

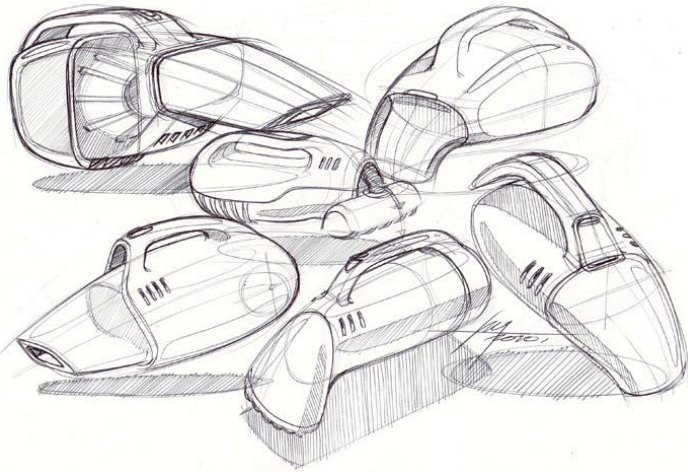
A light blue, hand-drawn sketch of a chair is visible in the background. The sketch shows the outline of the seat, backrest, and legs, with some lines indicating the structure and shading.

# Interprétation de croquis pour le design

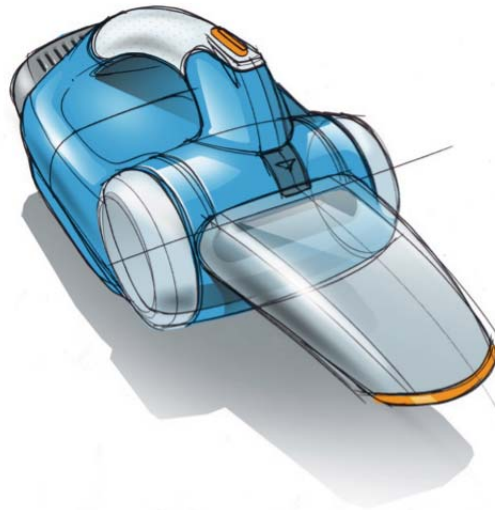
Adrien Bousseau  
Inria – Sophia Antipolis

*Inria*

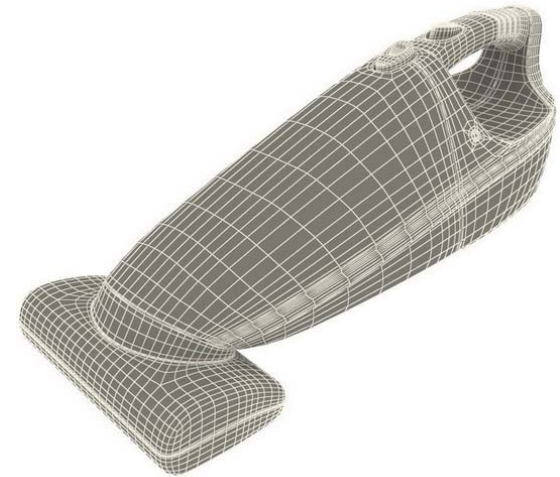
# Les croquis en design



**Dessin au trait**

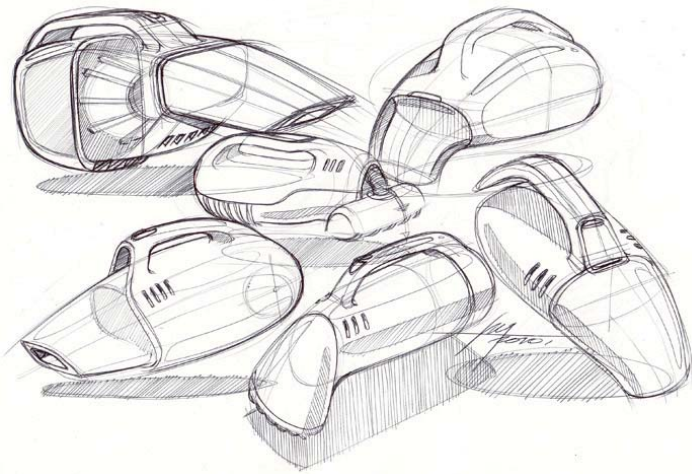


**Dessin ombré**



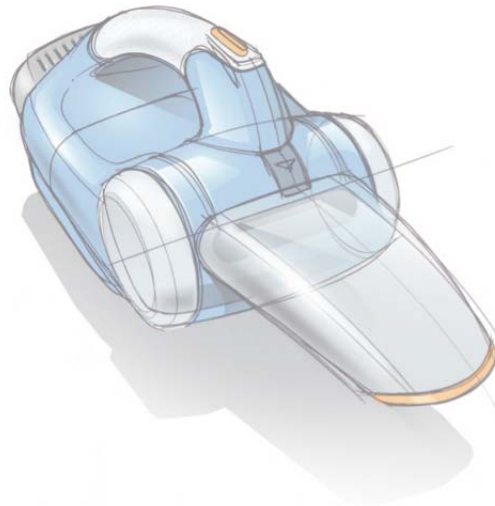
**Modèle 3D**

# Les croquis en design



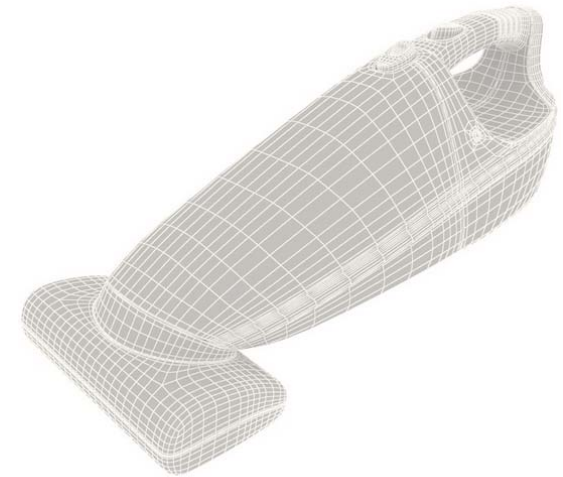
## Dessin au trait

- Exploration d'idées
- Rapide et flexible



## Dessin ombré

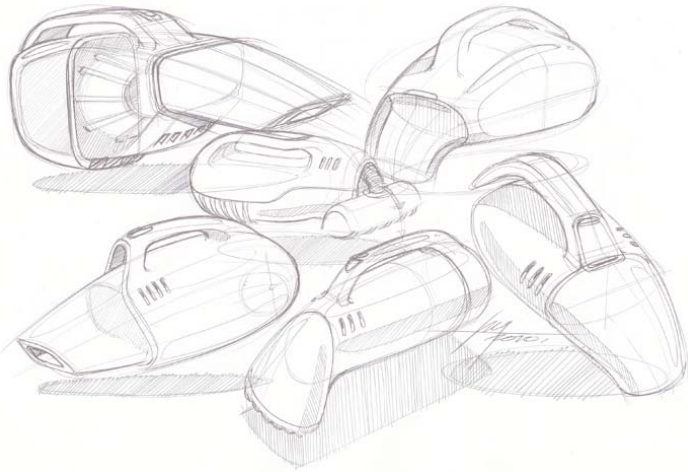
- Présentation, communication
- Nécessite du temps et de l'expertise



## Modèle 3D

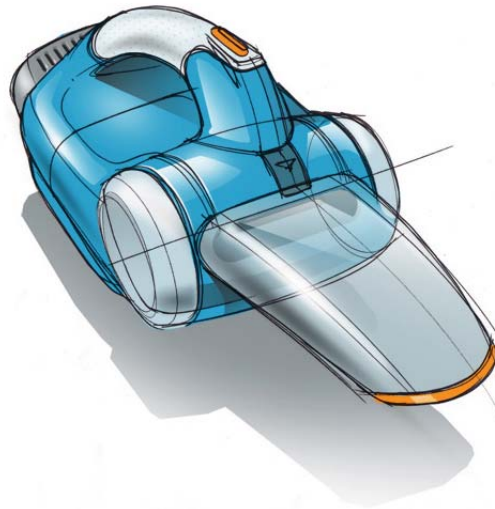
- Validation, conception
- Nécessite du temps, de la précision

# Les croquis en design



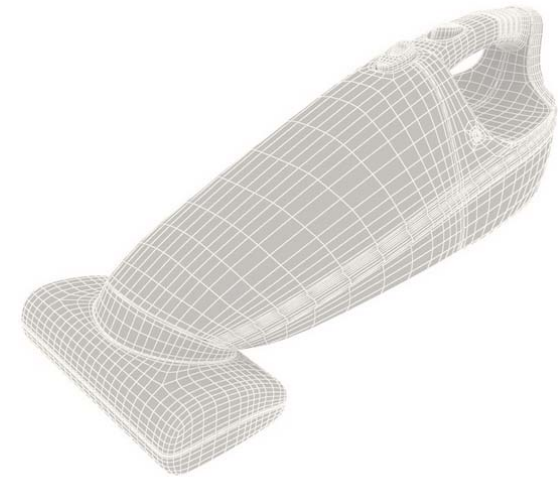
## Dessin au trait

- Exploration d'idées
- Rapide et flexible



## Dessin ombré

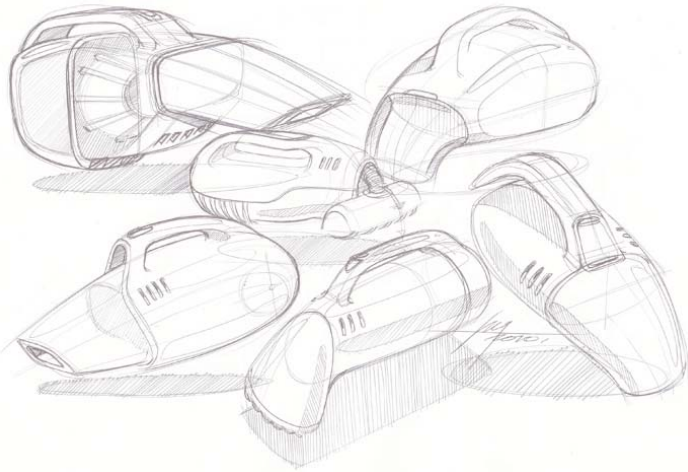
- Présentation, communication
- Nécessite du temps et de l'expertise



## Modèle 3D

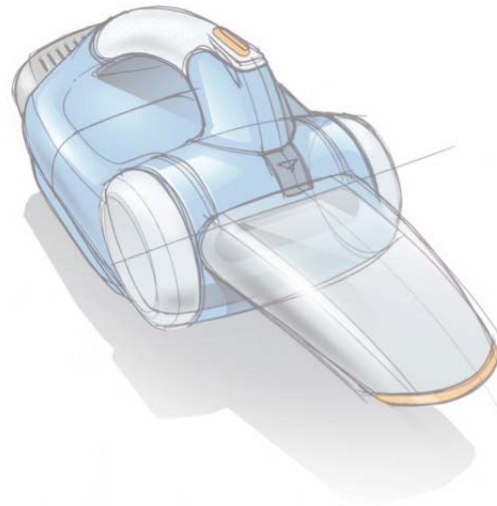
- Validation, conception
- Nécessite du temps, de la précision

# Les croquis en design



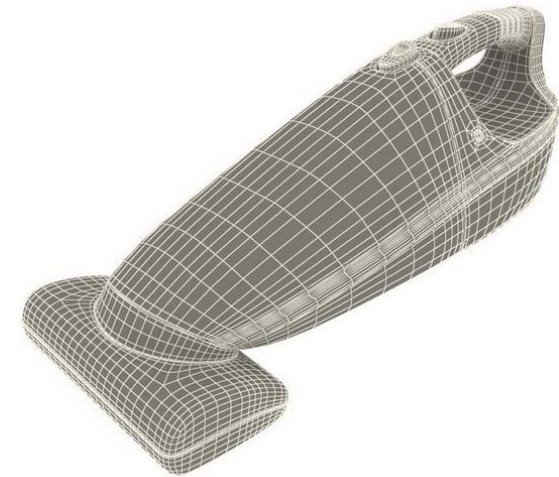
## Dessin au trait

- Exploration d'idées
- Rapide et flexible



## Dessin ombré

- Présentation, communication
- Nécessite du temps et de l'expertise

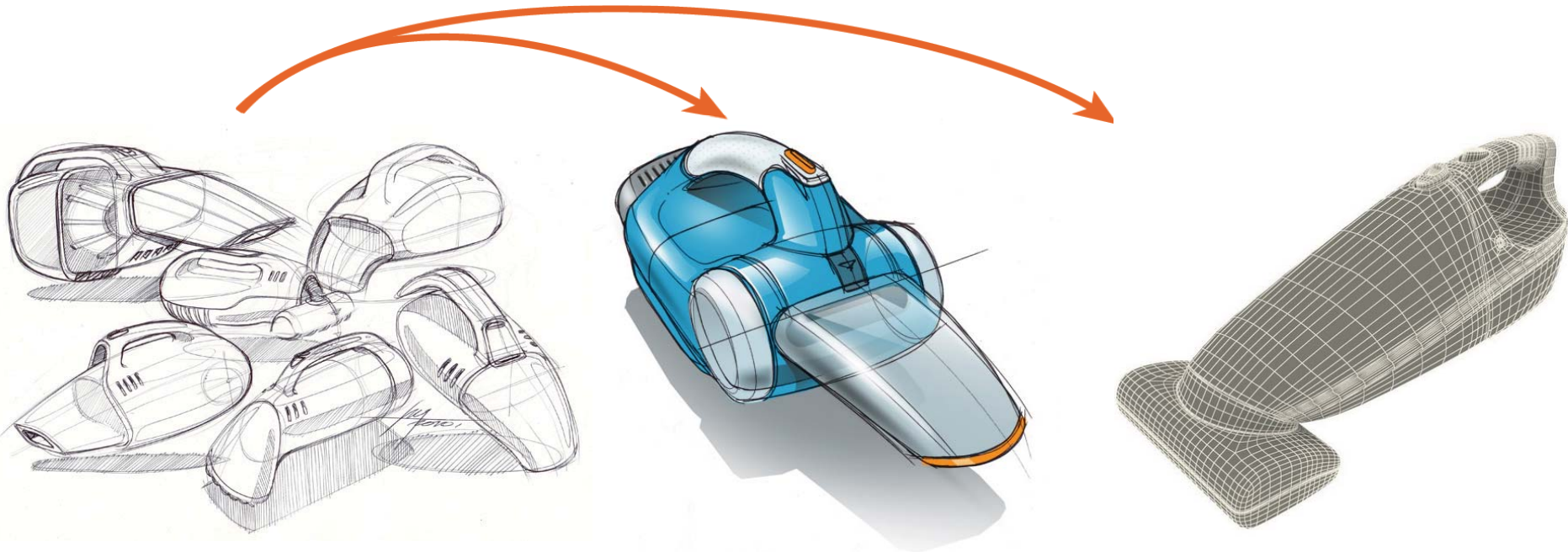


## Modèle 3D

- Validation, conception
- Nécessite du temps, de la précision



# Les croquis en design



## Dessin au trait

- Exploration d'idées
- Rapide et flexible

## Dessin ombré

- Présentation, communication
- Nécessite du temps et de l'expertise

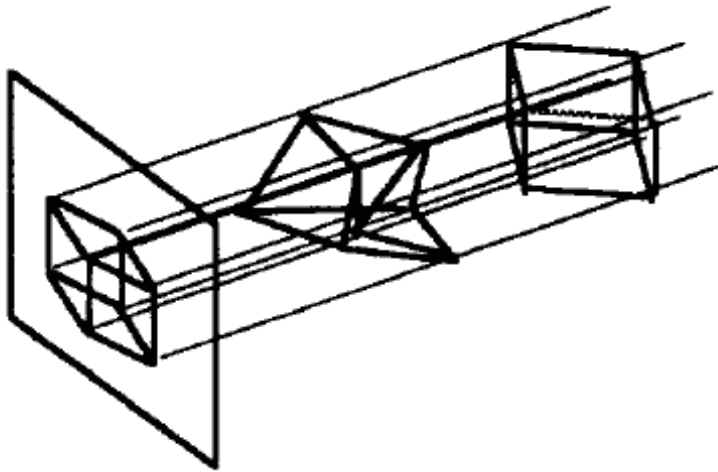
## Modèle 3D

- Validation, conception
- Nécessite du temps, de la précision

# Modélisation par le croquis

## Un seul dessin

Plusieurs interprétations possibles

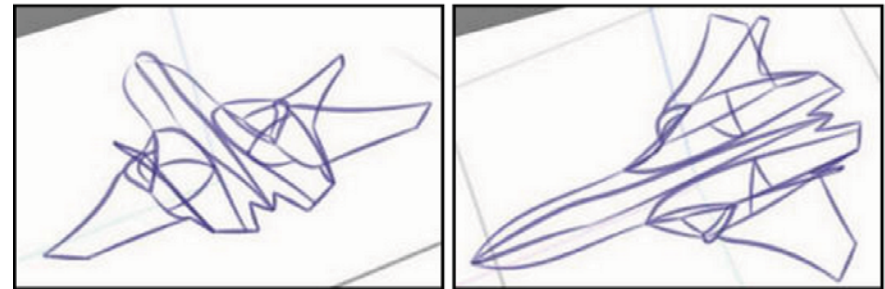


[Lipson 1996]

## Dessin selon plusieurs vues

Le crayon contrôle :

- Mouvement de caméra
- Définition de surface de dessin
- Dessin

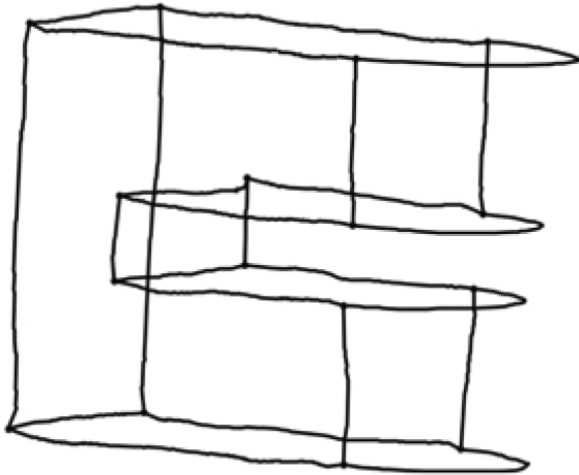


[Bae 2008] @ ACM

# Modélisation par le croquis

## Un seul dessin

- Détecte régularité dans le dessin
- Impose même régularité en 3D

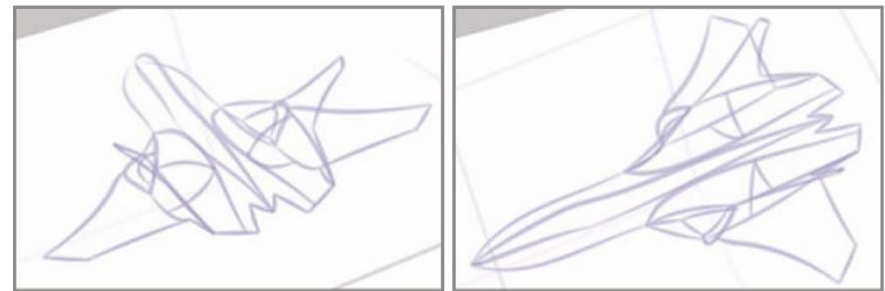


[Lipson 1996]

## Dessin selon plusieurs vues

Le crayon contrôle :

