

Capture de mouvements

SIA Ensimag 3A

Estelle Duveau

Inspiration

Cours de :

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

Plan

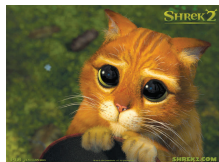
- 1 Introduction
- 2 Rappels
 - Cinématique
 - Déformation de surfaces
- 3 Capture de mouvements
 - Dispositifs
 - Traitement
 - Edition
 - Capture de mouvements et Physique

Plan

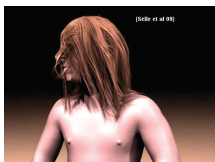
- 1 Introduction
- 2 Rappels
 - Cinématique
 - Déformation de surfaces
- 3 Capture de mouvements
 - Dispositifs
 - Traitement
 - Edition
 - Capture de mouvements et Physique

Animation 3D pour quoi?

- Crédibilité vs Expressivité



- Réalisme vs Contrôlabilité

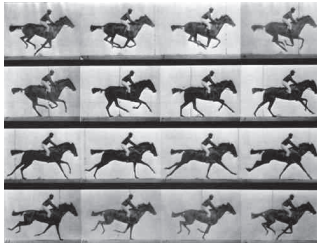


Concepts

- 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
- **Persistance de la vision** ⇒ pas de blanc entre les images
- **Fermeture visuelle** ⇒ 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!



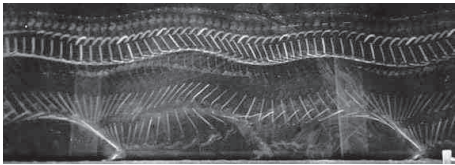
Plan

- 1 Introduction
- 2 **Rappels**
 - Cinématique
 - Déformation de surfaces
- 3 Capture de mouvements
 - Dispositifs
 - Traitement
 - Edition
 - Capture de mouvements et Physique

Plan

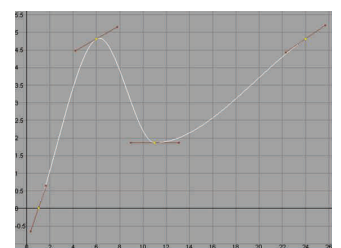
- 1 Introduction
- 2 **Rappels**
 - Cinématique
 - Déformation de surfaces
- 3 Capture de mouvements
 - Dispositifs
 - Traitement
 - Edition
 - Capture de mouvements et Physique

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**
- ⇒ 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

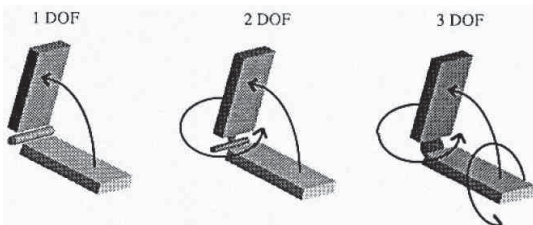
- Robotique : chaîne d'articulations rigides
- Objet décomposé en une **hiérarchie de repères**
- Transformation d'un noeud au niveau j = composition des transformations depuis la racine
- La base se déplace, tout suit
 - ▶ le torse se déplace, la tête suit
 - ▶ la tête se déplace, les yeux et le nez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



Nao (Aldebaran Robotics)

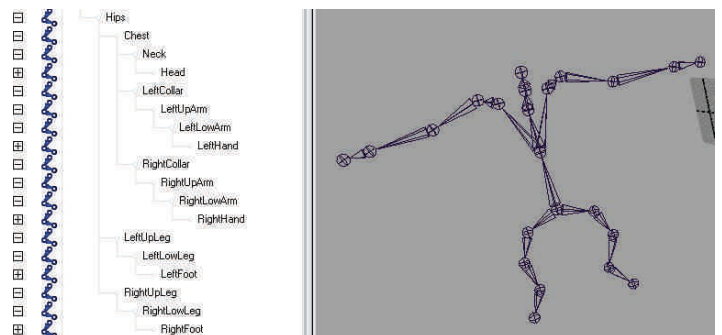
Squelette d'animation - Articulations

- 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,
 - ▶ ...
 - ▶ ⇒ **cinématique directe**
- mouvement **contraint** :
 - ▶ attraper quelque chose,
 - ▶ marcher sur le sol,
 - ▶ ...
 - ▶ ⇒ **cinématique inverse**

Cinématique

- Interpolation
- Représentation des données
- Skeleton d'animation
- ⇒ Comment **générer** ces données?

