

# Capture de mouvements

SIA Ensimag 3A

Estelle Duveau

Cours de :

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

# Plan

## 1 Introduction

## 2 Rappels

- Cinématique
- Déformation de surfaces

## 3 Capture de mouvements

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

# Plan

## 1 Introduction

## 2 Rappels

- Cinématique
- Déformation de surfaces

## 3 Capture de mouvements

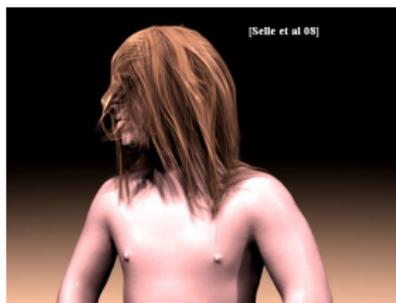
- Dispositifs
- Traitement
- Edition
- Capture de mouvements et Physique

# Animation 3D pour quoi?

- Crédibilité vs Expressivité



- Réalisme vs Contrôlabilité

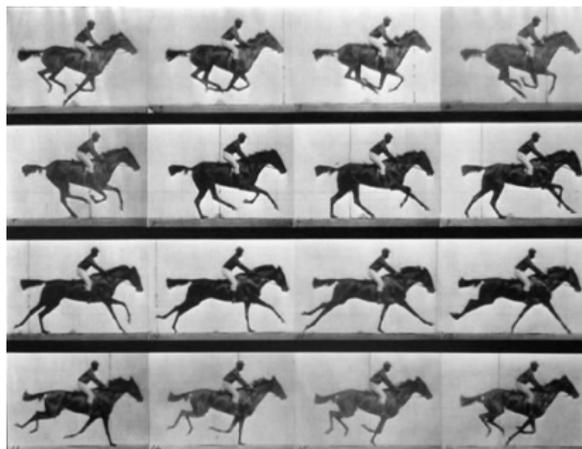


# Concepts

- **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
- **Héritages de l'animation 3D** :
  - ▶ **dessins animés** : représentation du mouvement pour une visualisation 2D
  - ▶ **robotique** : fondements mathématiques du mouvement 3D



# 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!



# Plan

## 1 Introduction

## 2 Rappels

- Cinématique
- Déformation de surfaces

## 3 Capture de mouvements

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

# Plan

## 1 Introduction

## 2 Rappels

- Cinématique
- Déformation de surfaces

## 3 Capture de mouvements

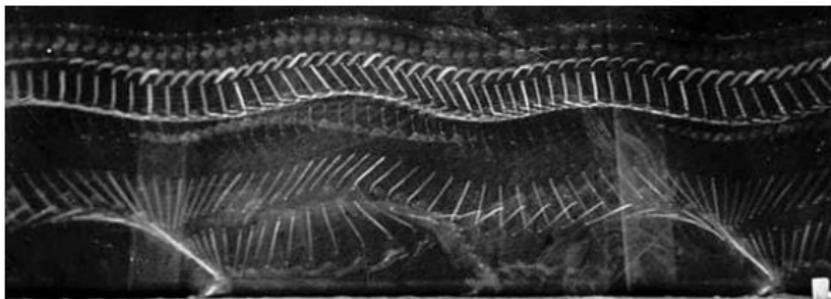
- Dispositifs
- Traitement
- Edition
- Capture de mouvements et Physique

# Origine

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



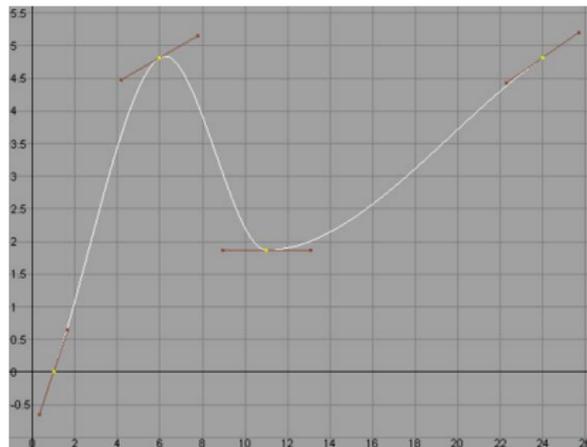
- ▶ représentation du mouvement par une **courbe d'animation**



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

# Interpolation

- **Valeurs clés**
- Compléter ces valeurs clés pour obtenir des **courbes d'animation**
- $\Rightarrow$  Base de l'animation non simulative
- Valeur scalaire (1D) :
  - ▶ approximation
  - ▶ interpolation
  - ▶ Hermite, Bézier...
- Quid des rotations?