- Mouvement de caméra
- Définition de surface de dessin
- Dessin



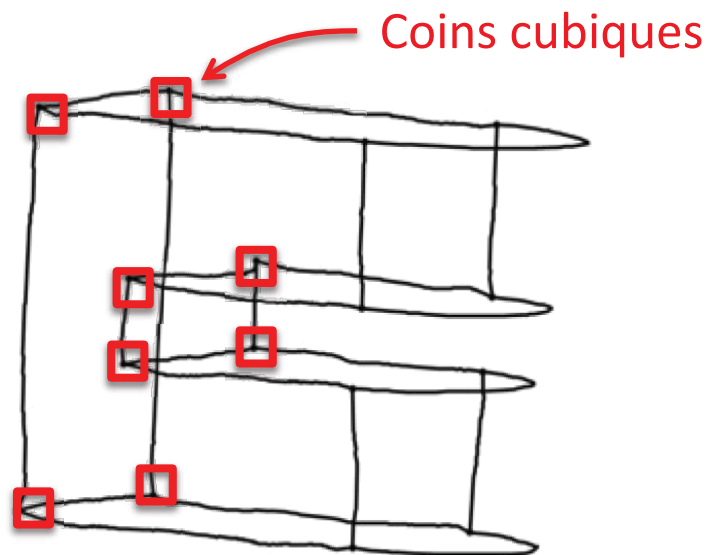
[Bae 2008] @ ACM



# Modélisation par le croquis

## Un seul dessin

- Détecte régularité dans le dessin
- Impose même régularité en 3D

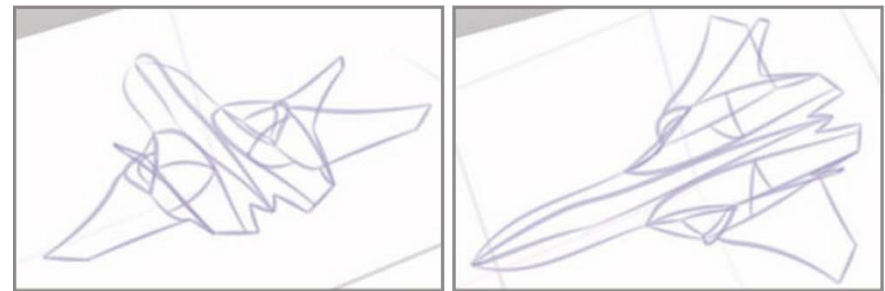


[Lipson 1996]

## Dessin selon plusieurs vues

Le crayon contrôle :

- Mouvement de caméra
- Définition de surface de dessin
- Dessin

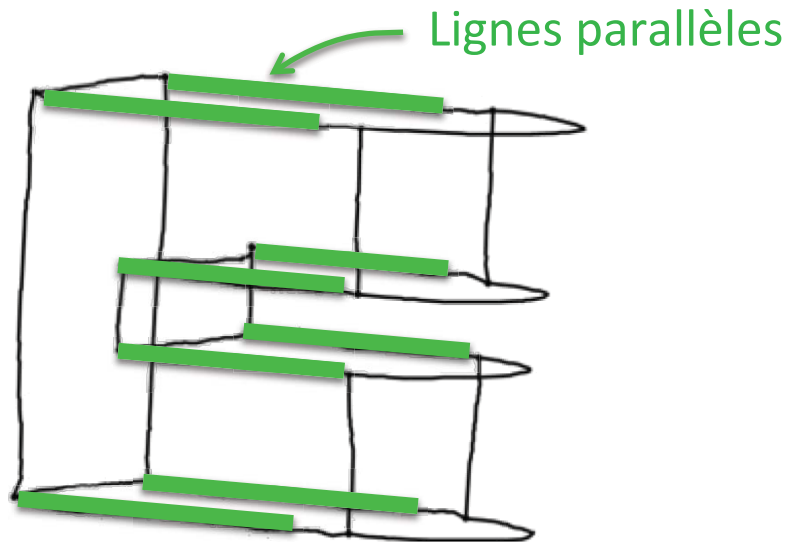


[Bae 2008] @ ACM

# Modélisation par le croquis

## Un seul dessin

- Détecte régularité dans le dessin
- Impose même régularité en 3D

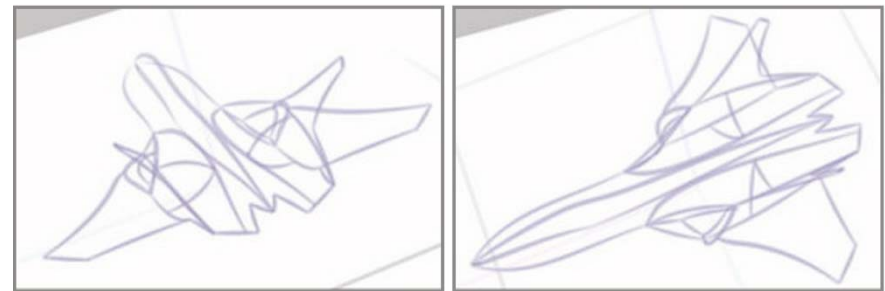


[Lipson 1996]

## Dessin selon plusieurs vues

Le crayon contrôle :

- Mouvement de caméra
- Définition de surface de dessin
- Dessin

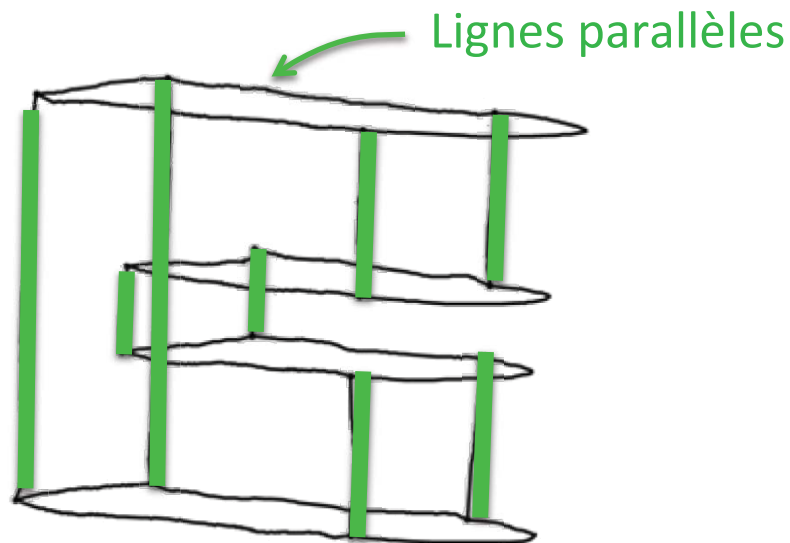


[Bae 2008] @ ACM

# Modélisation par le croquis

## Un seul dessin

- Détecte régularité dans le dessin
- Impose même régularité en 3D

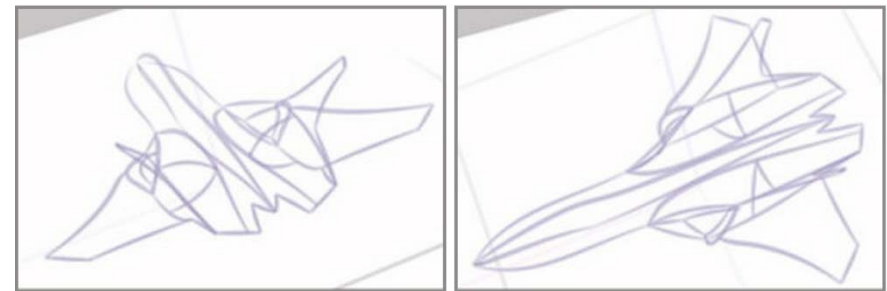


[Lipson 1996]

## Dessin selon plusieurs vues

Le crayon contrôle :

- Mouvement de caméra
- Définition de surface de dessin
- Dessin

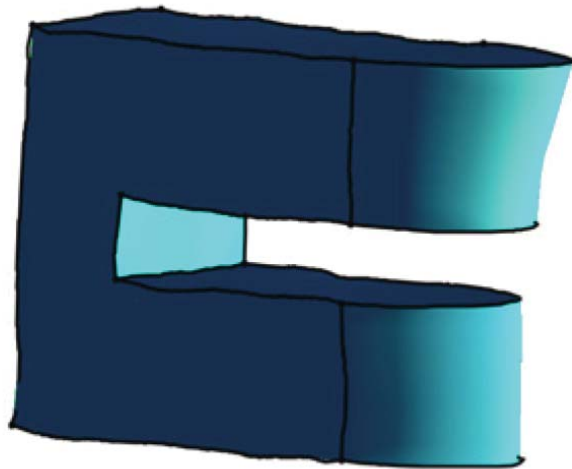


[Bae 2008] @ ACM

# Modélisation par le croquis

## Un seul dessin

- Détecte régularité dans le dessin
- Impose même régularité en 3D

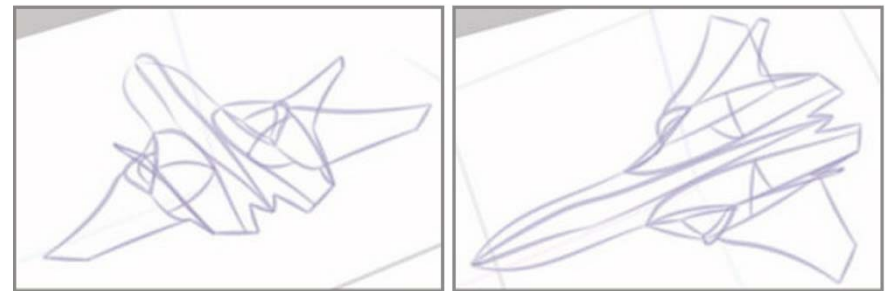


[Lipson 1996]

## Dessin selon plusieurs vues

Le crayon contrôle :

- Mouvement de caméra
- Définition de surface de dessin
- Dessin

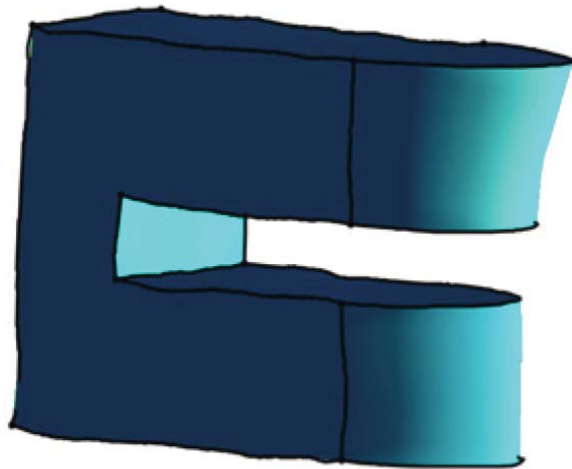


[Bae 2008] @ ACM

# Modélisation par le croquis

## Un seul dessin

- + Travail à partir de dessins existants
- Formes régulières

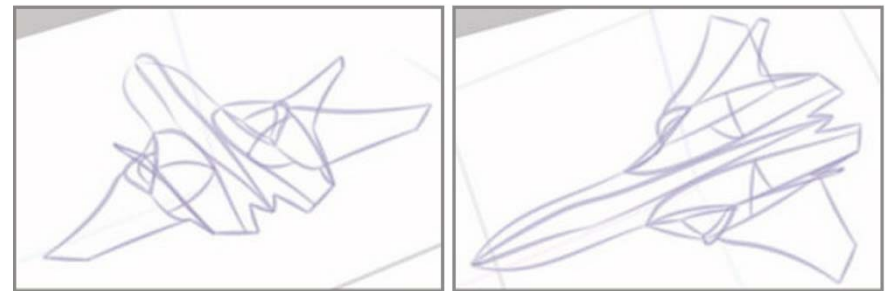


[Lipson 1996]

## Dessin selon plusieurs vues

Le crayon contrôle :

- Mouvement de caméra
- Définition de surface de dessin
- Dessin



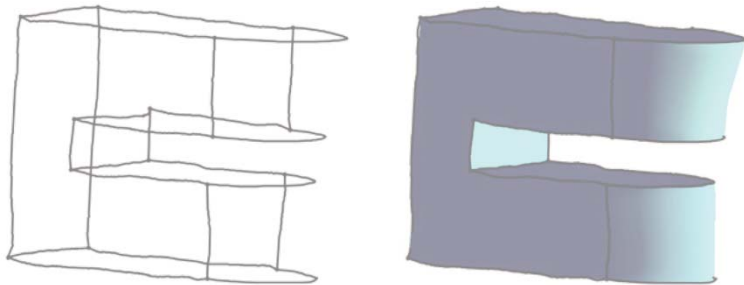
[Bae 2008] @ ACM



# Modélisation par le croquis

## Un seul dessin

- Détecte régularité dans le dessin
- Impose même régularité en 3D

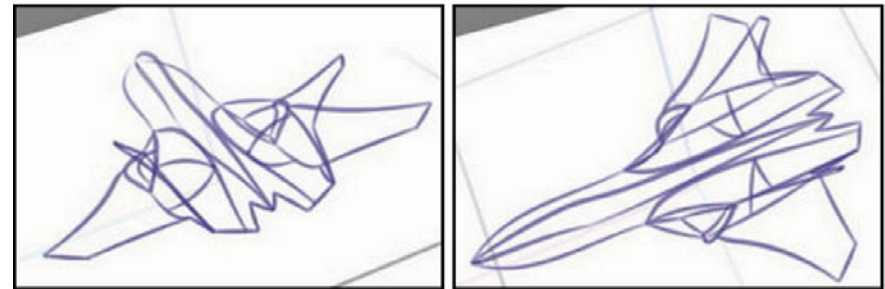


[Lipson 1996]

## Dessin selon plusieurs vues

Le crayon contrôle :

- Mouvement de caméra
- Définition de surface de dessin
- Dessin

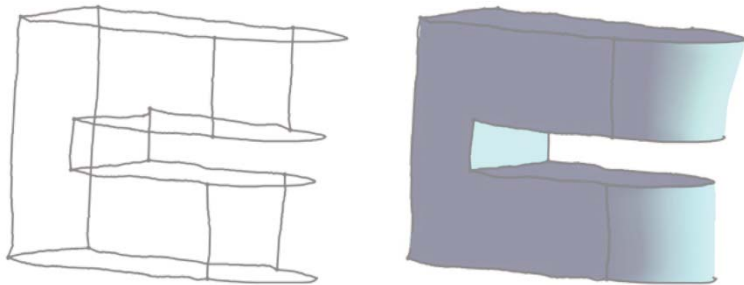


[Bae 2008] @ ACM

# Modélisation par le croquis

## Un seul dessin

- Détecte régularité dans le dessin
- Impose même régularité en 3D

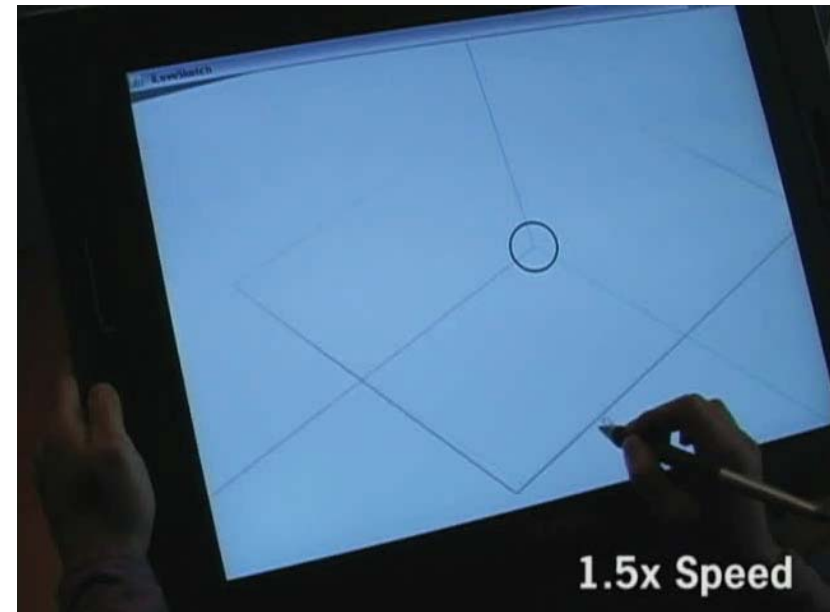


[Lipson 1996]

## Dessin selon plusieurs vues

Le crayon contrôle :

- Mouvement de caméra
- Définition de surface de dessin
- Dessin

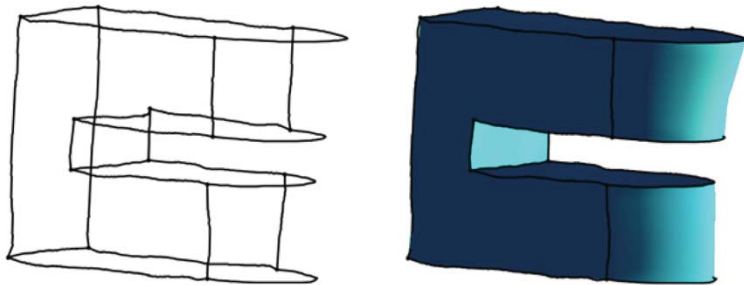


[Bae 2008] @ ACM

# Modélisation par le croquis

## Un seul dessin

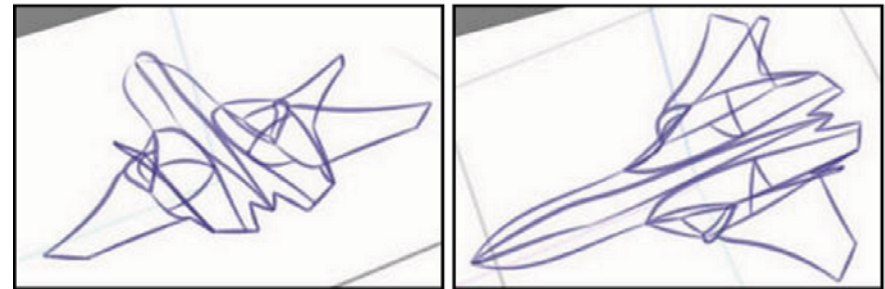
- + Travail à partir de dessins existants
- Formes régulières



[Lipson 1996]

## Dessin selon plusieurs vues

- + Formes libres
- Distraction des mouvements de caméra, planification



[Bae 2008] @ ACM

# CrossShade

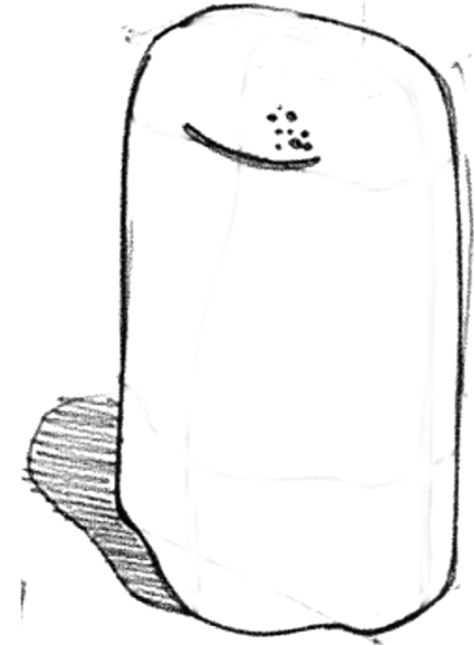
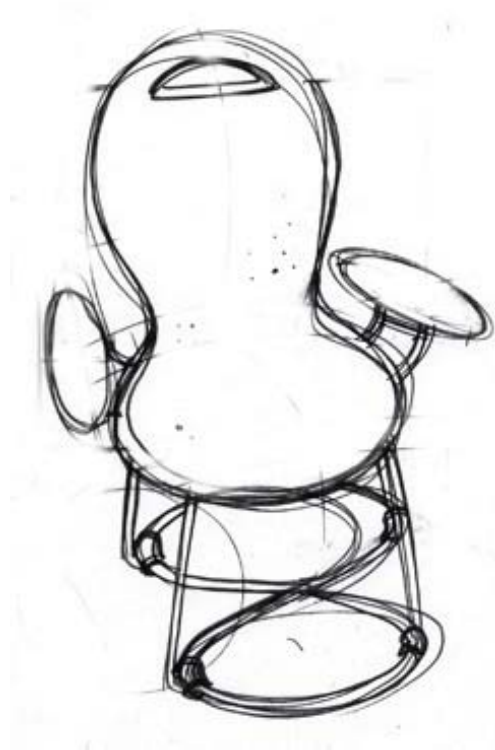
## Shading Concept Sketches Using Cross-Section Curves

