Pinocchio



<http://blog.wolfire.com/2009/11/volumetric-heat-diffusion-skinning/>

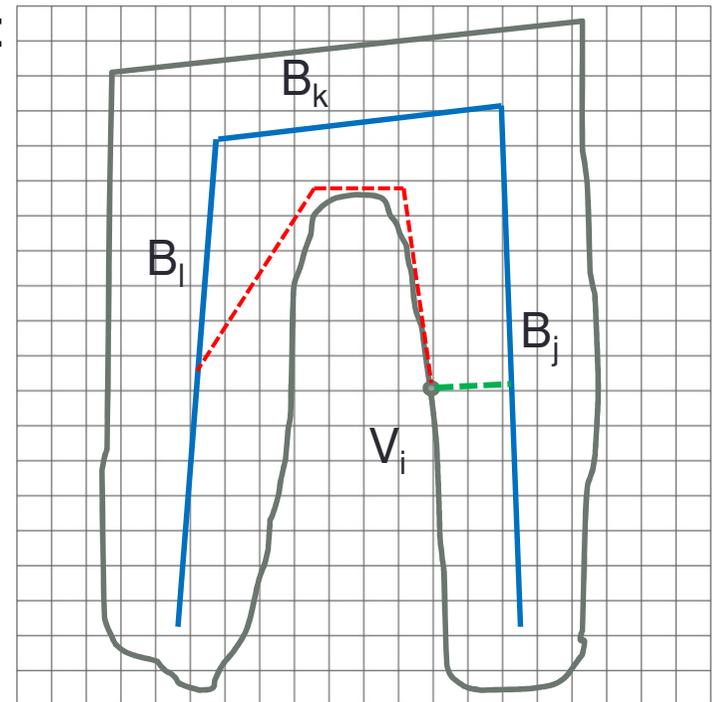


SKINNING ET POIDS

À PARTIR D'UN UNIQUE MAILLAGE
- VOXELISATION

Poids et distances : méthode de base

- Solutions possibles
 - Distance calculée à l'intérieur du volume
 - Voxelise l'espace : voxel interieur/exterieur
 - Visibilité peut se faire sur les voxels
 - Ou calcul de distance entre V_i et os B_l : plus court chemin discret (sur la grille) entre V_i et le point le plus proche sur B_l
→ distance grande, poids nul (seuil)



Geodesic Voxel Binding for Production Character Meshes

Olivier Dionne and Martin de Lasa*
Autodesk Inc.