# Interpolation

- 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

# Modélisation hiérarchique

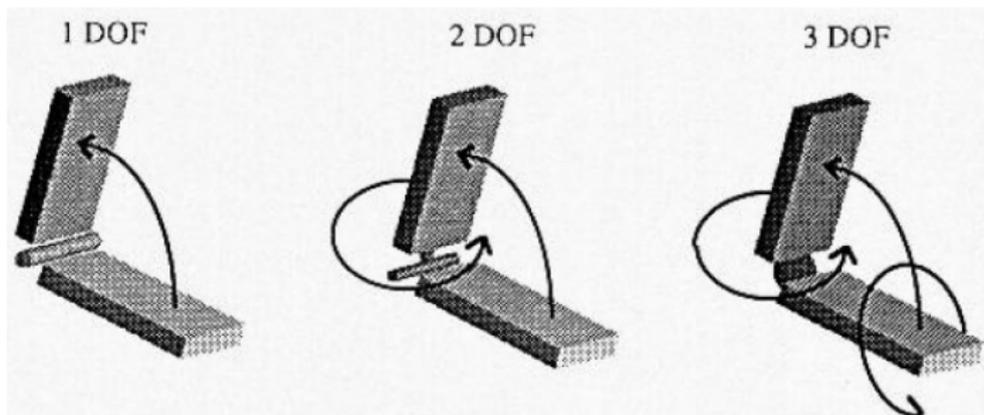
- Robotique : chaîne d'articulations rigides
- Objet décomposé en une **hiérarchie de repères**
- Transformation d'un noeud au niveau  $j =$  composition des transformations depuis la racine
- La base se déplace, tout suit
  - ▶ le torse se déplace, la tête suit
  - ▶ la tête se déplace, les yeux et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



*Nao (Aldebaran Robotics)*

# Squelette d'animation - Articulations

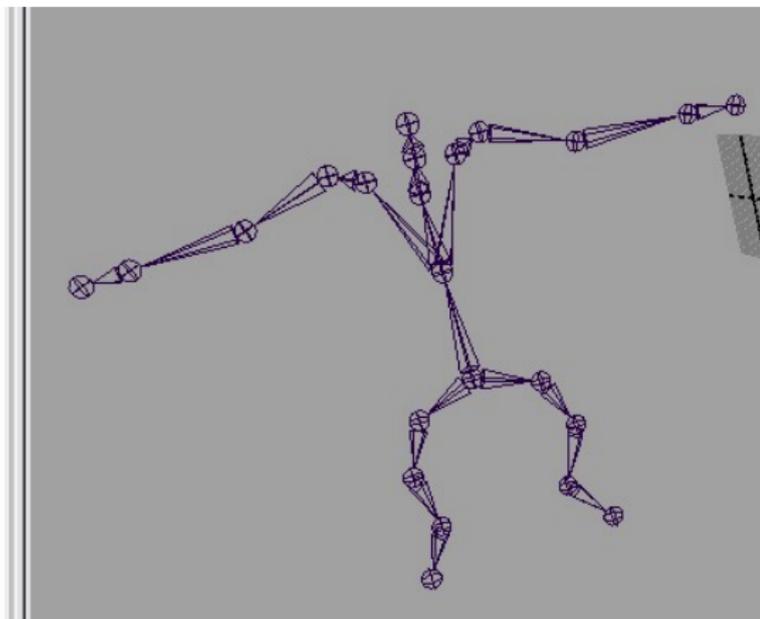
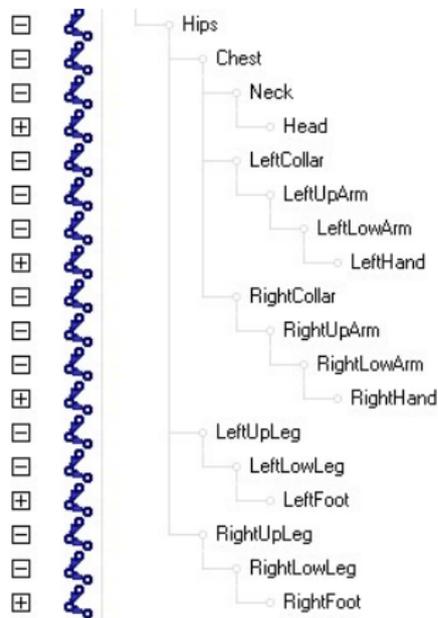
- Hiérarchie de repères **contraints**
- Pas de géométrie, que de solides appelés **os** et des liens appelés **articulations**
- Articulations :
  - ▶ **6 degrés de liberté** (mouvements relatifs indépendants autorisés) : 3 en translation + 3 en rotation
  - ▶ restreignent le mouvement relatif entre 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,
- ▶ ...
- ▶  $\Rightarrow$  **cinématique directe**

