



Réutilisation et transfert des modèles 3D

Marie-Paule Cani

Univ. Grenoble-Alpes, CNRS & Inria



COLLÈGE
DE FRANCE
—1530—



Organisation du cours

« Façonner l'imaginaire »

Partie 1 : Création numérique 3D

- Modélisation géométrique constructive : choix d'une représentation
- Sculpture virtuelle: des modèles d'argile aux déformations de l'espace
- Modélisation 3D à partir de dessins 2D
- **Cours 4 : Réutilisation et transfert des modèles 3D**

Séminaire : Traitement, analyse et édition de formes 3D numérisées. Tamy Boubekeur

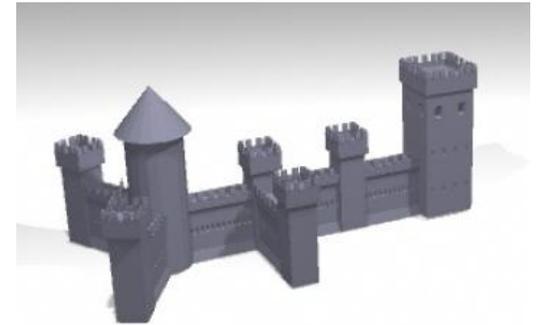
Partie 2 : Mondes virtuels animés

- Création intuitive des éléments d'un paysage
- Animation efficace de phénomènes naturels : des détails qui s'adaptent
- Humains et créatures virtuelles : animation par habillages successifs
- Vers une animation expressive – marier réalisme et contrôle ?

Réutiliser les modèles 3D : Motivations

Modèles complexes créés ou capturés

- Peut-on les modifier en conservant leur ‘allure’ ?
‘Sculpter’ ce château et qu’il reste un château
- Les adapter automatiquement à un nouveau contexte ?
‘Copier/coller’ ces vêtements de la mère à la fille



Quelles connaissances ajouter aux modèles ?

Quelles propriétés faut-il préserver ?



Ce cours : quatre exemples



Objets structurés : Préservation des liens entre éléments

1. Grammaire donnée en entrée : Modèles élastiques mutables
[Milliez et al. Eurographics 2013]
2. Calcul automatique de sous-structures remplaçables
[Liu et al. Eurographics 2015]

Objets souples : Copier-coller intelligent, qui adapte les formes

1. Transfert de vêtements *[Brouet et al. Siggraph 2012]*
2. Transfert d'anatomie *[Dicko et al. Siggraph Asia 2013]*

Réutilisation

Sculpture d'objets structurés

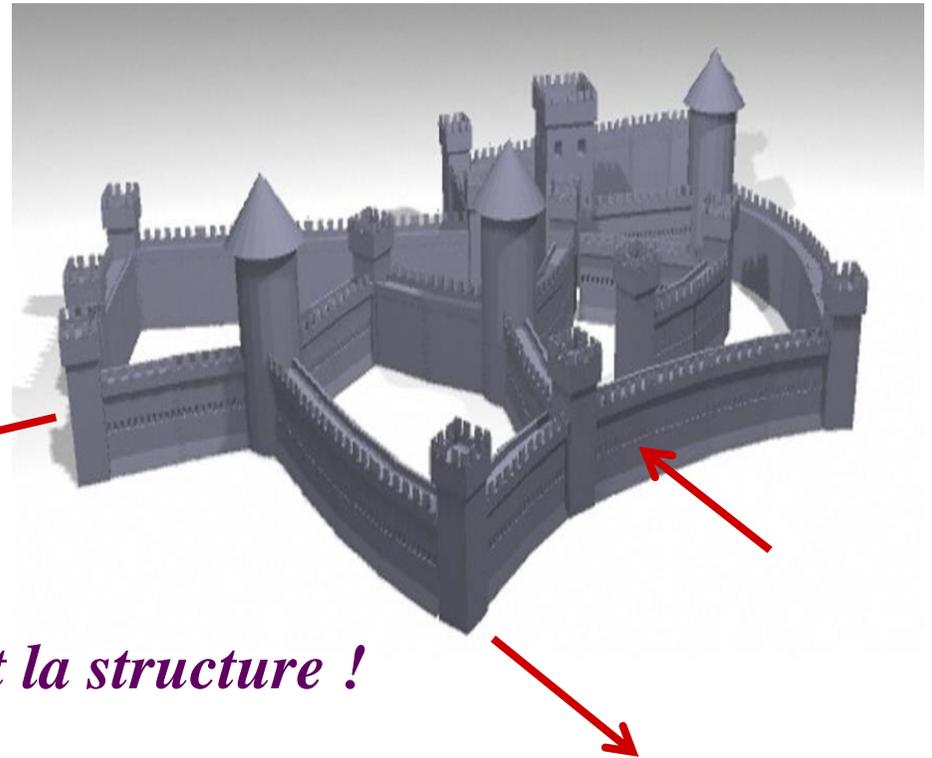
Objets créés par les humains

Agencements d'éléments

- Similarités
- Règles de connexion

**Pourrait-on les sculpter
comme de l'argile?**

Inventer des déformations préservant la structure !

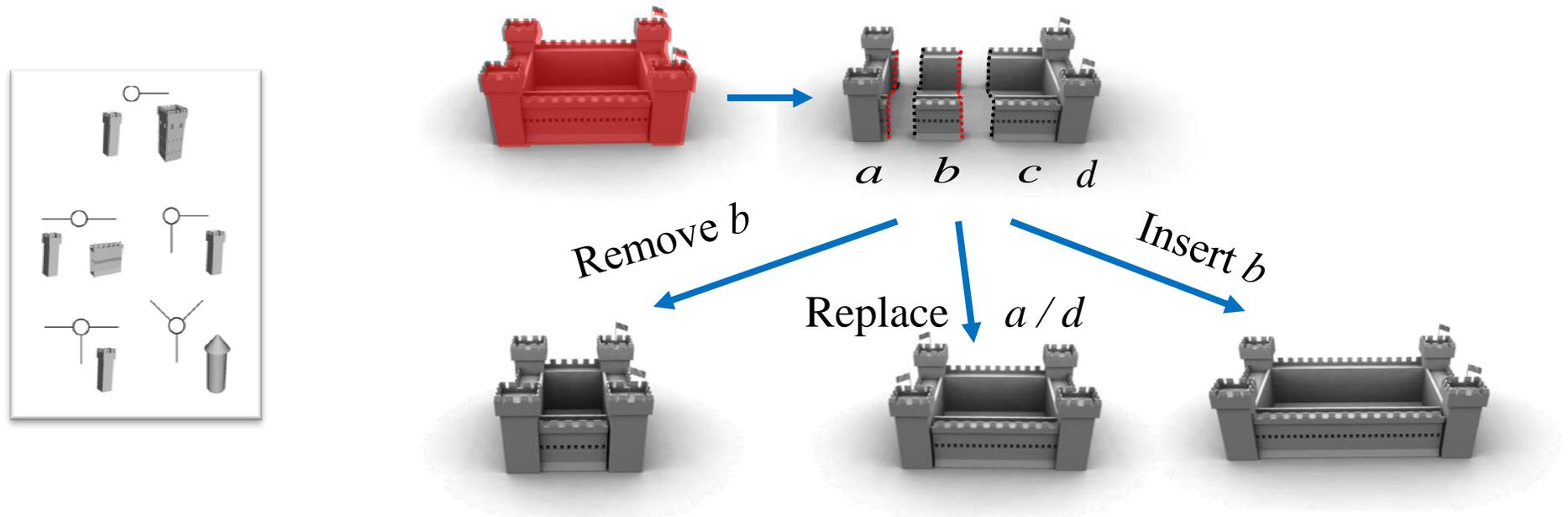
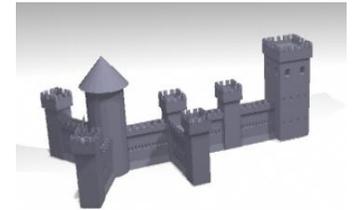


- ✓ *Réutilisation d'objets structurés*
 - *Sculpture*
- ✓ *Transfert d'objets souples*

Connaissances : une “grammaire de formes”

Grammaire de type puzzle

- Contraintes de connexion extraites d'un exemple
- Règles de production :
 - toutes les opérations **insérer** / **supprimer** / **remplacer** valides.



