

Géométrie Active pour l'animation et la modélisation

Damien Rohmer

20 sept. 2011

*Sous la direction de:
Stefanie Hahmann et Marie-Paule Cani*

Grenoble Université
Laboratoire Jean-Kuntzmann, INRIA



Contexte: L'informatique graphique

- Loisir : Scènes virtuelles = quotidien

Cinéma d'animation



Seigneur des Anneaux

Star Wars



Jeux vidéos



Star Wars

Virtua Tennis

Contexte: L'informatique graphique

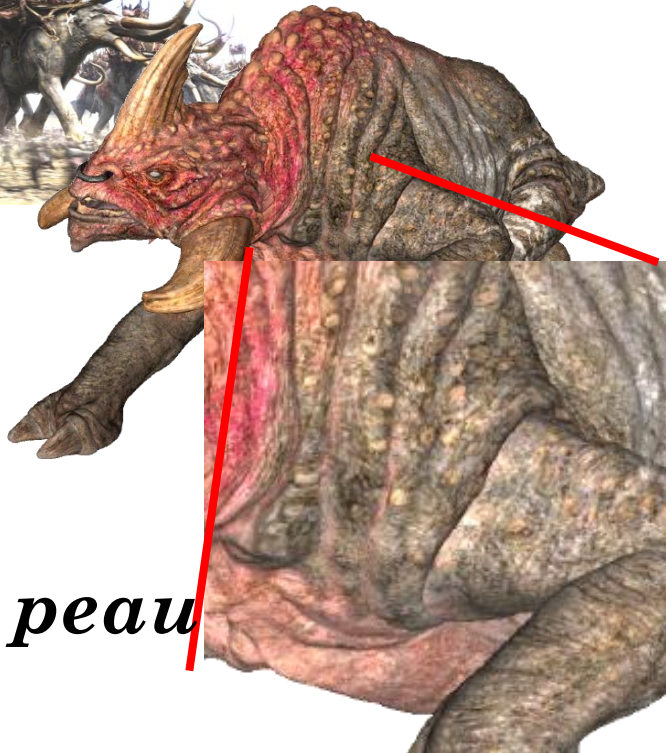
- Loisir : Scènes virtuelles = quotidien **+ de détails!**

Cinéma d'animation



Seigneur des Anneaux

Star Wars



Plis de peau

Jeux vidéos



Star Wars



Virtua Tennis

plis

Contexte: L'informatique graphique

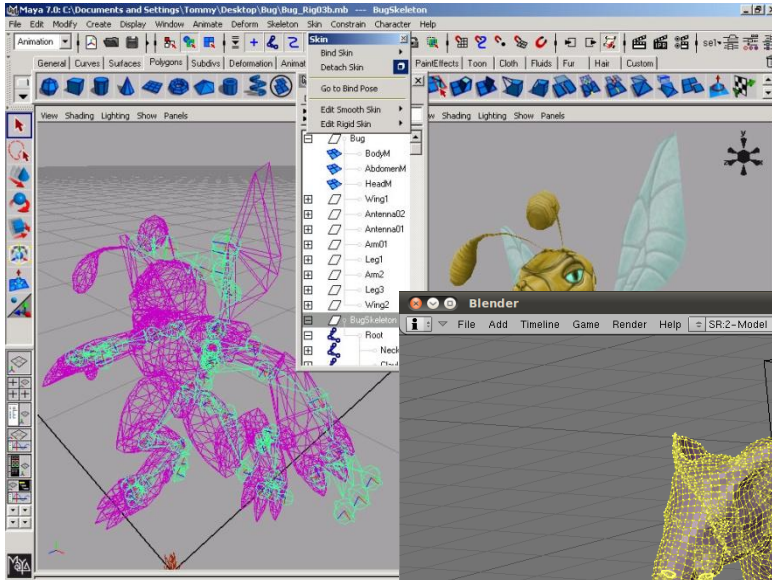
- Rôle central des **déformations / animations**



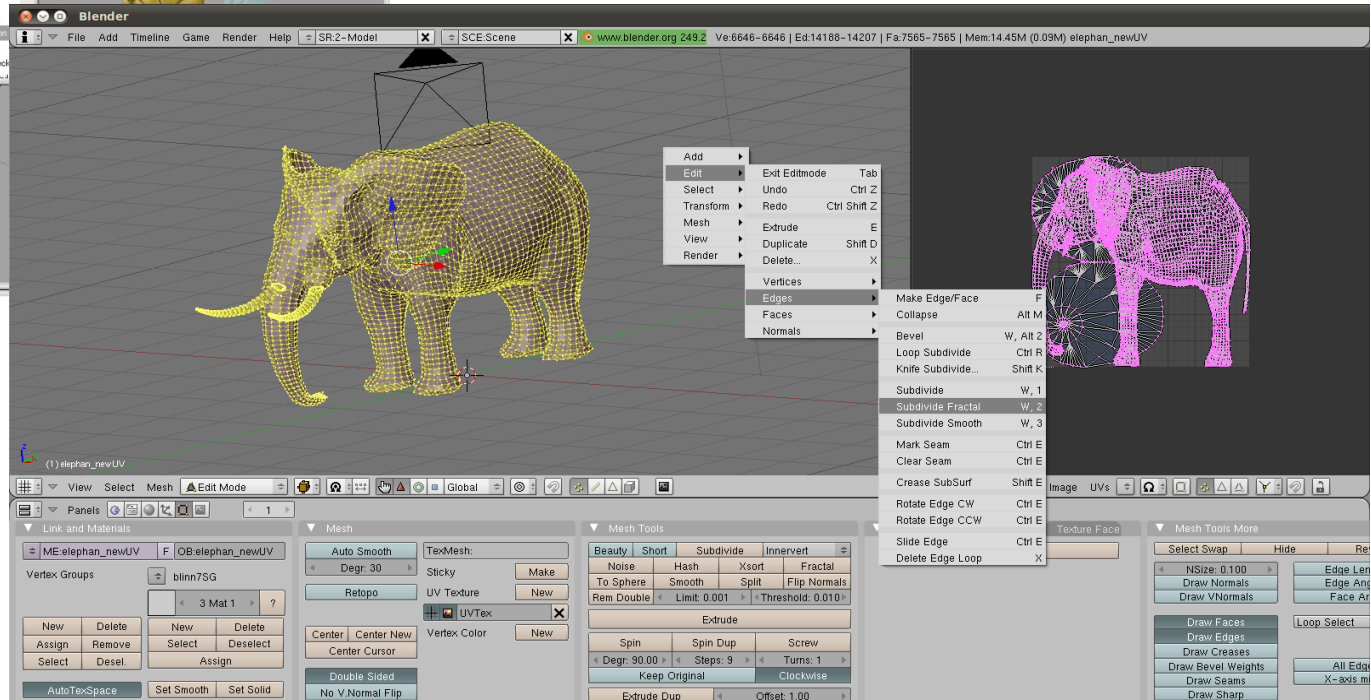
Shrek

Contexte: L'informatique graphique

- Besoin en génération de contenu virtuel



Maya

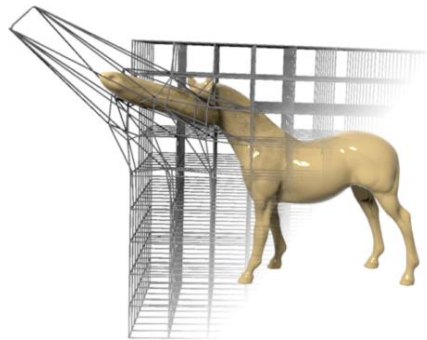
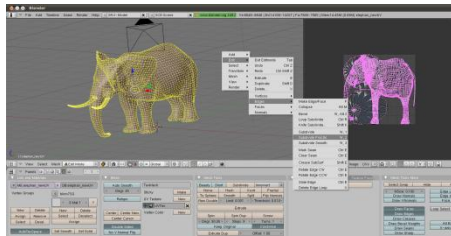


Blender

Contexte: L'informatique Graphique

- Besoin en génération de contenu virtuel

Constat : Peu d'évolutions: • Technique
• Bas niveau

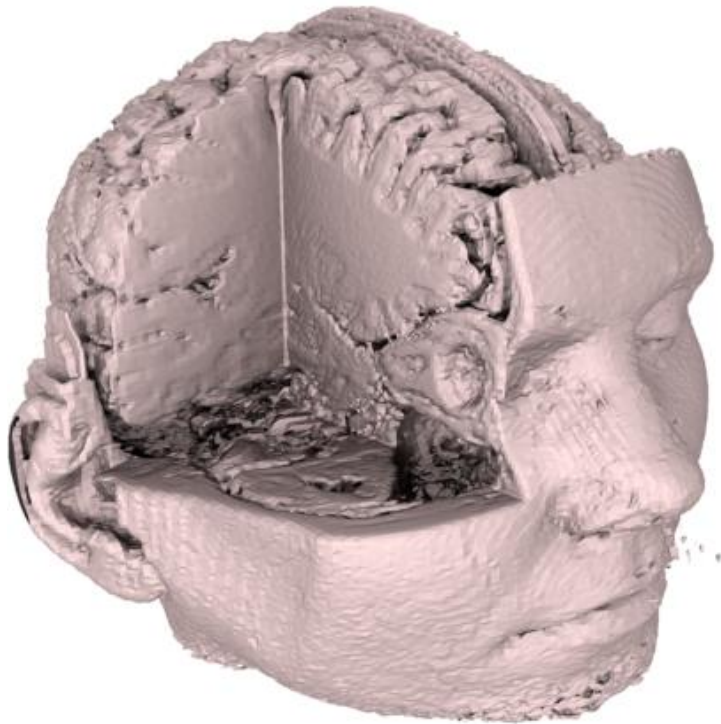


=> **Création artistique numérique limitée**
=> **+ de contenu = + d'heures de travail**

Contexte: L'informatique graphique

- Approches standards et leurs limitations : **Modèle**

Volumique

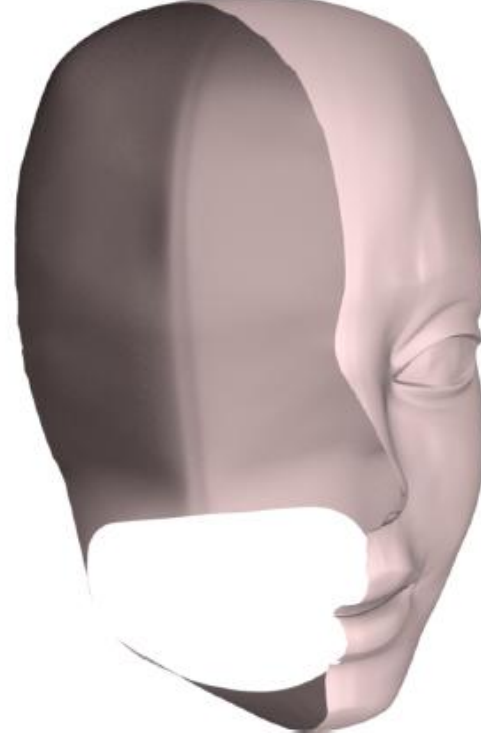


+ Complet

- Lourd

- Informations inutiles

Surfacique



+ Manipulation

+ Rapide

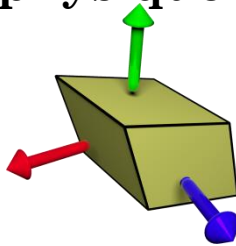
- Incomplet

Contexte: L'informatique graphique

- Approches standards et leurs limitations : **Déformation**

Simulation physique

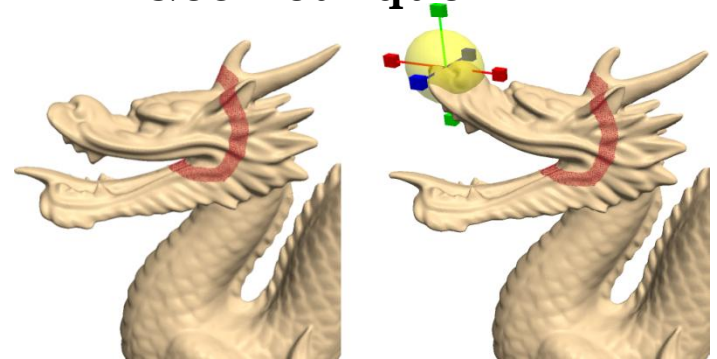
$$\frac{d}{dt} \int_{\Omega} f(\mathbf{x}, t) dV = \dots$$



[Fedkiw 04]

- + **Réalisme**
- + **Dynamique**
- **Coûteux**
- **Paramétrage**

Géométrique



[Sorkine 04]



Pixar

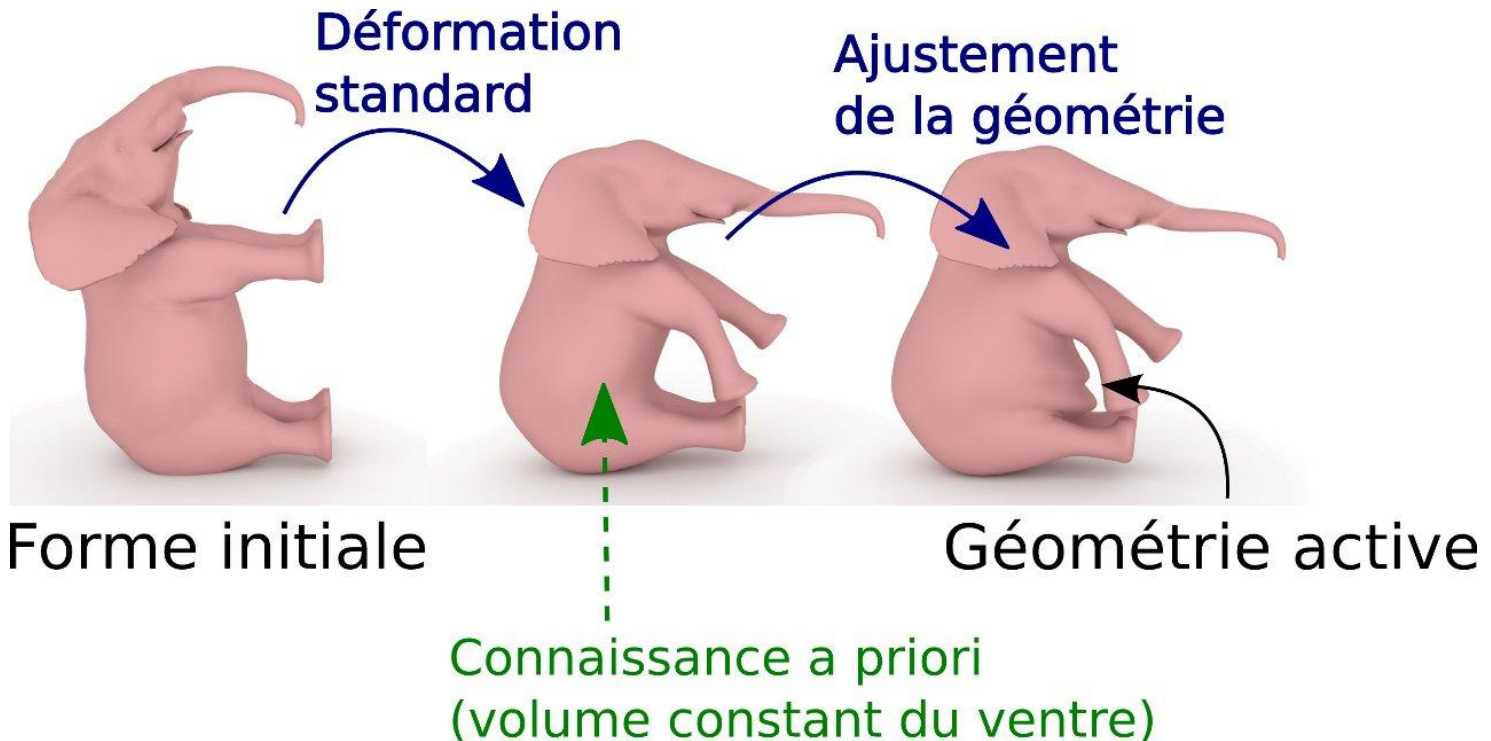
- + **Liberté**
- + **Rapide**
- **Réalisme**

Notre approche: Géométrie active

- La géométrie réagit à son environnement*

Objet géométrique + Connaissance de sa structure

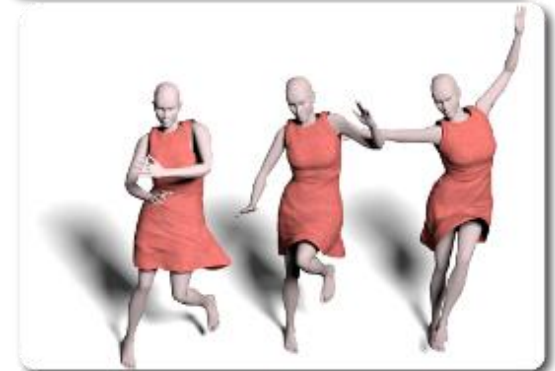
Contraintes géométriques



Contributions de cette thèse

Géométrie ...