- mouvement **contraint** :

- ▶ attraper quelque chose,
- ▶ marcher sur le sol,
- ▶ ...
- ▶  $\Rightarrow$  **cinématique inverse**

- Interpolation
- Représentation des données
- Squelette d'animation
- $\Rightarrow$  Comment **générer** ces données?

# Plan

## 1 Introduction

## 2 Rappels

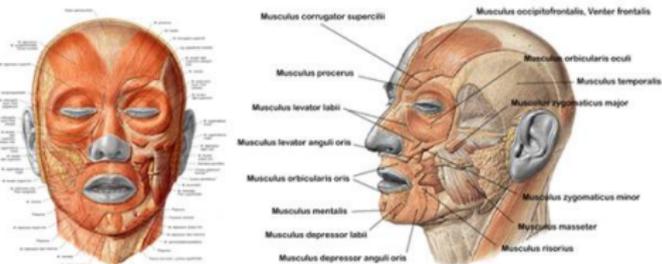
- Cinématique
- Déformation de surfaces

## 3 Capture de mouvements

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

# 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**

# Physique du point

## Systèmes masse-ressort



# Construction

- Modèle = masses + connexions par ressorts :



- Les objets peuvent se plier, s'écraser, se tordre :



- $\Rightarrow$  Ressorts supplémentaires pour rigidité :

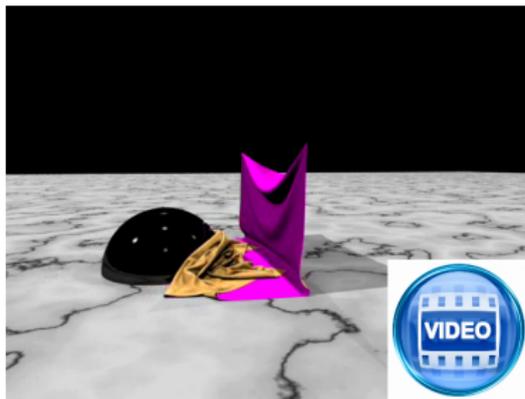


- $\Rightarrow$  Difficile de modéliser le bon comportement

# Analyse

- On peut tout modéliser!
    - ▶ tissus, solides, objets mous, semi-rigides,...
    - ▶  $\Rightarrow$  rigidité variable
  
  - Paramètres difficiles à fixer :
    - ▶ Faible raideur : oscillations
    - ▶ Grosse raideur : instabilités
- $\Rightarrow$  **Contrôle utilisateur?**

# Collisions



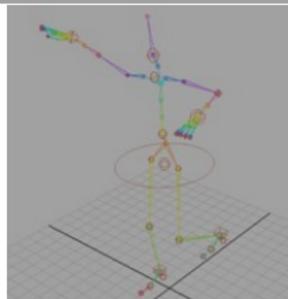
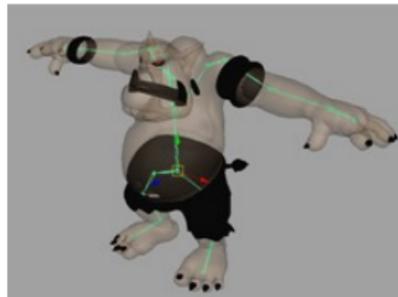
Robert Bridson

# Limites de la simulation physique

- très **complexe** pour des personnages expressifs
- manque de **contrôlabilité**