Symposium on Computer Animation (SCA) 2013

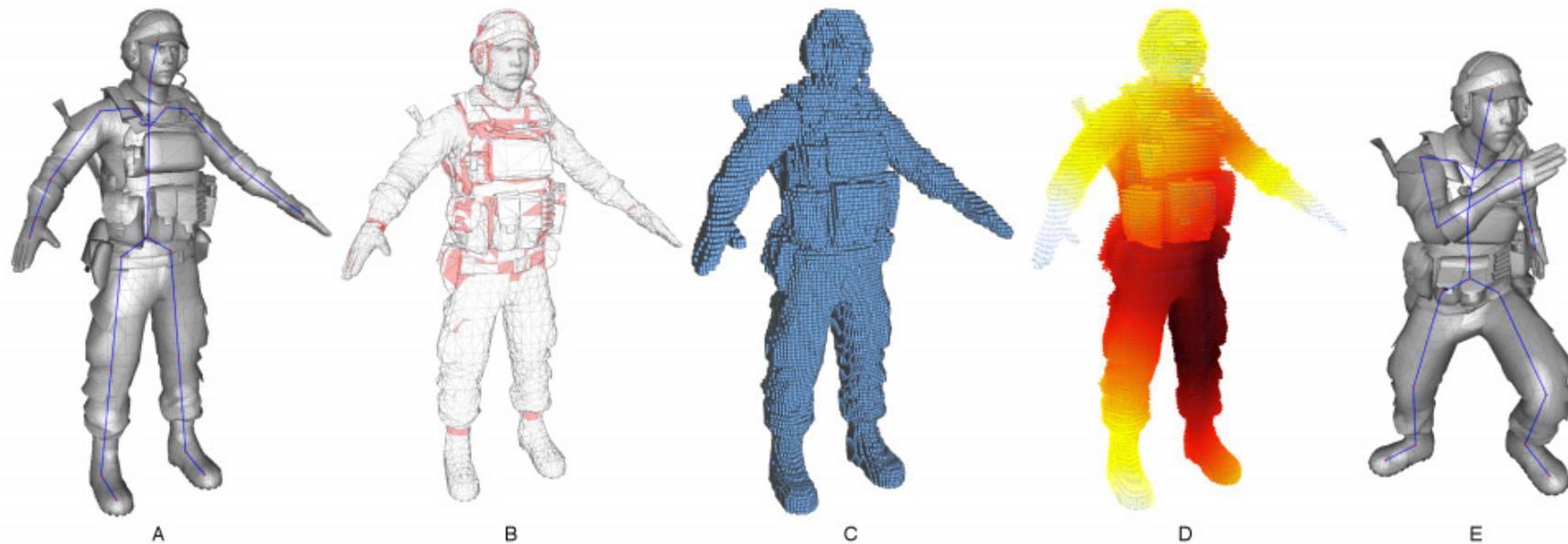


Figure 1: Starting from a character skeleton and mesh (A), which may contain degenerate geometry (in red) (B), we voxelize the mesh using graphics hardware (C), and compute bind weights using geodesic distances from each bone (D). Resulting weights are applied to existing closed-form skinning methods to deform character geometry (E).

Geodesic Voxel Binding for Production Character Meshes

Olivier Dionne and Martin de Lasa*
Autodesk Inc.