✓ Réutilisation d'objets structurés

• Sculpture

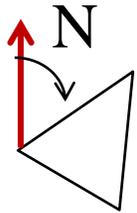
✓ Transfert d'objets souples

Simulation physique

Modèle élastique amorti

• Rester *aussi rigide que possible* : minimiser

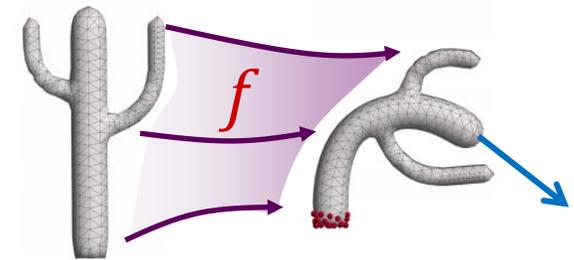
$$E_r(f) = \sum_{p_i \in \mathcal{P}} \text{dist}(\mathbf{R}_i(\mathcal{X}_i), f(\mathcal{X}_i))^2$$



Rotation
d'élément ?

Configuration
au repos

Configuration
déformée ?

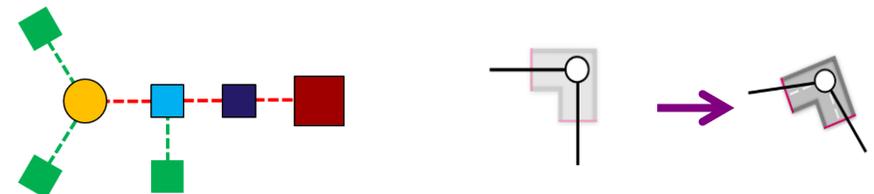


[Sorkine 2007]

Alterner :

- Chercher \mathbf{R}_i
- Chercher $f(\mathcal{X}_i)$

Appliqué au graphe des composants



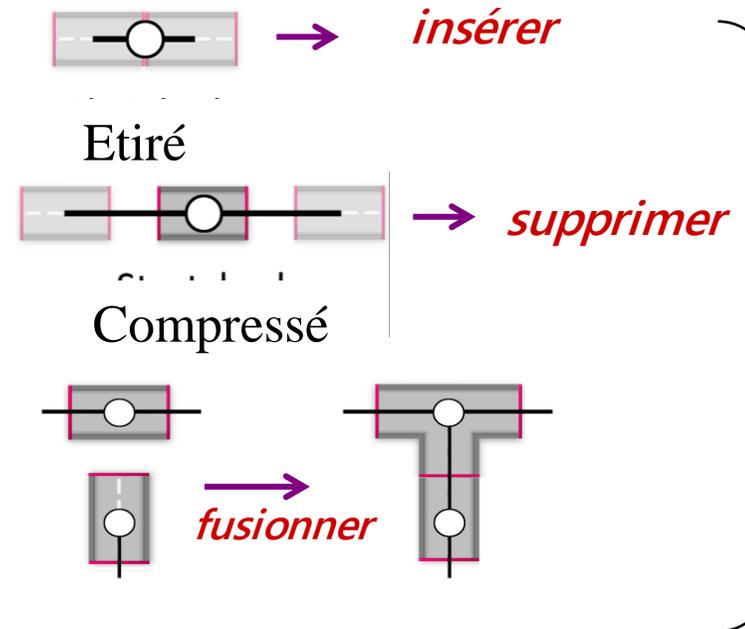
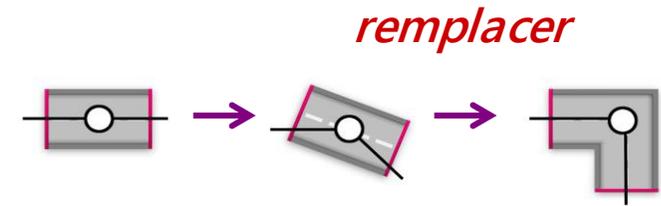
- ✓ *Réutilisation d'objets structurés*
 - *Sculpture*
- ✓ *Transfert d'objets souples*

Simulation de la plasticité : Modèle mutable

Absorber les fortes déformations

- Plusieurs états d'équilibre par nœud
- Muter vers l'état le plus proche

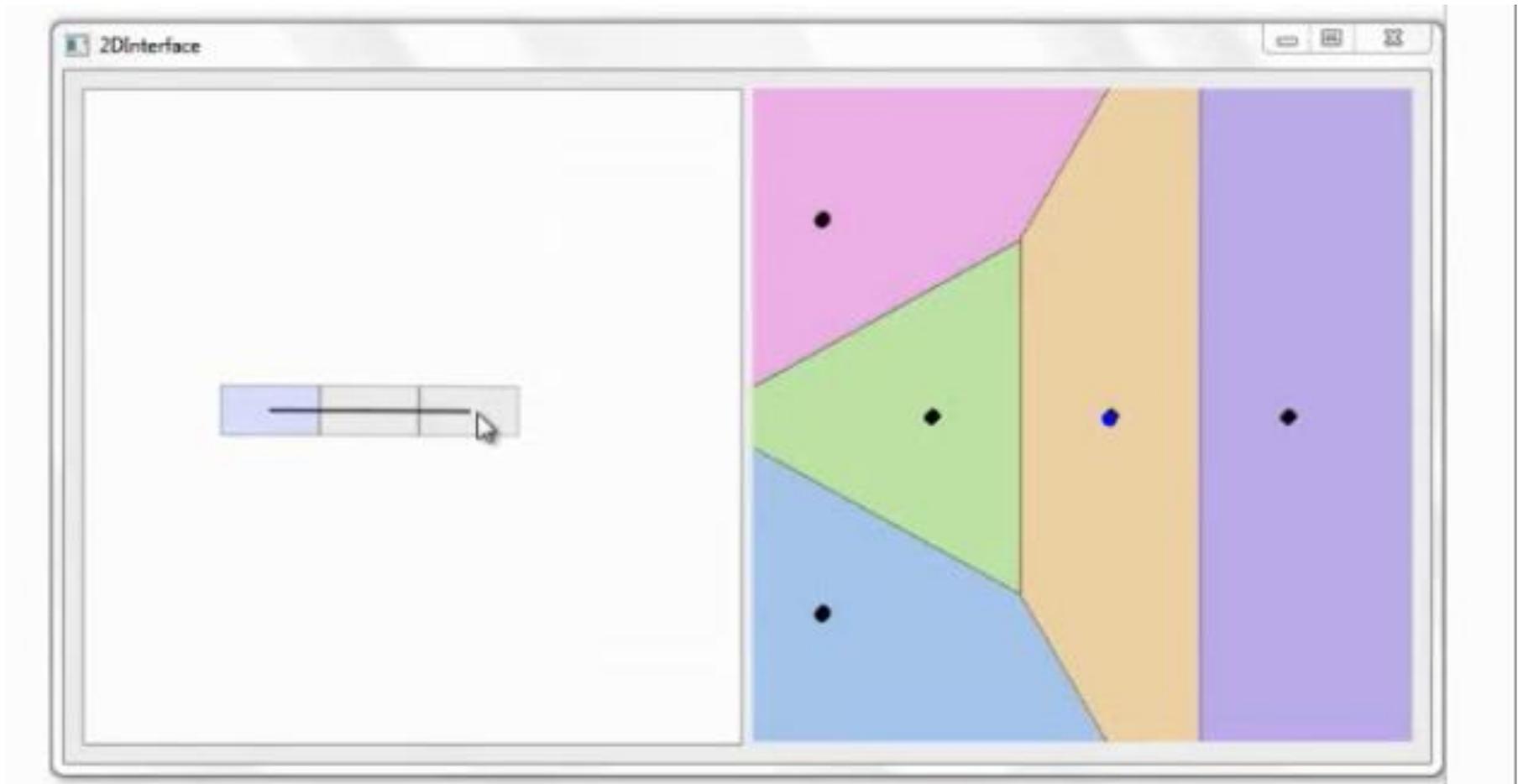
Changements de topologie



- ✓ *Réutilisation d'objets structurés*
 - *Sculpture*
- ✓ *Transfert d'objets souples*