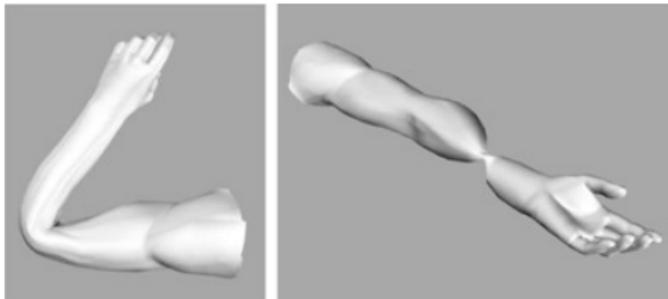
# Skinning

- **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

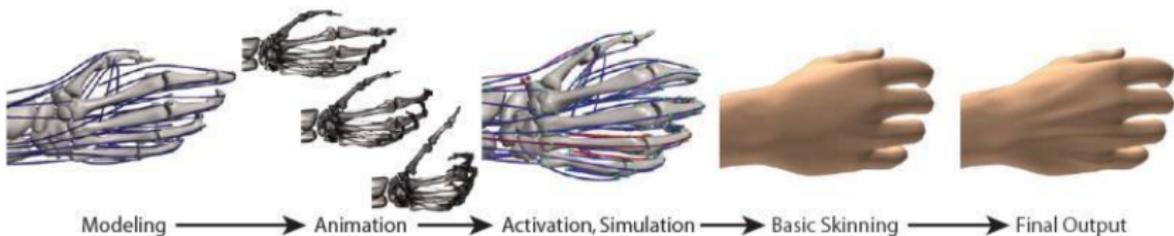


# Limites du skinning

Besoin d'une solution entre



et



Sueda 2008

# Plan

## 1 Introduction

## 2 Rappels

- Cinématique
- Déformation de surfaces

## 3 Capture de mouvements

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

# Origines

- Photographie (E. Muybridge, E.J. Marey)  
⇒ **analyse** du mouvement
- Rotoscoping (Fleischer, Disney)  
⇒ **naturel** du mouvement
- 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



# Buts

- **Capturer** les mouvements et postures du monde réel
- **Plaquer** les mouvements sur une créature virtuelle
- **Extraire** les données pertinentes pour analyse

# Plan

## 1 Introduction

## 2 Rappels

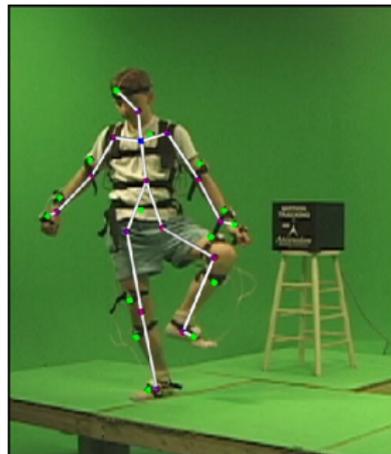
- Cinématique
- Déformation de surfaces

## 3 Capture de mouvements

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

# 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 :  
10-15m<sup>2</sup>
  - ▶ échantillonnage



# Systèmes embarqués

- Fonctionnement :
  - ▶ gyroscopes,
  - ▶ accéléromètres
- Avantages :
  - ▶ pas d'occlusions
  - ▶ taille : jusqu'à 5mm<sup>3</sup>
  - ▶ 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

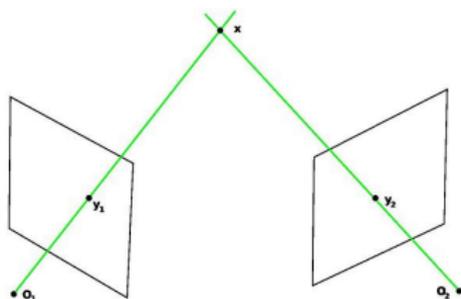


AnthroTronix Acceleglove

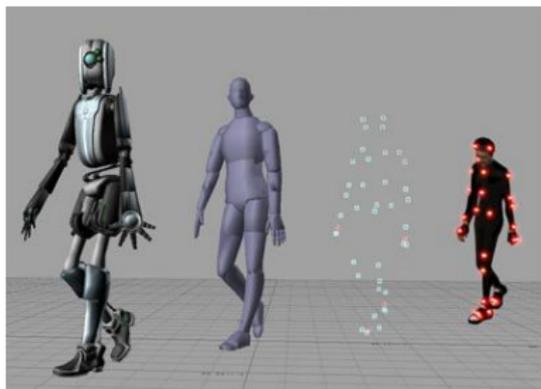
# Systèmes optiques - Fonctionnement

- 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-réfléctifs
- ▶ échantillonnage : 100-250Hz
- ▶ nombre de marqueurs : 20-30 marqueurs situés aux points d'intérêts
- ▶ coût : 100000\$