Plan

1 Introduction

2 Rappels

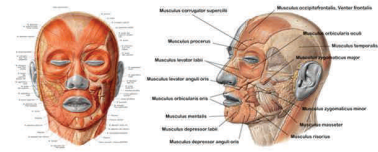
- Cinématique
- Déformation de surfaces

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?



SIA Ensimag 3A (Estelle Duveau)

Capture de mouvements

16 / 59

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**

SIA Ensimag 3A (Estelle Duveau)

Capture de mouvements

17 / 59

Physique du point

Systèmes masse-ressort



SIA Ensimag 3A (Estelle Duveau)

Capture de mouvements

18 / 59

Construction

- Modèle = masses + connexions par ressorts :



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



- ⇒ Ressorts supplémentaires pour rigidité :



- ⇒ Difficile de modéliser le bon comportement

SIA Ensimag 3A (Estelle Duveau)

Capture de mouvements

19 / 59

Analyse

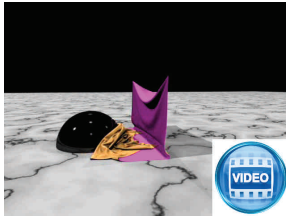
- On peut tout modéliser!
 - ▶ tissus, solides, objets mous, semi-rigides,...
 - ▶ ⇒ rigidité variable
- Paramètres difficiles à fixer :
 - ▶ Faible raideur : oscillations
 - ▶ Grosse raideur : instabilités
- ⇒ **Contrôle utilisateur?**

SIA Ensimag 3A (Estelle Duveau)

Capture de mouvements

20 / 59

Collisions



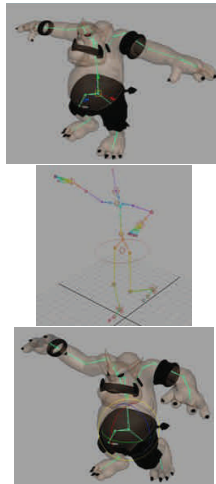
Robert Bridson

Limites de la simulation physique

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

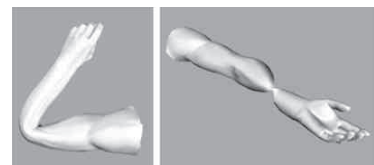
Skinning

- **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

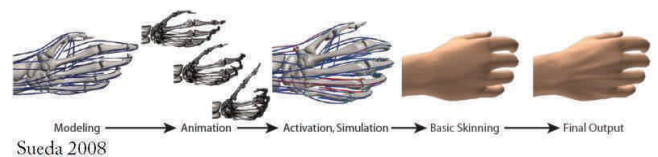


Limites du skinning

Besoin d'une solution entre



et



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
 - ▶ Tippet 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 : 10-15m²
 - ▶ échantillonnage



Systèmes embarqués

- Fonctionnement :
 - ▶ gyroscopes,
 - ▶ accéléromètres
- Avantages :
 - ▶ pas d'occlusions
 - ▶ taille : jusqu'à 5mm³
 - ▶ sans fil
- Inconvénients :
 - ▶ problèmes de dérive
 - ▶ signal difficile à calibrer