Illustration 2D

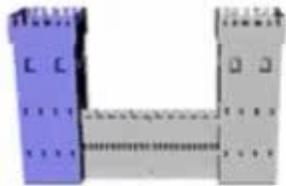
Modèle mutable / Vue des régions d'attraction



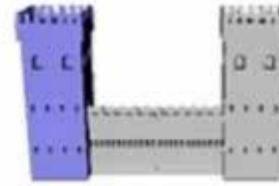
- ✓ *Réutilisation d'objets structurés*
 - *Sculpture*
- ✓ *Transfert d'objets souples*

Eviter les transitions trop brusques?

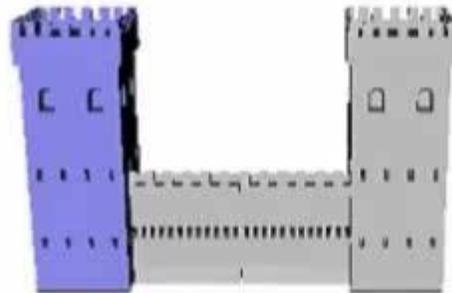
Espaces bien répartis



Espaces groupés pour ajout rapide

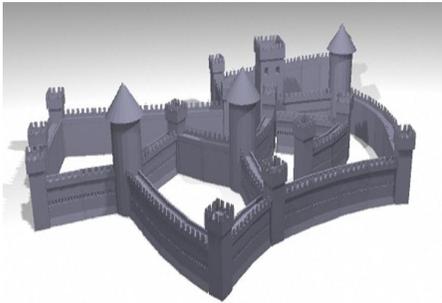


Méthode hybride



- ✓ *Réutilisation d'objets structurés*
 - *Sculpture*
- ✓ *Transfert d'objets souples*

Résultats [Milliez 2013]



- ✓ *Réutilisation d'objets structurés*
 - *Extraire les parties remplaçables?*
- ✓ *Transfert d'objets souples*

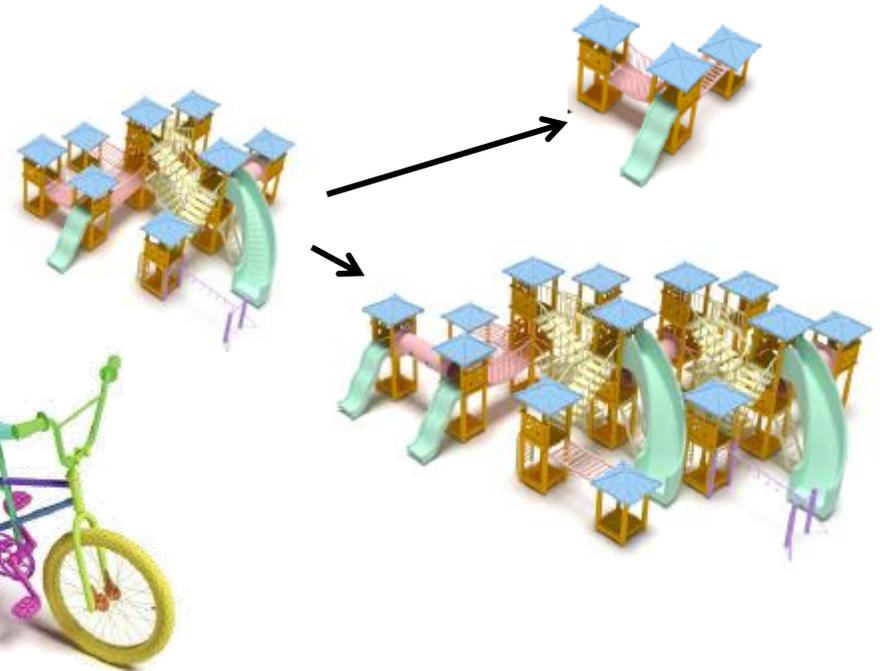
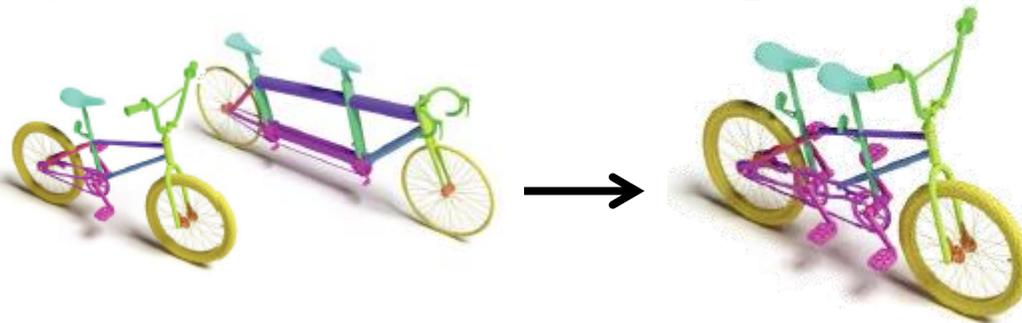
Calcul des sous-structures remplaçables

Motivations

- Peut-on calculer les mutations possibles à partir d'exemples ?
- Et le faire à l'échelle de sous structures de taille diverses ?

Applications

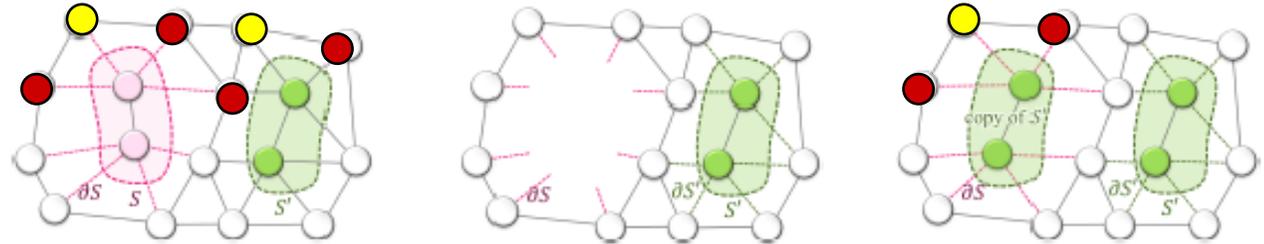
- Auto-hybridation
- Hybridation entre deux exemples



- ✓ *Réutilisation d'objets structurés*
 - *Extraire les parties remplaçables?*
- ✓ *Transfert d'objets souples*

Méthode et contraintes

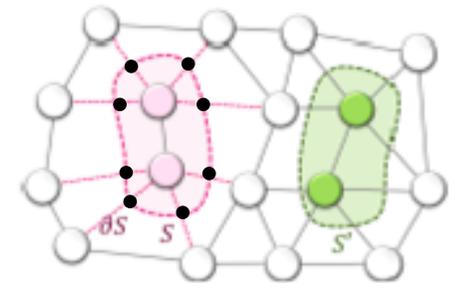
1. Découverte de sous structures remplaçables
2. Coupure
3. Remplacement