- Voxelisation : rendu en changeant le 'near' plane

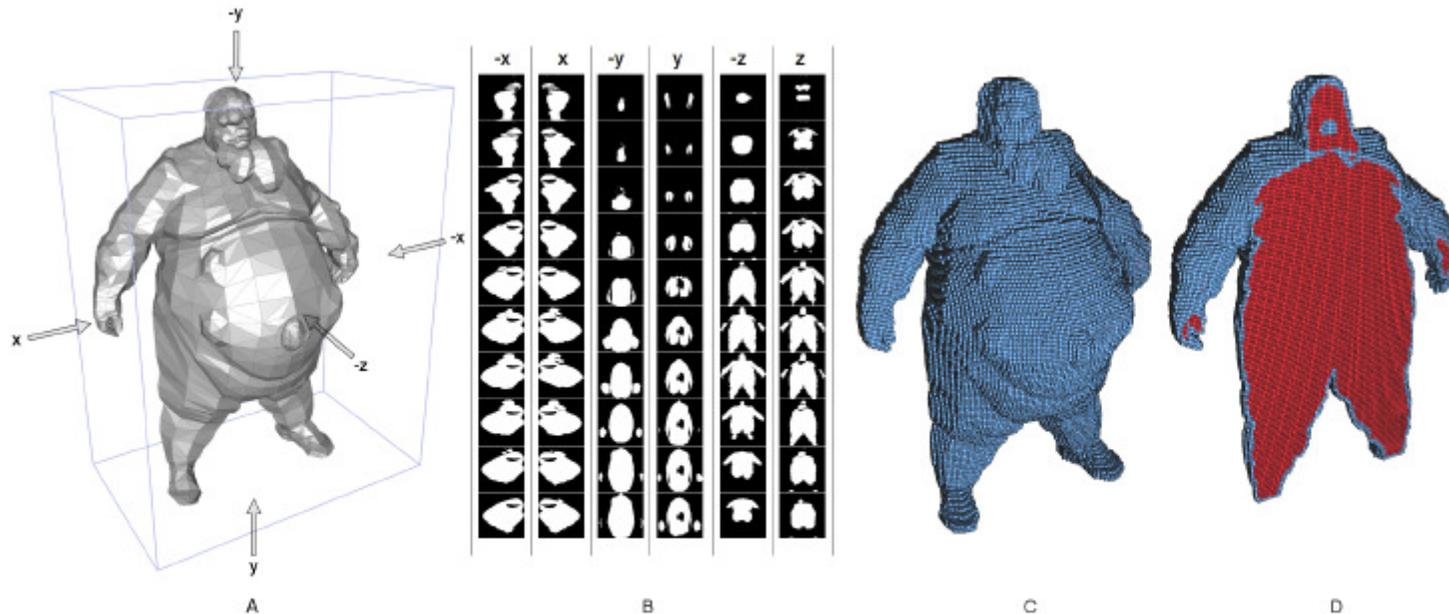


Figure 3: Voxelization overview for “Boomer” model. (A) The character world space axis-aligned bounding box defines the initial orthographic view volume. (B) For every pair of view directions in x , y and z we position the camera in the proper axis and slice the model by moving the near plane. (C) After compiling votes for each view using equations (5) and (6) and performing an octree hit test we obtain a voxelization of the input geometry. (D) A cross section view of the resulting voxelization. Red and blue represent internal and boundary voxels respectively.

Geodesic Voxel Binding for Production Character Meshes

Olivier Dionne and Martin de Lasa*
Autodesk Inc.

Algorithm 1: Distance Computation

```

input: Character skeleton  $\mathbb{S}$  and voxelized mesh  $\mathbb{V}$ 
1 foreach bone  $b_i$  of  $\mathbb{S}$  do
   // Initialize voxel distance values
2 foreach non-exterior voxel  $v_i$  of  $\mathbb{V}$  do
3   |  $d_{v_i} = \infty$ ;
4 end
5 Create empty voxel queue  $Q$ ;
   // Initialize bone voxels and
   // add to queue.
6 foreach non-exterior voxel  $v_i$  of  $\mathbb{V}$  intersecting with  $b_i$  do
7   |  $d_{v_i} = 0$ ;
8   | Push  $v_i$  to  $Q$ ;
9 end
   // Compute geodesic distances
10 while  $Q$  not empty do
11   | Pop  $v_i$  from  $Q$ ;
12   | foreach non-exterior voxel neighbor  $v_j$  to  $v_i$  do
13     |  $dist = d_{v_i} + |P_{v_i} - P_{v_j}|$ ;
14     | if  $d_{v_j} > dist$  then
15       | |  $d_{v_j} = dist$ ;
16       | | Push  $v_j$  to  $Q$ ;
17     | end
18   | end
19 end
20 end
  
```

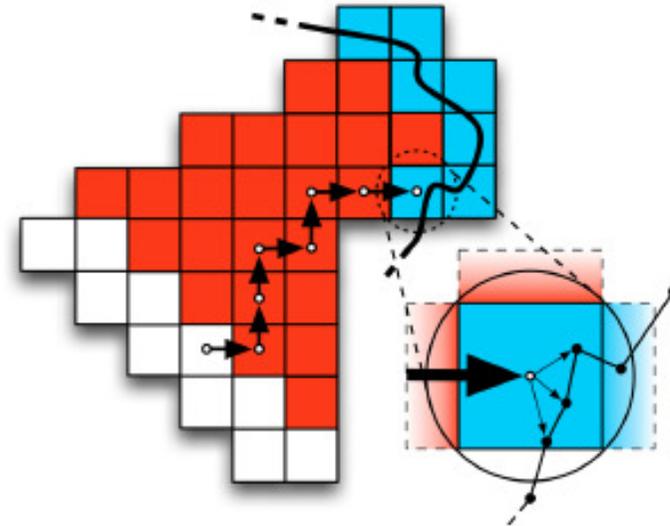


Figure 4: Computing distances through the voxelized model where white, red and blue colors represent skeleton, interior and boundary voxels.

$$d_j^i = \frac{d_v^i + |P_{vertex} - P_{voxel}|}{D}$$

$$\omega_j^i = \left(\frac{1}{(1 - \alpha)(d_j^i) + \alpha(d_j^i)^2} \right)^2$$

Geodesic Voxel Binding for Production Character Meshes

Olivier Dionne and Martin de Lasa*
Autodesk Inc.