Cloud Shao<sup>1</sup>, Adrien Bousseau<sup>2</sup>, Alla Sheffer<sup>3</sup>, Karan Singh<sup>1</sup>  
*SIGGRAPH 2012*



# Les croquis en design

© www.sketch-a-day.com, [Eissen et Steur 2008, 2011]

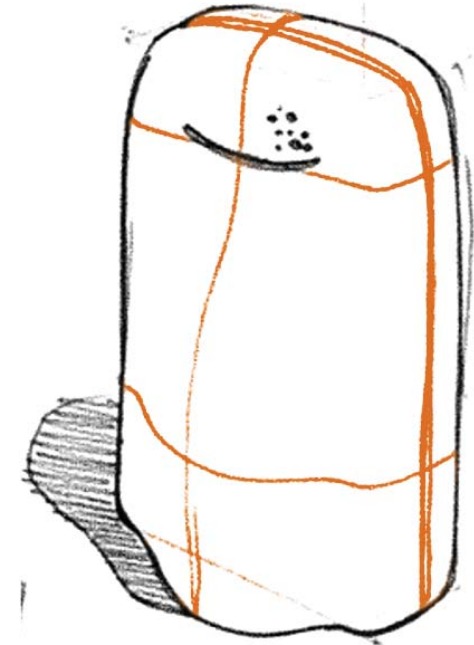
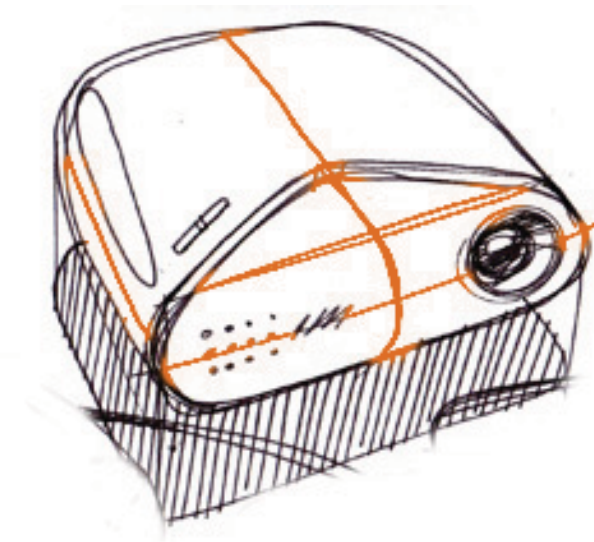




# Les croquis en design

© www.sketch-a-day.com, [Eissen et Steur 2008, 2011]

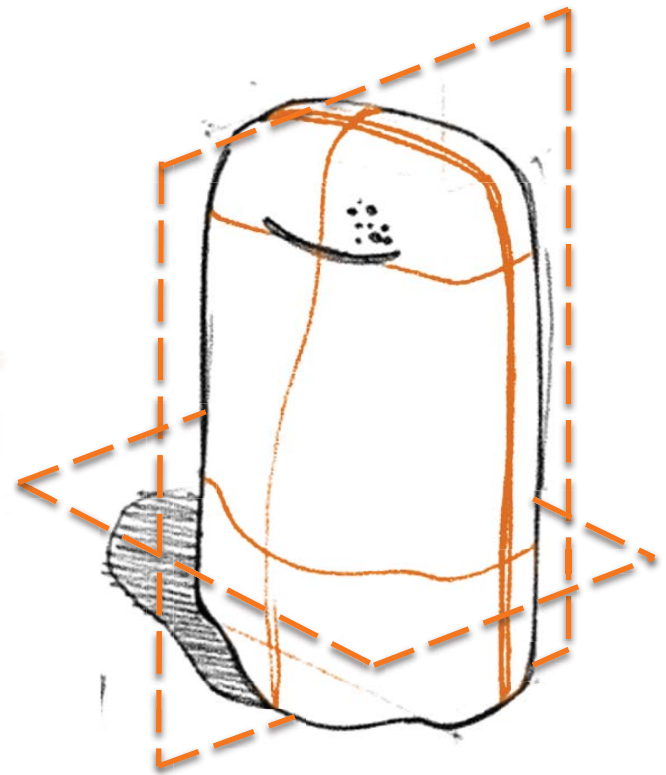
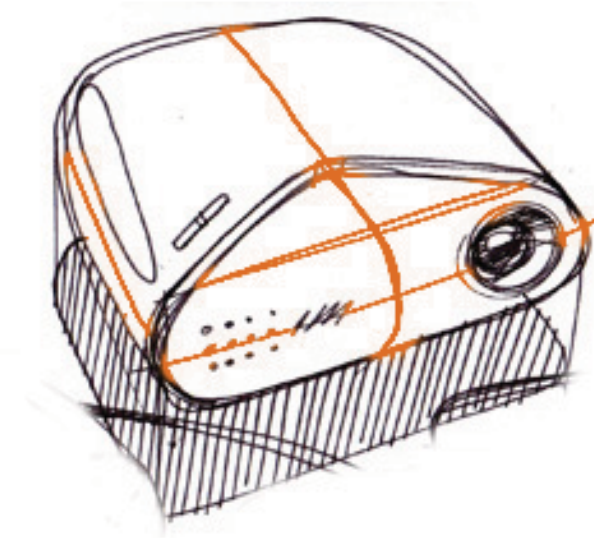
## Lignes de section



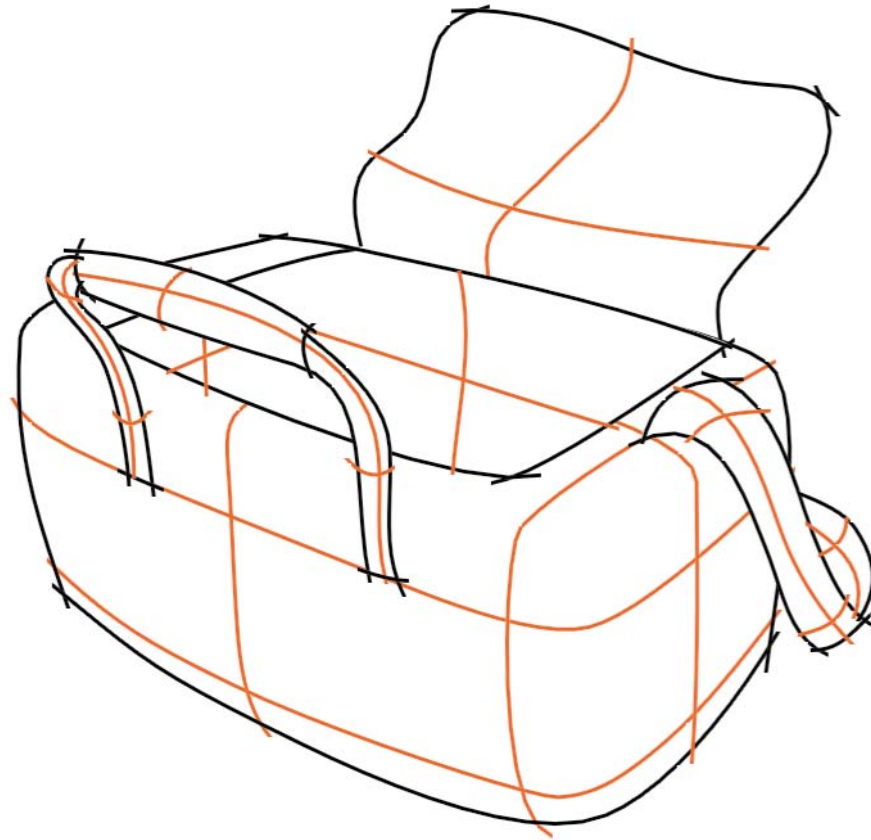
# Les croquis en design

© www.sketch-a-day.com, [Eissen et Steur 2008, 2011]

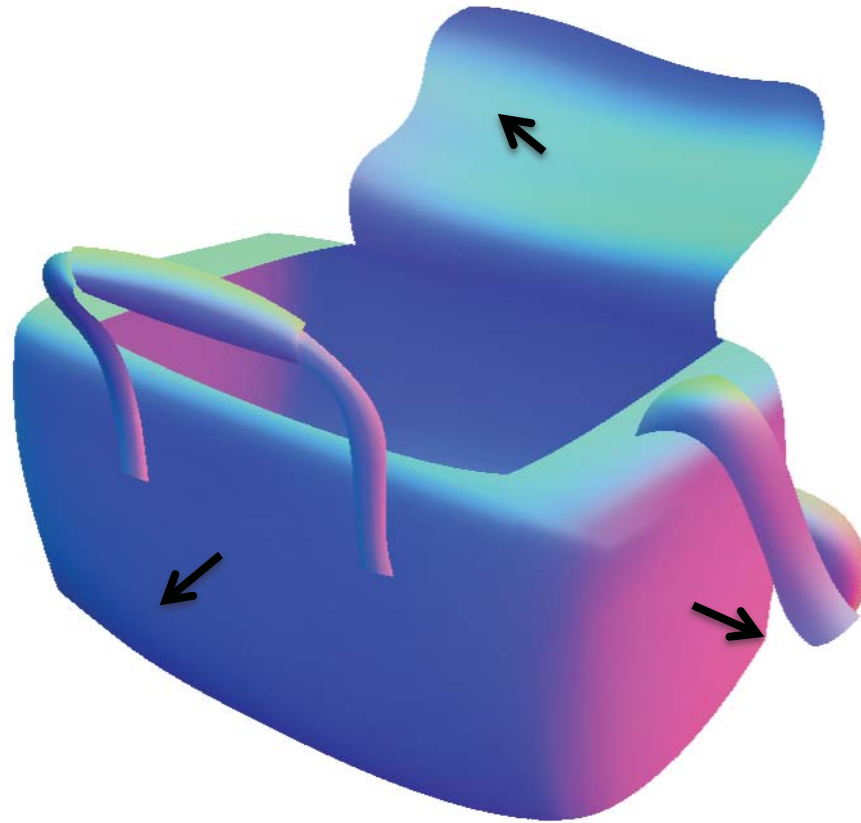
## Lignes de section



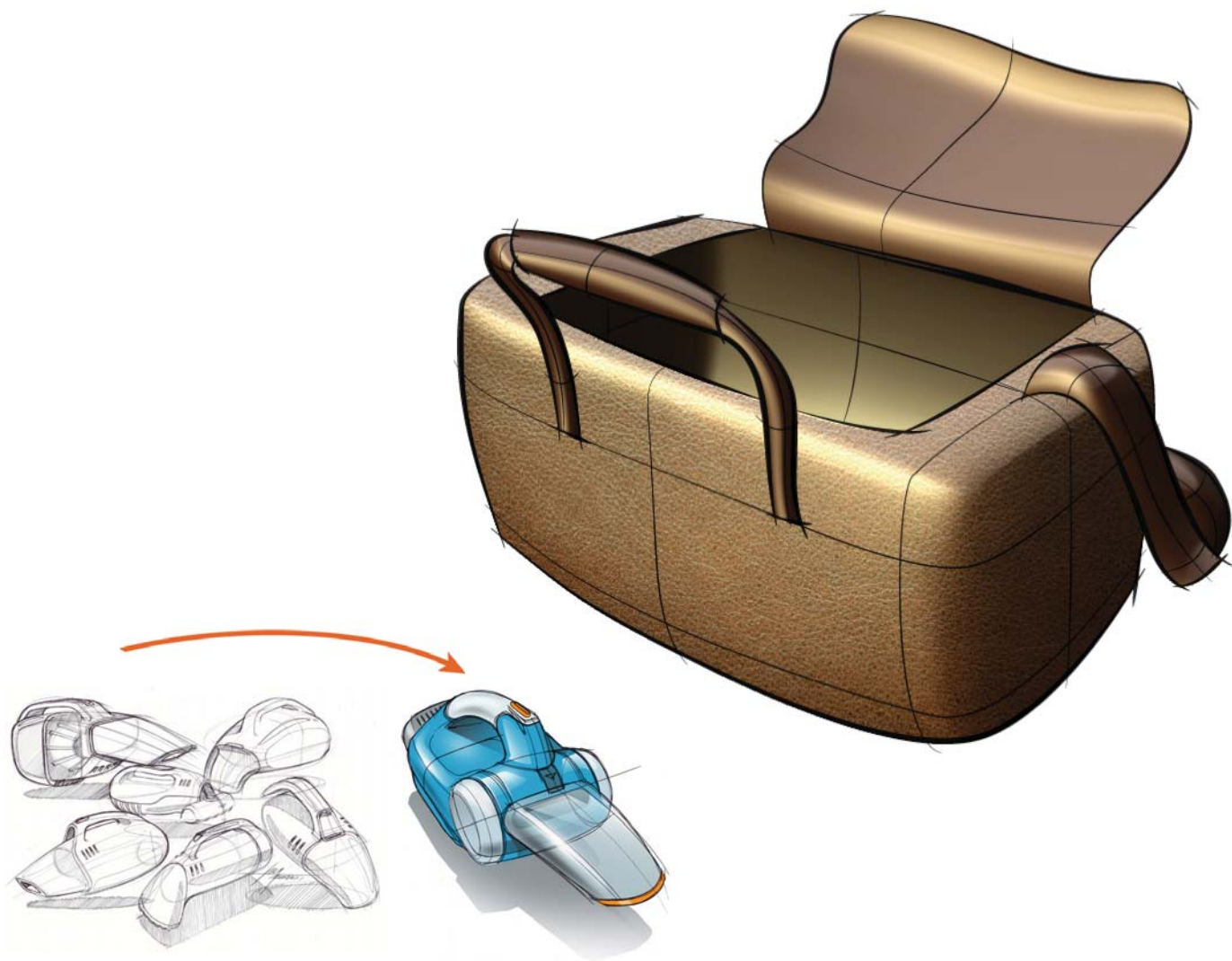
**A partir d'un croquis ...**



**Estime l'orientation de la surface,  
les « normales »**



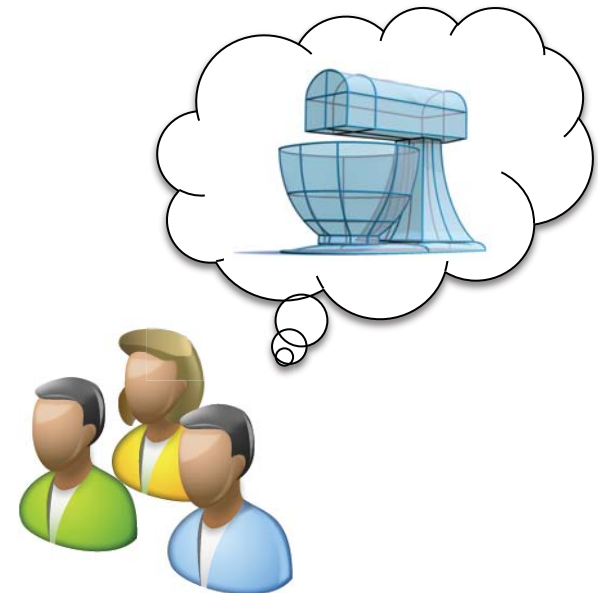
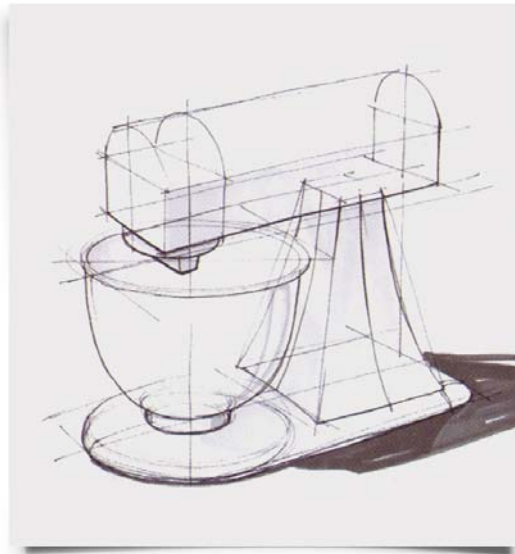
# Calcule l'ombrage





# Méthodologie

- Propriétés mathématiques du dessin
  - Comment les designers dessinent ?
  - Comment perçoit-on les dessins ?