- à **Volume** préservé
Animation de personnages articulés
- **Quasi-développable**
Animation de vêtements
- **Isométrique**
Modélisation papier froissé

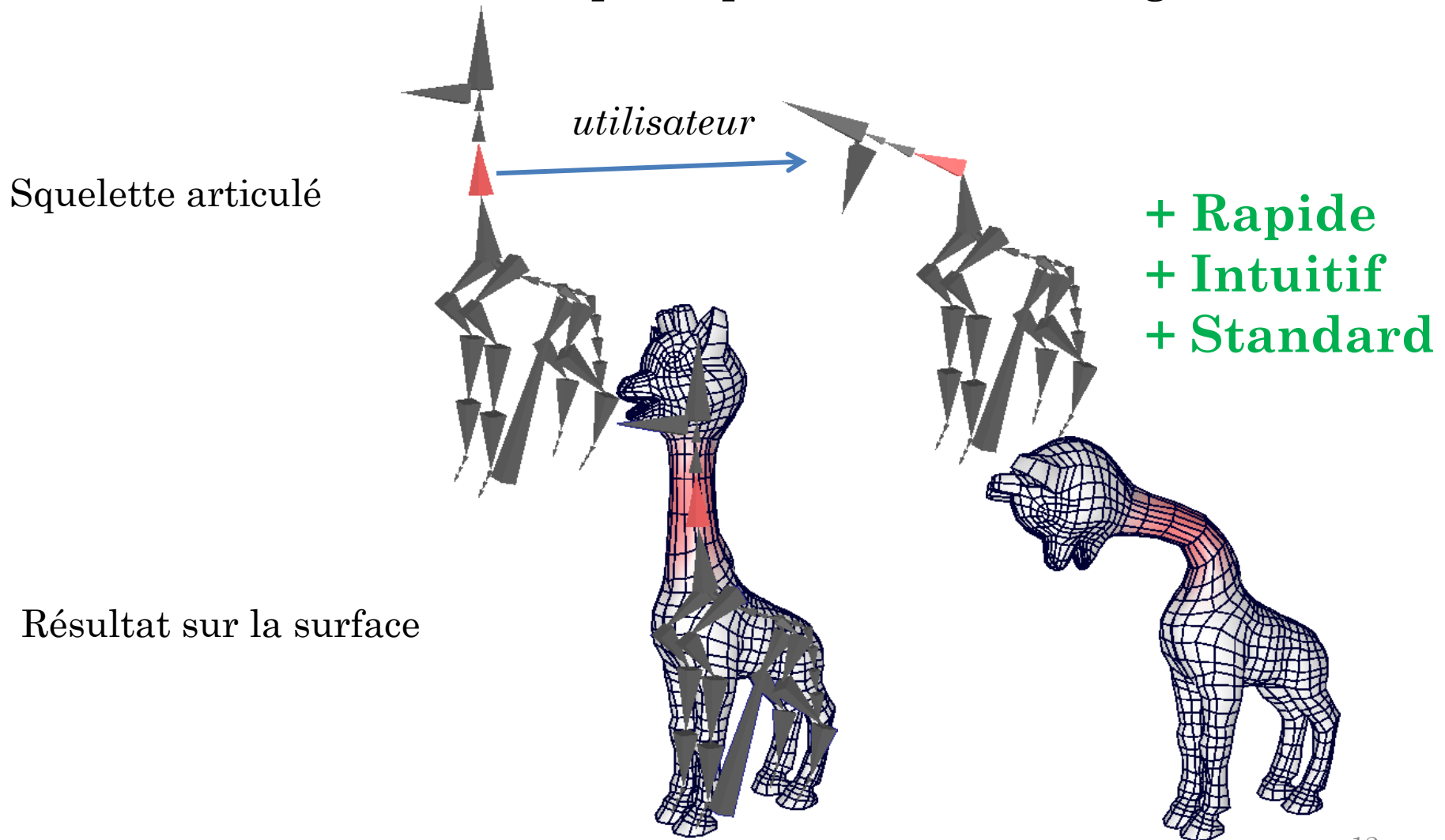


1- Animation de créatures virtuelles : Volume constant



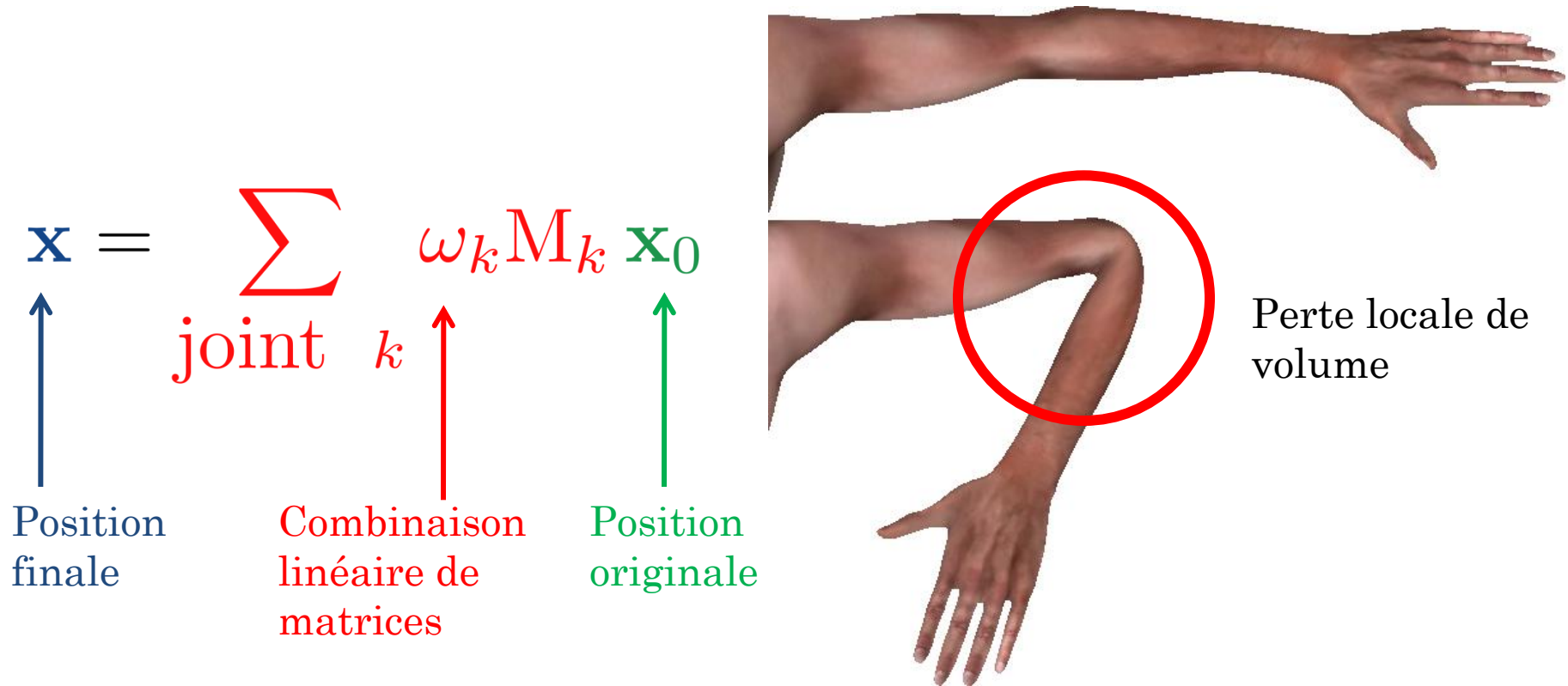
1- Animation de créatures virtuelles : Volume constant

- Contexte: Animation par squelette = Skinning



1- Animation de créatures virtuelles : Volume constant

- Problématique: Collapsing elbow = perte de volume



1- Animation de créatures virtuelles : Volume constant

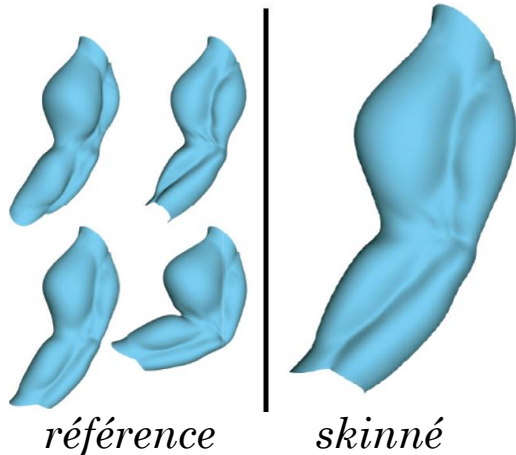
- Motivation de notre approche
 - Déformation interactive
 - Préservation locale de volume



1- Animation de créatures virtuelles : Volume constant

- Etat de l'art : déformations par skinning

Apprentissage



[Lewis, SIGGRAPH00]
[Wang, SCA02]
[Weber, EG07]

- + Rapide
- Formes d'apprentissage
- Variations limitées

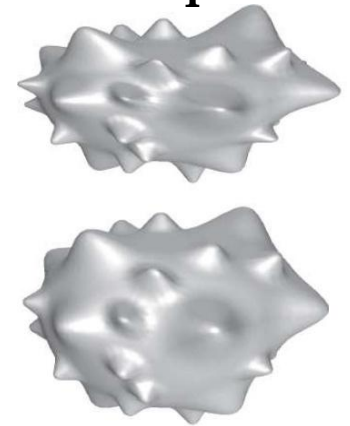
Interpolation améliorée



[Angelidis, SCA07]
+ Constant Volume
- Contrôle, pipe-line

[Kavan, TOG08]
+ Rapide
- Pas de volume constant

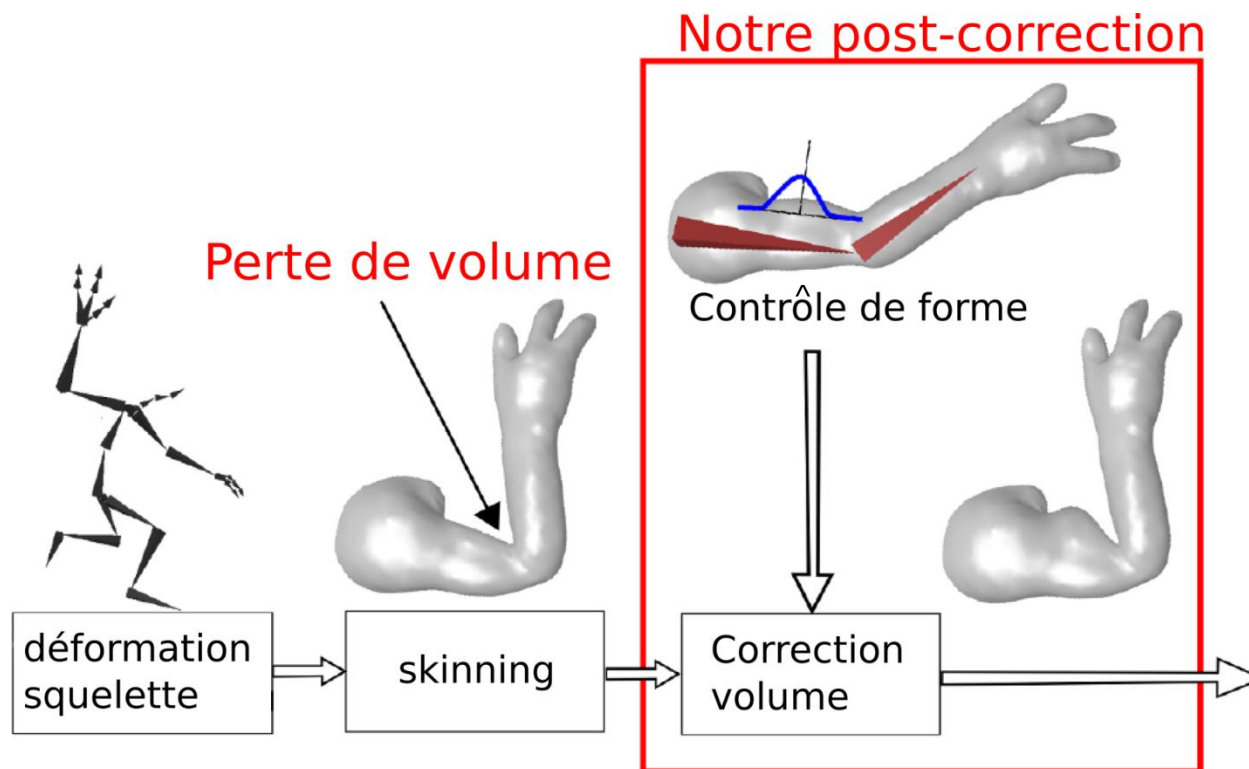
Contraintes géométriques



[Sauvage, EG07]
+ Générique
- Globale

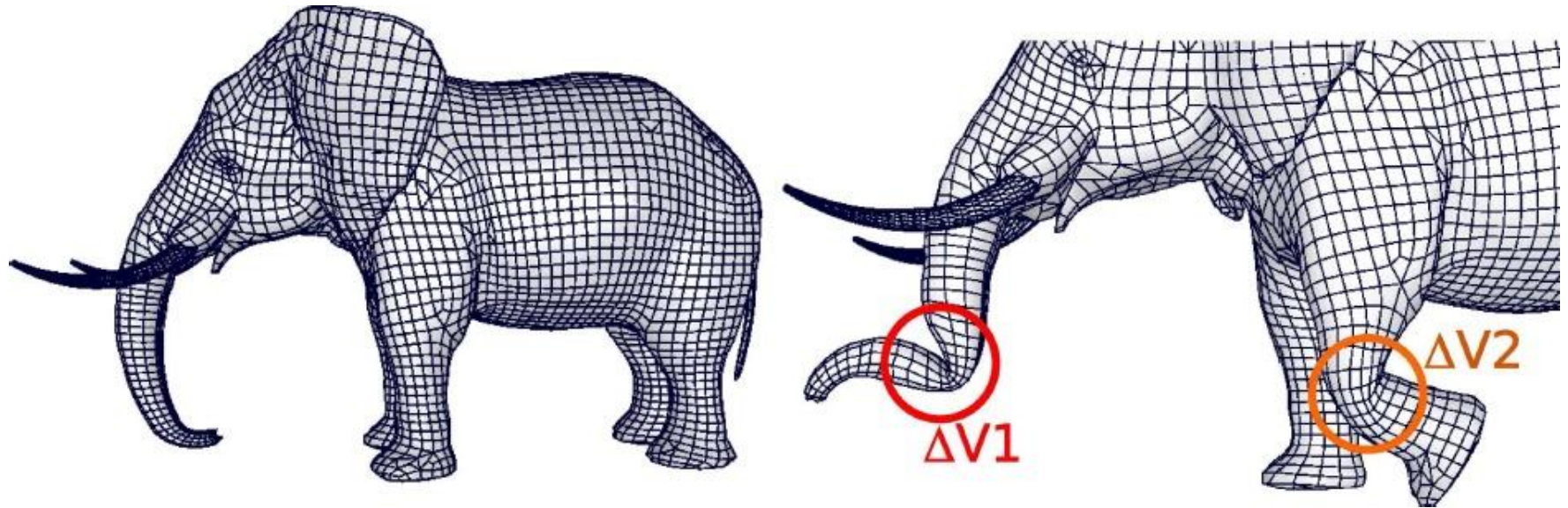
1- Animation de créatures virtuelles : Volume constant