Il faut tenir compte de la nature et de l'ordre des voisins

Idée

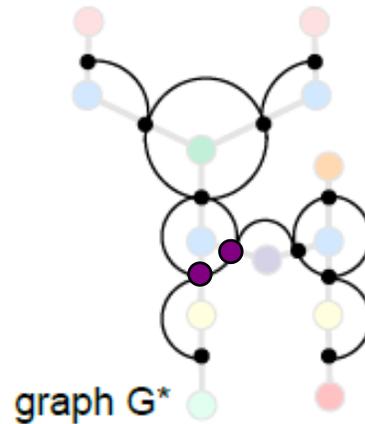
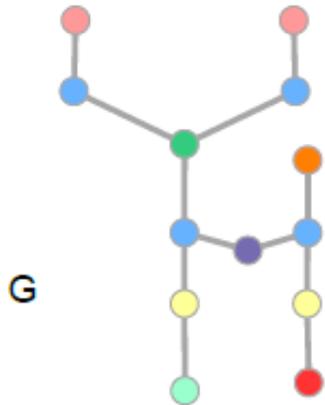
- Calcul sur le graphe dual G^*
 - Les sommets représentent une arête
 - Ils ont labélisés par les types de leurs deux voisins



- ✓ *Réutilisation d'objets structurés*
 - *Extraire les parties remplaçables?*
- ✓ *Transfert d'objets souples*

Calcul des sous-structures remplaçables

- Hypothèse : Forme 3D mais graphe planaire
- Coupe = chemin dans le graphe dual G^*

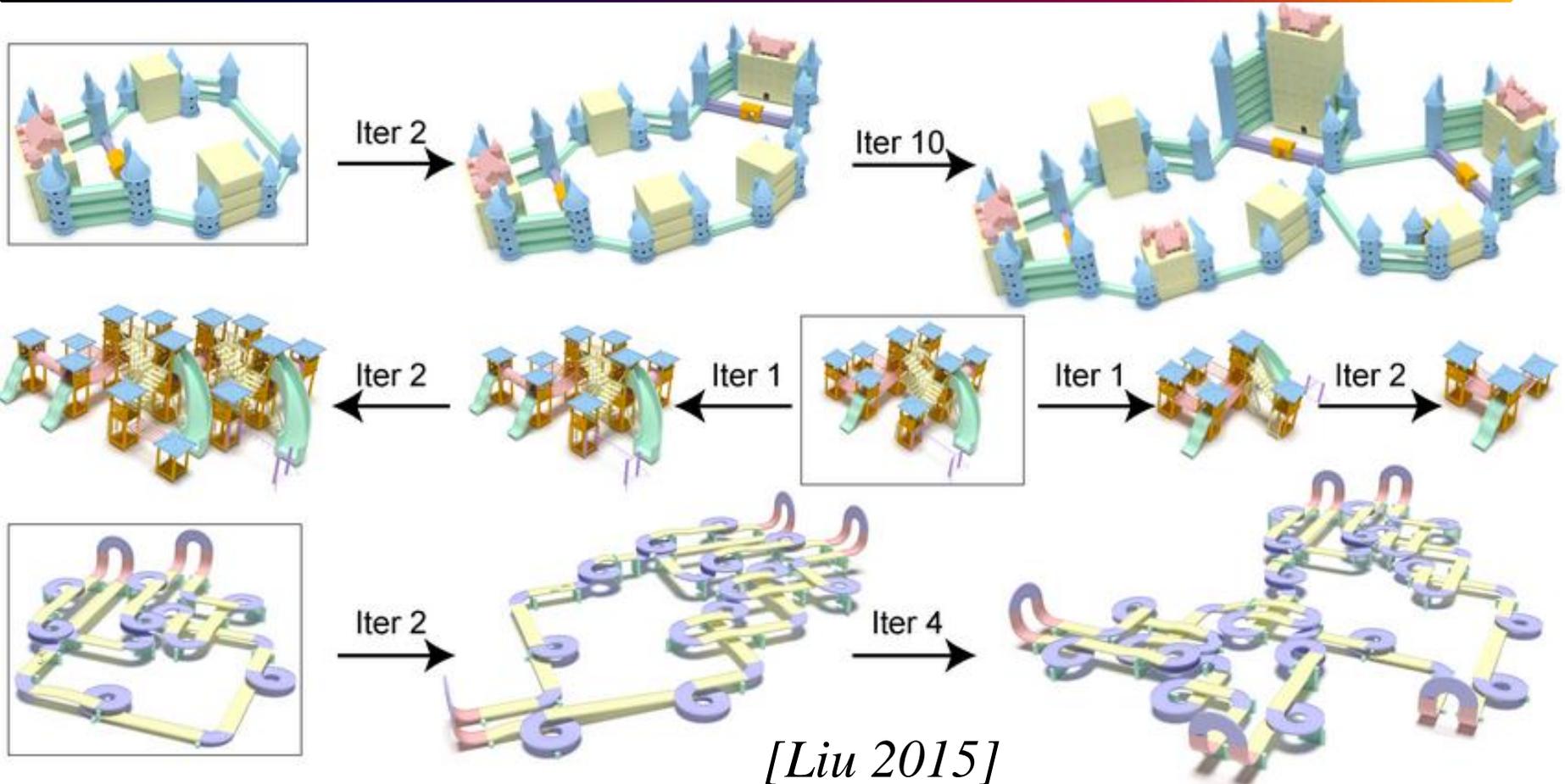


- Recherche de sous-parties remplaçables

Même types de nœuds, dans le même ordre le long de la coupe

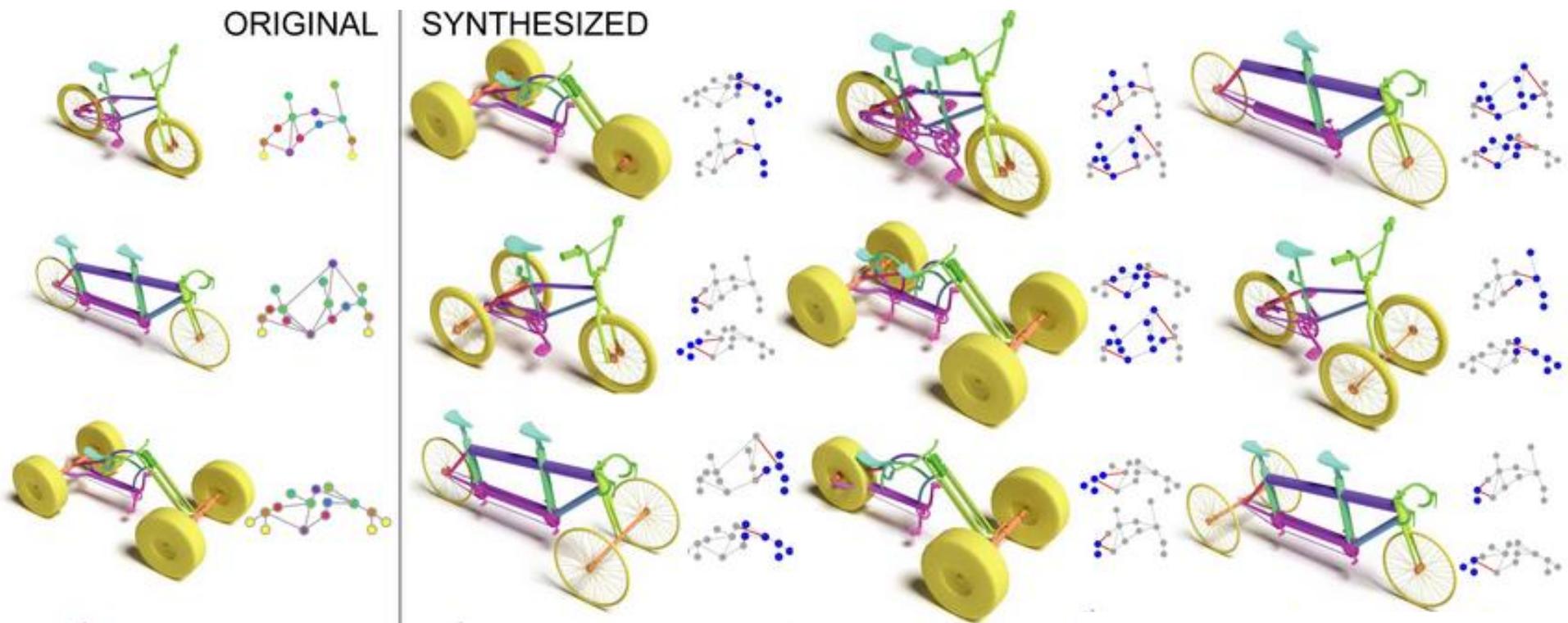
- ✓ *Réutilisation d'objets structurés*
 - *Extraire les parties remplaçables?*
- ✓ *Transfert d'objets souples*