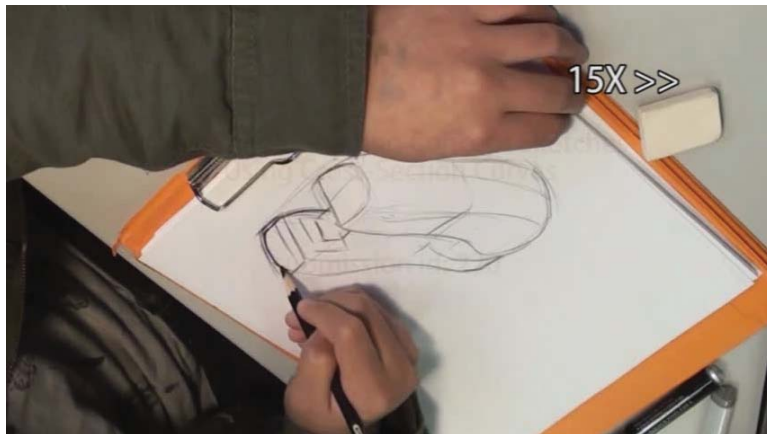


# Méthodologie

- Propriétés mathématiques du dessin
  - Comment les designers dessinent ?
  - Comment perçoit-on les dessins ?
- Implémentation sous forme d'algorithmes
- Validation avec études perceptuelles

# Comment les designers dessinent ?

- Interviews
- Observations
- Tutoriaux en ligne
- Livres sur le design



[Eissen et Steur 2008, 2011]

# Comment les designers dessinent ?

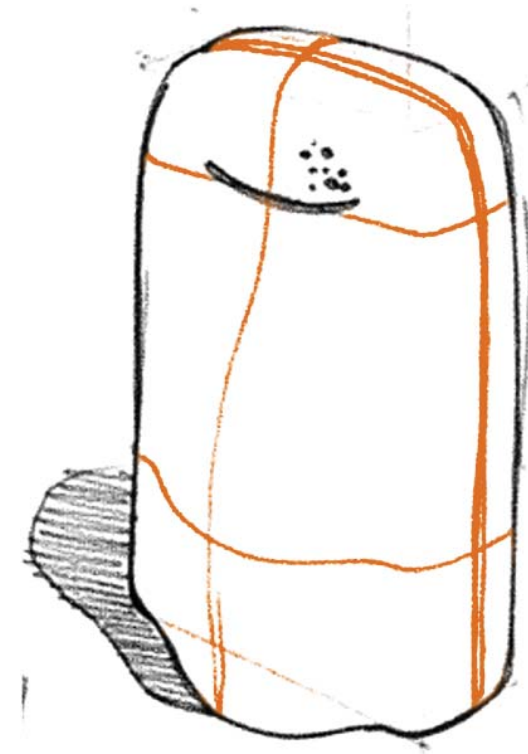
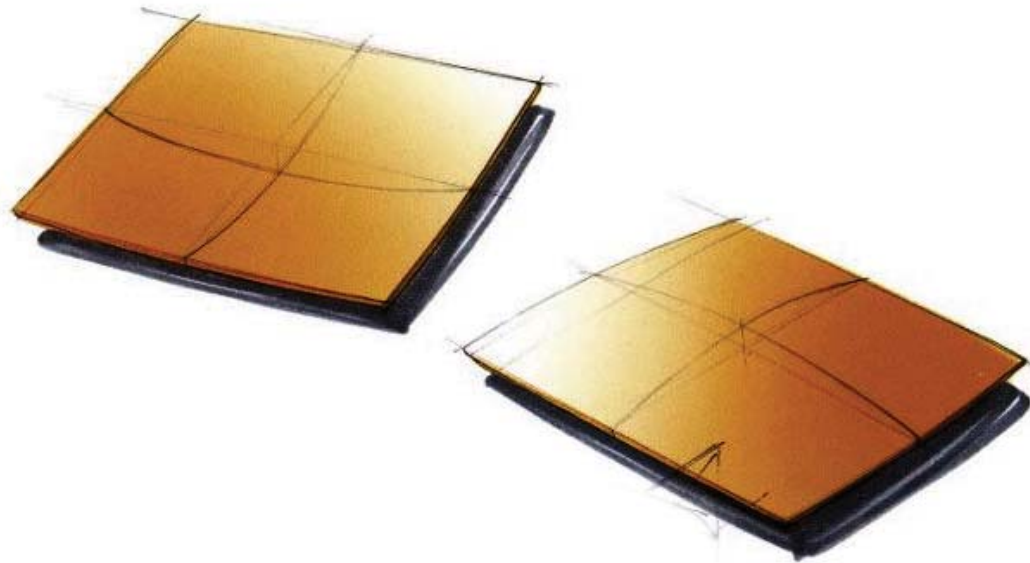
- Interviews
- Observations
- Tutoriaux en ligne
- Livres sur le design



[Eissen et Steur 2008, 2011]

# Comment les designers dessinent ?

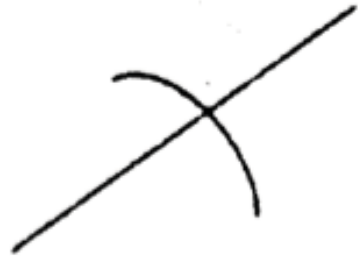
- “Les lignes de section sur une surface expliquent sa courbure” [Eissen et Steur 2008]





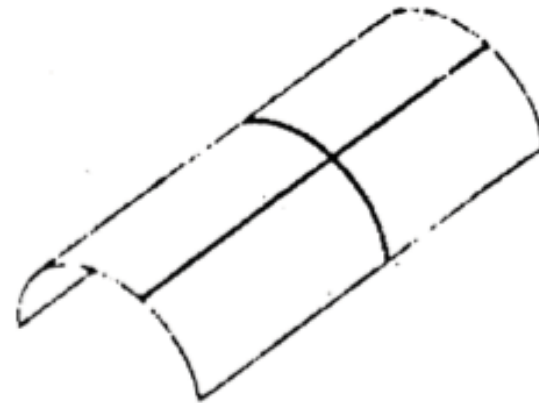
# Comment perçoit-on les dessins ?

- Des courbes lisses qui s'intersectent sont perçues comme des lignes de courbure  
[Stevens 81, Mamassian et Landy 98]



# Comment perçoit-on les dessins ?

- Des courbes lisses qui s'intersectent sont perçues comme des lignes de courbure  
[Stevens 81, Mamassian et Landy 98]



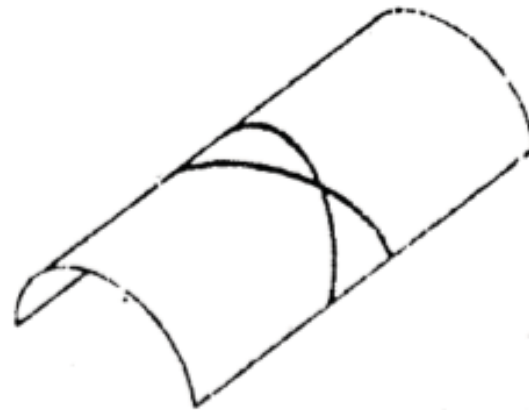
# Comment perçoit-on les dessins ?

- Des courbes lisses qui s'intersectent sont perçues comme des lignes de courbure  
[Stevens 81, Mamassian et Landy 98]



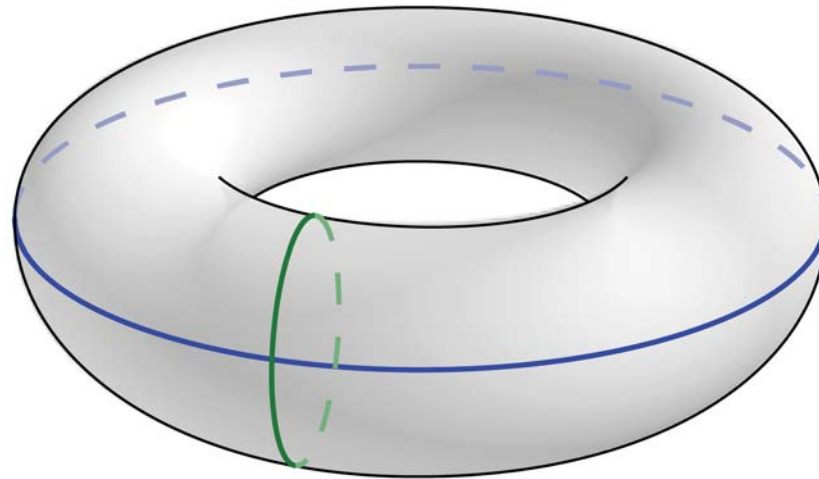
# Comment perçoit-on les dessins ?

- Des courbes lisses qui s'intersectent sont perçues comme des lignes de courbure  
[Stevens 81, Mamassian et Landy 98]



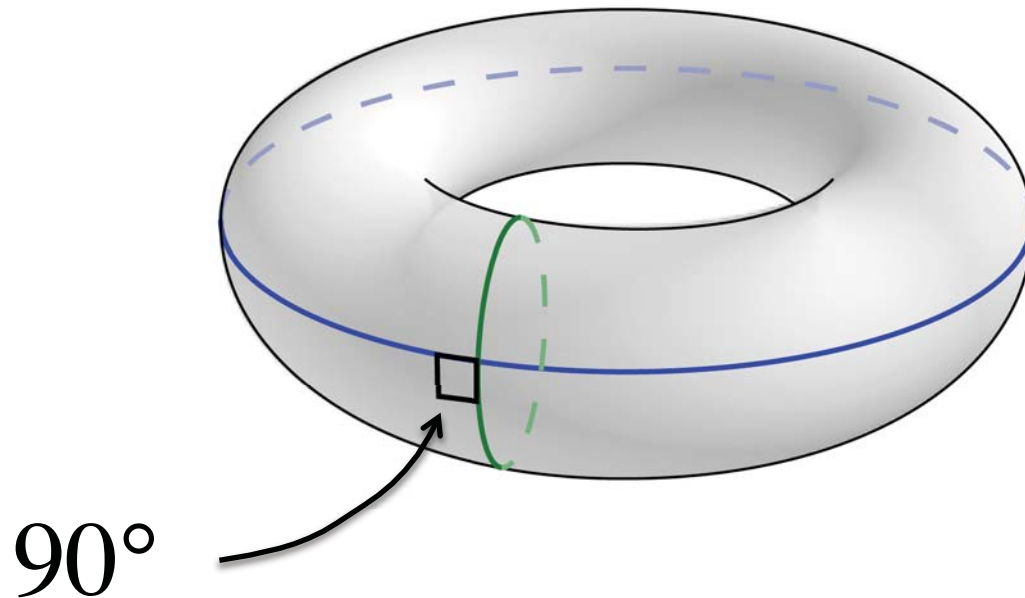
# Lignes de courbure

- Directions de plus **petite** et plus **grande** courbure



# Lignes de courbure

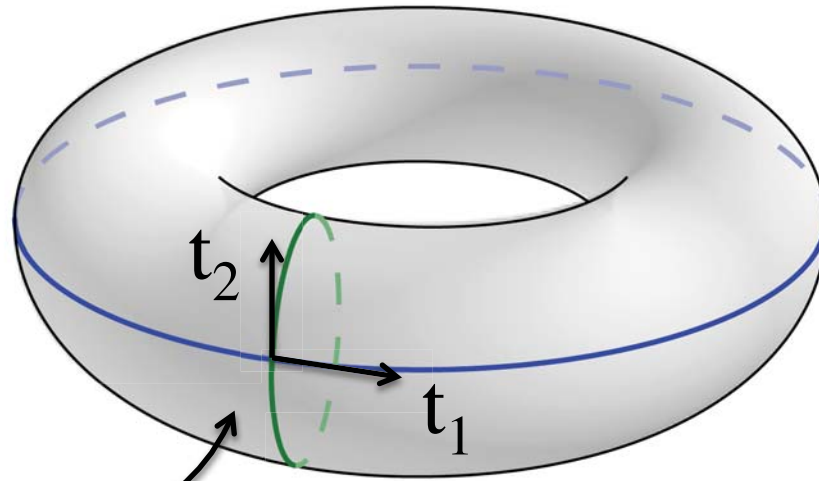
- Directions de plus **petite** et plus **grande** courbure
- Perpendiculaires en 3D





# Lignes de courbure

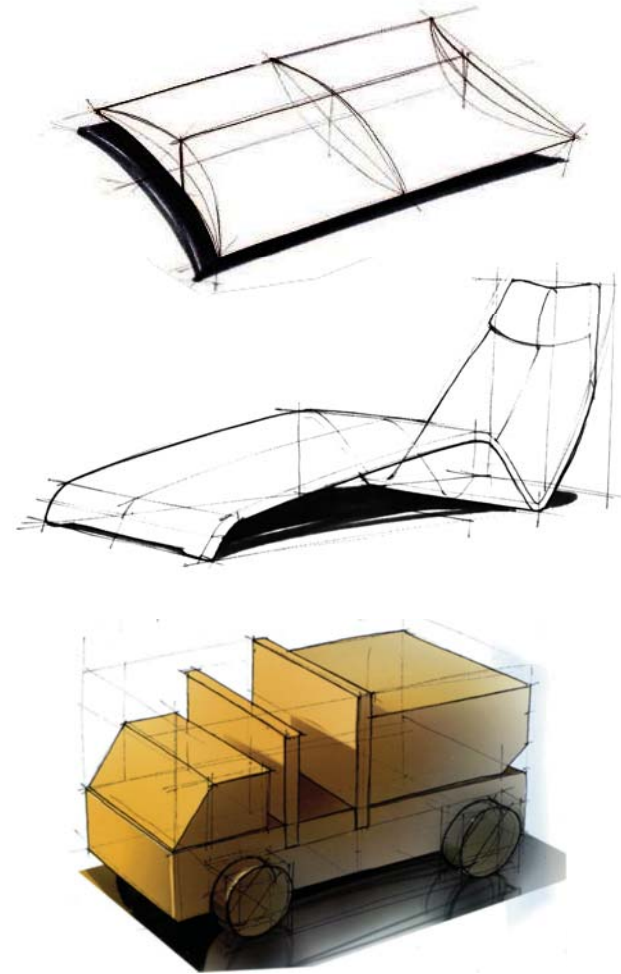
- Directions de plus **petite** et plus **grande** courbure
- Perpendiculaires en 3D



$$t_1 \cdot t_2 = 0$$

# Autres propriétés

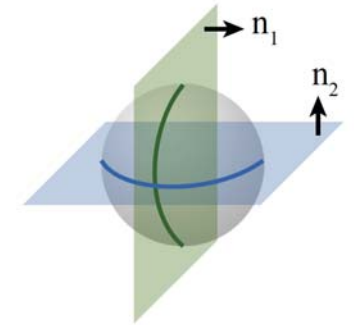
- Sections planaires et perpendiculaires
- Symétrie locale
- Point de vue informatif (perspective minimale)



# Autres propriétés

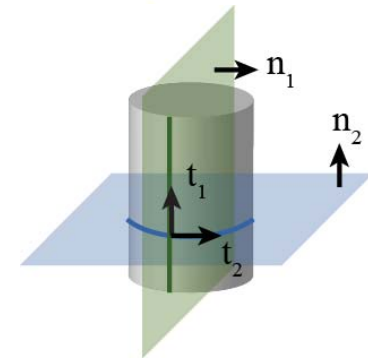
- Sections planaires et perpendiculaires
- Symétrie locale
- Point de vue informatif (perspective minimale)

$$\mathbf{n}_1 \cdot \mathbf{n}_2 = 0$$

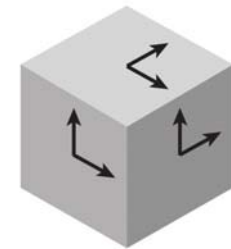


$$\mathbf{t}_1 \times \mathbf{n}_2 = 0$$

$$\mathbf{t}_2 \times \mathbf{n}_1 = 0$$



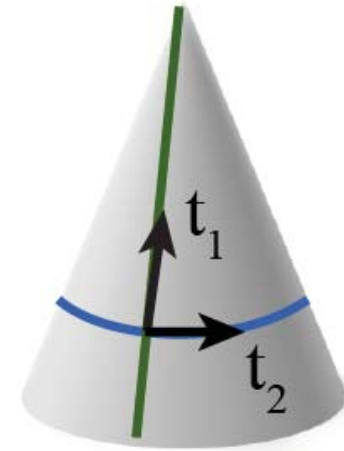
$$\sum (\mathbf{t}_1^z)^2 + (\mathbf{t}_2^z)^2$$



# Algorithme

Pour chaque courbe :

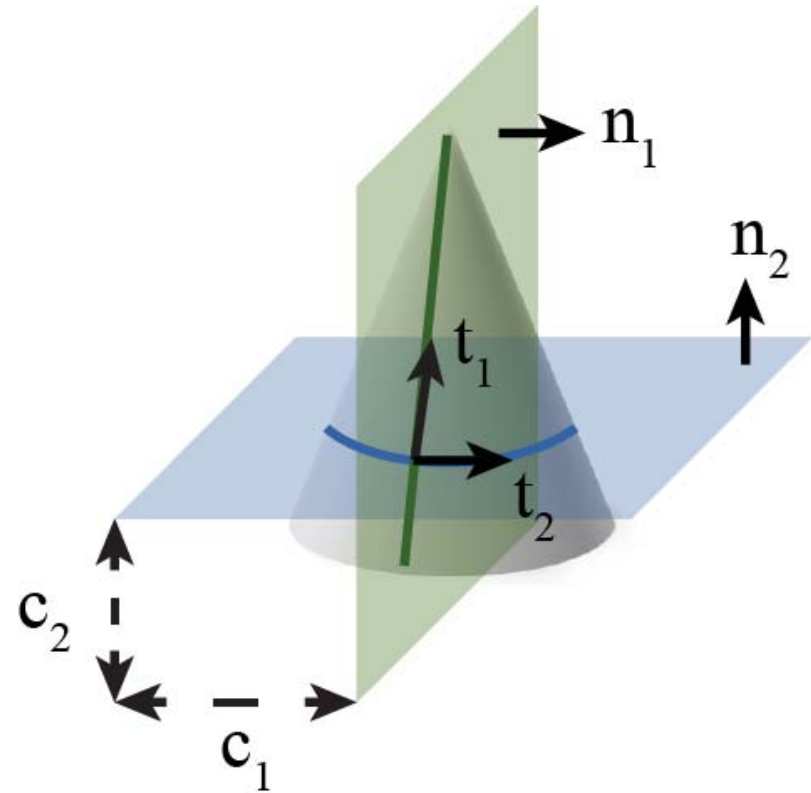
- On connaît les tangentes 2D à chaque intersection



# Algorithme

Pour chaque courbe :

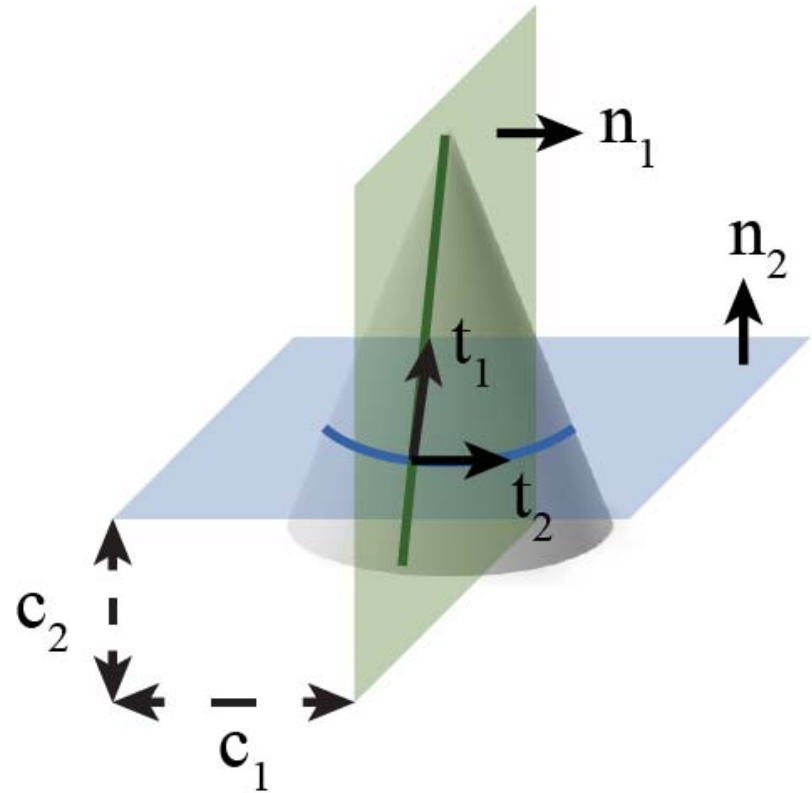
- On connaît les tangentes 2D à chaque intersection
- On estime
  - Orientation et position du plan de section
  - Profondeur des tangentes



# Algorithme

Pour chaque courbe :

- On connaît les tangentes 2D à chaque intersection
- On estime
  - Orientation et position du plan de section
  - Profondeur des tangentes
- Qui satisfont les contraintes
  - Perpendicularité, symétrie
  - Perspective minimale