- Nos contributions
 - **Estimation locale** perte de volume
 - **Correction rapide locale** du volume
 - **Apparence paramétrable intuitivement**



1- Animation de créatures virtuelles : Volume constant

- Estimation locale de la perte de volume

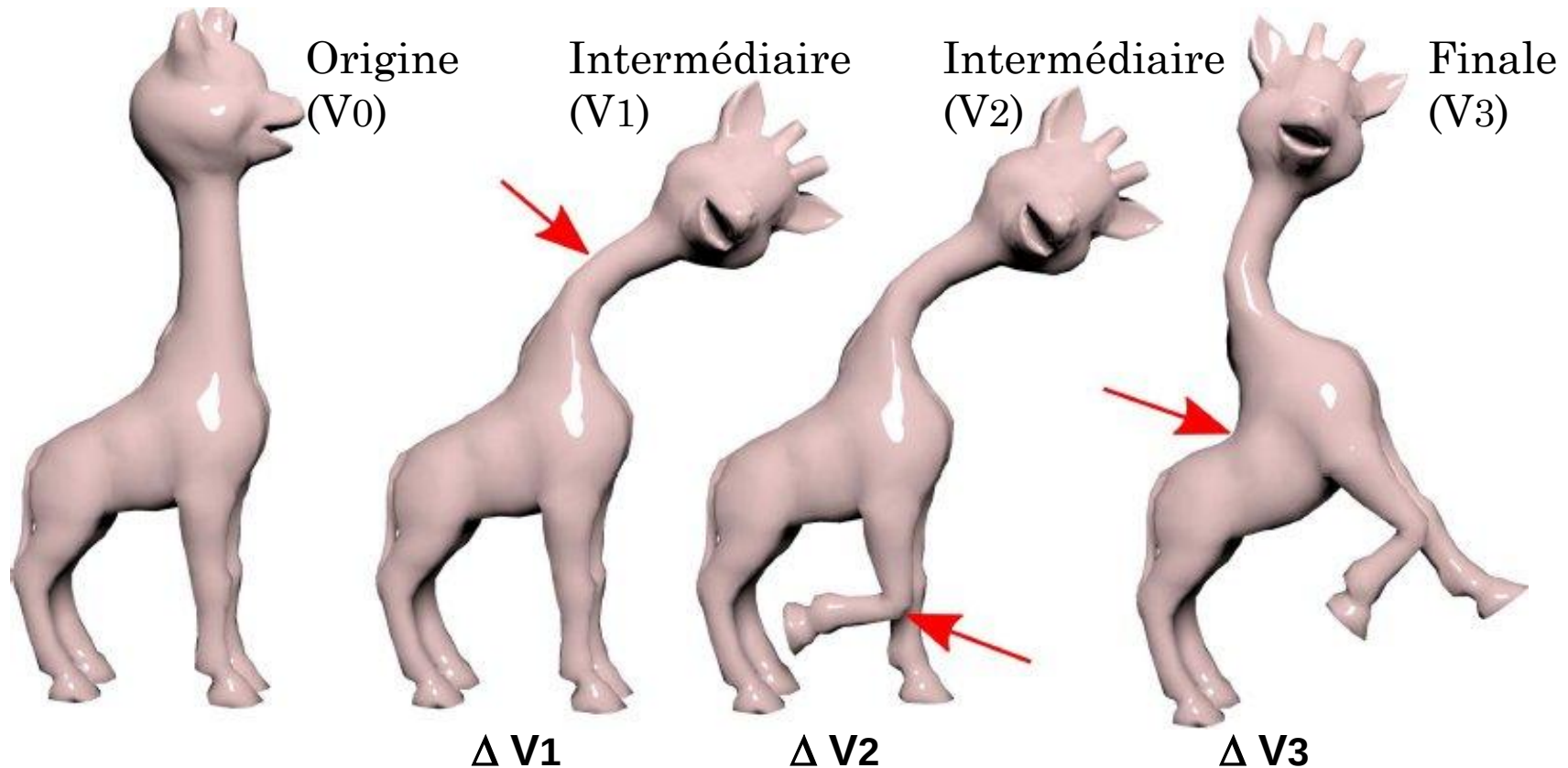
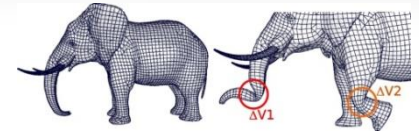


Ce que l'on sait faire: Volume **global**

$$V = \frac{1}{6} \sum_{(i,j,k) \in \text{triangle}} (z_i + z_j + z_k) \begin{vmatrix} x_j - x_i & x_k - x_i \\ y_j - y_i & y_k - y_i \end{vmatrix}$$

1- Animation de créatures virtuelles : Volume constant

- Estimation locale de la perte de volume



Changement de volume lié à chaque articulation

1- Animation de créatures virtuelles : Volume constant

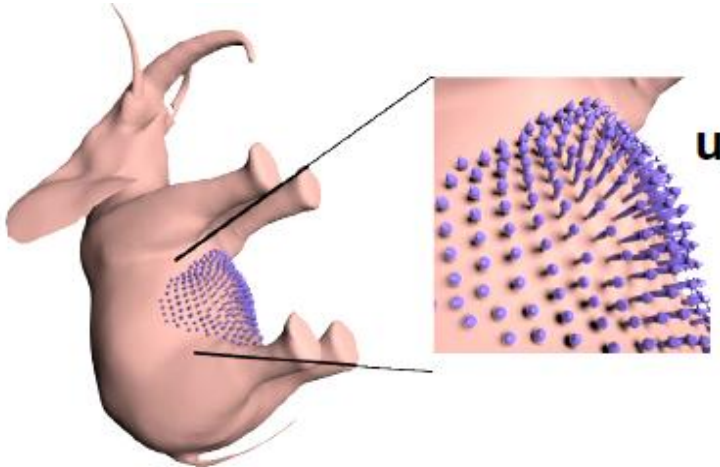
- Correction rapide de volume
 - Inspirée de [Sauvage et al., EG07] + **localité**

Equation à résoudre:

$$\left\{ \begin{array}{l} \min \frac{\|\mathbf{u}\|^2}{\gamma} \\ V(\mathbf{x} + \mathbf{u}) = V^0 \end{array} \right.$$

Annotations:

- γ : localité
- $\mathbf{x}$: skinning
- $\mathbf{u}$: Notre correction
- V^0 : objectif



The diagram shows a 3D model of a hand. A specific region on the back of the hand is highlighted with a grid of purple dots. An inset provides a magnified view of this region, showing the dots as small spheres with arrows pointing outwards, representing a displacement field $\mathbf{u}$. Labels with arrows point from the text annotations to the corresponding parts of the equation and the diagram.

Solution **analytique** : $\mathbf{u} = f(\mathbf{x}, \gamma)$

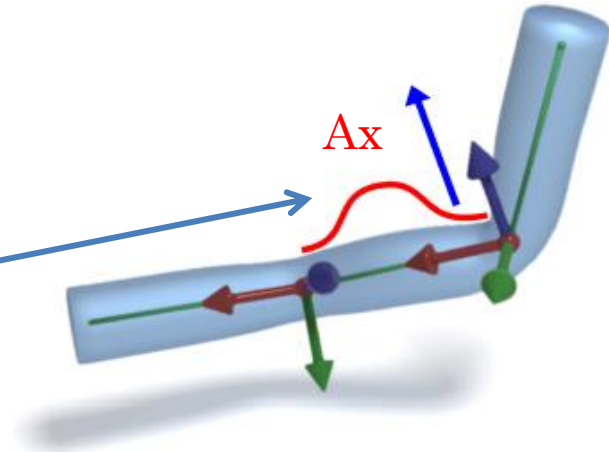
Séparation des variables (x, y, z) = axes locaux liés aux os

1- Animation de créatures virtuelles : Volume constant

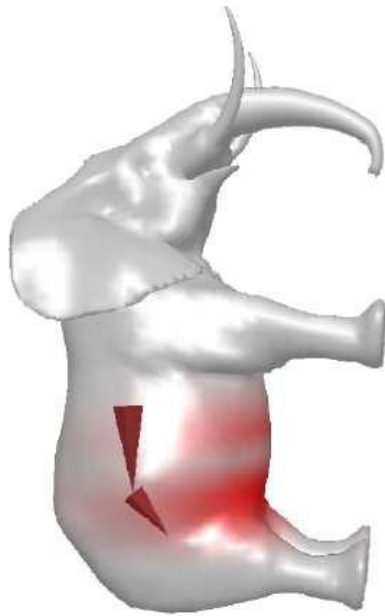
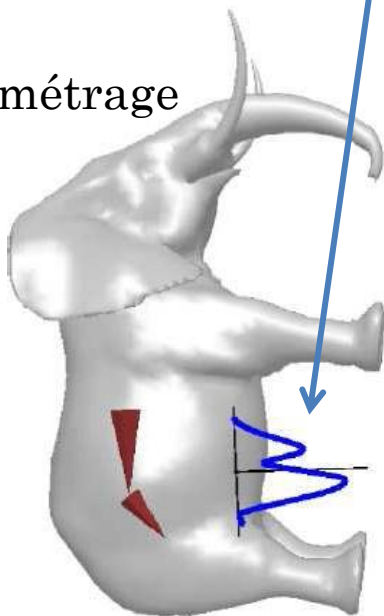
- Contrôle de la forme finale

$$\gamma = A_x A_y A_z \exp \left(-\frac{\|\mathbf{x}\|^2}{\sigma^2} \right)$$

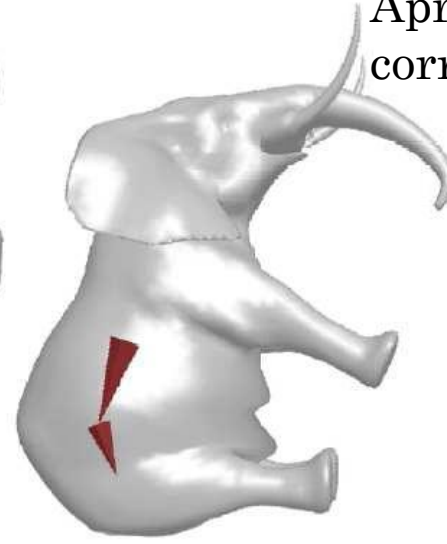
Courbes de profil
suivant axes locaux



Paramétrage

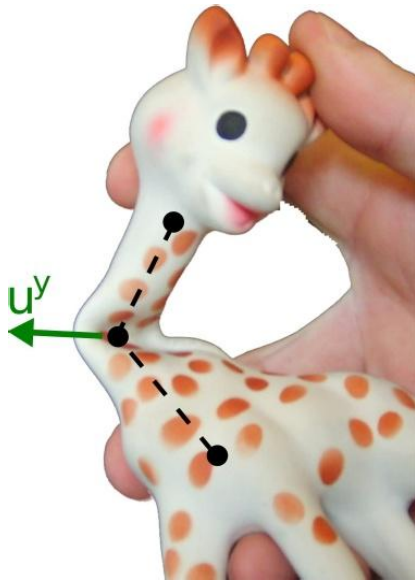


Après
correction



1- Animation de créatures virtuelles : Volume constant

- Résultats: Déformation anisotrope (caoutchouc)



35 fps

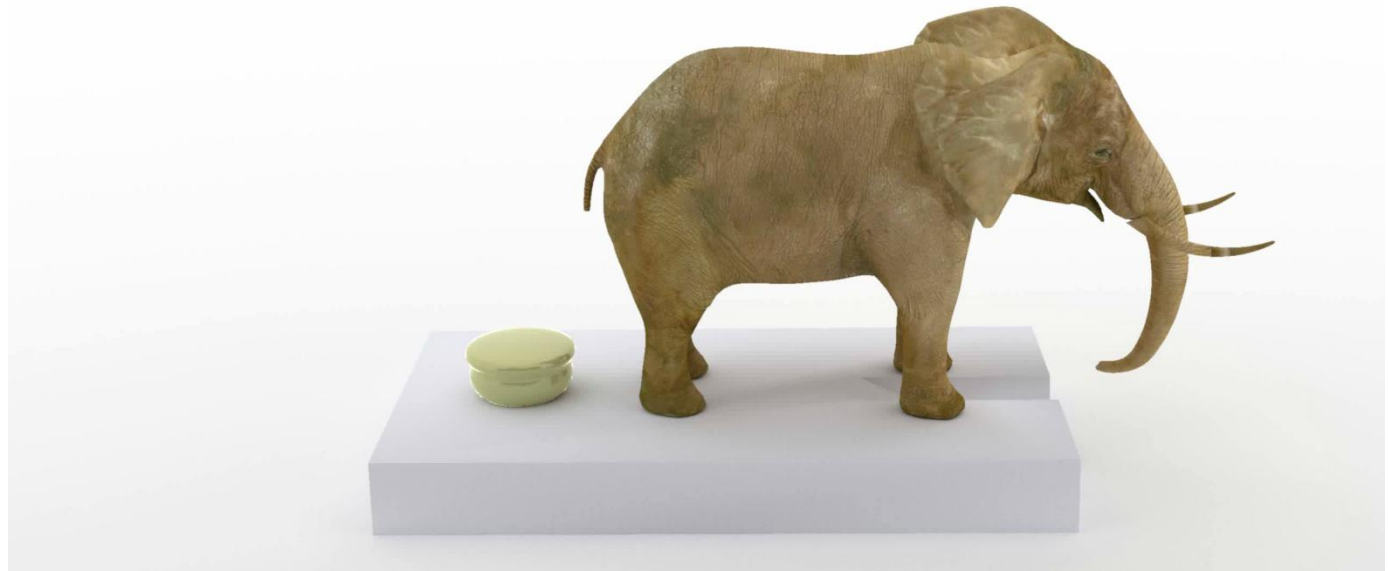


1- Animation de créatures virtuelles : Volume constant

- Résultats: Effet de bourrelets



3.5 fps



1- Animation de créatures virtuelles : Volume constant

- Synthèse
 - Estimateur **changement volume local** : *Articulation*
 - **Correction locale** de volume : *Expression analytique exacte*
 - **Contrôle** sur la forme finale : *Courbes de profil*

+ Rapide

+ Intuitive

+ Pipe-line standard

[Rohmer, Hahmann, Cani, CGF08 (PG)]

[Rohmer, Hahmann, Cani, SCA09]

[Rohmer, Hahmann, Cani, LNCS10 (MIG)]

[Rohmer, Hahmann, Cani, GTMG08]

[Rohmer, Hahmann, Cani, GTAS10]

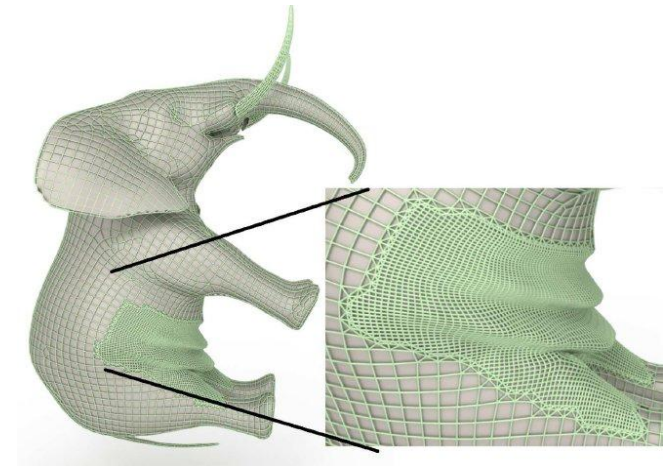
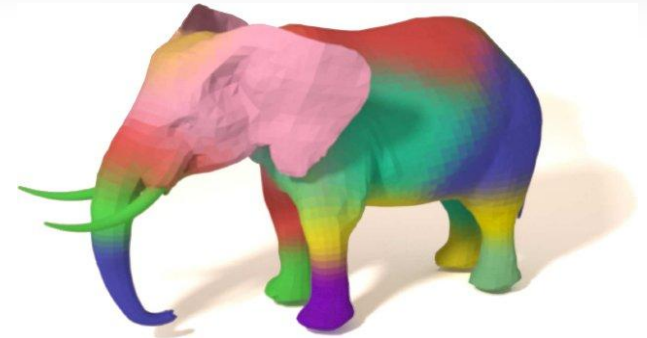