Systèmes mécaniques

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



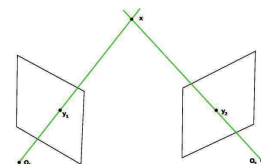
Gypsy Motion Capture System



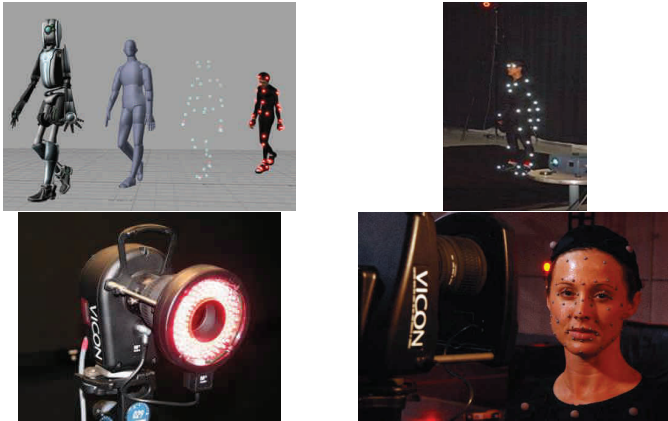
AuthroTronix Accelerglove

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-réfléchifs
 - ▶ 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]

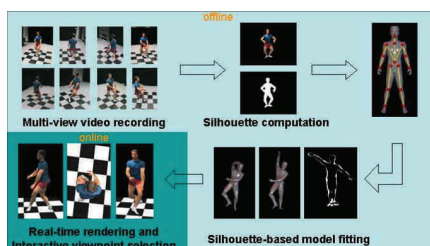


[Microsoft Kinect]



Au delà des marqueurs

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



cf : vision par ordinateur

Plan

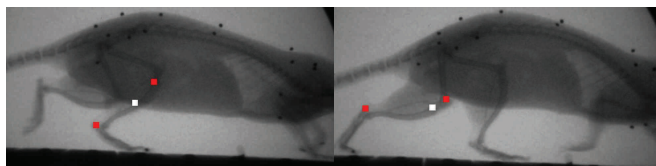
- 1 Introduction
- 2 Rappels
 - Cinématique
 - Déformation de surfaces
- 3 Capture de mouvements
 - Dispositifs
 - Traitement
 - Edition
 - Capture de mouvements et Physique

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

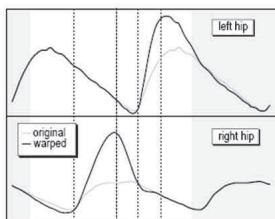
- 1 Introduction
- 2 Rappels
 - Cinématique
 - Déformation de surfaces
- 3 Capture de mouvements
 - Dispositifs
 - Traitement
 - Edition
 - Capture de mouvements et Physique

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 $b(t)$

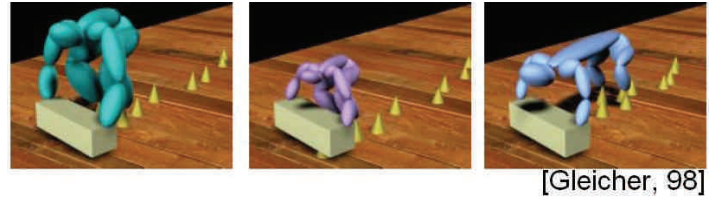
[Popovic and Witkin, 95]

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



Motion re-targetting



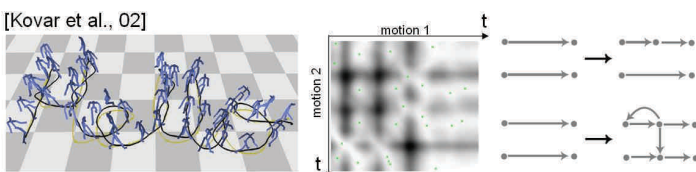
Motion re-use - Origine

- 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** ⇒ trouver le meilleur chemin

[Kovar et al., 02]