# Optimisation sous contraintes

## Fonction à minimiser (propriétés faibles)

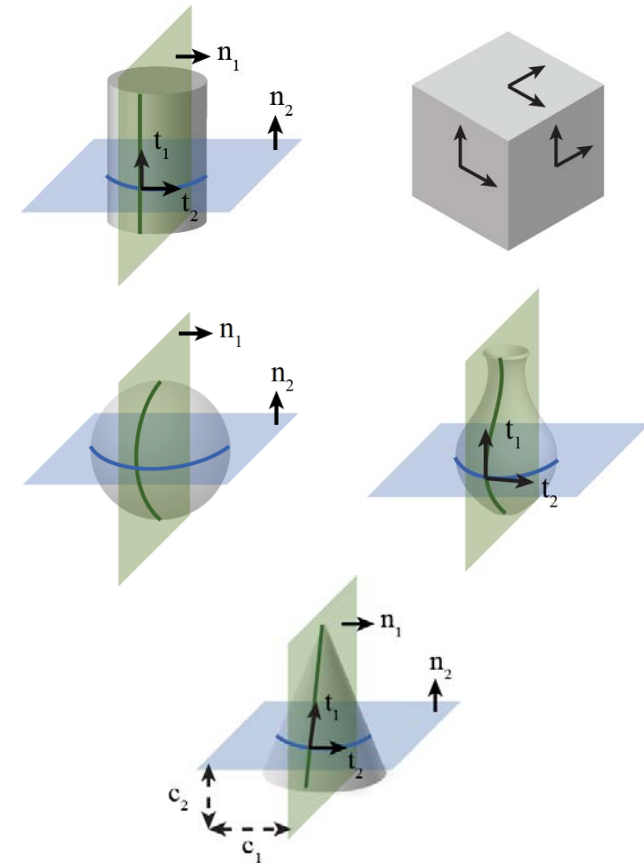
- Symétrie locale
- Point de vue informatif

## Contraintes d'inégalité

- Plans perpendiculaires
- Tangentes perpendiculaires

## Contraintes dures

- Tangente dans le plans
- Intersections dans les 2 plans





# Optimisation sous contraintes

## Fonction à minimiser (propriétés faibles)

- Symétrie locale
- Point de vue informatif

$$\min_{\mathbf{n}_i} \sum_{ij} (\|\mathbf{t}_{ji} \times \mathbf{n}_i\|^2 + \|\mathbf{t}_{ij} \times \mathbf{n}_j\|^2) + (\mathbf{t}_{ij}^z)^2 + (\mathbf{t}_{ji}^z)^2$$

## Contraintes d'inégalité

- Plans perpendiculaires
- Tangentes perpendiculaires

$$-\epsilon \leq \mathbf{n}_i \cdot \mathbf{n}_j \leq \epsilon$$

$$-\epsilon \leq \mathbf{t}_{ij} \cdot \mathbf{t}_{ji} \leq \epsilon$$

## Contraintes dures

- Tangente dans le plans
- Intersections dans les 2 plans

$$\mathbf{t}_{ij} \cdot \mathbf{n}_i = 0$$

$$\mathbf{x} \cdot \mathbf{n}_i + \mathbf{c}_i = 0$$

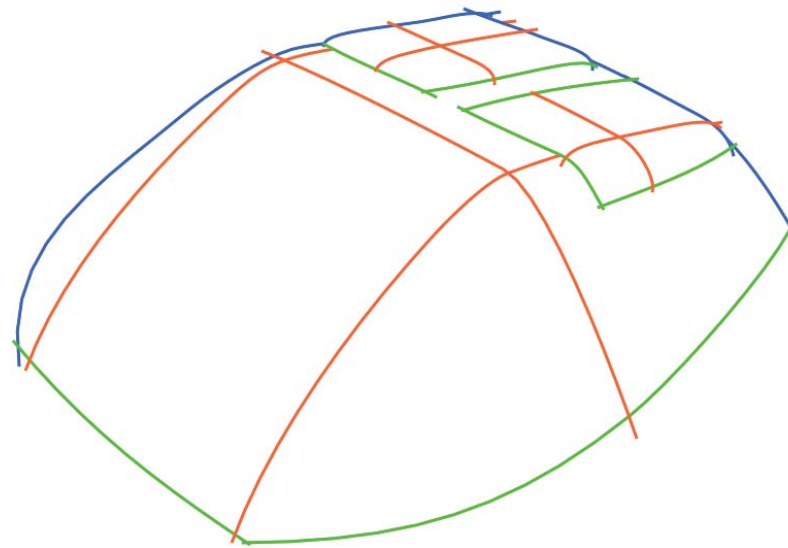
$$\mathbf{x} \cdot \mathbf{n}_j + \mathbf{c}_j = 0$$

# Dessin en entrée

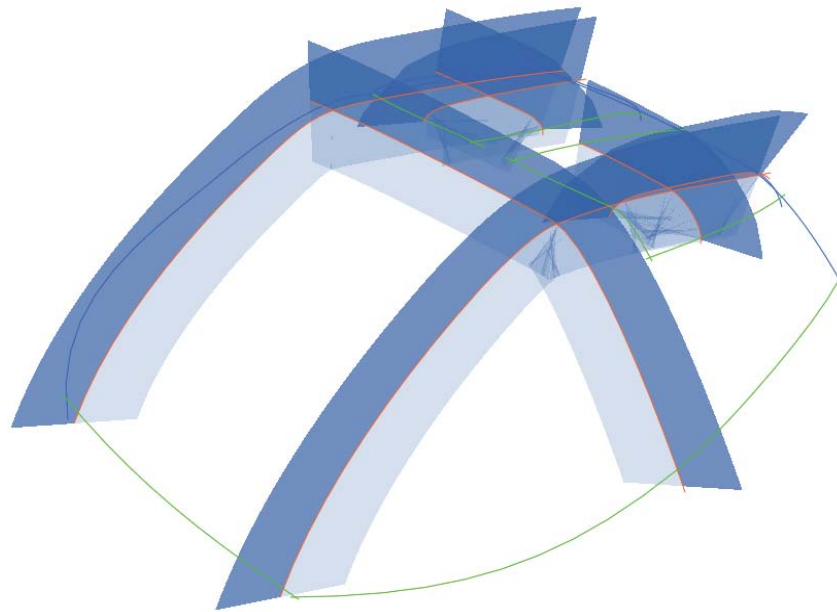
Sections

Silhouettes lisses

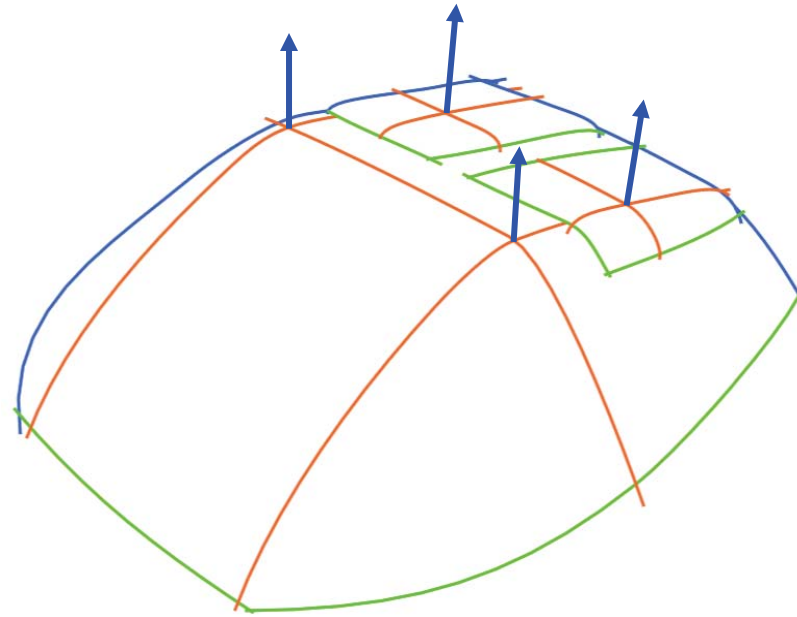
Bords aigus



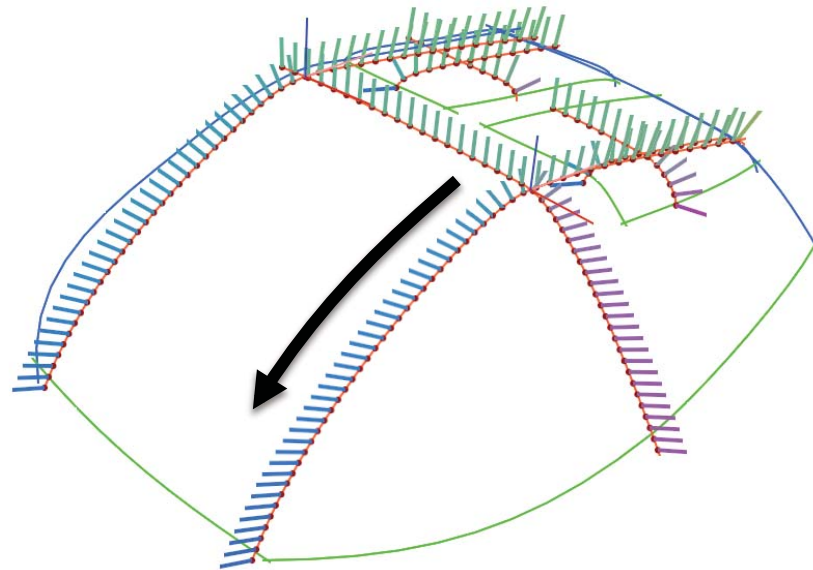
# Estimation des plans de section



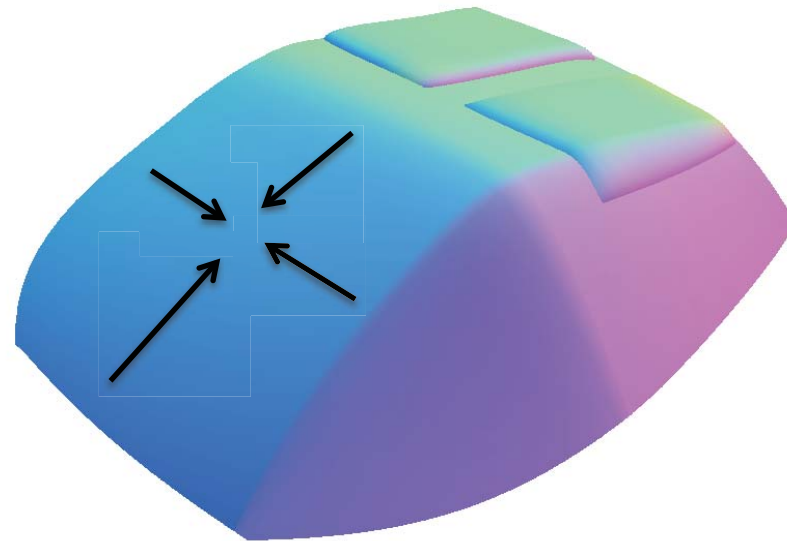
# Normales aux intersections



# Propagation le long des courbes

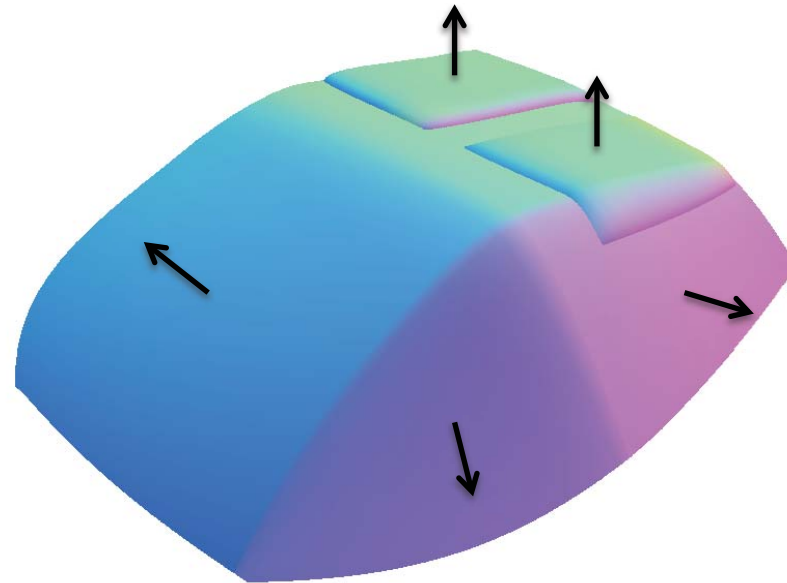


# Propagation entre les courbes [Coons]

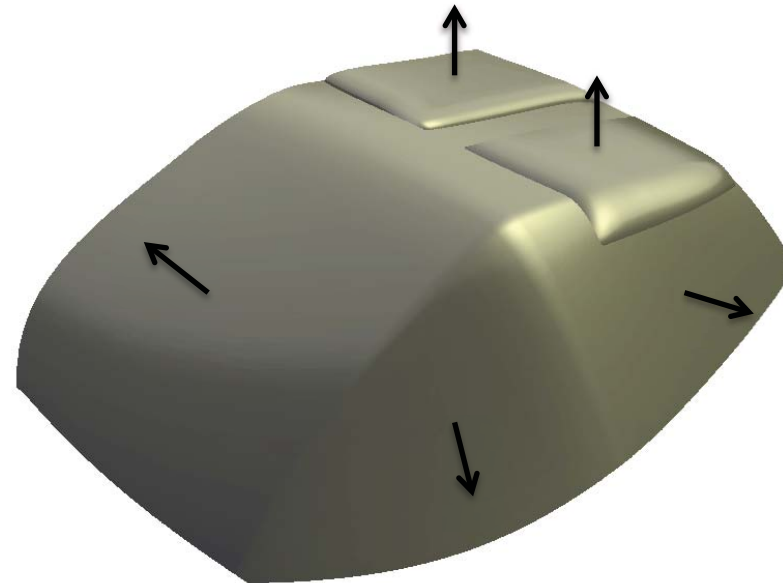




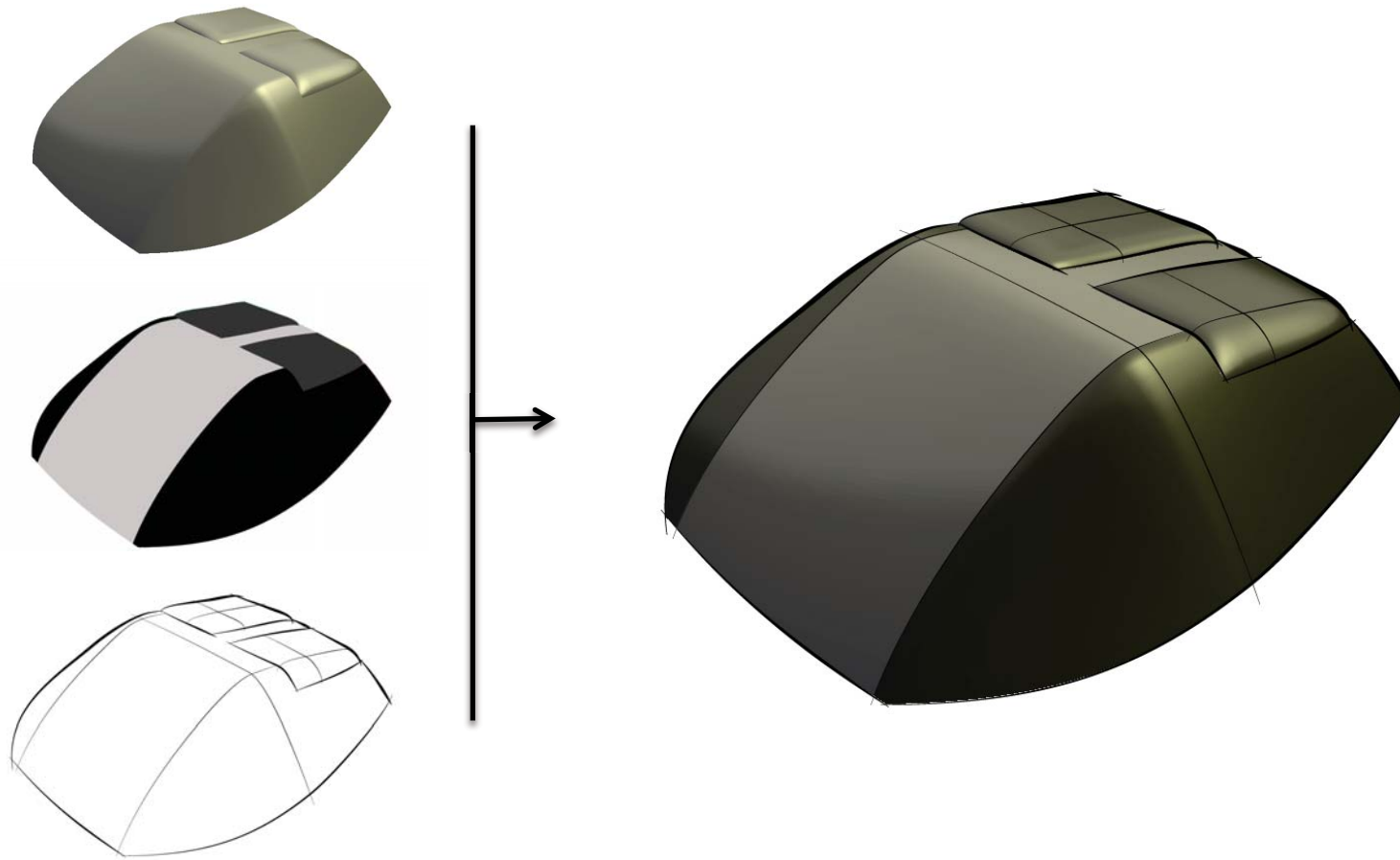
# Champs de normales



# Calcul de l'ombrage

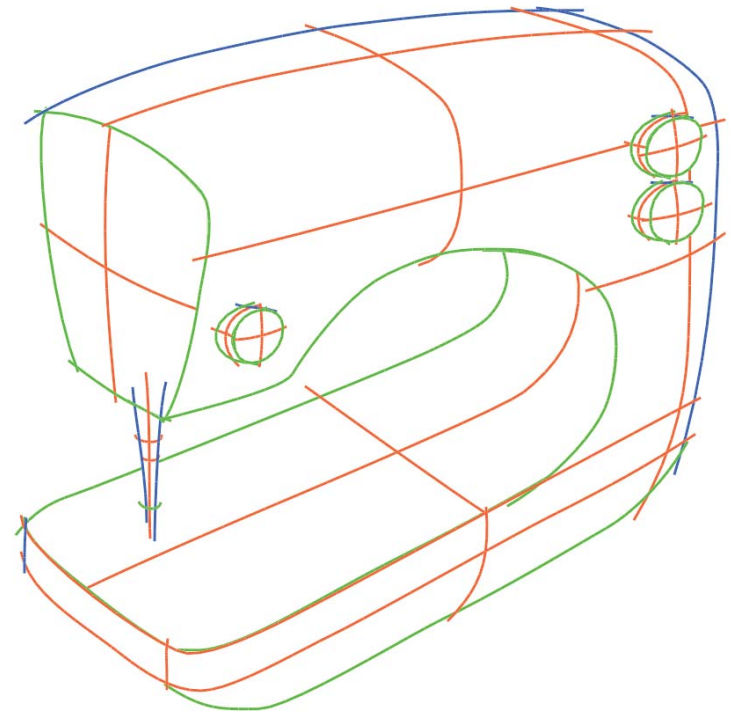
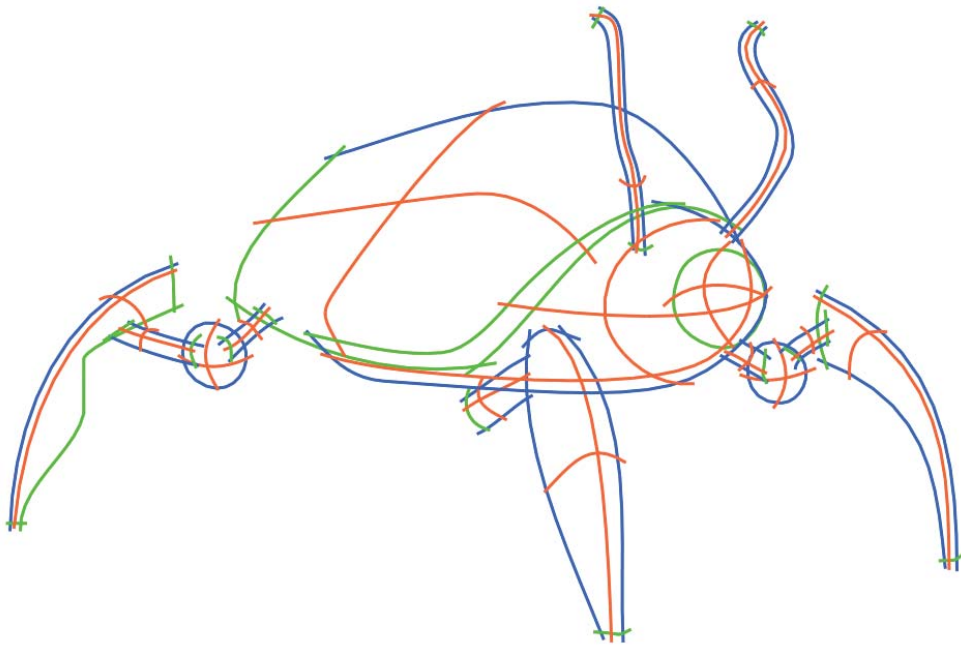