1- Animation de créatures virtuelles : Volume constant

- Travail supplémentaire

Non discuté:

- Approche plus rapide approximée
- Poids de skinning automatiques
- Calcul de volume maillage quadrangulaire
- Gestion des collisions
- Subdivison locale
- Intégration dans système pré-existant
- Préservation volume+aire



[Chardonnet et al., AFRV09]
[GIF09]

2- Animation de surfaces quasi-inextensibles: Plis de vêtements



2- Animation de surfaces quasi-inextensibles: Plis de vêtements

- Contexte : **Importance cruciale des plis**

Sans plis



Shrek

Aspect *plastique*

Avec plis



Plausible

=> Développabilité

2- Animation de surfaces quasi-inextensibles: Plis de vêtements

- Etat de l'art : Plis de vêtements

Simulation numérique



[Godenthal, SIGGRAPH 07]
[English, SIGGRAPH 08]
[Thomaszewski, EG 09]

- + Précis, dynamique
- Coûteux
- Contrôle de la forme

Apprentissage



[Wang, SIGGRAPH 10]
[Aguilar, SIGGRAPH 10]

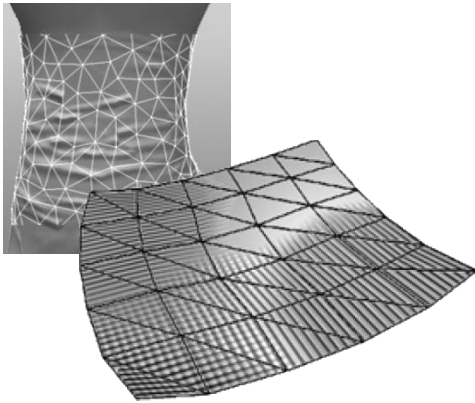
- + Rapide
- Modèle d'apprentissage
- Variations limitées

2- Animation de surfaces quasi-inextensibles: Plis de vêtements

- Etat de l'art : Plis de vêtements, **approches géométriques**

Texture

[Hadap, IEEE Vis 99]



- Formes prédéfinies
- Plis incohérents

Dessin manuel

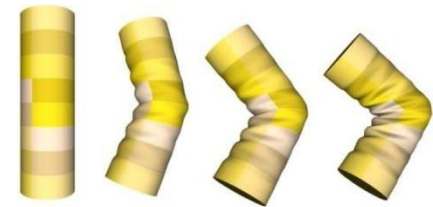
[Cutler, SCA 05]



- Fastidieux
- Plis incohérents

Cylindres procéduraux

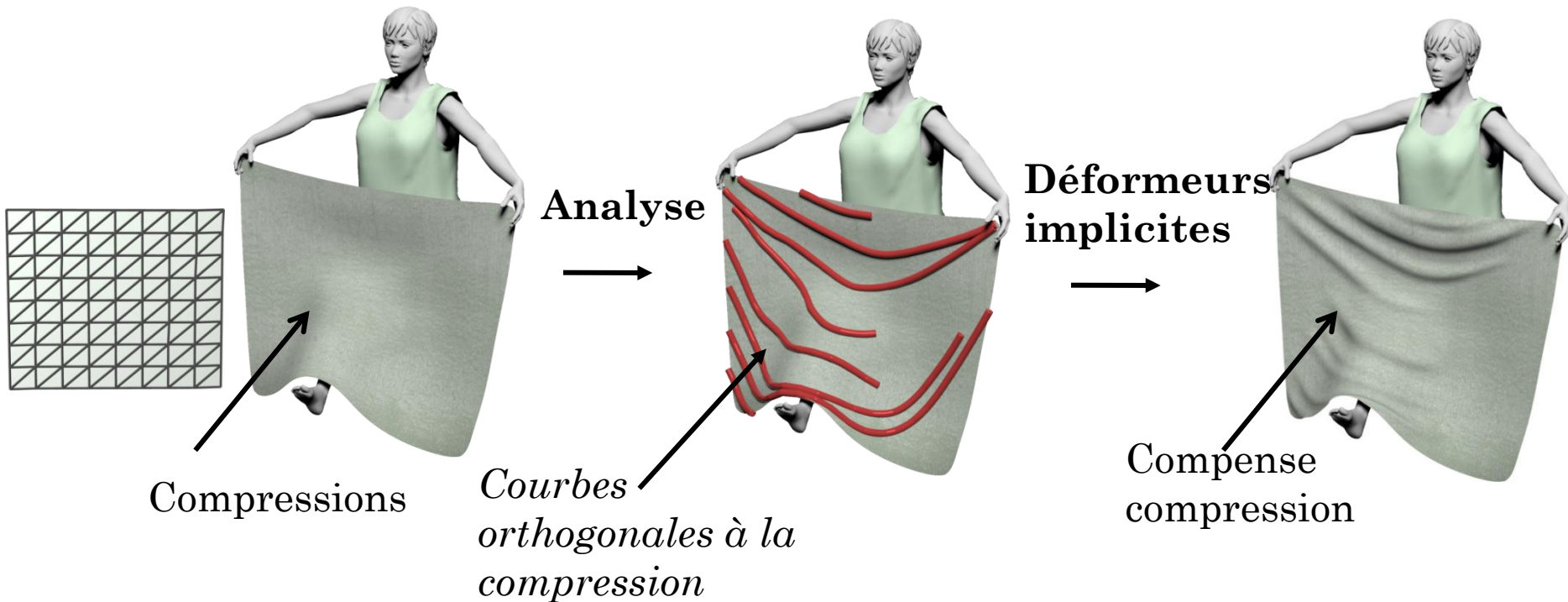
[Decaudin, EG 06]



- Déformations limitées

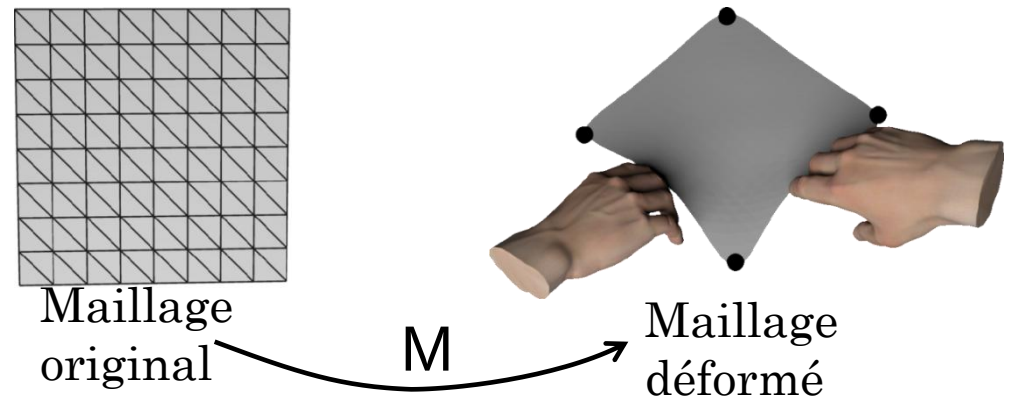
2- Animation de surfaces quasi-inextensibles: Plis de vêtements

- Notre approche
 - **Analyse** simulation basse résolution non rigide
 - Géométrie de plis générée par **déformation implicite**



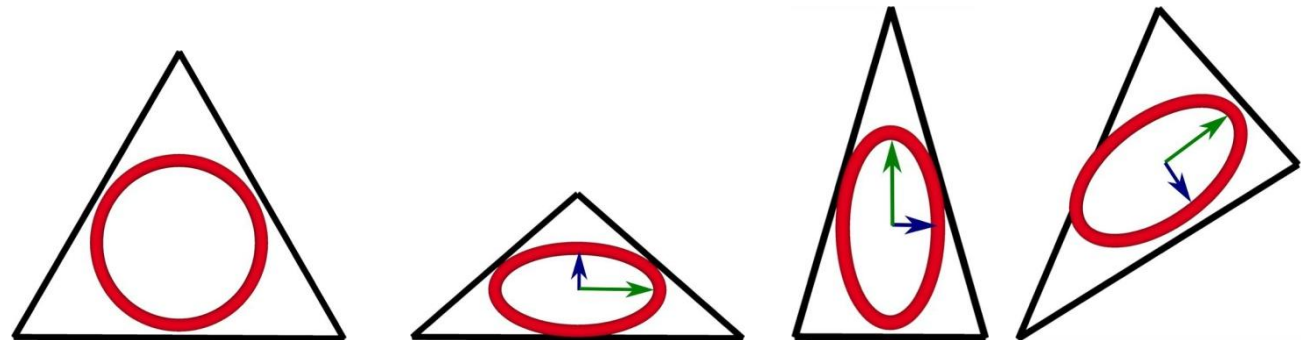
2- Animation de surfaces quasi-inextensibles: Plis de vêtements

- Extraction des **directions** de compression



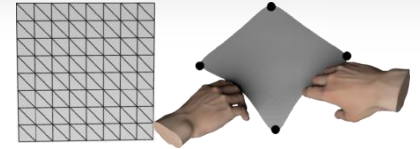
Déformation métrique

$M M^T$: Valeur propre = **amplitude** de compression
Vecteur propre = **direction** de compression



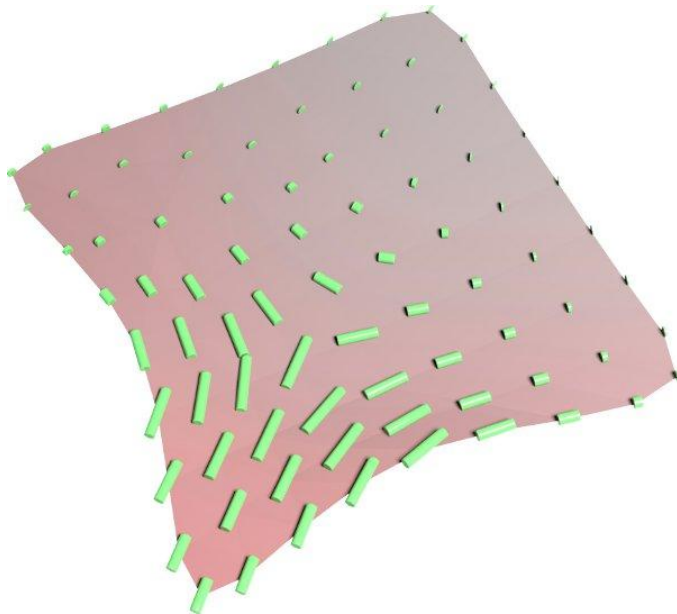
2- Animation de surfaces quasi-inextensibles: Plis de vêtements

- Génération des lignes de plis



Champ de vecteur de lignes de plis

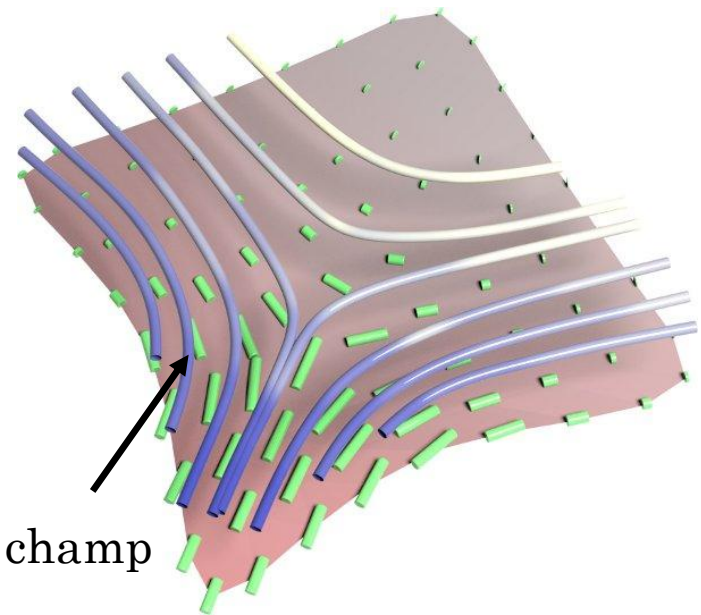
- **Amplitude** = Taux de compression
- **Orientation** = $\perp$ Direction principale de compression