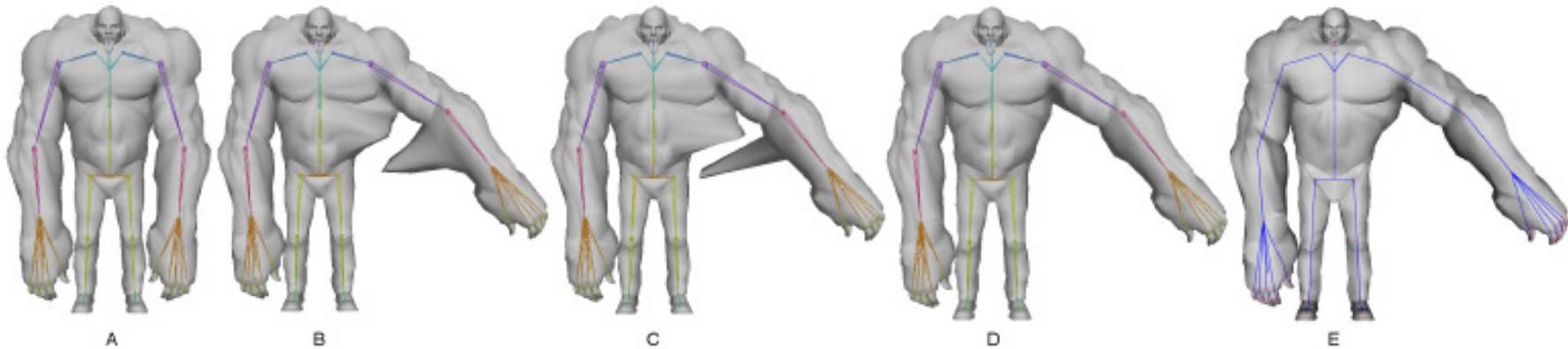


Figure 2: Comparison of other automatic weighting schemes (B-D) with our method (E). (A) Initial bind pose. (B) Closest distance (Maya) (C) Closest hierarchy (Maya) (D) Heat map weighting [Baran and Popović 2007] (E) Geodesic voxel binding. Distance-based methods that ignore mesh structure (B,C) can produce severe artifacts. For watertight meshes we obtain similar results to Heat map weighting (D,E). See Figure 8 for more complete discussion.

+VIDEO

Poids et distances/eq. Chaleur : bilan

- Bilan

- Avec la notion de visibilité, résultats bons (sans retouche manuel)
- Manque parfois de transition douce (discontinuités) aux frontières entre les zones d'influences
- diffusion [Baran and Popovic 2007 Pinocchio]
 - Un peu plus compliqué à mettre en œuvre

SKINNING ET POIDS

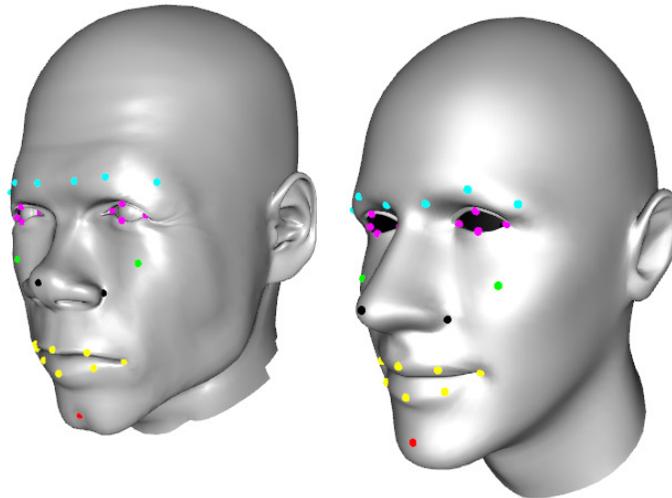
À PARTIR D'UN UNIQUE MAILLAGE
- PAR TRANSFERT