Motion re-use - Motion graph

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

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

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

Motion re-use - Motion graph

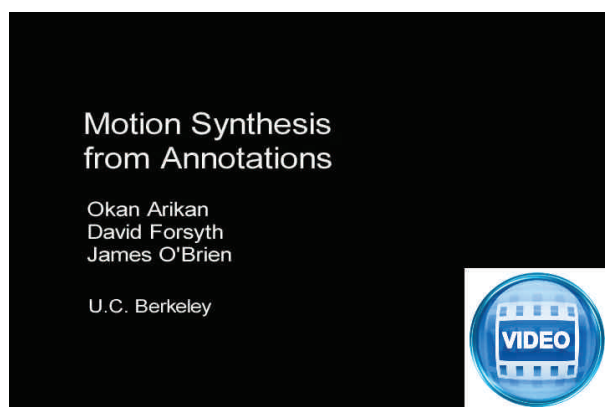


Motion re-use - Motion graph

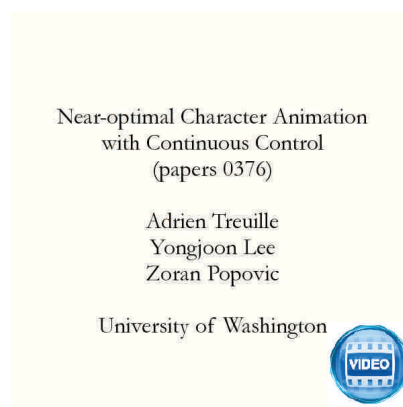
- Utilisation **interactive** par programmation dynamique
- $\Rightarrow$ Réponse aux **contraintes de l'utilisateur**



Motion re-use - Motion graph

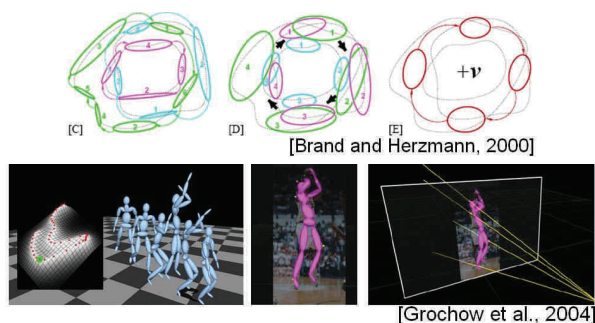


Motion re-use - Motion graph



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



Motion re-use - Méthodes statistiques



Besoin

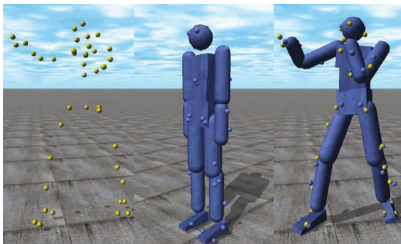
- Clip du mouvement limité à la séance de capture
- A partir de **données originales** (marche d'un acteur sur sol plat) : on peut vouloir ;
 - ▶ **éditer** le mouvement (marche plus rapide),
 - ▶ le **combiner** avec d'autres données (marche tête baissée),
 - ▶ ajouter des **contraintes** (marche sur 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 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**



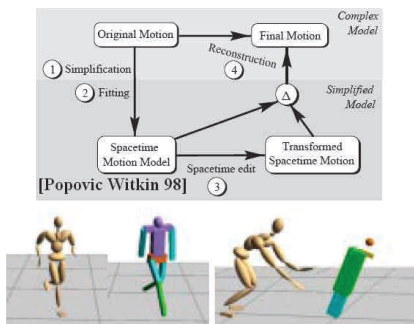
[Zordan et al 03]

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 ⇔ key-frames plus intuitives

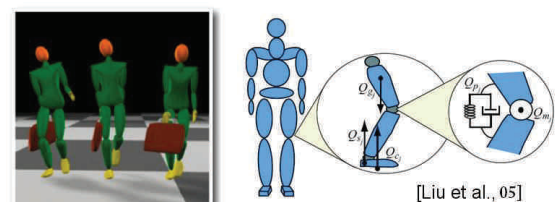
Space-time constraints et mocap 1/2

- 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

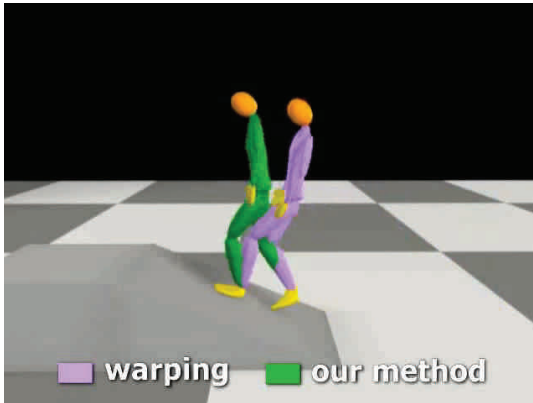


Space-time constraints et mocap 2/2

- 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



Bilan

- 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