*Interpolation
[Pennec et al. 06]*

Courbes de plis

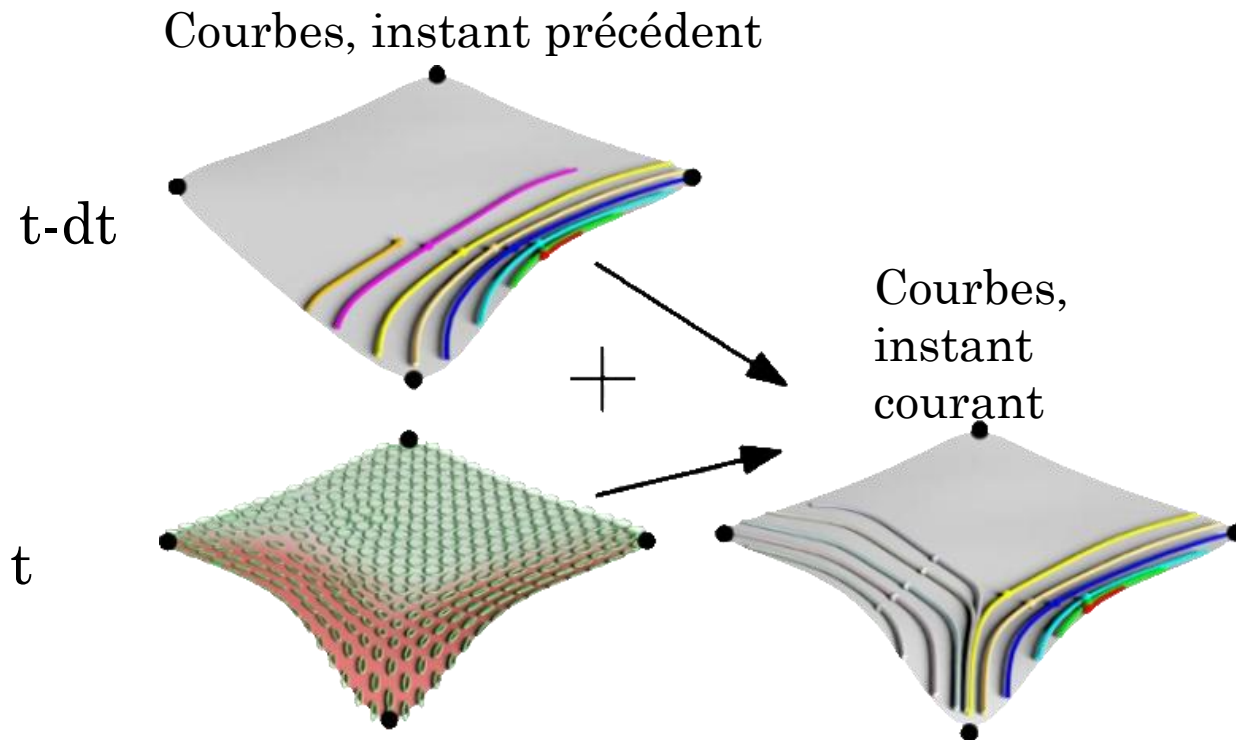
- **Guides** pour plis géométriques



Lignes de champ

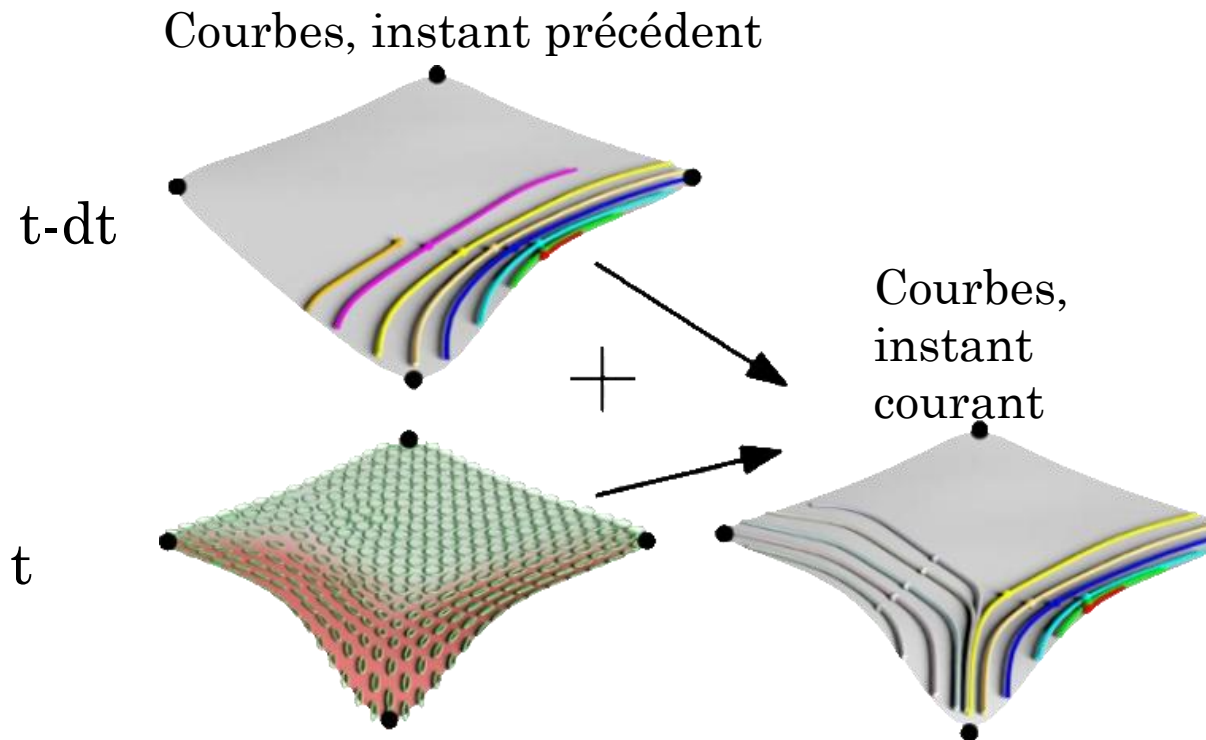
2- Animation de surfaces quasi-inextensibles: Plis de vêtements

- Cohérence temporelle



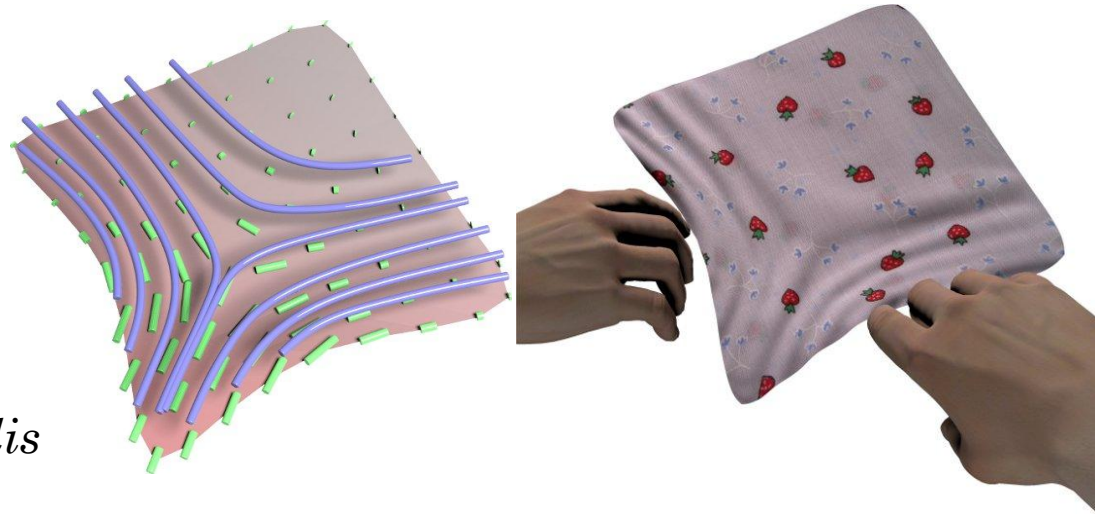
2- Animation de surfaces quasi-inextensibles: Plis de vêtements

- Cohérence temporelle



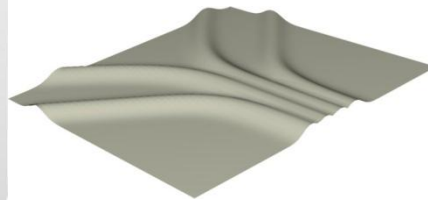
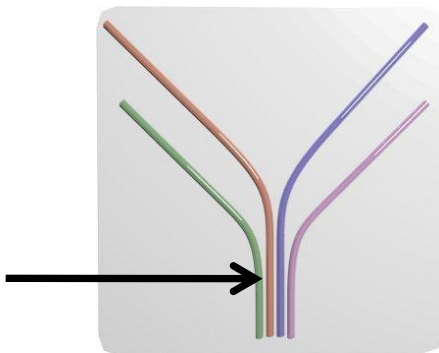
2- Animation de surfaces quasi-inextensibles: Plis de vêtements

- Séparation et mélange automatiques des plis

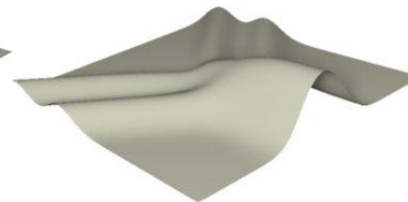


Difficulté: **Courbes proches**

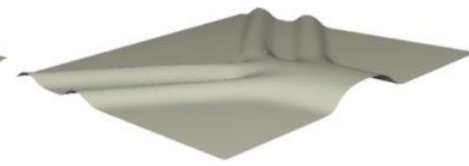
- *Pas de **collisions** entre plis*
- *Pas de **bosses***



Max



Somme
déplacements

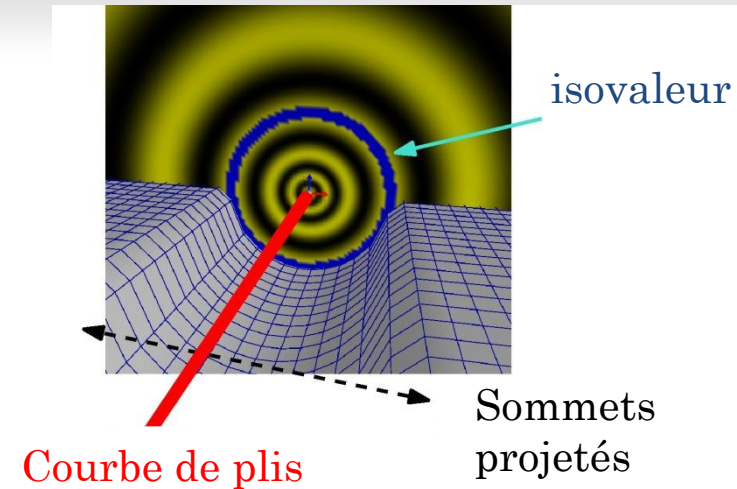


Notre
solution

2- Animation de surfaces quasi-inextensibles: Plis de vêtements

- Déformeurs implicites
 - Courbes plis génèrent un champ

Déformation: Sommets **projetés** sur l'isosurface



Utilisation des **surfaces de convolution**

- + Mélange suivant la **somme des champs**
- + Pas de **bosses** non souhaitées

$$f(\mathbf{x}) = \int_{\mathbf{y} \in \Omega} \kappa(\|\mathbf{x} - \mathbf{y}\|) d\mathbf{y}$$

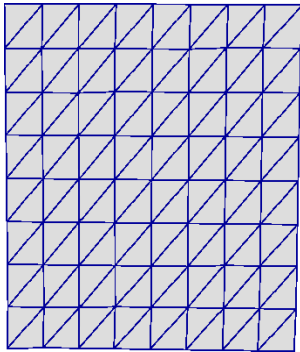
Approche implicite:

- + Pas de collisions entre plis
- Ils se **fusionnent** !



2- Animation de surfaces quasi-inextensibles: Plis de vêtements

- Résultats : Maillage très grossier



Maillage initial



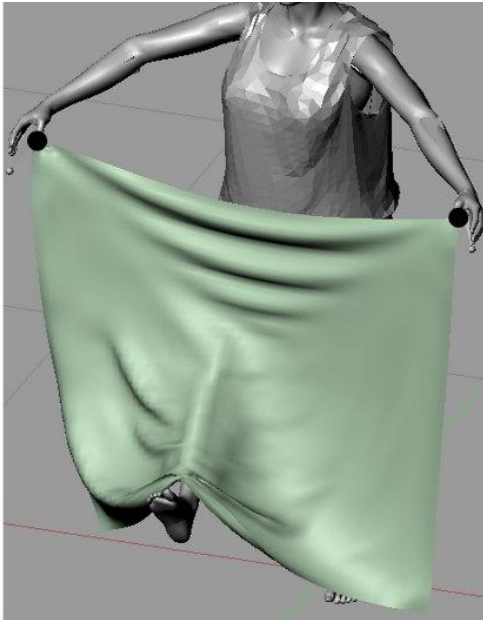
Input simulation



With our wrinkles

2- Animation de surfaces quasi-inextensibles: Plis de vêtements

- Résultats : Comparaison



Simulation
numérique fine

25s/frame



Notre approche

2s/frame

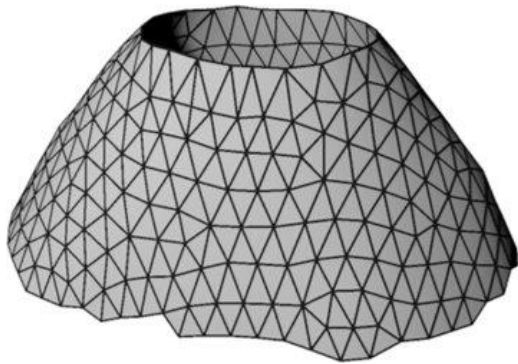


Tissu réel

2- Animation de surfaces quasi-inextensibles: Plis de vêtements

- Résultats : Animation artistique pré-existante

1 s/frame



Maillage initial



Input simulation

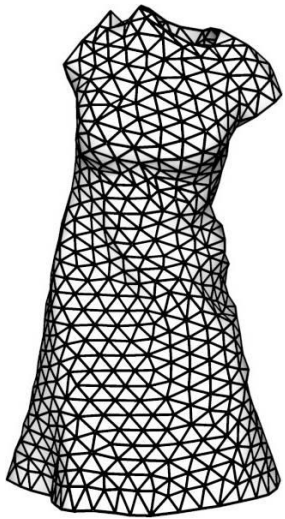


With our wrinkles

2- Animation de surfaces quasi-inextensibles: Plis de vêtements

- Résultats : Animation artistique pré-existante

1.5s/frame



Maillage initial



Input simulation



Our results

2- Animation de surfaces quasi-inextensibles: Plis de vêtements

- Résultats : Animation artistique pré-existante

1.5s/frame



Input meshes

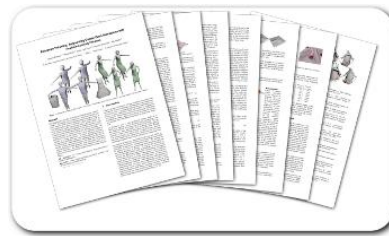


Our results

2- Animation de surfaces quasi-inextensibles: Plis de vêtements

- Synthèse
 - Analyse directions compressions $\leq$ simulation basse résolution
 - Mélange automatique géométrie/plis par **déformeurs implicites**

*[Rohmer, Popa, Cani, Hahmann, Sheffer.
TOG10, SIGGRAPH Asia]*



[Rohmer, Hahmann, Cani, LNCS10, MIG]

[Rohmer et al, GTAS10]

[Le journal du CNRS, Mai 2011]

[INSMI]

[Couverture arrière TOG]

[Technical Papers Trailer]

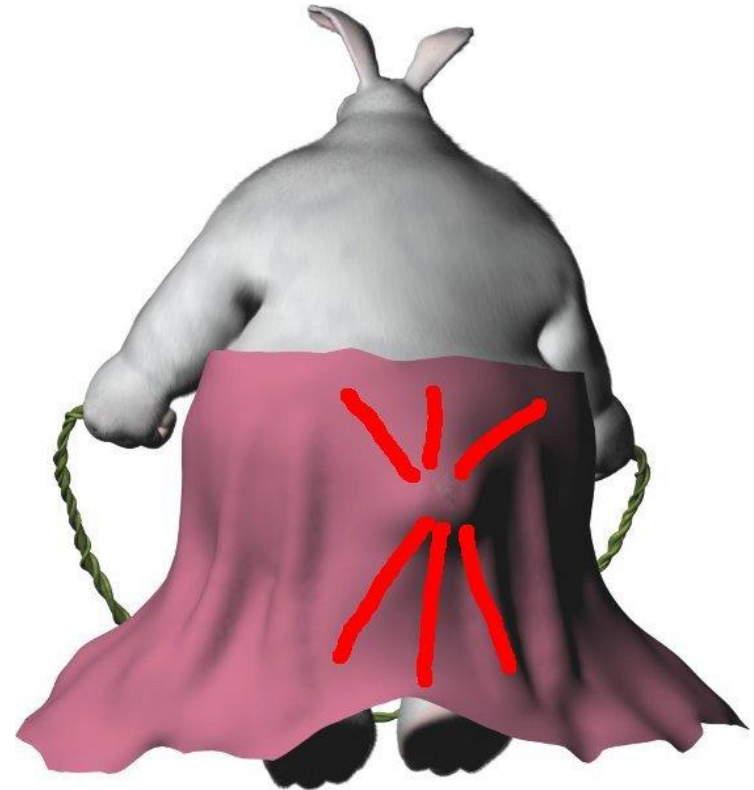
[France Inter, La tête au carre]

[Plaquette LJK]



2- Animation de surfaces quasi-inextensibles: Plis de vêtements

- Limitations
 - Convergence
 - Plis de tension



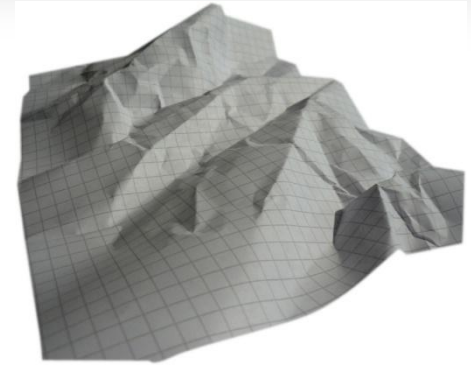
Surface active préservant l'isométrie ? Papier froissé

3- Modélisation de surfaces isométriques: Papier froissé



3- Modélisation de surfaces isométriques: Papier froissé

- Contexte: Peu d'outils de modélisation !
 - Surface non lisse
 - Préservation d'isométrie

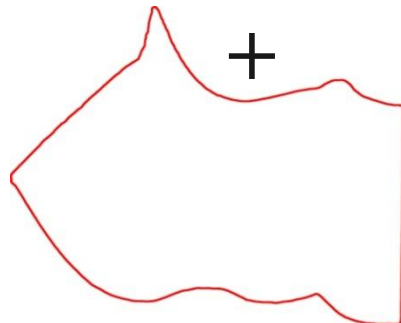


- But:

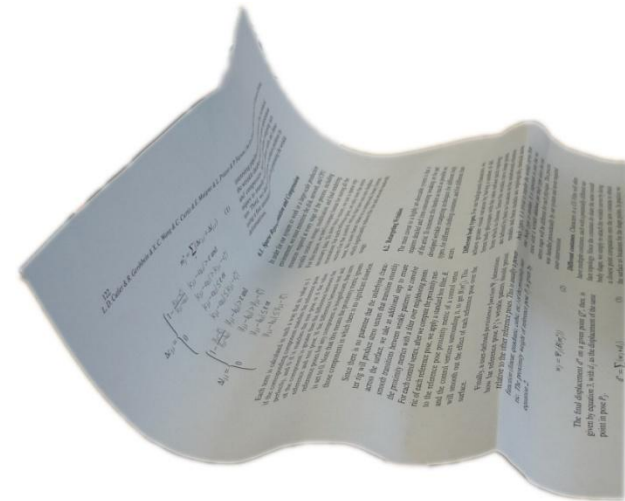


Patron 2D

+



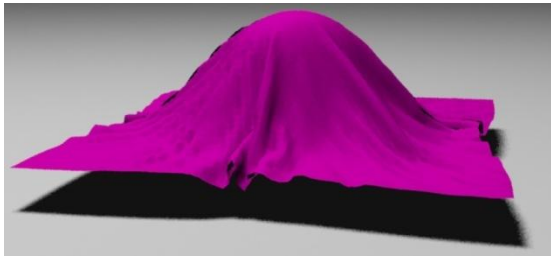
Frontière 3D



3- Modélisation de surfaces isométriques: Papier froissé

- Etat de l'art : **Approches physiques**

Simulation de tissu

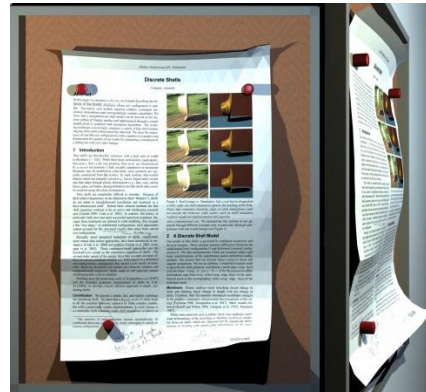


[Choi, SIGGRAPH02]
[English, SIGGRAPH08]
[Thomaszewski, EG09]

+ Précis

- Lent
- Surfaces lisses
uniquement

Plaques minces + plis

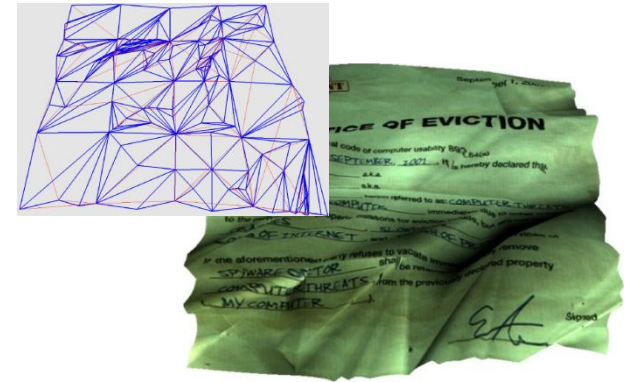


[Burgoon, C&A06]

+ Réaliste

- Plis prédéfinis

Masses ressorts modifiés



[Kang, CASA09]

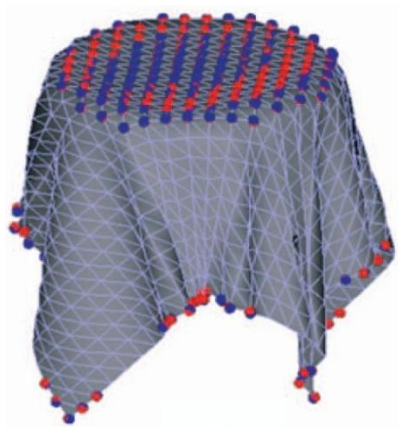
+ Rapide

- Plis le long des arêtes

3- Modélisation de surfaces isométriques: Papier froissé

- Etat de l'art : **Approches géométriques**

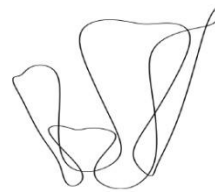
Déformation de
maillage



[Tang, TVCG09]
[Popa, EG09]

- **Lent**
- **Surfaces lisses**

Construction
développable

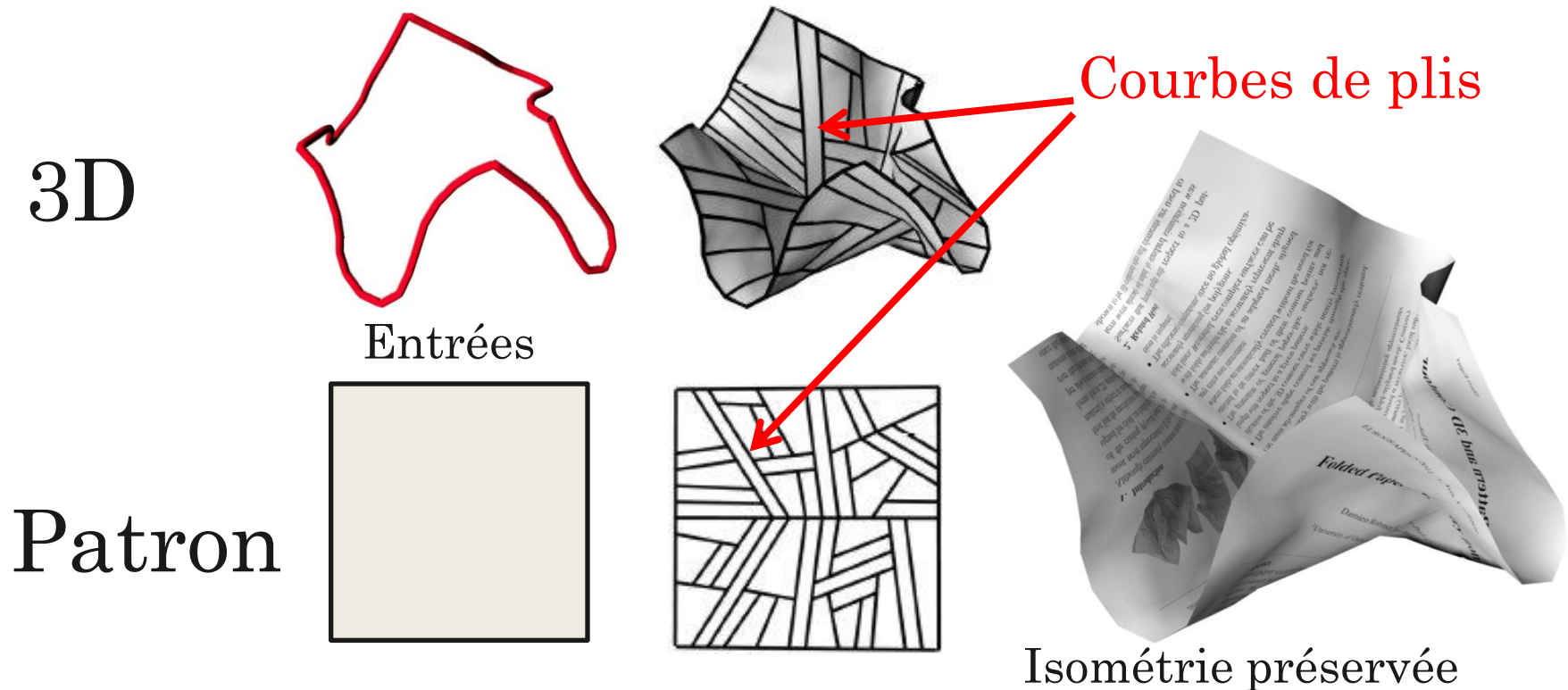


[Frey, CAD04]
[Rose, SGP07]

- **Restreint à l'enveloppe convexe du contour**

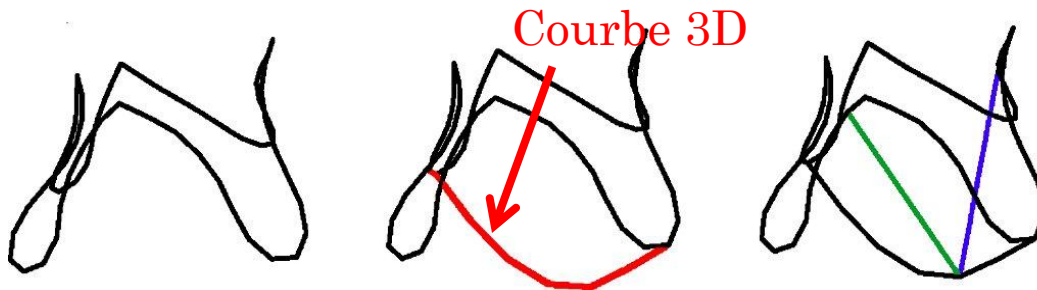
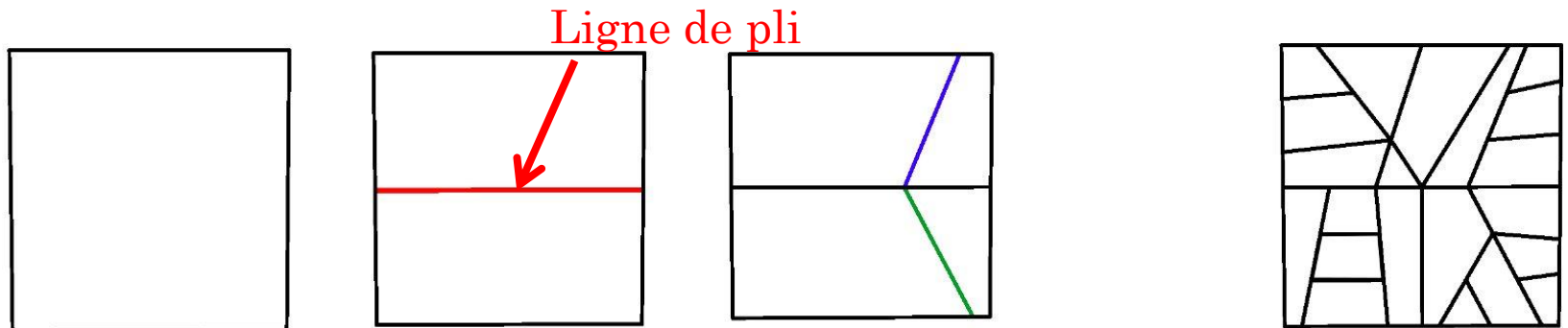
3- Modélisation de surfaces isométriques: Papier froissé

- Contributions
 - Subdivision améliorant **préservation de longueur**
 - Génération automatique de **lignes de plis**



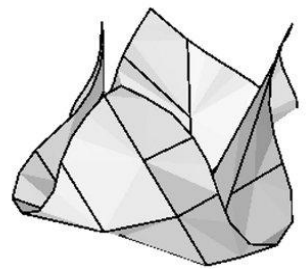
3- Modélisation de surfaces isométriques: Papier froissé

- Idée principale : Diviser pour régner
 - Localisation d'un pli
 - Profil 3D optimal
 - Division



**Entrée = patron 2D
+ frontière 3D**

**Etape de
subdivision**



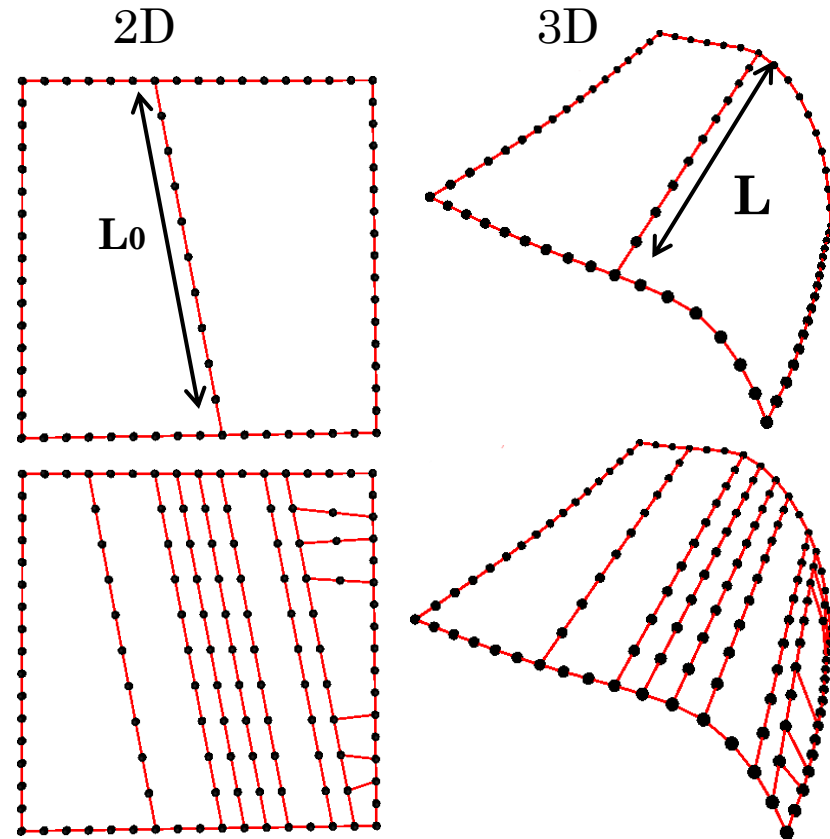
Surface finale

3- Modélisation de surfaces isométriques: Papier froissé

- Localisation plis = Trouver une paire de sommets

Cas 1 : $L=L_0$

=> Image segment 2D
= segment 3D



Case 2: $L < L_0$: Le profil 3D n'est plus une ligne droite!

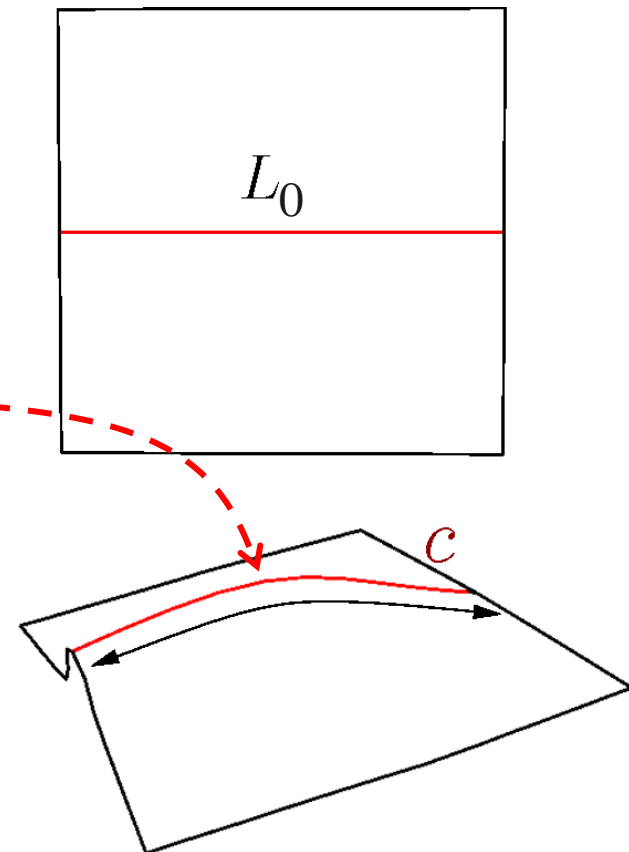
3- Modélisation de surfaces isométriques: Papier froissé