# Systèmes optiques - Exemples



# Systèmes optiques - Exemples



# Systèmes optiques - Evaluation

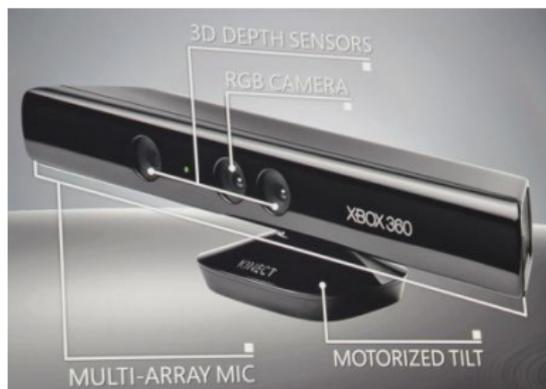
- Avantages :
  - ▶ liberté de mouvement, grandes zones
  - ▶ échantillonnage
  - ▶ marqueurs actifs : pas d'ambiguïté entre les marqueurs
  - ▶ marqueurs passifs : ajout de marqueurs faciles
- Inconvénients :
  - ▶ occlusions
  - ▶ cher
  - ▶ seulement positions
  - ▶ calibration
  - ▶ marqueurs actifs : nombre de marqueurs limité
  - ▶ marqueurs passifs : ambiguïté entre les marqueurs

# Au delà des marqueurs

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

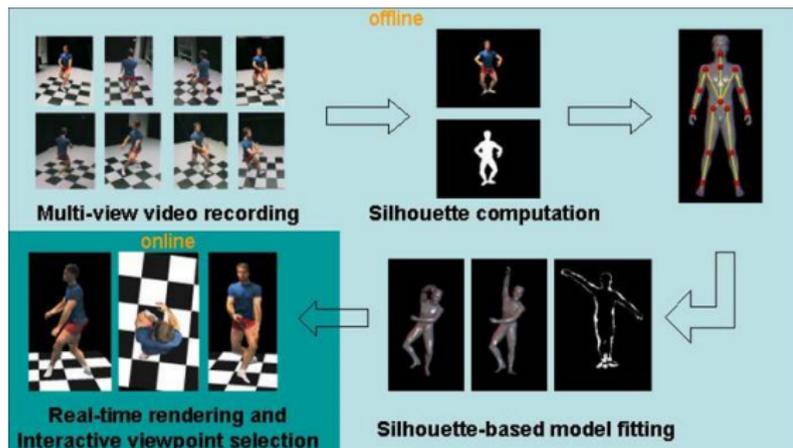


[Microsoft Kinect]



# Au delà des marqueurs

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



*cf : vision par ordinateur*

# Plan

## 1 Introduction

## 2 Rappels

- Cinématique
- Déformation de surfaces

## 3 Capture de mouvements

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

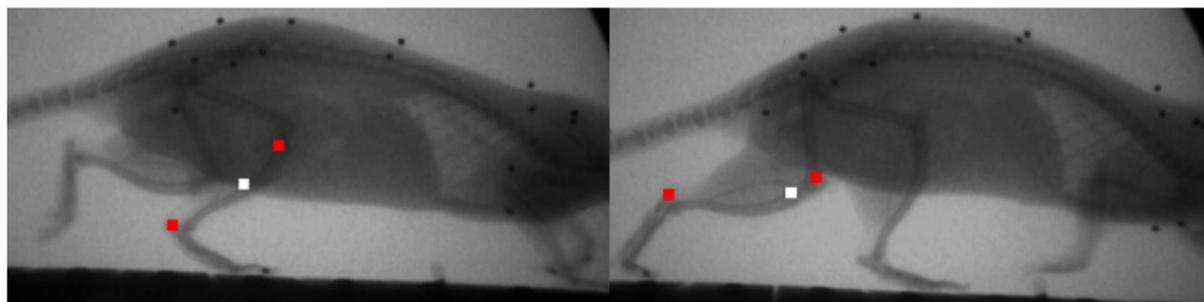
# Des données à l'animation

- **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 (moins si contraintes physiologiques sur le nombre de degrés de liberté)