Transferring the Rig and Animations from a Character to Different Face Models.
V. Orvalho, E. Zacur and A. Susin, Computer Graphics Forum, 2008

Easy Rigging of Face by Automatic Registration and Transfer of Skinning
Parameters. L. Dutreve, A Meyer, V. Orvalho, S. Bouakaz. Dans International
Conference on Computer Vision and Graphics, . 2010.

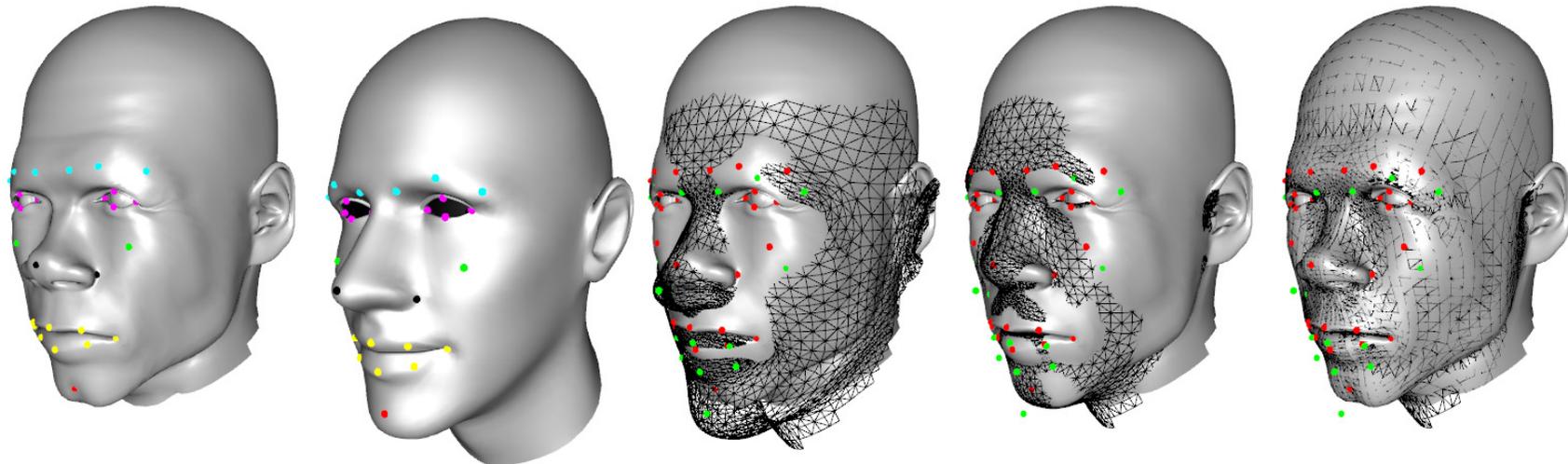
Transfert des poids : principe

- Entrée
 - Un maillage R de référence + un squelette + les poids de skinning
 - Un maillage M à attacher à un squelette
- Besoin de points de correspondance (PdC) entre les 2 maillages
 - Entrés à la main (le plus sûr et efficace), pas nécessairement liés au squelette