- Localisation plis = Trouver une paire de sommets avec **compression minimale**

Cas 2: $L < L_0$

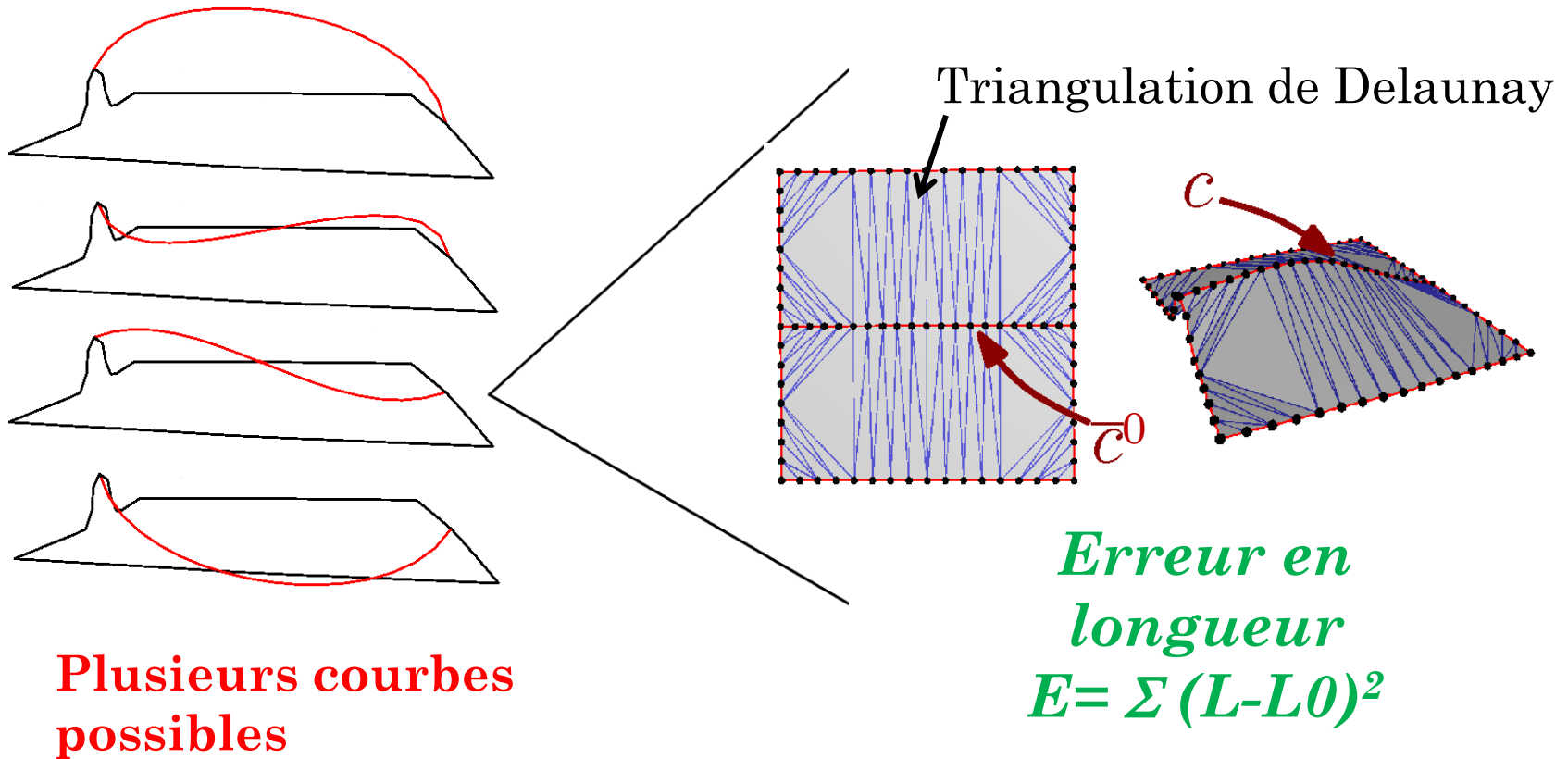
profil = **cubique**

- précis**: approximation section cône
- robuste**: absence d'oscillation
- rapide**: faible nb degrés de liberté



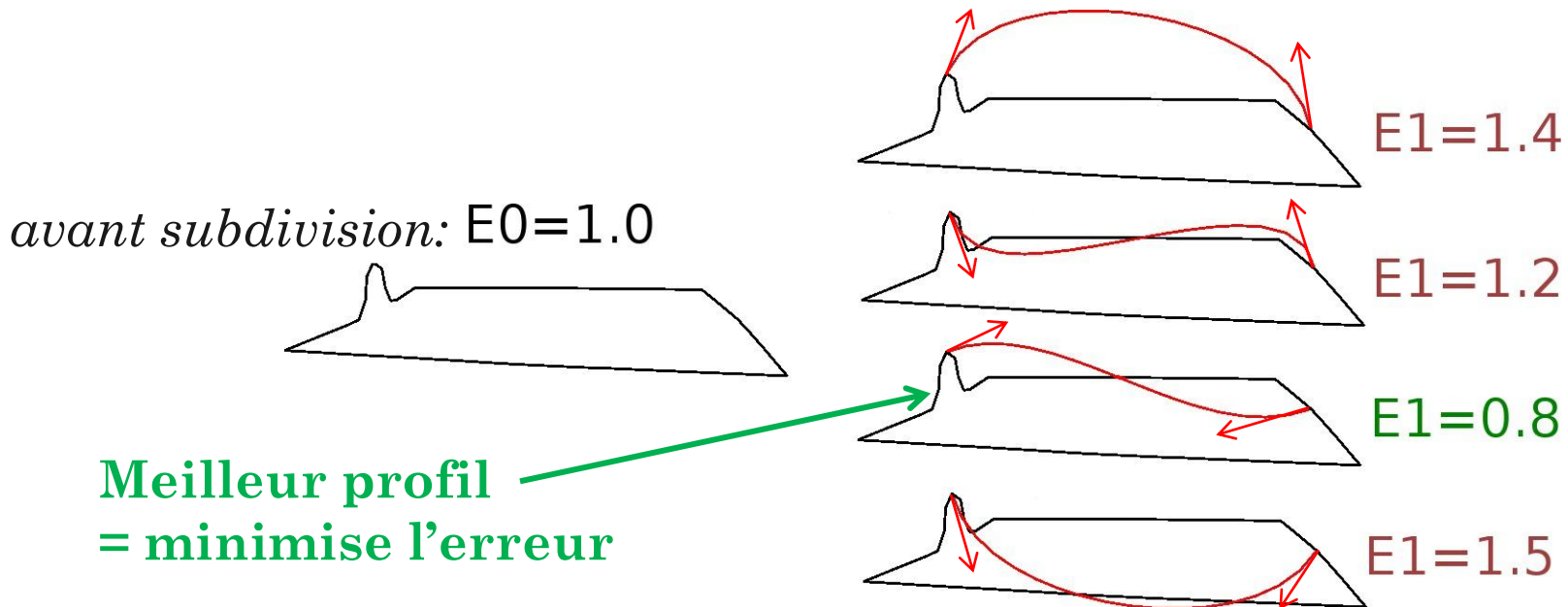
3- Modélisation de surfaces isométriques: Papier froissé

- Trouver le meilleur profil = Maximiser l'isométrie



3- Modélisation de surfaces isométriques: Papier froissé

- Trouver le meilleur profil = Maximiser l'isométrie



- Optimisation = non linéaire $E=f(\text{courbe})$
- 6 degrés de liberté par courbe (2 tangentes)
- Courbe acceptée si $E1 < E0$

3- Modélisation de surfaces isométriques: Papier froissé

- Construction surface finale

Delaunay 2D

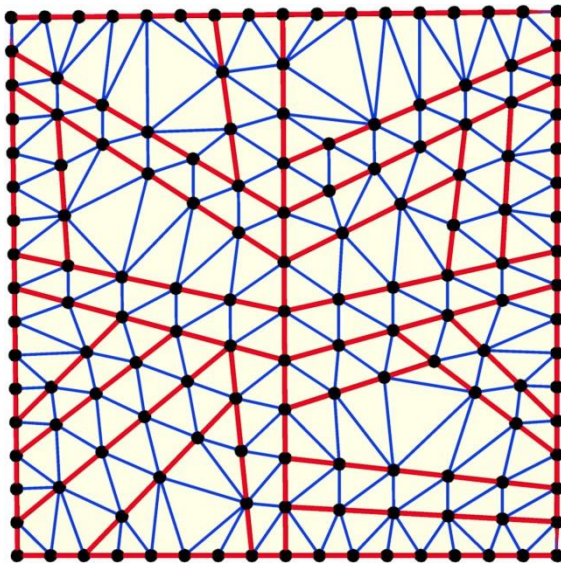
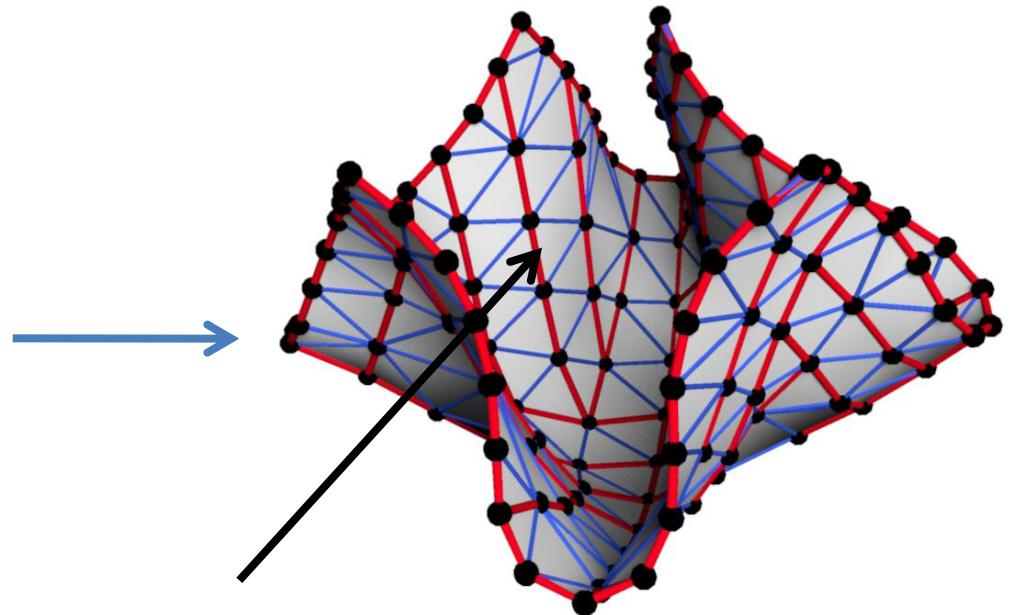


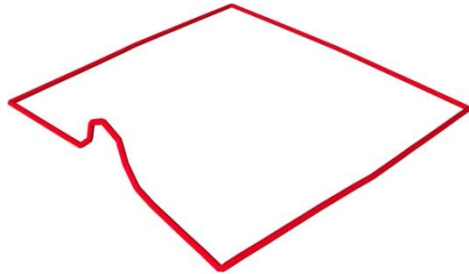
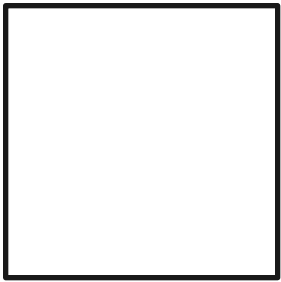
Image 3D



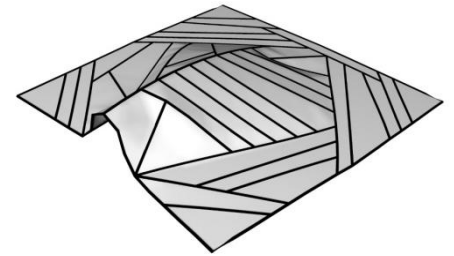
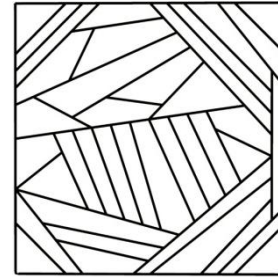
Courbes 3D calculées :
Arêtes alignées aux plis

3- Modélisation de surfaces isométriques: Papier froissé

- Résultats

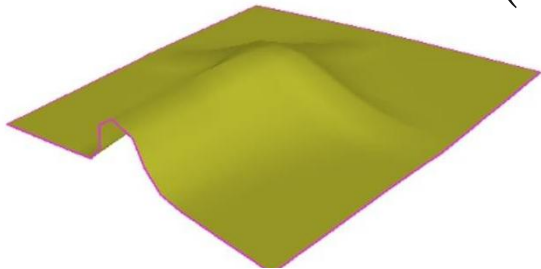


Entrée



Subdivision

Modèle masse-ressort (Blender)



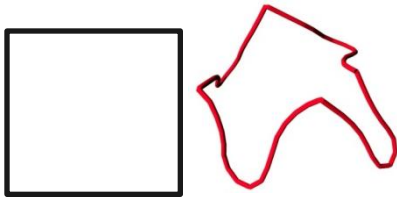
Papier réel



Notre approche

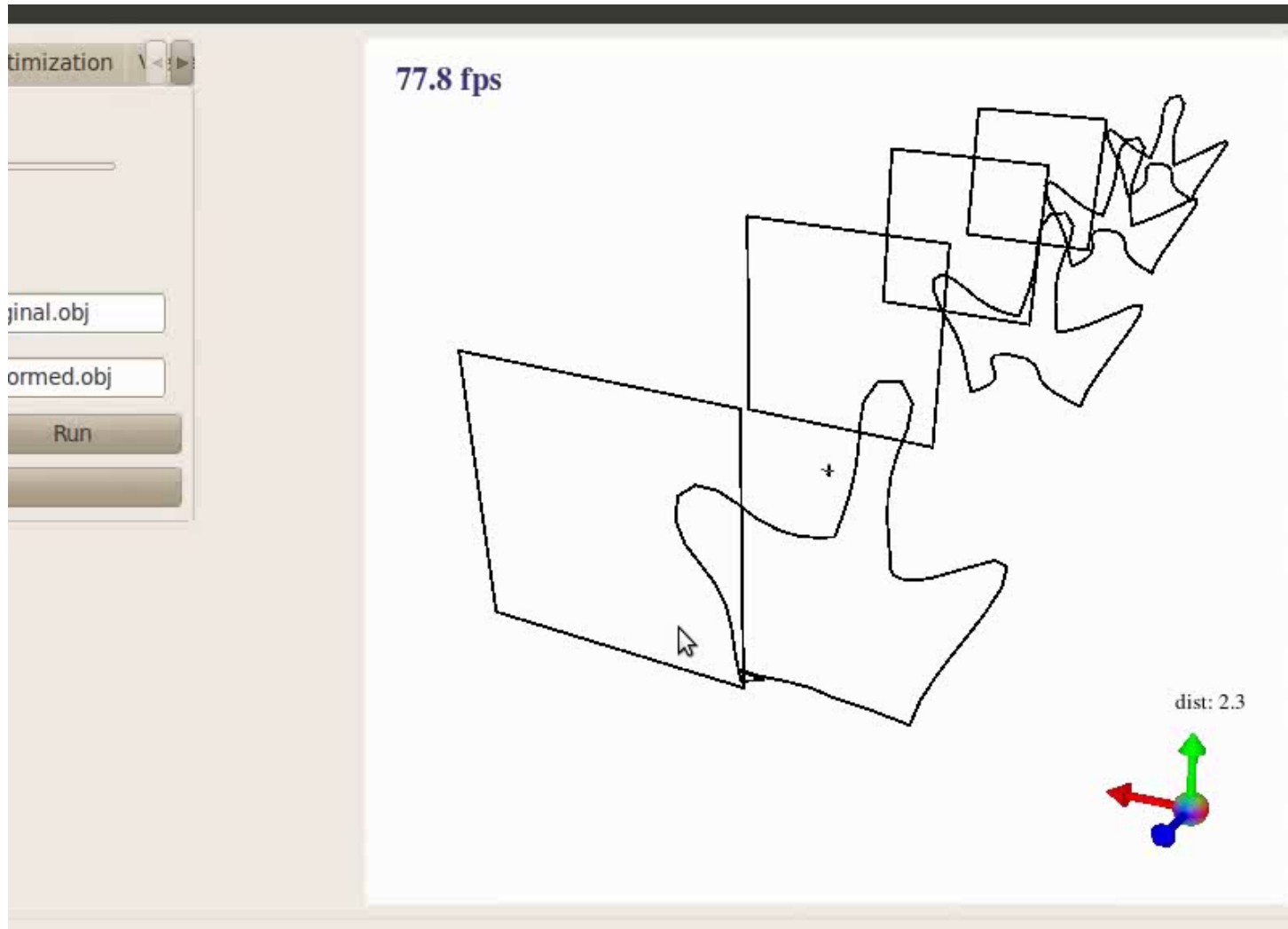
3- Modélisation de surfaces isométriques: Papier froissé