Utilisation au sein du même modèle



- ✓ *Réutilisation d'objets structurés*
 - *Extraire les parties remplaçables?*
- ✓ *Transfert d'objets souples*

Utilisation pour croiser des modèles



[Liu 2015]

- ✓ Réutilisation d'objets structurés
- ✓ Transfert d'objets souples

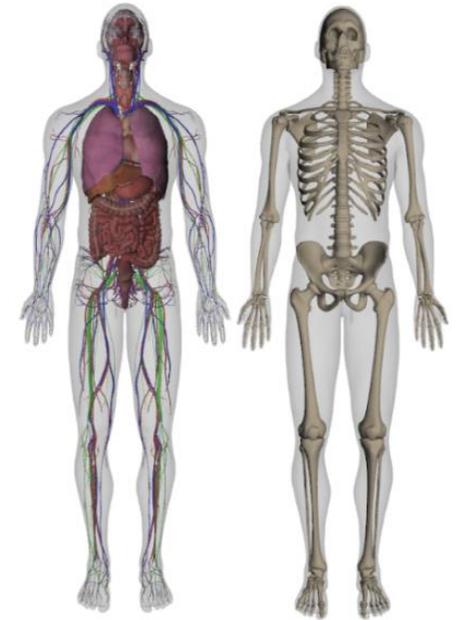
Que préserver pour les objets souples?

Objets moins structurés caractérisés par

- Leurs propriétés intrinsèques
- Leurs interactions

Exemples

- Vêtements
- Organes du corps humain



Comment modéliser les connaissances à préserver?

Etude dans le cadre d'une *opération de transfert* (copier / coller)

- ✓ *Réutilisation d'objets structurés*
- ✓ *Transfert d'objets souples*

Transfert de vêtements

But : Adaptation automatique à une autre morphologie

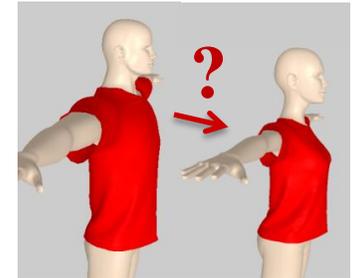
- La forme 3D change
- Les patrons 2D changent

Vie réelle

- Relève d'un savoir-faire spécialisé !
- Préserver "l'allure"



@kitschy-coo.com

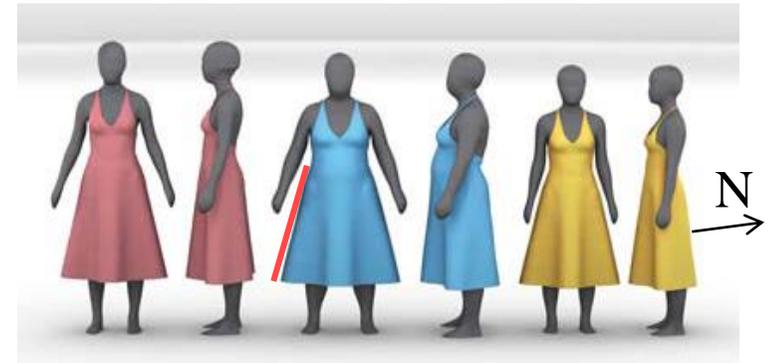
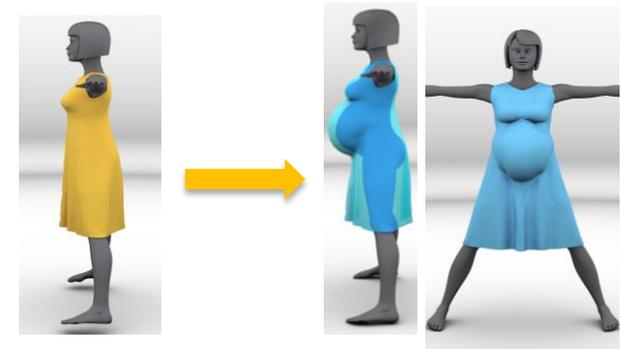


Comment exprimer cela en termes mathématiques ?

- ✓ Réutilisation d'objets structurés
- ✓ **Transfert d'objets souples**
 - **Vêtements**

Tentatives précédentes

- Etirement axial des patrons
Perte de la forme!
- Préserver les distances au corps
[Cordier 2003, Wang 2005]
Préserve les proportions, pas l'allure
- Dessiner des corrections *[Meng 2012]*



Intuition

- Préserver aussi l'orientation des surfaces, donnée par les normales

- ✓ Réutilisation d'objets structurés
- ✓ **Transfert d'objets souples**
 - **Vêtements**

Notre solution

A préserver pour conserver l'allure

- 1. Proportionnalité** par rapport aux membres
- 2. Forme** : préservation des normales
- 3. Ajustement** : Distance au corps pour les parties moulantes
- 4. Fabricabilité** : Eviter les collisions & rester développable



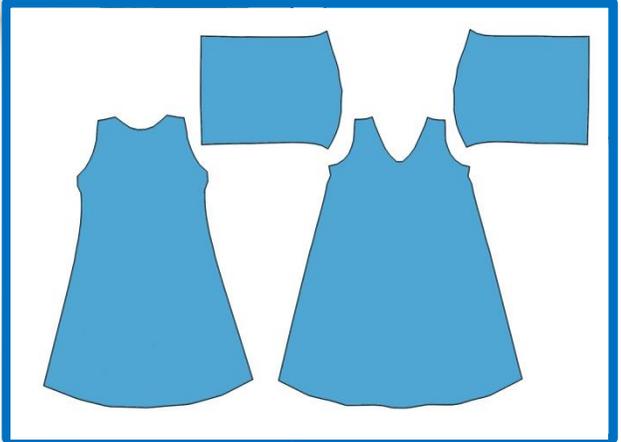
- ✓ Réutilisation d'objets structurés
- ✓ *Transfert d'objets souples*
 - *Vêtements*