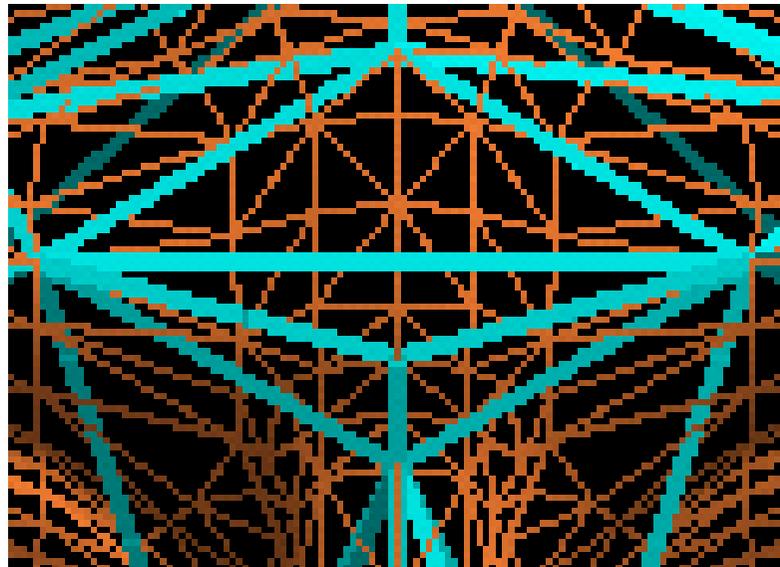
Transfert des poids : principe

- Avec les PdC entre R et M, calcul une correspondance dense entre les 2 maillages
 - PdC définissent une déformation de l'espace entre M et R (par RBF)
 - Les sommets de M sont déformés puis projeté pour arriver sur R
- Donc chaque sommet de M à sa correspondance dans un triangle de R