# 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
- ▶ ...

# Extraction des données

- 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 Rappels

- Cinématique
- Déformation de surfaces

## 3 Capture de mouvements

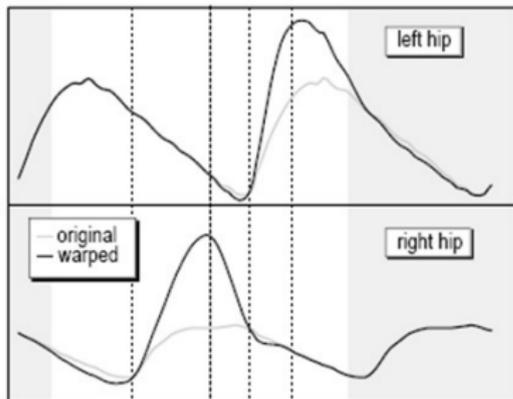
- Dispositifs
- Traitement
- **Edition**
- Capture de mouvements et Physique

# 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  $b(t)$

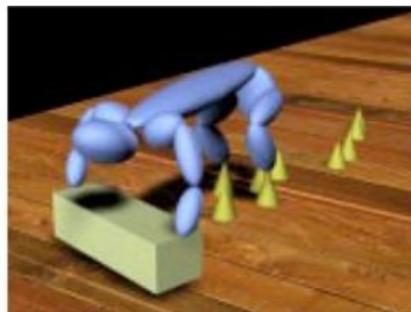
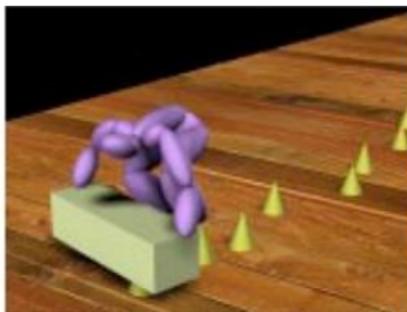
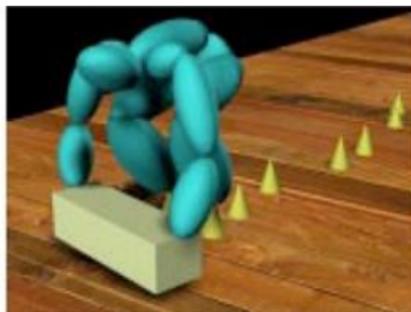
[Popovic and Witkin, 95]

# 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 de pied sur sol, etc
  - ▶ Initialisation : les données de capture de mouvement



[Gleicher, 98]

# Retargetting Motion to New Characters

## Video Examples

Michael Gleicher  
Autodesk Vision Tech Ctr.  
gleicher@cs.cmu.edu

May, 1998



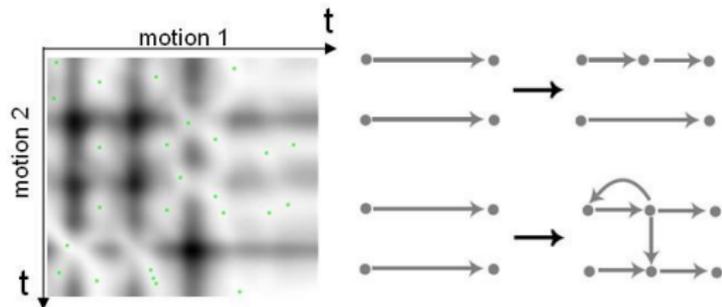
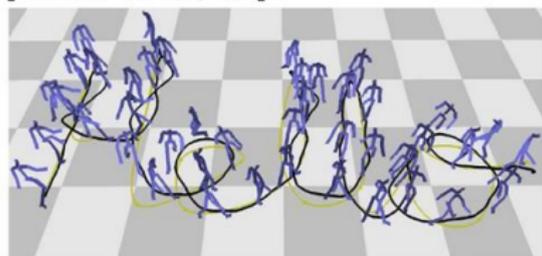
# Motion re-use - Origine

- 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
- **Métrie entre 2 frames**  $\Rightarrow$  trouver le meilleur chemin

[Kovar et al., 02]



# Motion re-use - Motion graph

- Quelle métrique ?

- ▶ valeur des degrés de liberté des articulations ?  $\Rightarrow$  importance des différentes articulations dépend de la pose, nécessité d'un repère commun
- ▶ position globale des articulations
- ▶ nuage de points contrôlé par le squelette :

$$d(P, P) = \min_{\theta, x_0, y_0} \sum_i w_i \|p_i - T_{\theta, x_0, z_0} p_i\|^2$$

avec utilisation d'une fenêtre de temps pour lisser le résultat

# Motion Graphs

Lucas Kovar

Michael Gleicher

University of Wisconsin-Madison

Frederic Pighin

University of Southern California  
Institute For Creative Technologies



# Motion re-use - Motion graph

- Utilisation **interactive** par programmation dynamique
- $\Rightarrow$  Réponse aux **contraintes de l'utilisateur**