Chaîne de traitements



Mise à l'échelle

Rétablir l'orientation

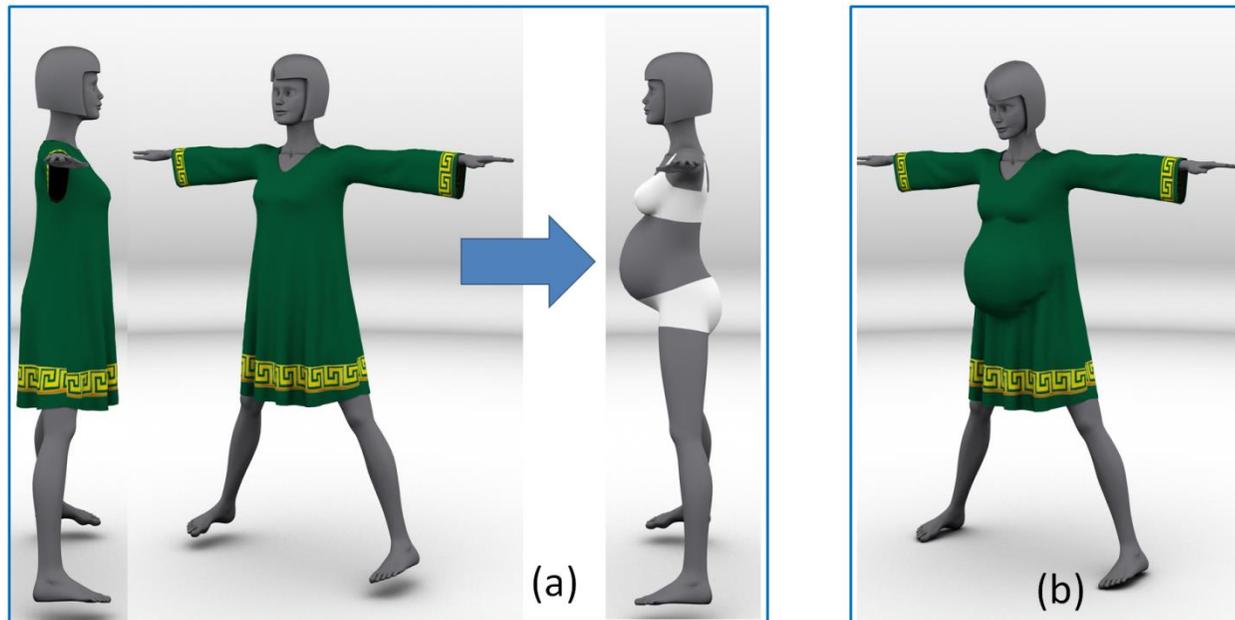


- ✓ Réutilisation d'objets structurés
- ✓ *Transfert d'objets souples*
 - *Vêtements*

Préservation des propriétés

1. Proportionnalité

- Préserver les positions des bords le long du corps et des membres
- Attachement aux points les plus proche sur les os et la peau

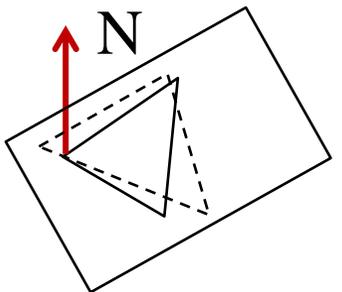


- ✓ Réutilisation d'objets structurés
- ✓ *Transfert d'objets souples*
 - *Vêtements*

Préservation des propriétés

2. Rétablir l'orientation des surfaces

- Pénaliser les rotations de la source à la cible
- Permettre les déformations 2D (qté de matière)



$$\min \sum_{\text{triangles}} \left\| \tilde{P} - T(P) \right\|^2$$

Positions
Source

- Alterner :
- Trouver T
 - Trouver \tilde{P}

Transformation préservant l'orientation (la normale N)



- ✓ Réutilisation d'objets structurés
- ✓ *Transfert d'objets souples*
 - *Vêtements*

Préservation des propriétés

3. Ajustement : distances au corps préservées pour les parties moulantes

- Termes ajoutés dans la minimisation

4. Fabricabilité

Eviter les pénétrations dans le corps

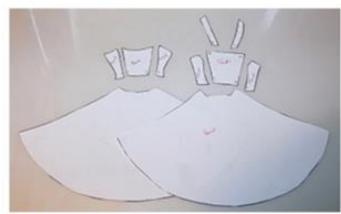
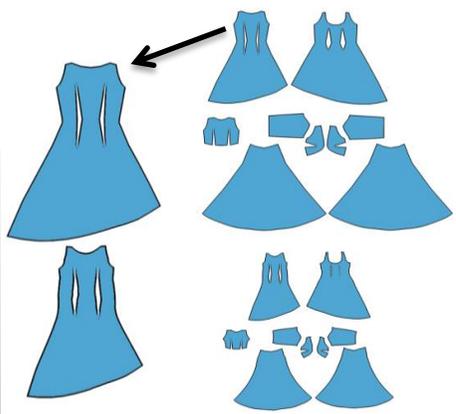
- Résolu de haut en bas
- Ajouts de matière



- ✓ Réutilisation d'objets structurés
- ✓ *Transfert d'objets souples*
 - *Vêtements*

Résultats : modèles 3D + patrons

[Brouet 2012]



- ✓ *Réutilisation d'objets structurés*
- ✓ *Transfert d'objets souples*
 - *Vêtements*

Résultats: Couches successives



- ✓ *Réutilisation d'objets structurés*
- ✓ *Transfert d'objets souples*
 - *Vêtements*

Résultats : modèles à animer



- ✓ *Réutilisation d'objets structurés*
- ✓ *Transfert d'objets souples*

Transfert d'anatomie

Motivation

Besoin d'anatomie détaillée

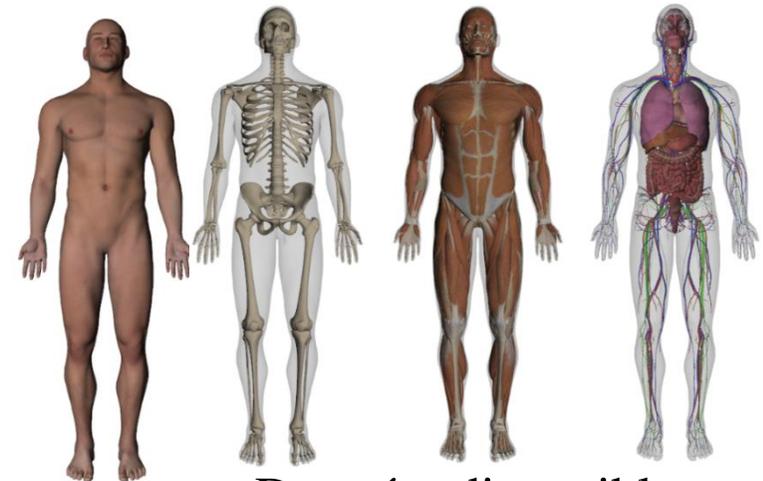
- Simulation médicale
- Films et effets spéciaux



Film [*Avatar*, 2009] @ Weta Studio

Objectif : Transférer la géométrie **interne**

- Fonction de la position dans le corps
- En préservant la plausibilité

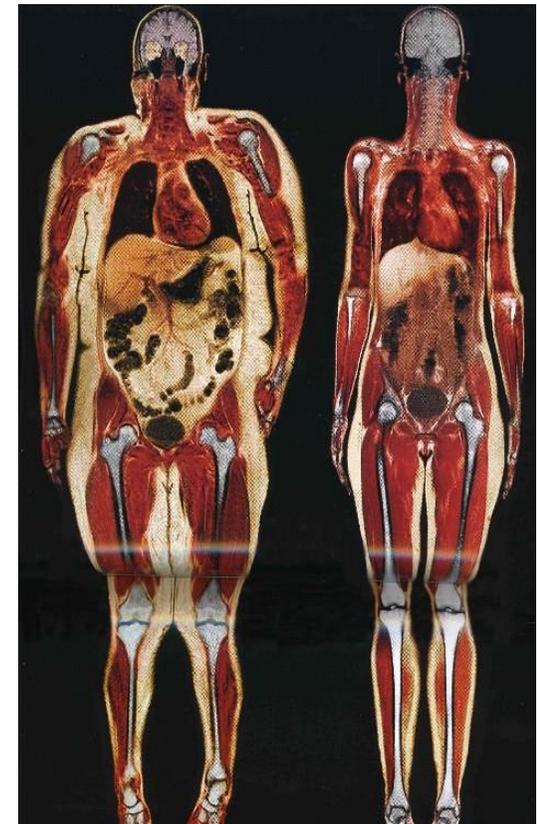
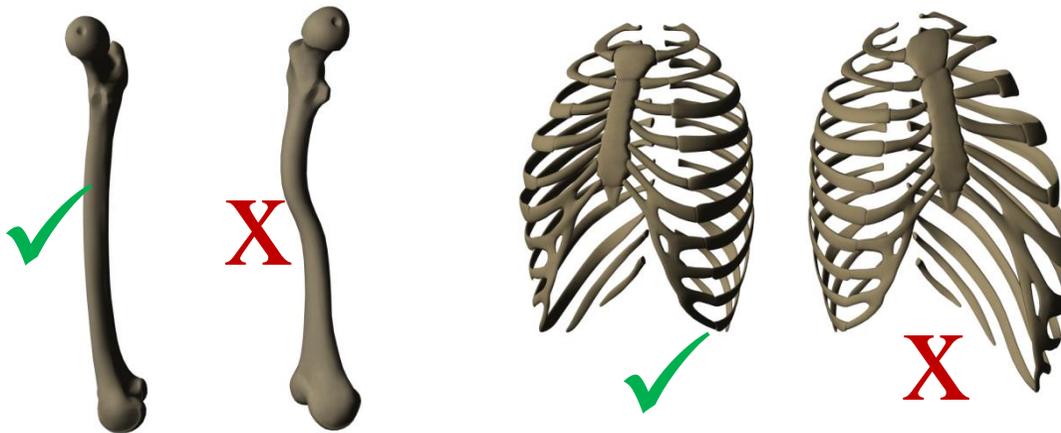


Données disponibles

- ✓ *Réutilisation d'objets structurés*
- ✓ *Transfert d'objets souples*
 - *Anatomie*

Lois anatomiques?