# Ajout de couleurs et de lignes

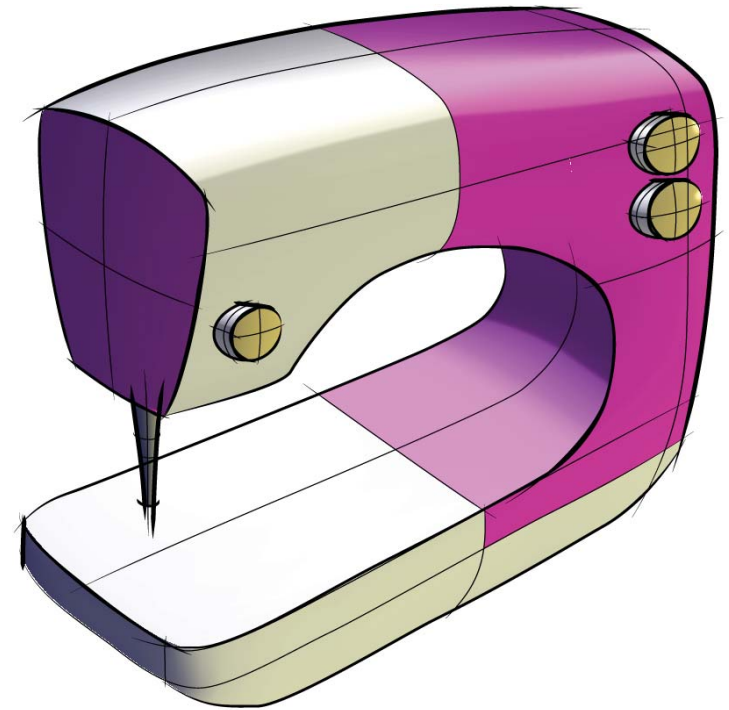




# Résultats

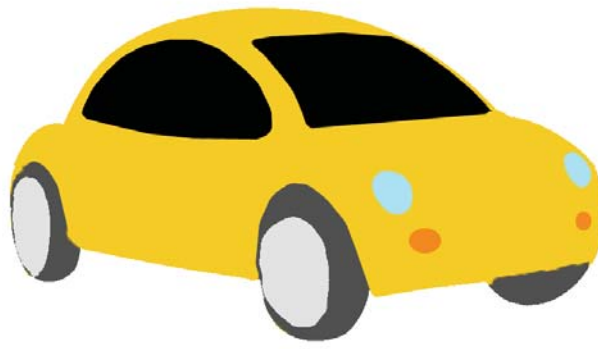
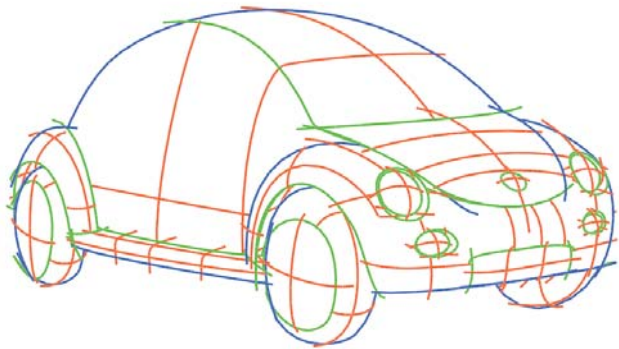
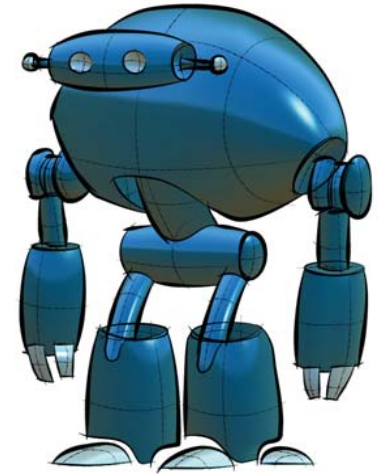
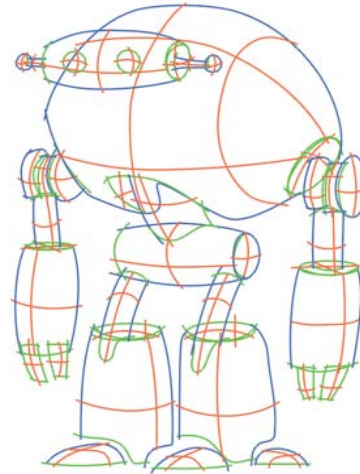
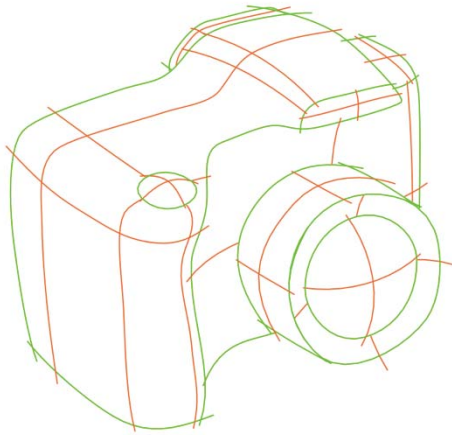


# Résultats

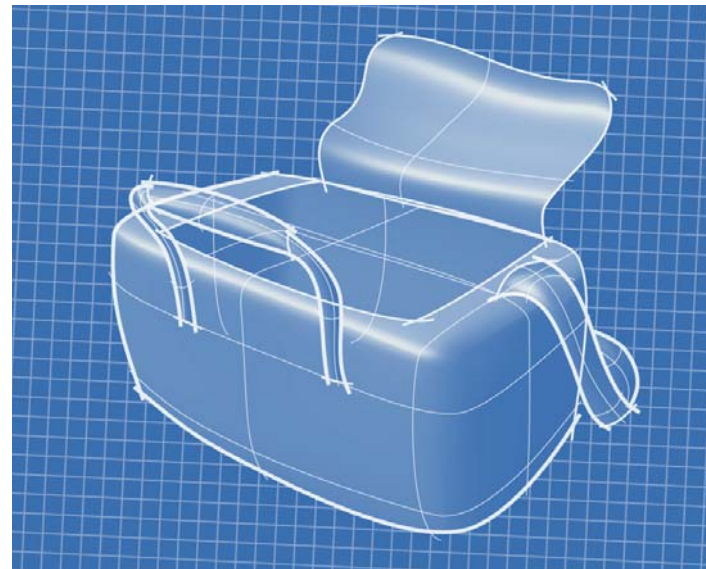
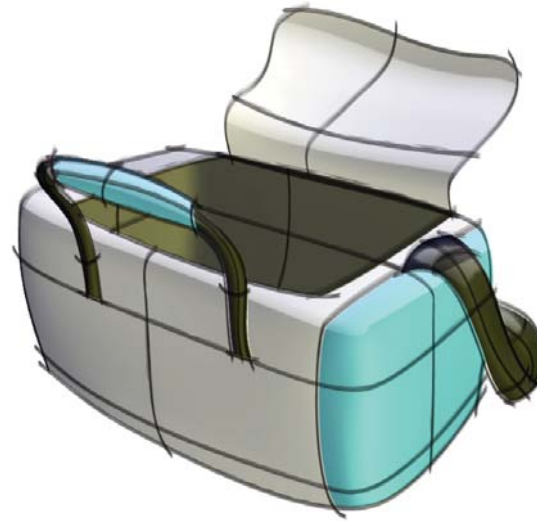




# Résultats supplémentaires



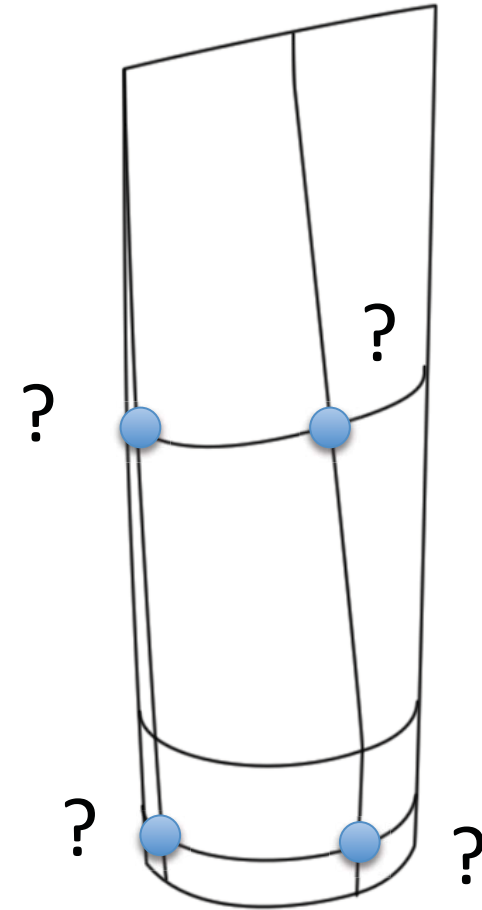
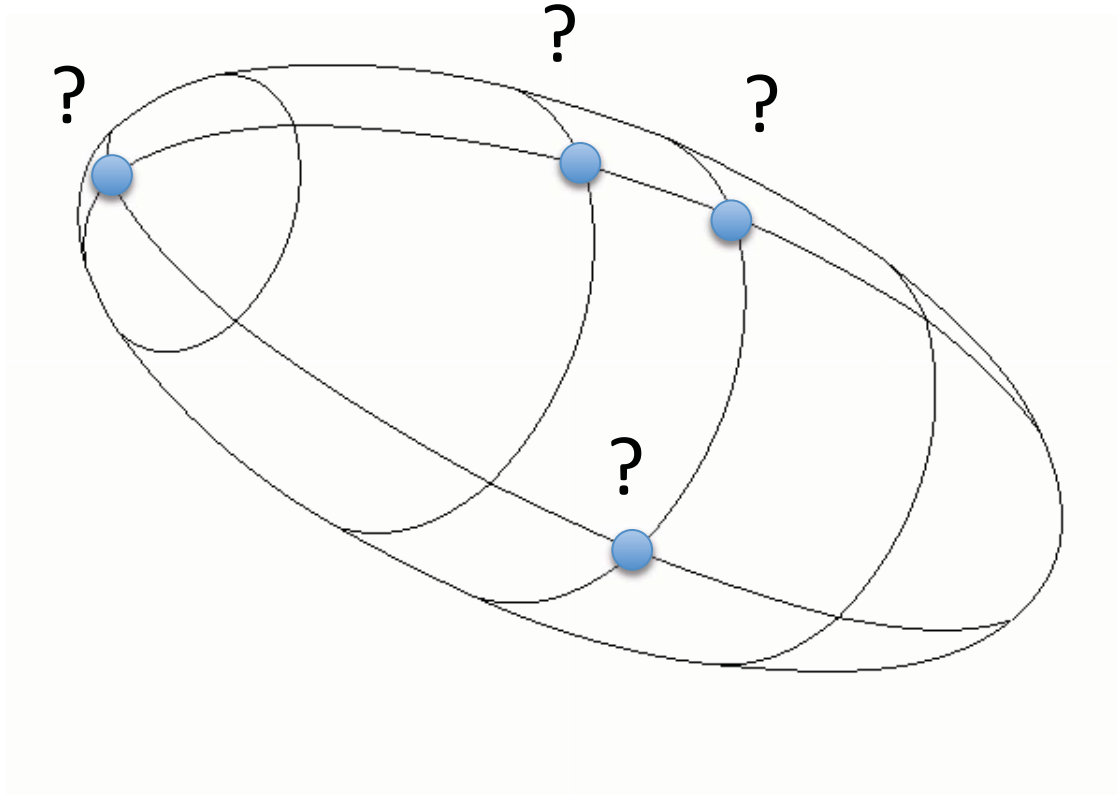
# Variations d'apparence



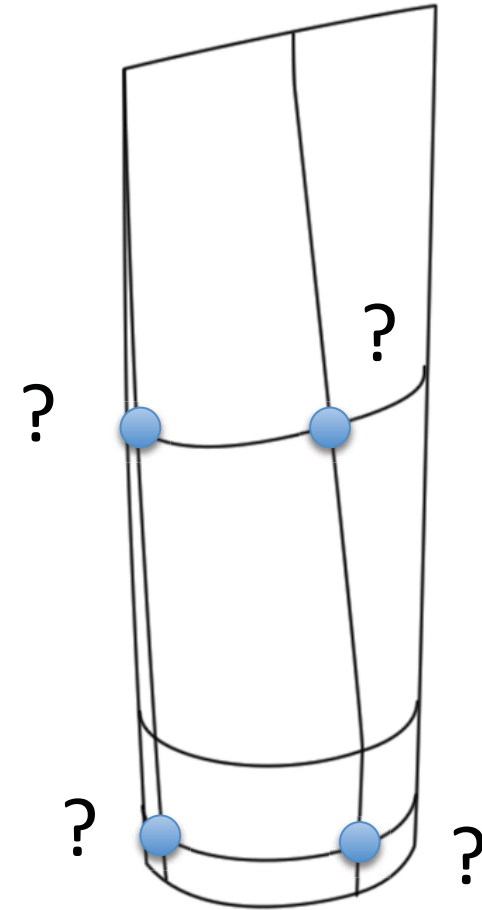
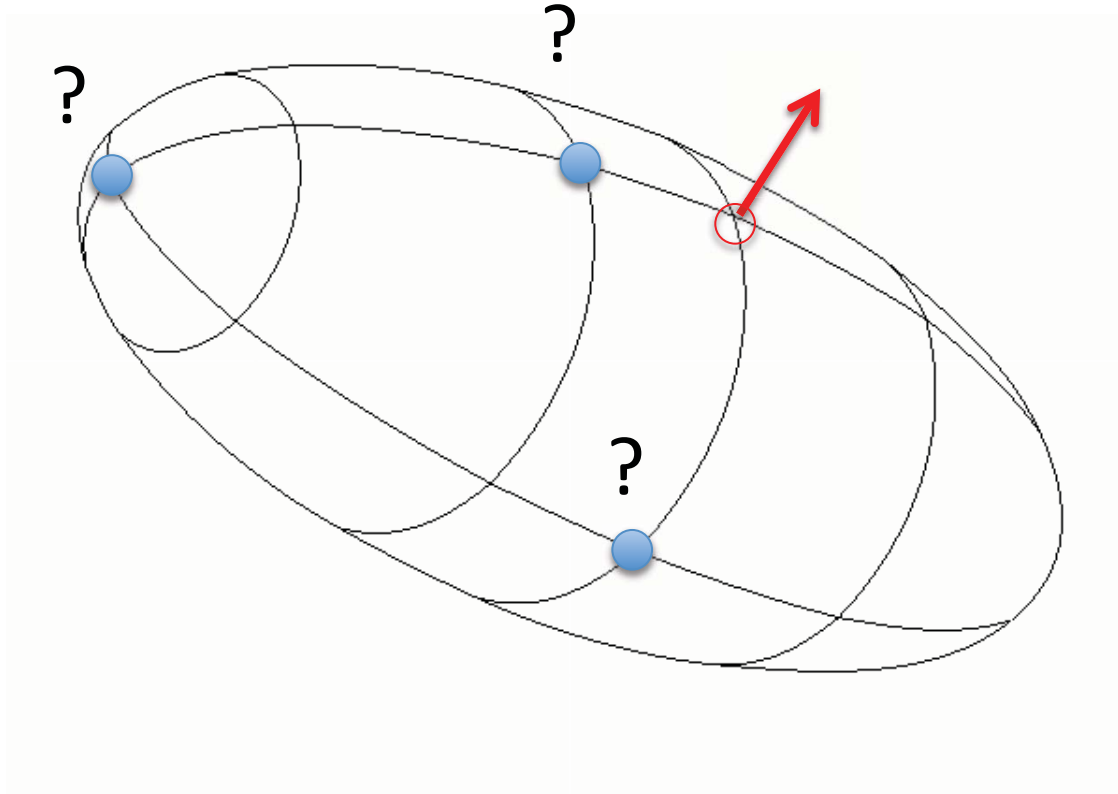
# Méthodologie

- Propriétés mathématiques du dessin
  - Comment les designers dessinent ?
  - Comment perçoit-on les dessins ?
- Implémentation sous forme d'algorithmes
- **Validation avec études perceptuelles**