[Arikan et al., 03]

[Treuille et al., 07]



# Motion Synthesis from Annotations

Okan Arikan  
David Forsyth  
James O'Brien

U.C. Berkeley



# Motion re-use - Motion graph

Near-optimal Character Animation  
with Continuous Control  
(papers 0376)

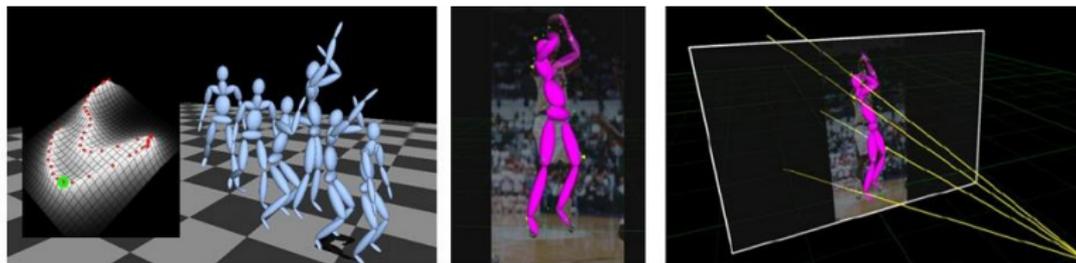
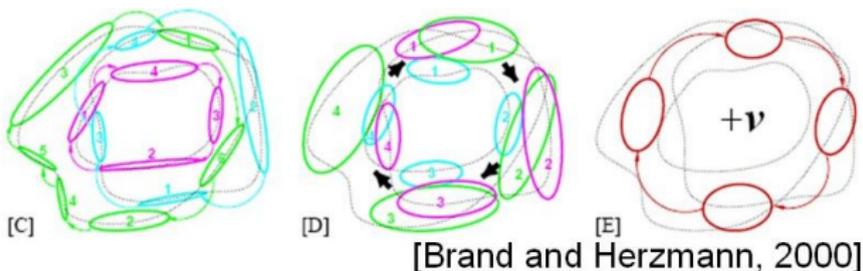
Adrien Treuille  
Yongjoon Lee  
Zoran Popovic

University of Washington



# 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



# Style-Based Inverse Kinematics

**Keith Grochow   Steven L. Martin**  
**Aaron Hertzmann   Zoran Popovic**



- 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 Rappels

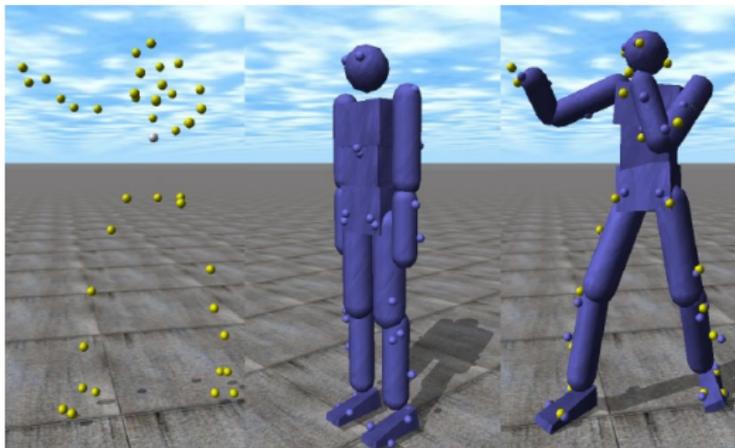
- Cinématique
- Déformation de surfaces

## 3 Capture de mouvements

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

## 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
- ⇒ Le modèle physique sert de **filtre de réalisme**



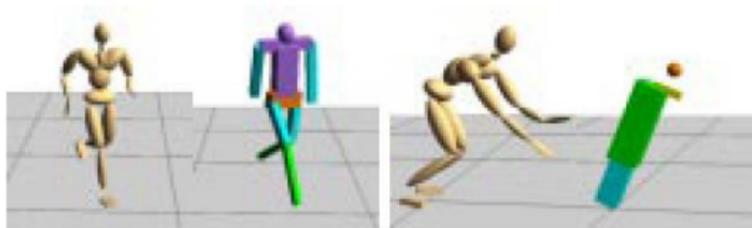
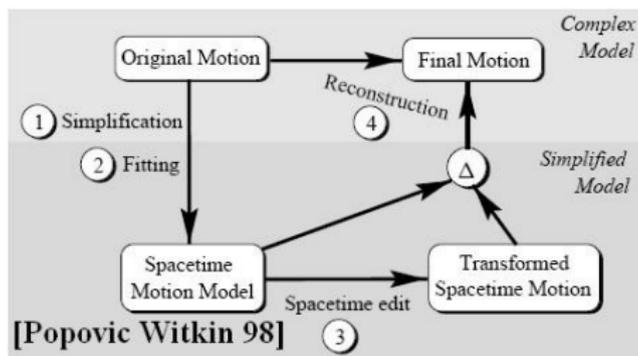
[Zordan et al 03]