- Résultats



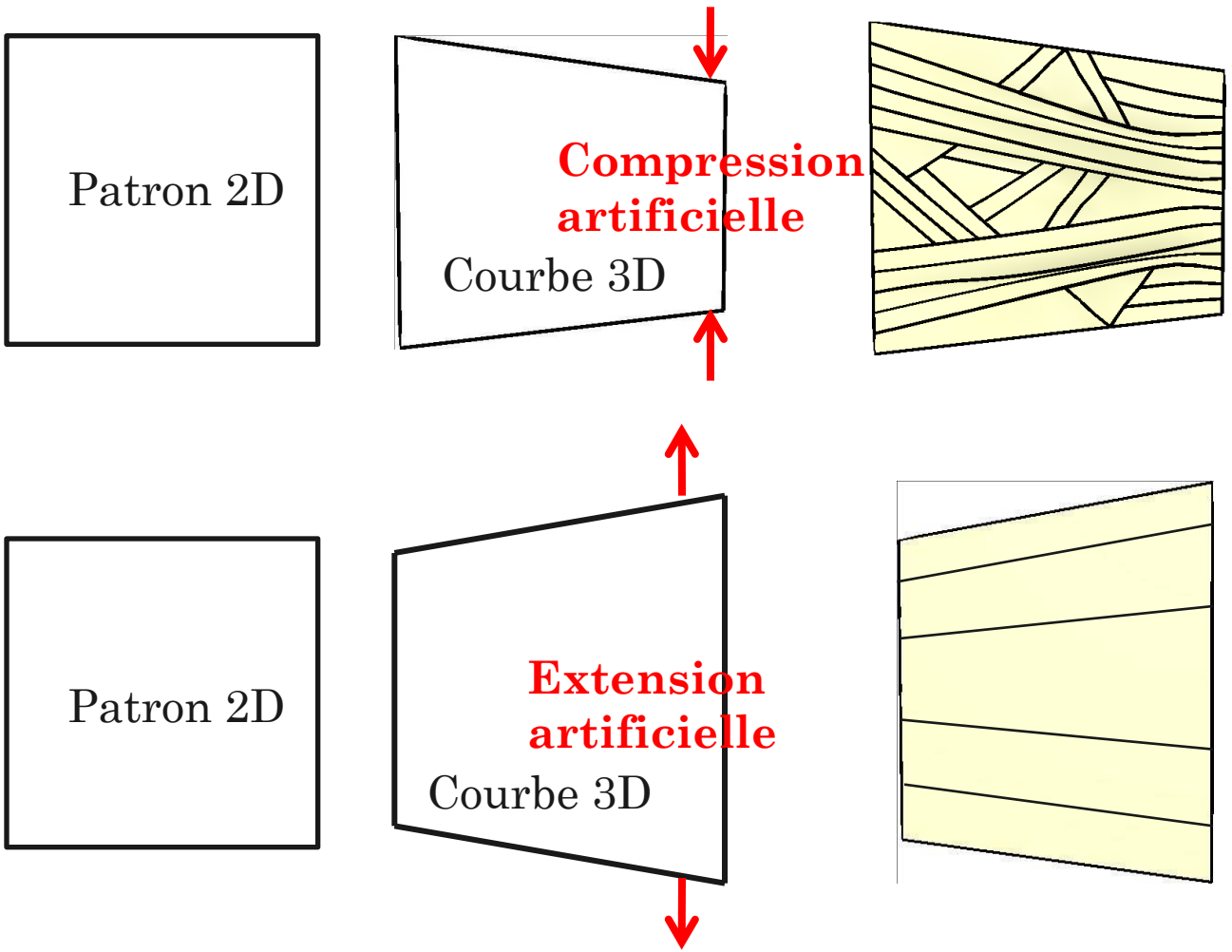
3- Modélisation de surfaces isométriques: Papier froissé

- Résultats



3- Modélisation de surfaces isométriques: Papier froissé

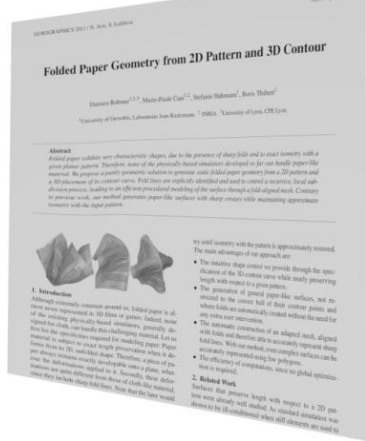
- Robustesse : marche même si isométrie impossible



Plis plausibles

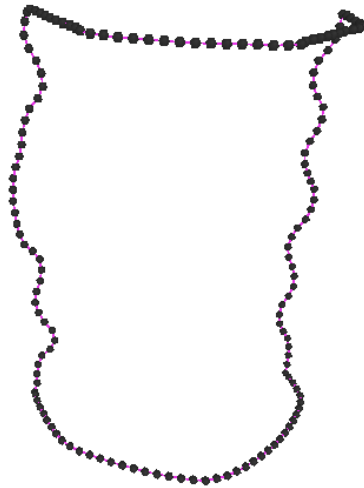
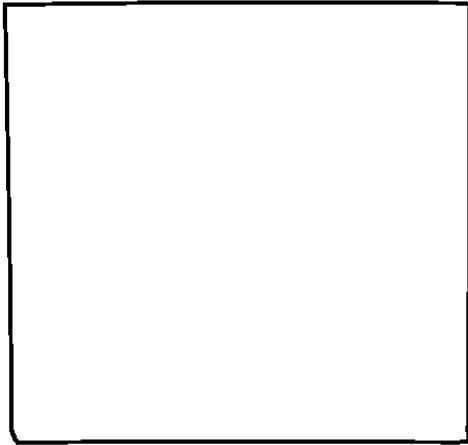


Surface plane

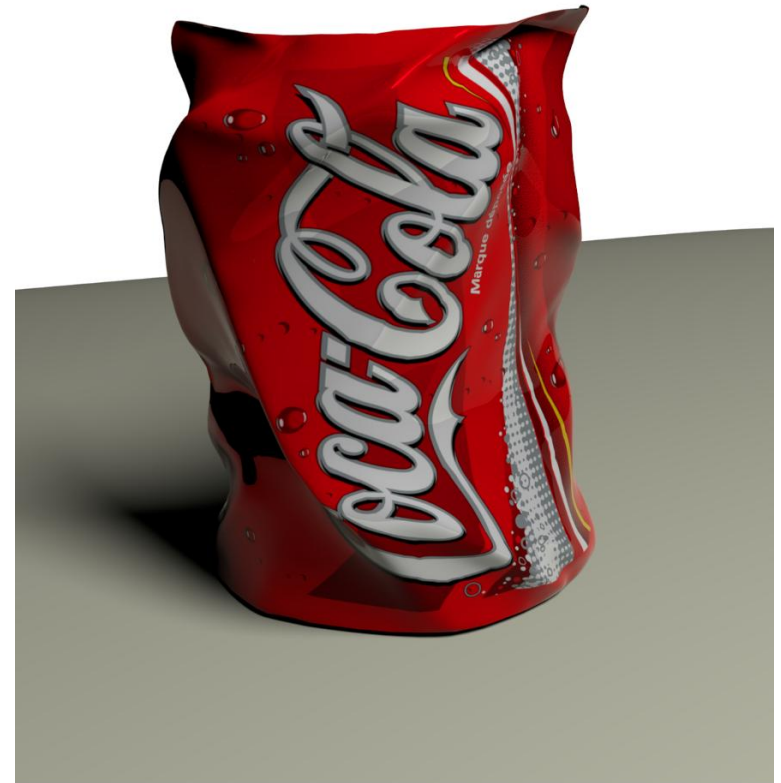


3- Modélisation de surfaces isométriques: Papier froissé

- Extensions : autres matériaux



Entrée



Résultat

3- Modélisation de surfaces isométriques: Papier froissé

- Résumé de la modélisation de papier froissé
 - Nouvel algorithme de subdivision
 - Crée surface de type papier
 - Quasi isométrie
 - Idées principales:
 - **Localisation** des plis: Moindre compression.
 - Trouve **meilleur profil**: Minimise l'erreur en longueur
 - + **Rapide**
 - + **Surfaces avec plis francs**
 - + **Maillage adapté**

[Rohmer, Cani, Hahmann, Thibert, EG10 (short paper)]

[Rohmer, Cani, Hahmann, Thibert, GTMG09]

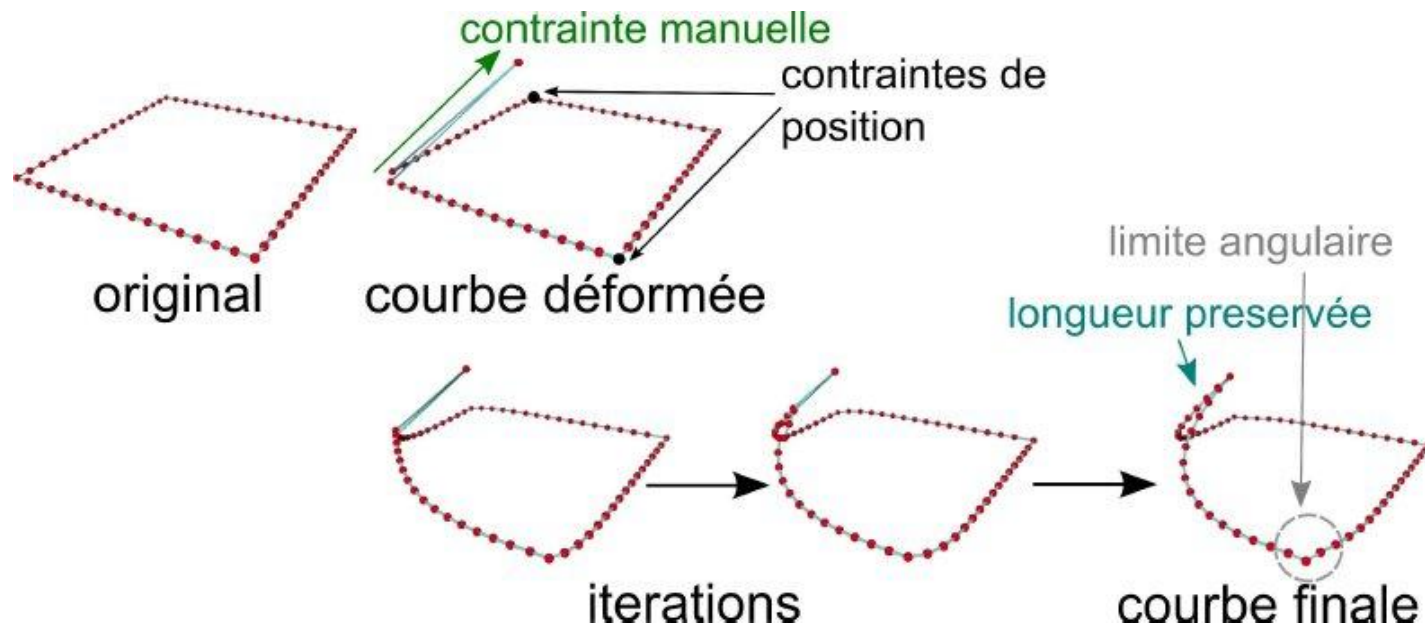


3- Modélisation de surfaces isométriques: Papier froissé

- Travail supplémentaire

Non discuté:

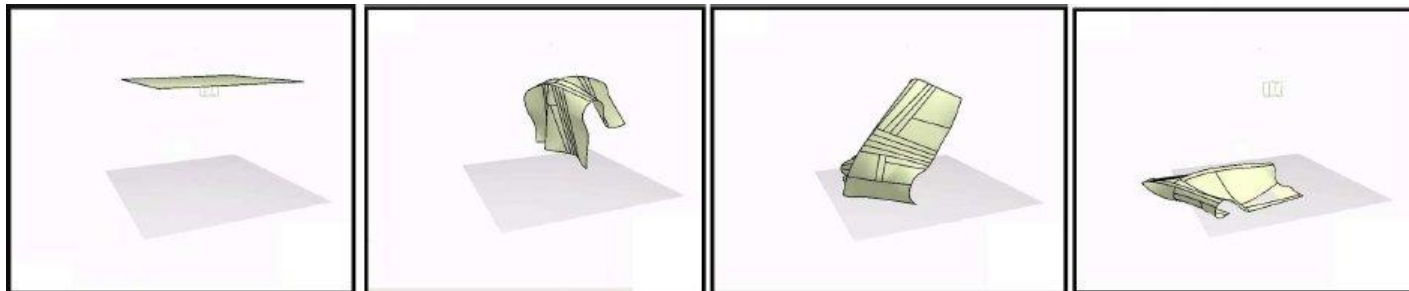
- Relaxation linéaire **globale**
- Déformation de courbes de bord



3- Modélisation de surfaces isométriques: Papier froissé

- Limitations

- Entrée
- Auto-collision
- Erreur résiduelle
- Statique



Synthèse : Géométrie Active

- 3 Exemples de géométrie active

- Animation de personnages



Volume local

- Animation de vêtements



Compression

- Modélisation de papier froissé



Isométrie

Synthèse : Géométrie Active

- Rappel des objectifs

- **Plausibilité**

- *Volume constant*
 - *Plis géométriques*
 - *Déformations isométriques*



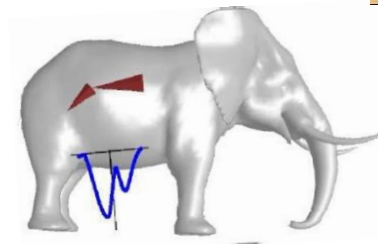
- **Rapidité**

- *Expression analytique volume constant*
 - *Plis géométriques vs. simulation numérique*
 - *Subdivision récursive*



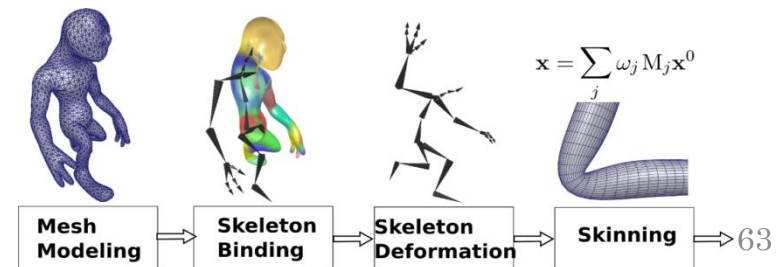
- **Contrôle**

- *Courbes de profil*
 - *Choix épaisseur du tissu*
 - *Manipulation du bord*



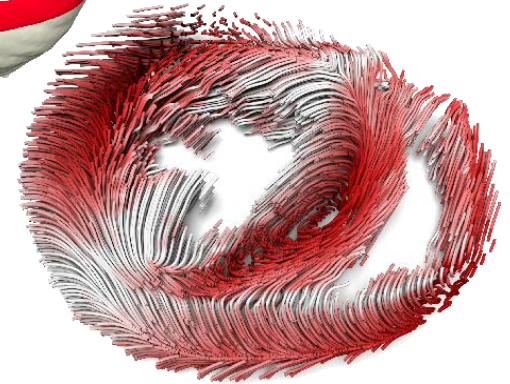
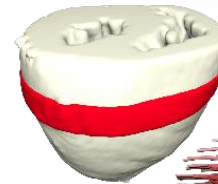
- **Utilisabilité**

- *Pipe-line du skinning*
 - *Post-traitement sur masses-ressorts*
 - *Courbe de bord*



Synthèse : Géométrie active

- Travaux futurs
 - Nouvelles propriétés géométriques
 - A priori sémantiques
 - Interactions avec simulateurs
 - Interactions avancée





Merci