- Os droits & symétriques / plan sagittal
- Muscles (et pas os) proportionnels à la graisse
- Graisse localisée entre muscles et peau
- Aucune structure ne doit disparaître
- Points d'attache des muscles invariants sur les os

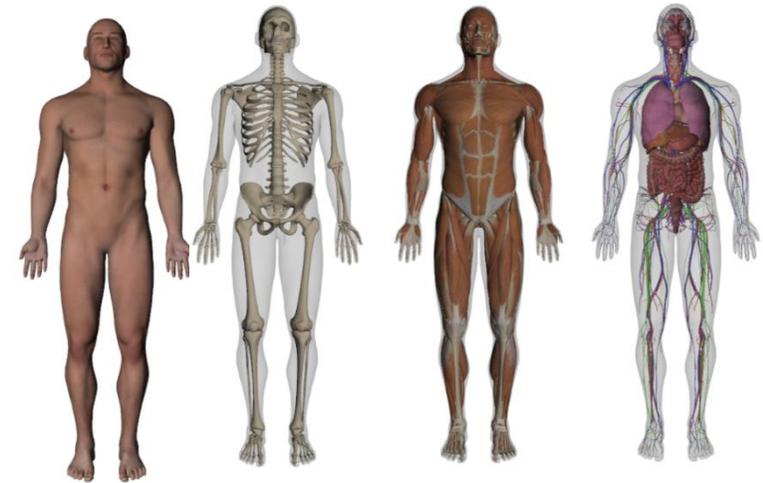


- ✓ Réutilisation d'objets structurés
- ✓ Transfert d'objets souples
 - Anatomie

Pré-calcul : Mise en correspondance

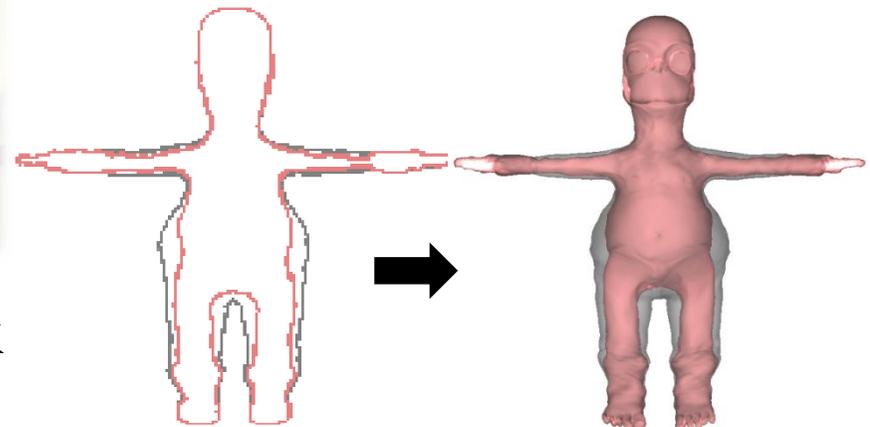
Entrée

- Modèle de référence (peu de graisse)
- Modèle cible



Pré-calcul

- Eroder la graisse
- Mettre en correspondance les peaux



- ✓ Réutilisation d'objets structurés
- ✓ *Transfert d'objets souples*
 - *Anatomie*

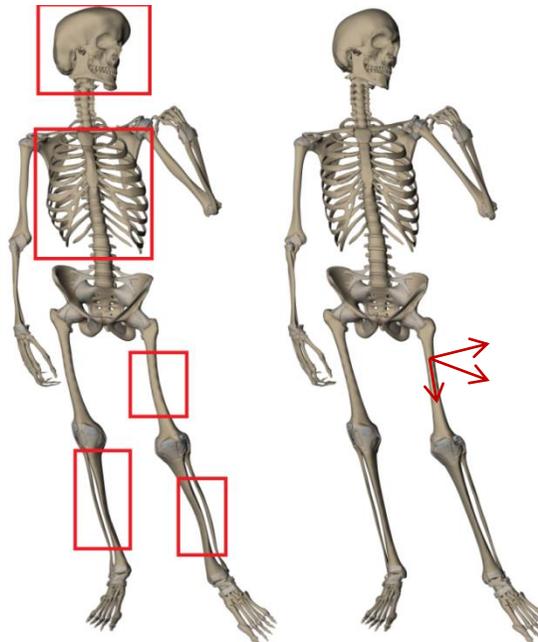
Transfert du squelette

- Extrapoler pour mettre en correspondance les volumes internes
- Sert d'attracteur pour déplacer les os sans les courber

Résultat avec
l'interpolation de
Laplace

$$\begin{aligned}\nabla^2 f(x) &= 0 \text{ au milieu} \\ f(x) &= \bar{f} \text{ au bord}\end{aligned}$$

Correspondance
interne « la plus
linéaire possible »



Restreint à des
**transformations
affines**

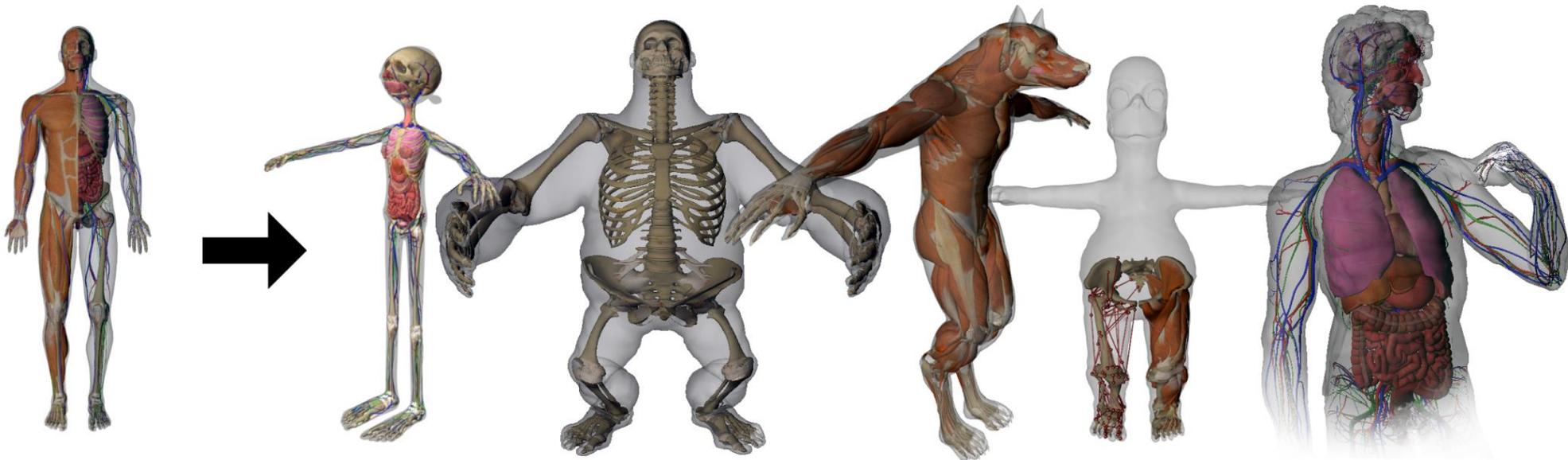
(rotations, translations,
changements d'échelle)