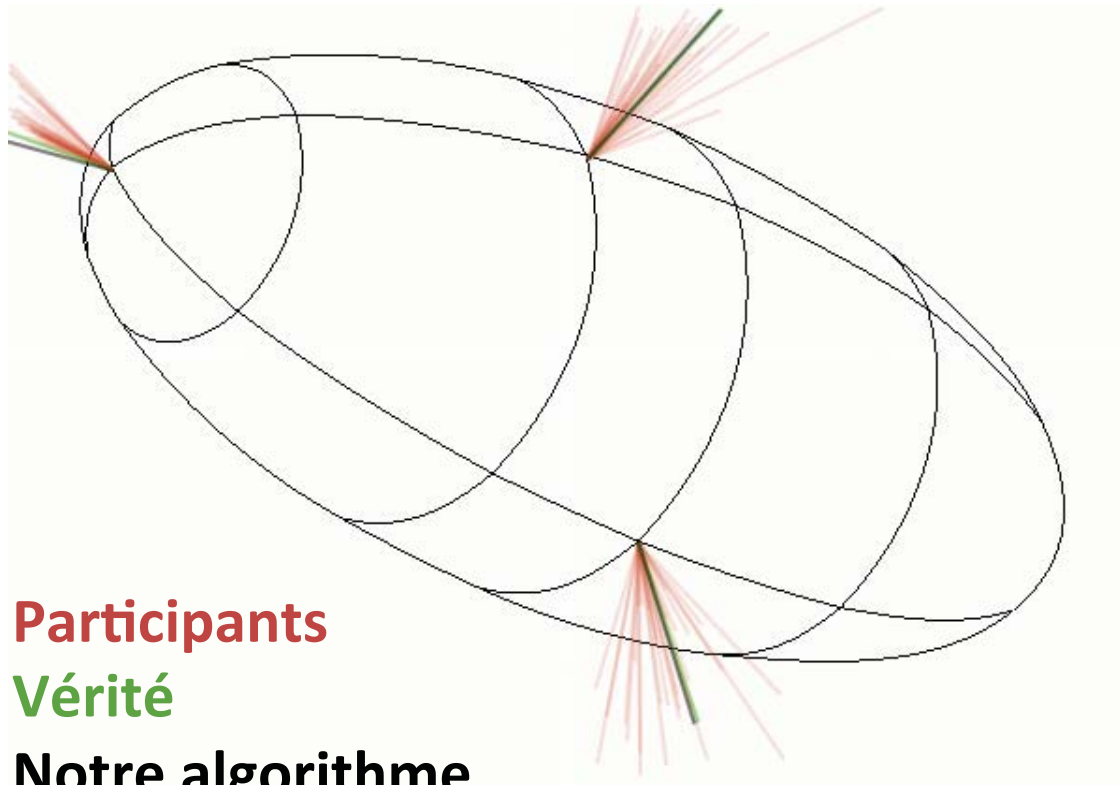
# Validation perceptuelle



# Validation perceptuelle



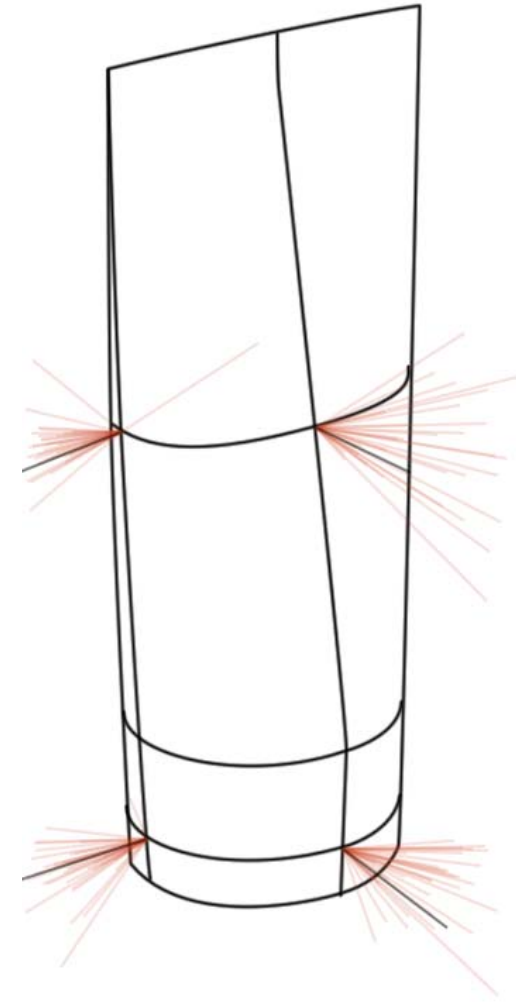
# Validation perceptuelle



**Participants**

**Vérité**

**Notre algorithme**



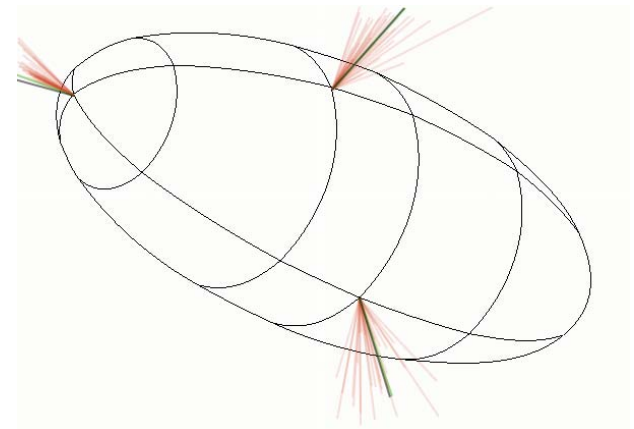
# Validation perceptuelle

## Différence médiane:

Différence entre participants 10.6°

Erreur des participants 8.3°

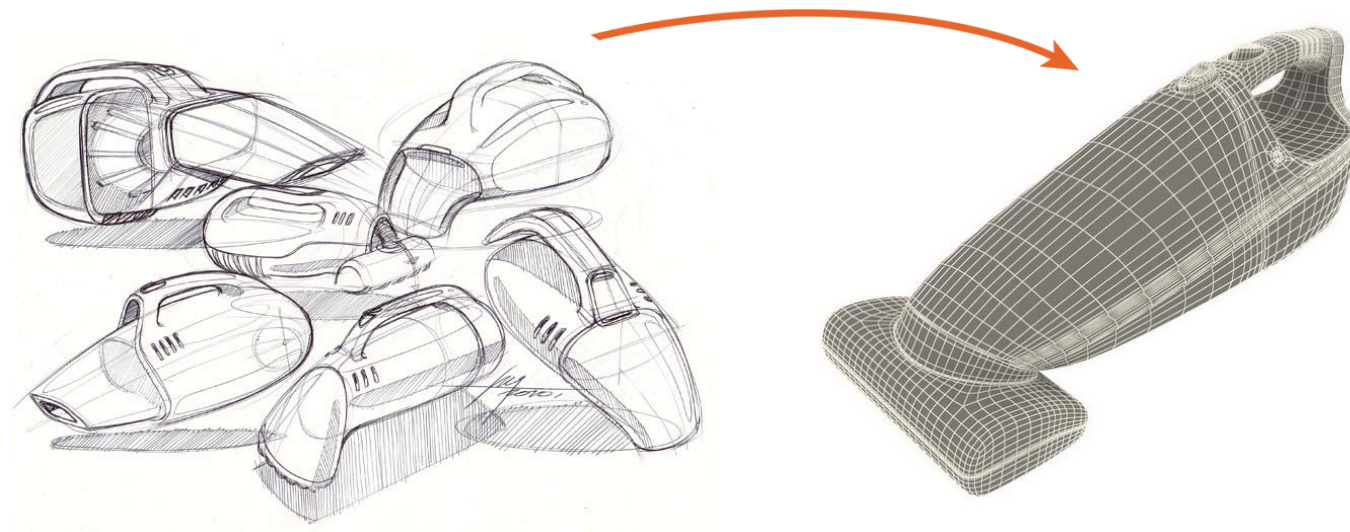
Erreur de l'algorithme 2.3°





# Pour aller plus loin...

- A quel objet 3D correspondent ces normales?



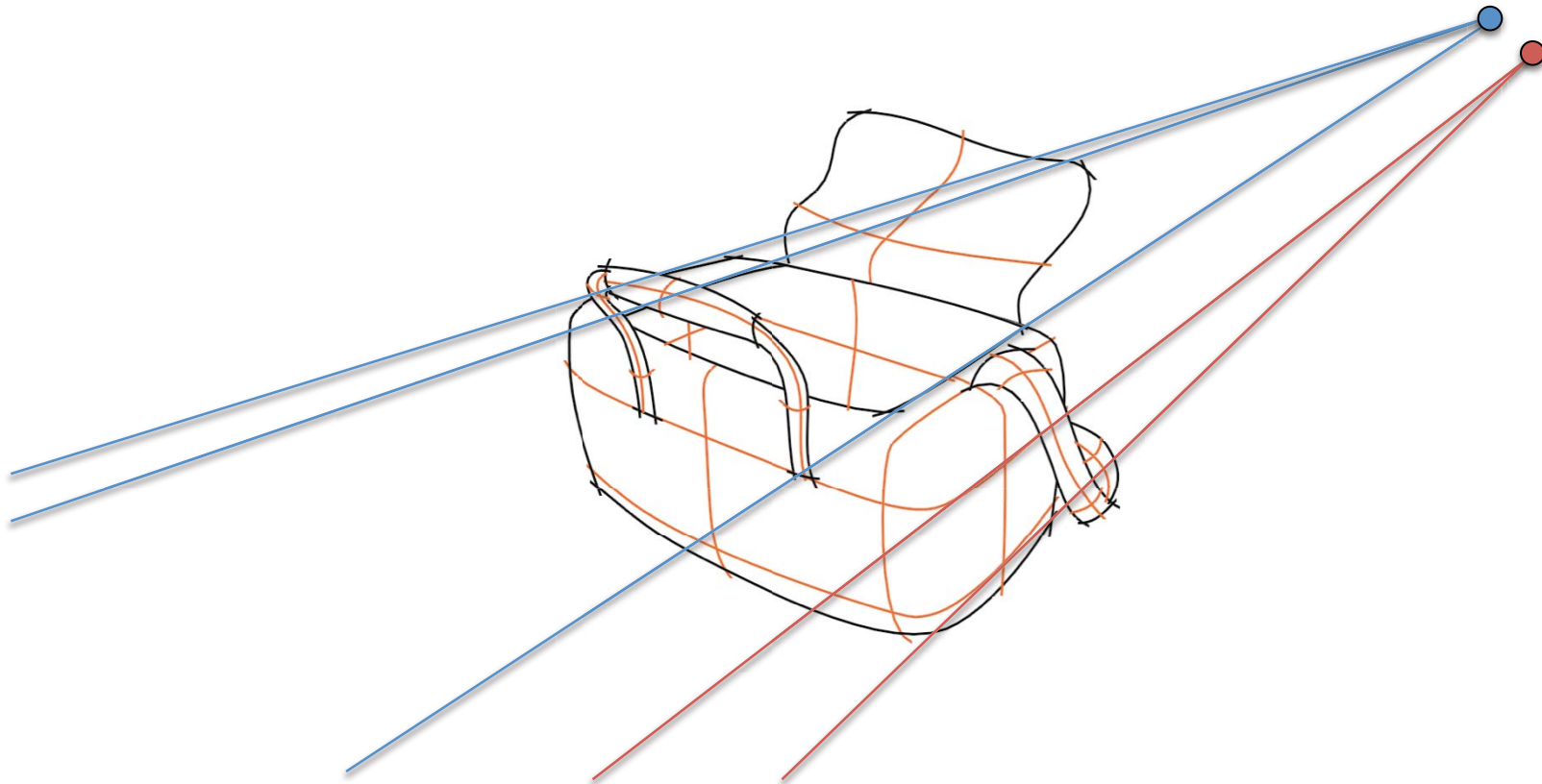
# Pour aller plus loin...

- A quel objet 3D correspondent ces normales?
- Les dessins sont trop imprécis



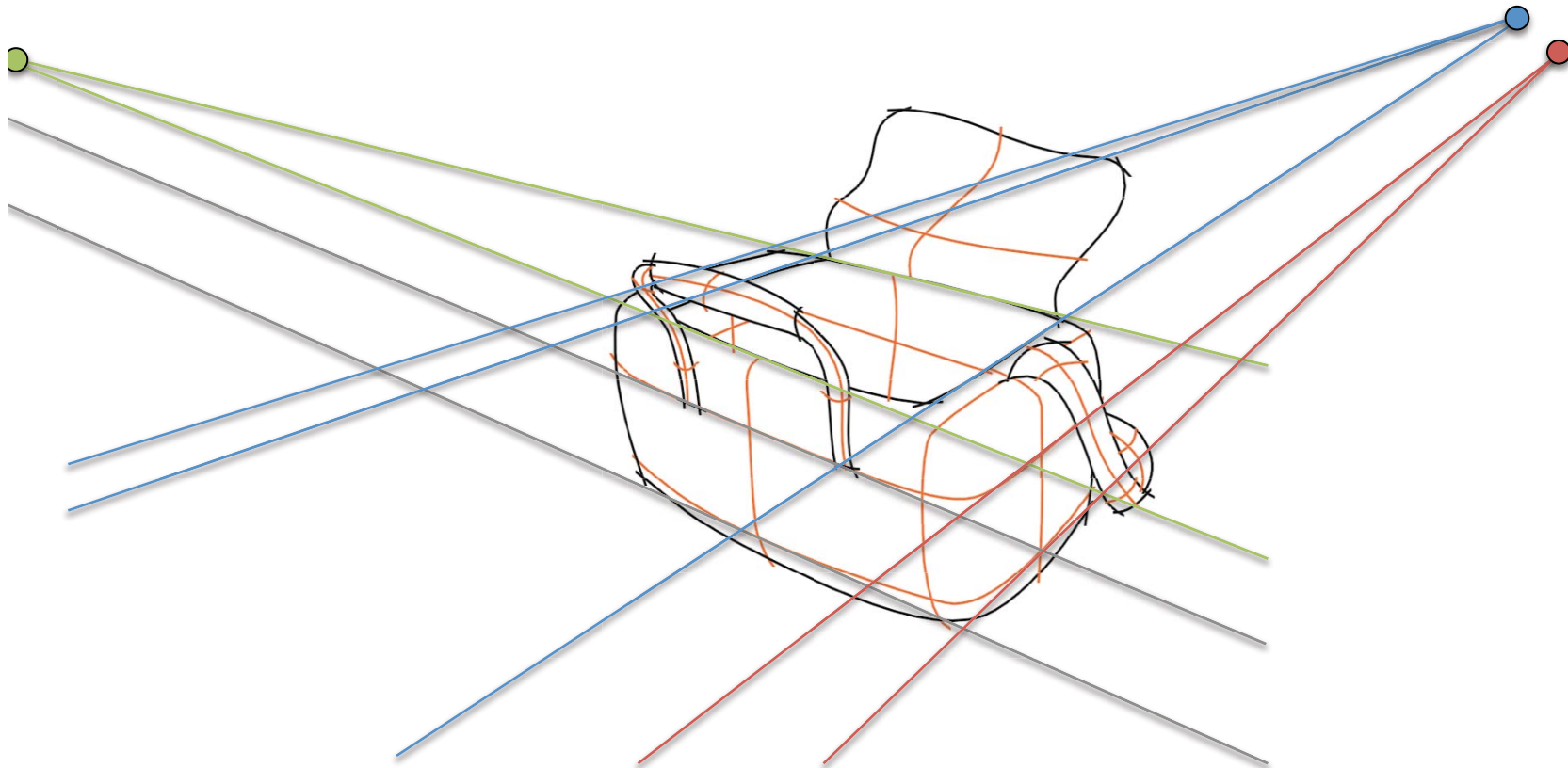
# Pour aller plus loin...

- A quel objet 3D correspondent ces normales?
- Les dessins sont trop imprécis



# Pour aller plus loin...

- A quel objet 3D correspondent ces normales?
- Les dessins sont trop imprécis



# True2Form

## 3D Curve Networks from 2D Sketches via Selective Regularization

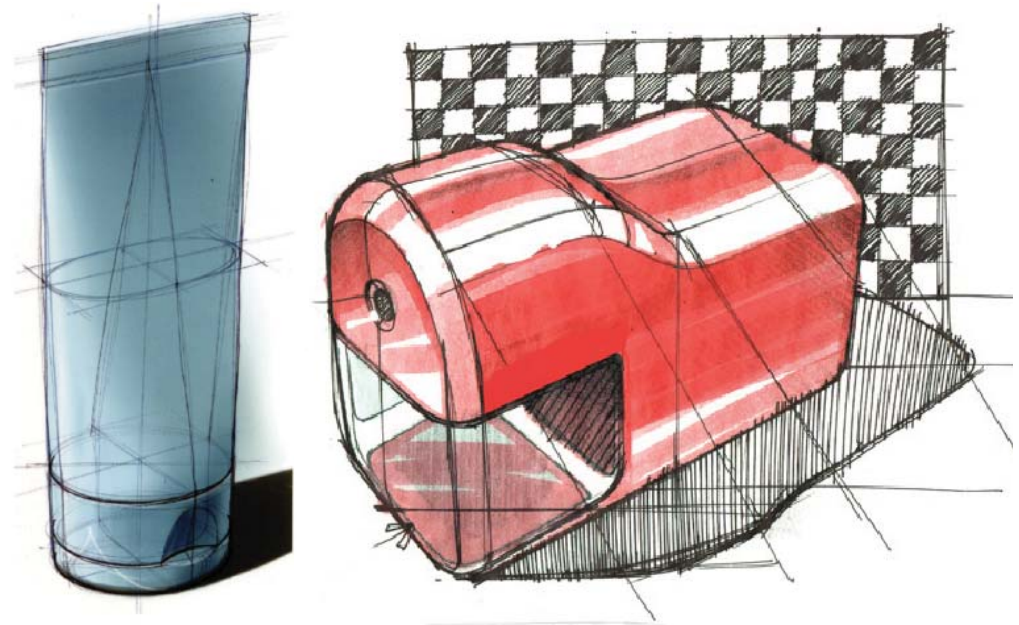
Baoxuan Xu<sup>1</sup>, William Chang<sup>1</sup>, Alla Sheffer<sup>1</sup>,  
Adrien Bousseau<sup>2</sup>, James McCrae<sup>3</sup>, Karan Singh<sup>3</sup>

*SIGGRAPH 2014*



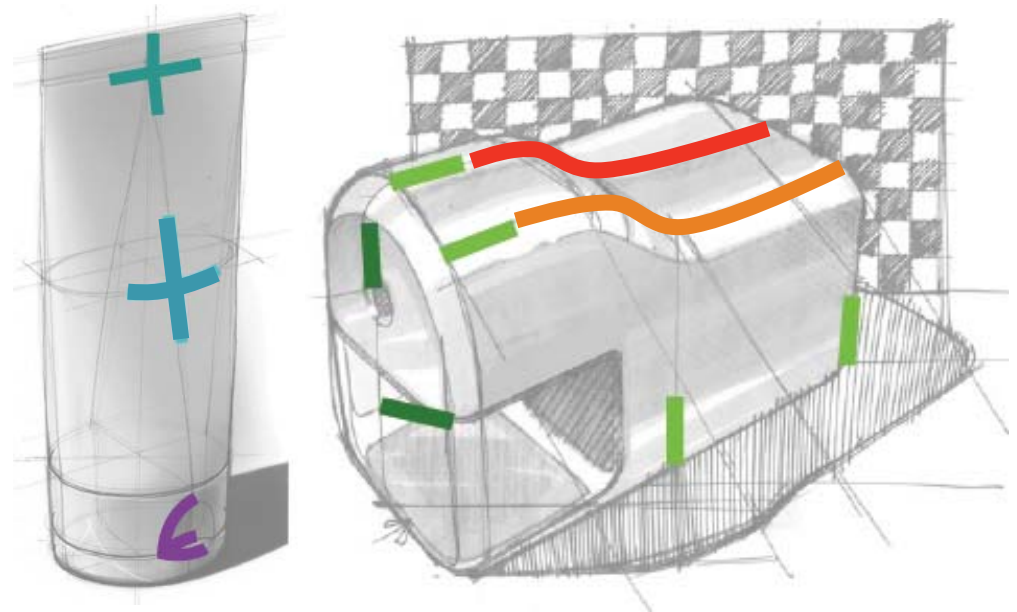
# Ajouter de la régularité

- Indices de régularité



# Ajouter de la régularité

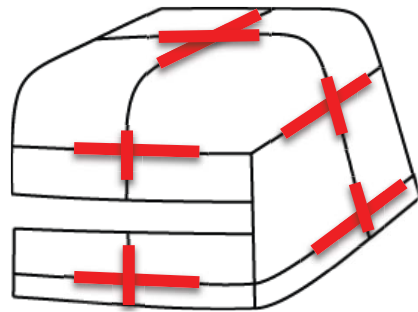
- Indices de régularité
  - Perpendiculaire
  - Parallèle
  - Symétrie
  - Planaire



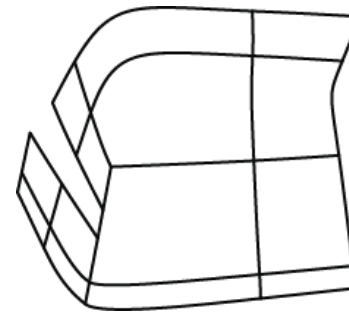
- Difficulté: quand appliquer les contraintes?