## 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

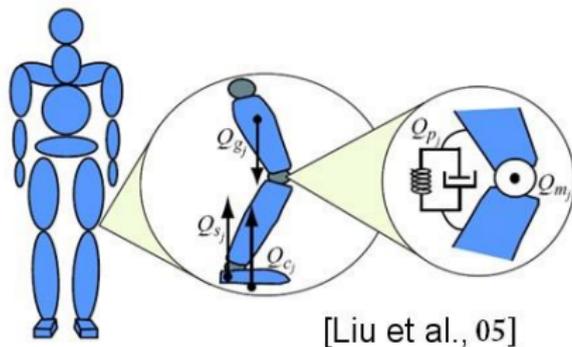
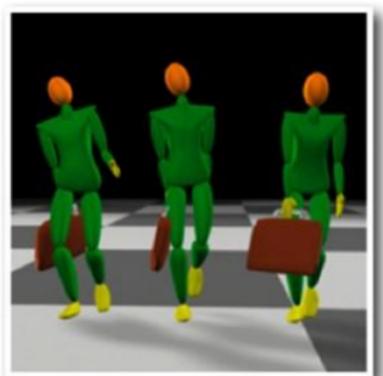
## Space-time constraints et mocap 1/2

- 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

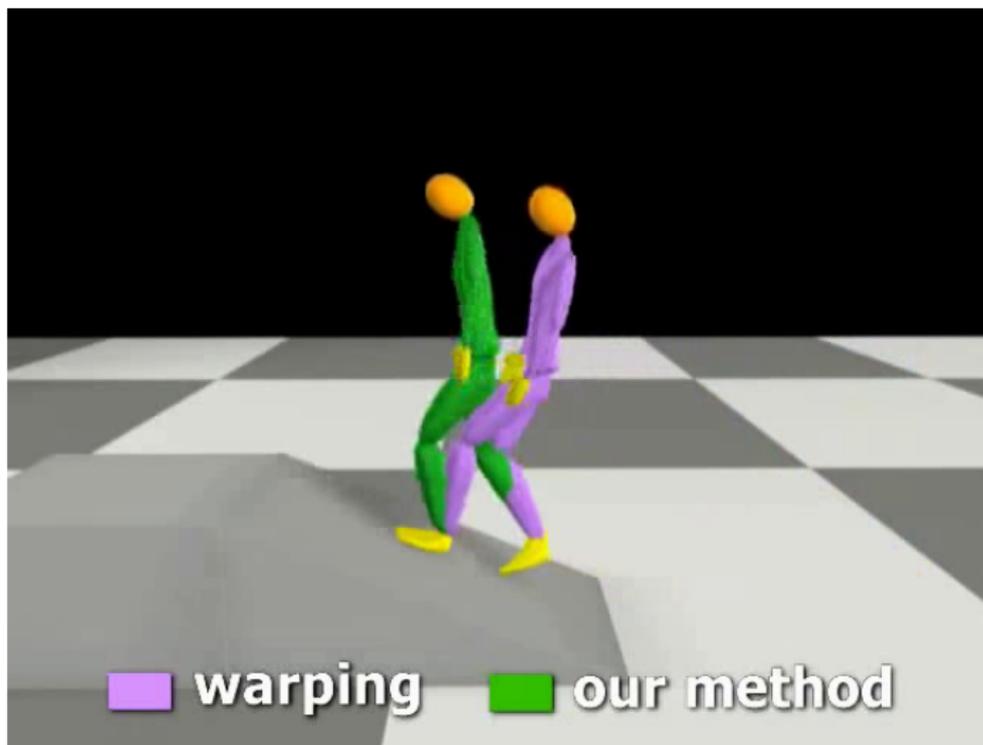


## Space-time constraints et mocap 2/2

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



## Space-time constraints et mocap



- 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