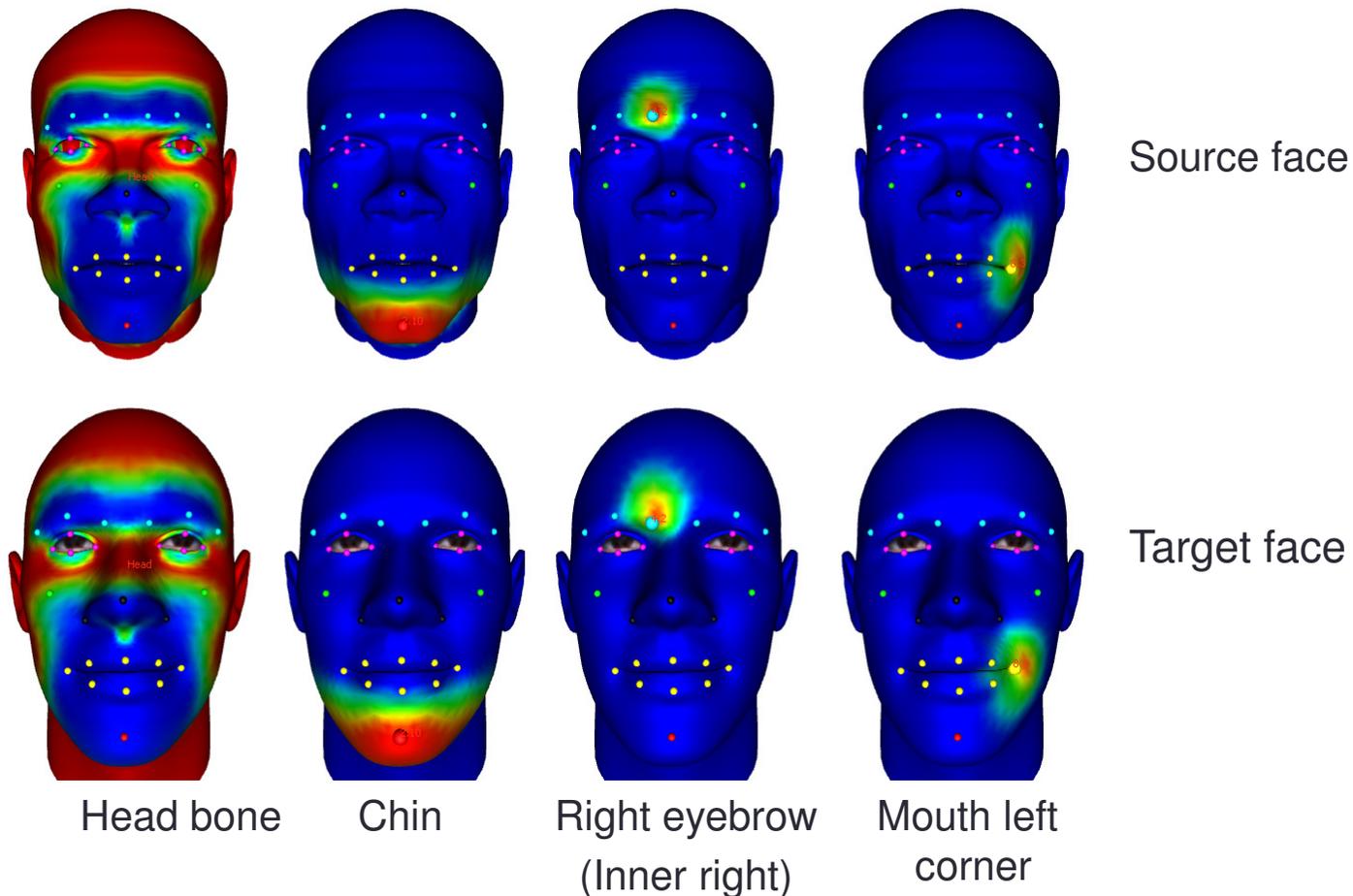
Transfert des poids

- Les poids de chaque sommet de M sont calculés par interpolation barycentrique des poids des 3 sommets du triangle de R
 - En orange le maillage M
 - En vert le maillage R de référence avec les poids