Contraintes de
symétrie imposées

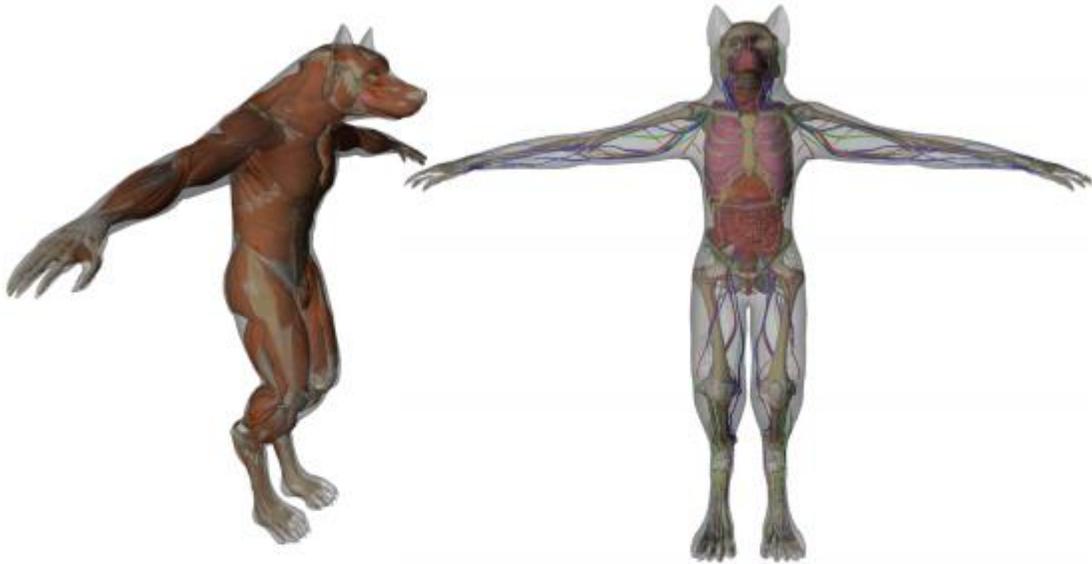
- ✓ *Réutilisation d'objets structurés*
- ✓ *Transfert d'objets souples*
 - *Anatomie*

Autres organes

- **Peau et squelette utilisés comme conditions au bord**
- **Interpolation de Laplace pour transférer les organes flexibles**



Résultats



Loup →

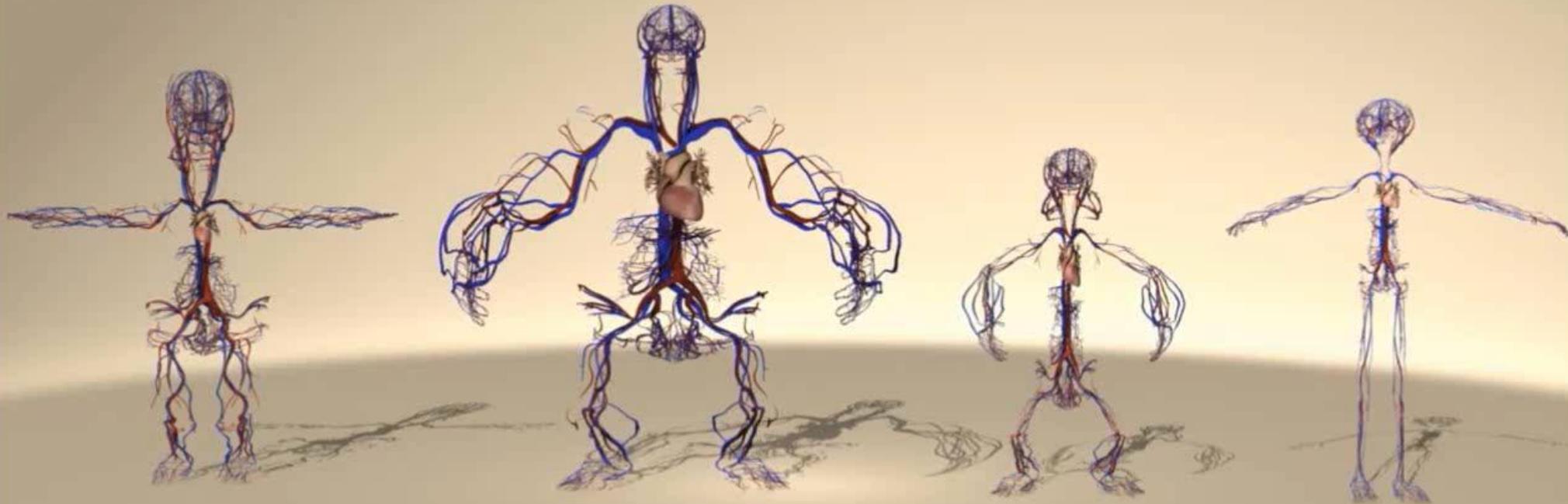


← Anatomie humaine transférée

- ✓ *Réutilisation d'objets structurés*
- ✓ *Transfert d'objets souples*
 - *Anatomie*

Résultats [Dicko 2013]





Fat

Huge

Disproportional

Thin

[Dicko 2013]

Réutilisation et transfert de modèles 3D

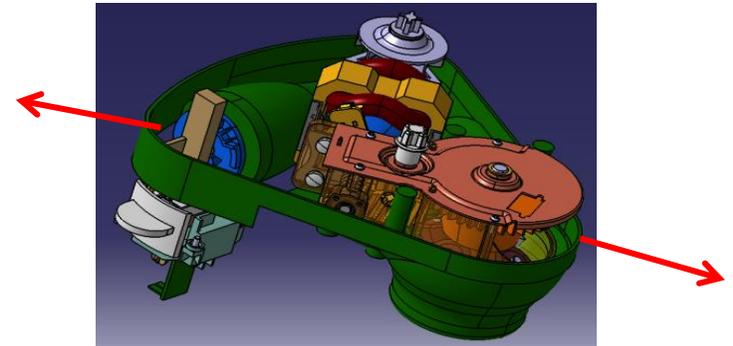
Conclusion

Réutilisation intuitive : copier-coller, déformer...

- Sémantique associée aux objets complexes, souples ou structurés
- A exprimer sous forme de *propriétés à préserver*

Futur : Sculpture d'assemblages complexes

- Inférer les connaissances
 - fonction d'après la forme ?
- Préserver cette fonction lorsqu'on sculpte



Séminaire : Tamy Boubekour, Télécom Paris-tech

Traitement, analyse et édition de formes 3D numérisées.

Bibliographie

- Sorkine, Alexa (2007). *As-rigid-as-possible surface modeling*. Symposium on Geometry Processing (SGP 2007)
- Milliez, Wand, Cani, Seidel (2013). *Mutable elastic models for sculpting structures shapes*. Computer Graphics Forum, 32. (EG 2013).
- Liu, Vimont, Mitra, Wand, Cani, Hahman, Rohmer (2015). *Replaceable Substructures for Efficient Part-Based Modeling*, Computer Graphics Forum (EG)
- Cordier, Seo, Magnenat Thalmann (2003). *Made-to-measure technologies for an online clothing store*. IEEE Computer Graphics and Applications 23.
- Meng, Wang, Jin (2012). *Flexible shape control for automatic resizing of apparel products*. Computer Aided Design 44, 1.
- Brouet, Sheffer, Boissieux, Cani (2012). *Design preserving garment transfer*. ACM Transactions on Graphics 31(4). Siggraph 2012.
- Dicko, Liu, Gilles, Kavan, Faure, Palombi, Cani (2013). *Anatomy transfer*. ACM Transactions on Graphics 32(6). Siggraph Asia 2013.