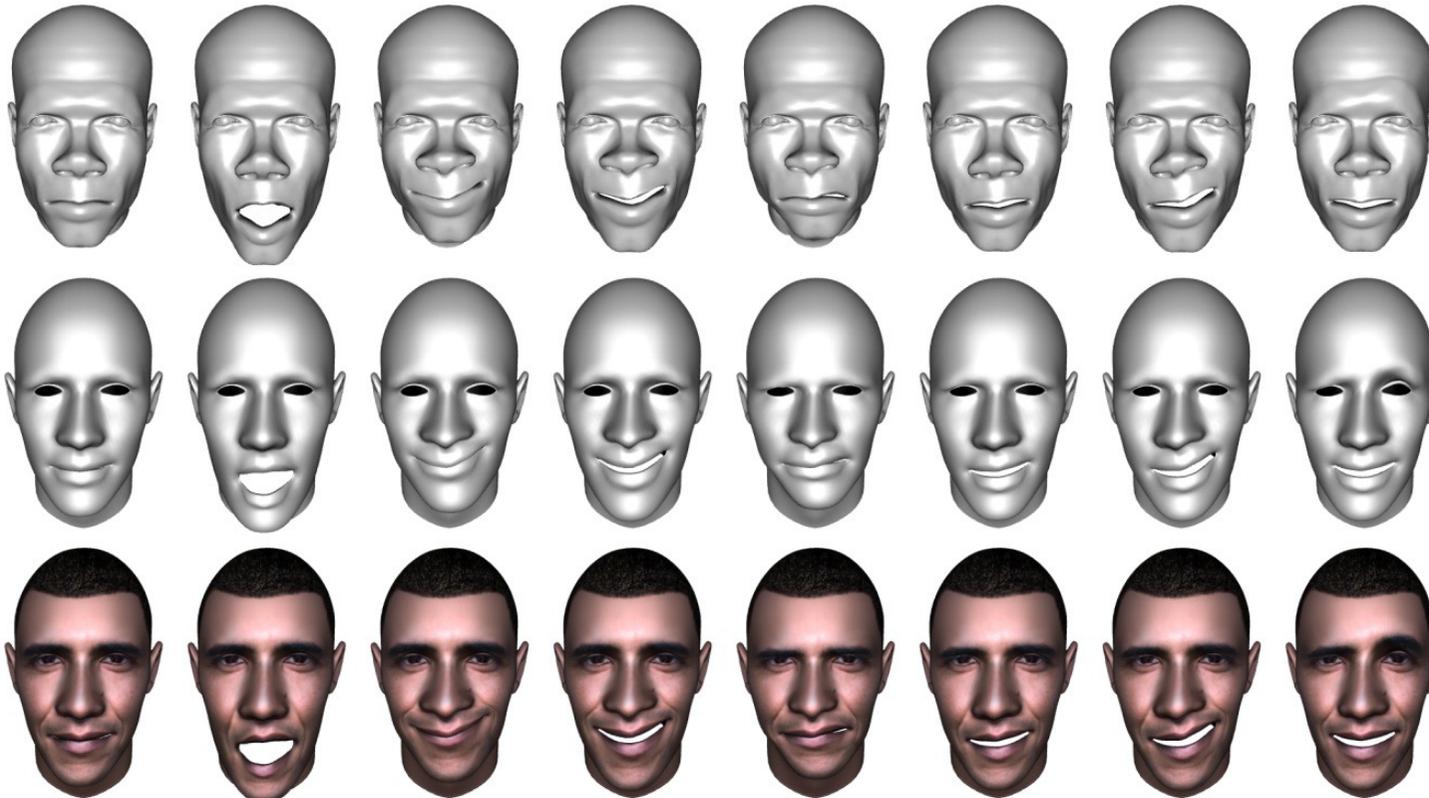
Transfert : résultats sur un visage

- Transfert des poids de skinning d'un visage à un autre
 - Résolution des 2 maillages potentiellement différent



Transfert : exemples d'animations

- Exemples d'animation après transfert (+VIDEO)
- Possible également sur autres maillages que visage





SKINNING ET POIDS

À PARTIR DE PLUSIEURS MAILLAGES

Entrée : n maillages avec squelette OU juste n maillages

Principes

- Entrée : n maillages avec squelette bien positionné

Sortie : poids

- Moindre carrés
 - Multi-Weight Enveloping: Least-Squares Approximation Techniques for Skin Animation. Xiaohuan Corina Wang, Cary Phillips. SCA 2002
- un poids pour chaque case de la matrice de skinning

$$\mathbf{p}' = \sum_{k=1}^n w_k \mathbf{p} M_k$$

Skinning classique

$$\mathbf{p}' = \sum_{k=1}^n \mathbf{p} \begin{bmatrix} w_{00_k} m_{00_k} & w_{01_k} m_{01_k} & w_{02_k} m_{02_k} & 0 \\ w_{10_k} m_{10_k} & w_{11_k} m_{11_k} & w_{12_k} m_{12_k} & 0 \\ w_{20_k} m_{20_k} & w_{21_k} m_{21_k} & w_{22_k} m_{22_k} & 0 \\ w_{30_k} m_{30_k} & w_{31_k} m_{31_k} & w_{32_k} m_{32_k} & 1 \end{bmatrix}$$

Skinning avec poids différent pour chaque case de la matrice

Principes

- Entrée : n maillages

Sortie : un squelette (sans hiérarchie) + poids

- Context-Aware Skeletal Shape Deformation. Ofir Weber, Olga Sorkine, Yaron Lipman, Craig Gotsman. Eurographics 2007 - Computer Graphics Forum
- Fast Automatic Skinning Transformations. SIGGRAPH 2012
- De nombreuses variantes sur ce thème

VIDEO



SKINNING ET POIDS

LORS DE LA MODÉLISATION

RigMesh: Automatic Rigging for Part-Based Shape Modeling and Deformation

Peter Borosan, Ming Jin, Doug DeCarlo, Yotam Gingold, Andrew Nealen

SIGGRAPH Asia 2012.

Lors de la modélisation

- RigMesh: Automatic Rigging for Part-Based Shape Modeling and Deformation. Peter Borosan, Ming Jin, Doug DeCarlo, Yotam Gingold, Andrew Nealen. SIGGRAPH Asia 2012
 - Cylindres généralisés avec os
 - Equation de la chaleur pour les poids
 - Branchement possible de squelettes

PPT du papier
VIDEO
DEMO