# Reconstruction progressive

1. Applique d'abord la perpendicularité



Dessin

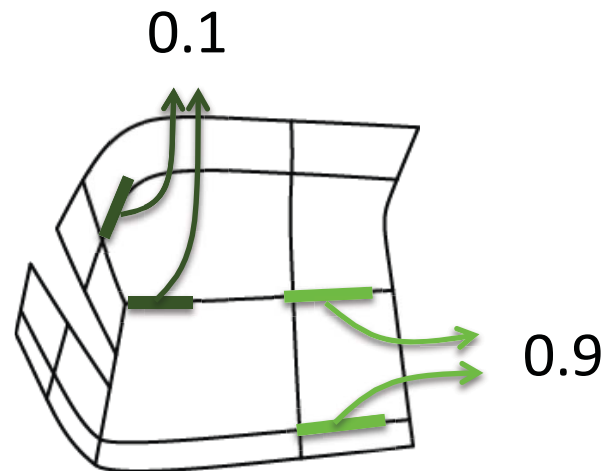


Reconstruction 3D  
vue de coté



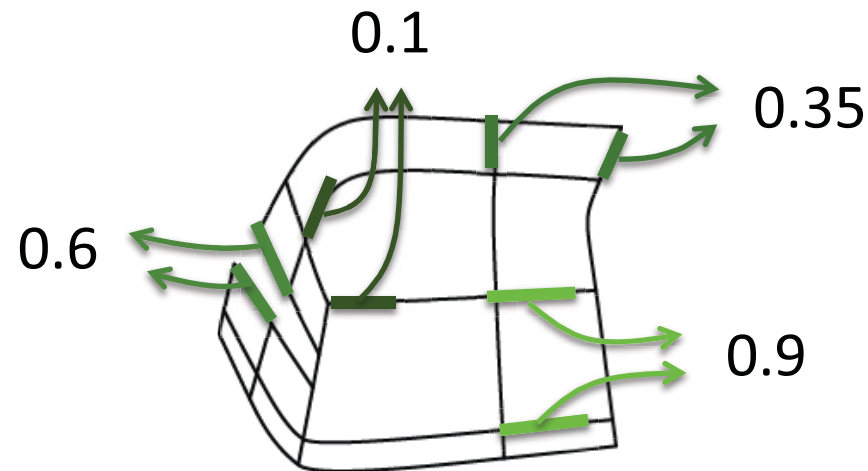
# Reconstruction progressive

1. Applique d'abord la perpendicularité
2. Mesure la régularité en 3D (ici parallélisme)



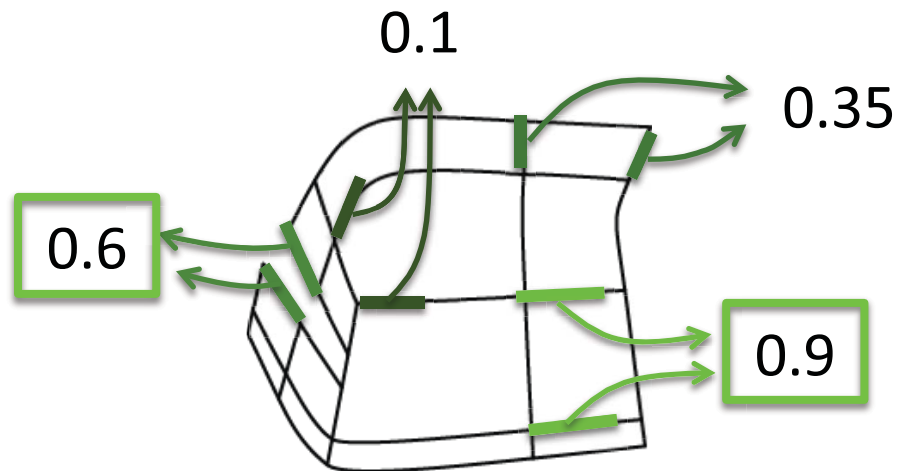
# Reconstruction progressive

1. Applique d'abord la perpendicularité
2. Mesure la régularité en 3D (ici parallélisme)



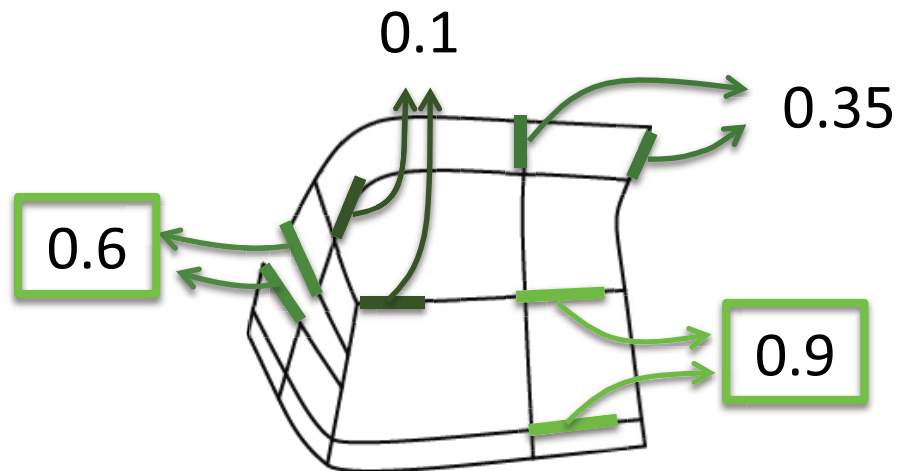
# Reconstruction progressive

1. Applique d'abord la perpendicularité
2. Mesure la régularité en 3D
3. Fixer un seuil?



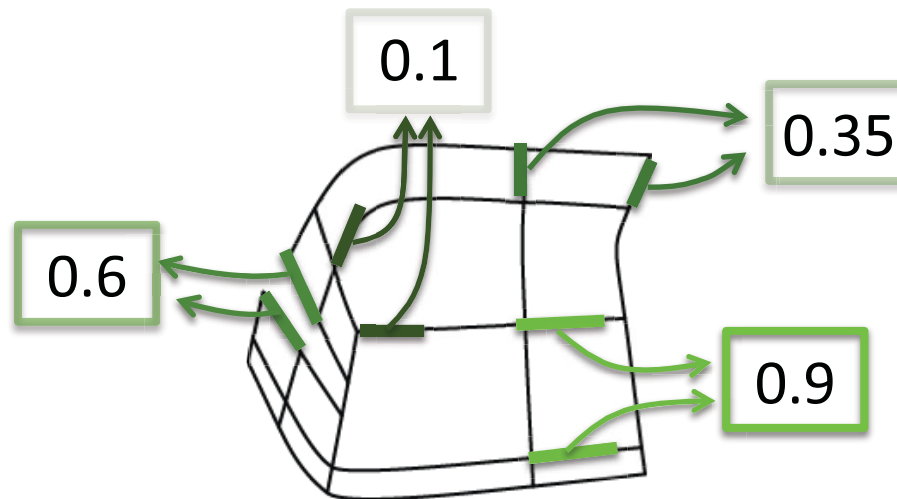
# Reconstruction progressive

1. Applique d'abord la perpendicularité
2. Mesure la régularité en 3D
3. ~~Fixer un seuil?~~ Arbitraire, trop strict



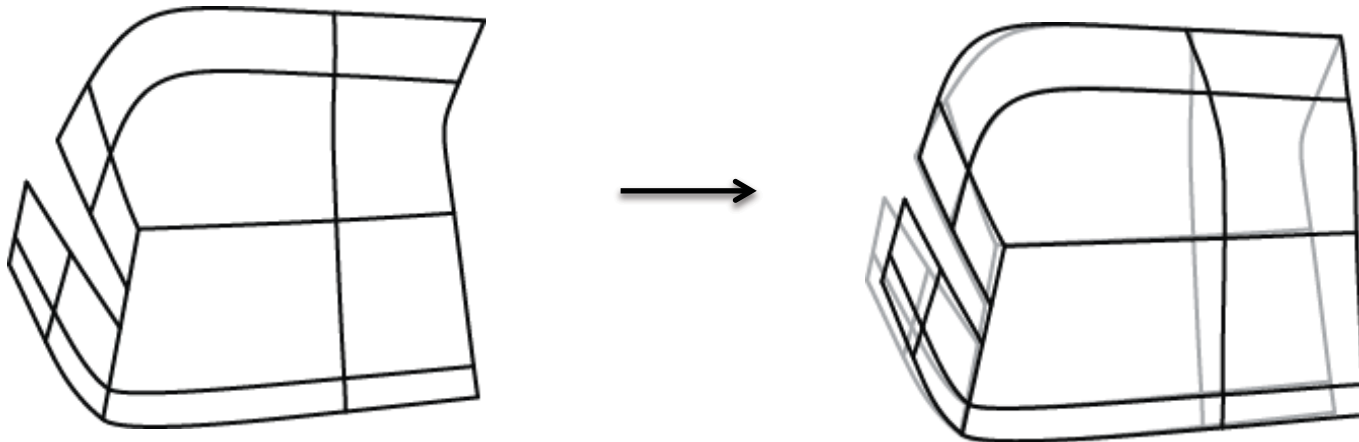
# Reconstruction progressive

1. Applique d'abord la perpendicularité
2. Mesure la régularité en 3D
3. Indice de confiance sur la régularité



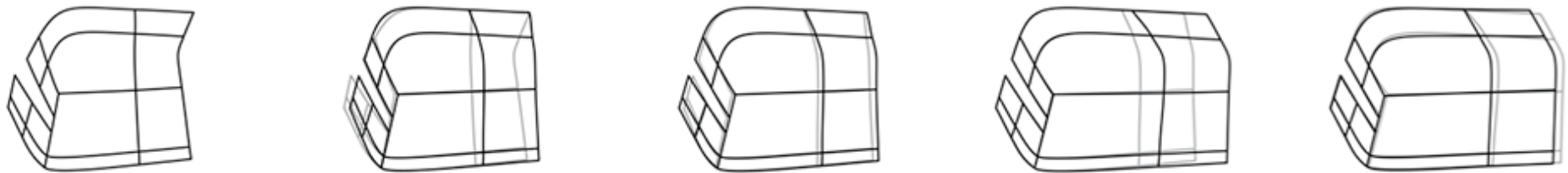
# Reconstruction progressive

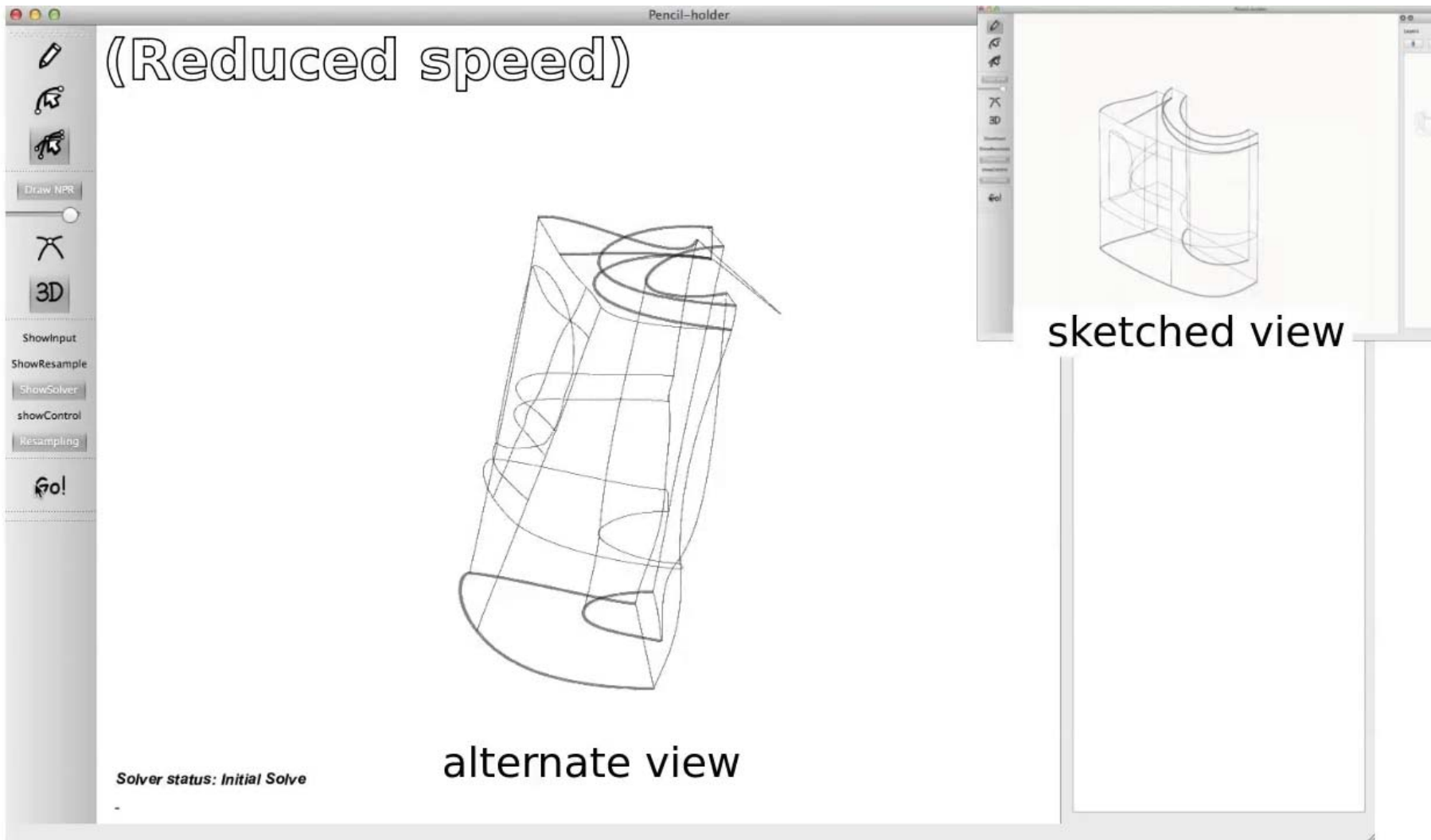
1. Applique d'abord la perpendicularité
2. Mesure la régularité en 3D
3. Indice de confiance sur la régularité



# Reconstruction progressive

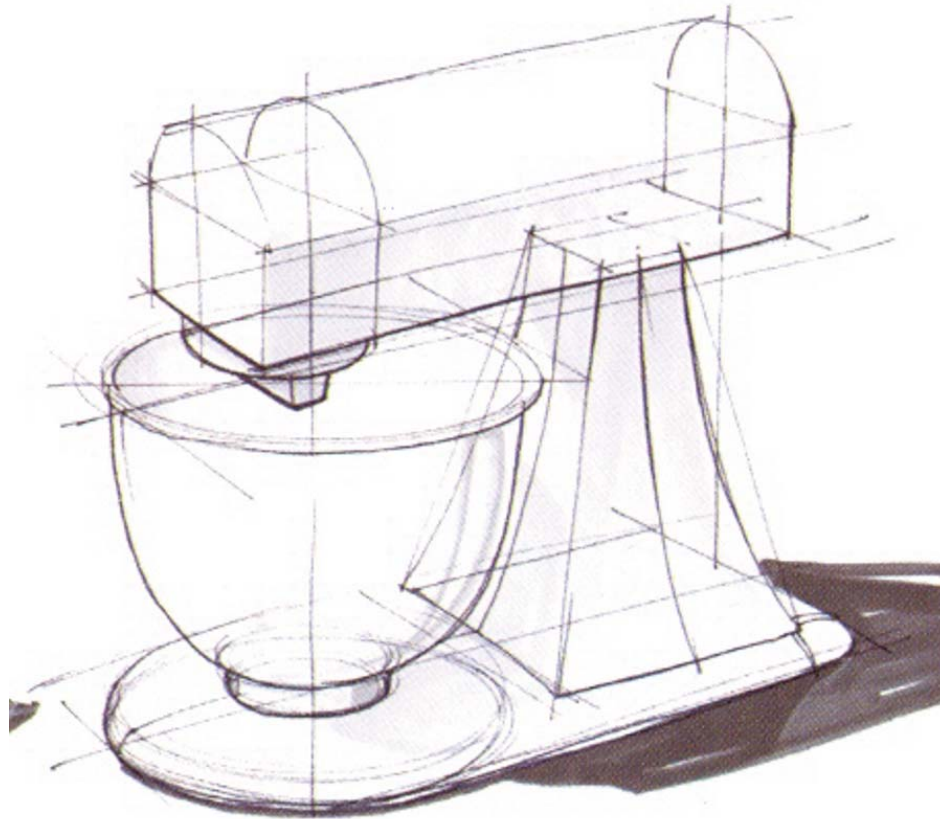
1. Applique d'abord la perpendicularité
2. Mesure la régularité en 3D
3. Indice de confiance sur la régularité
4. Répète jusqu'à stabilité





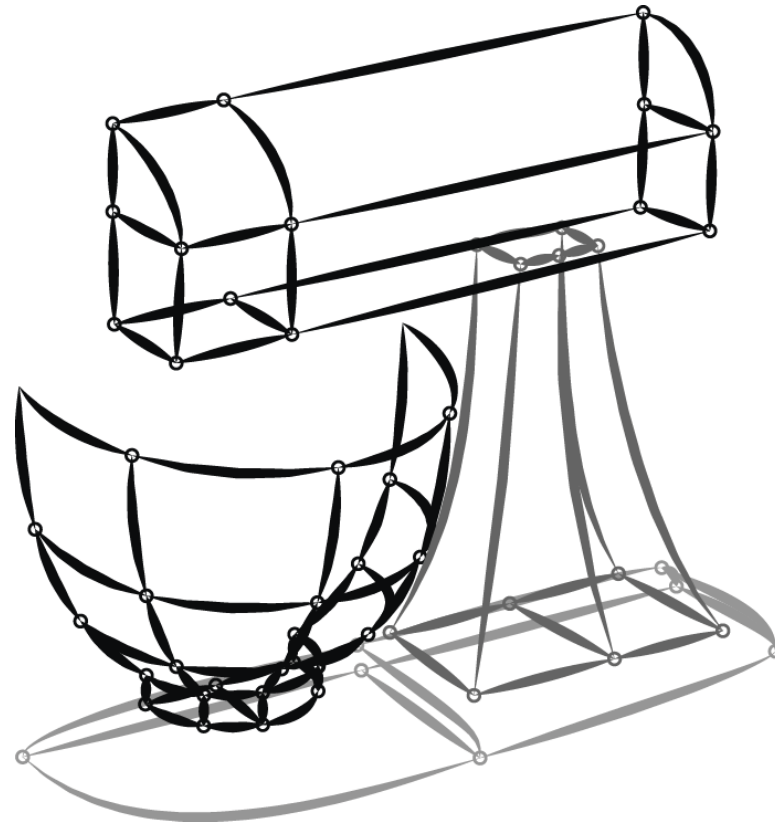


# Inspiration

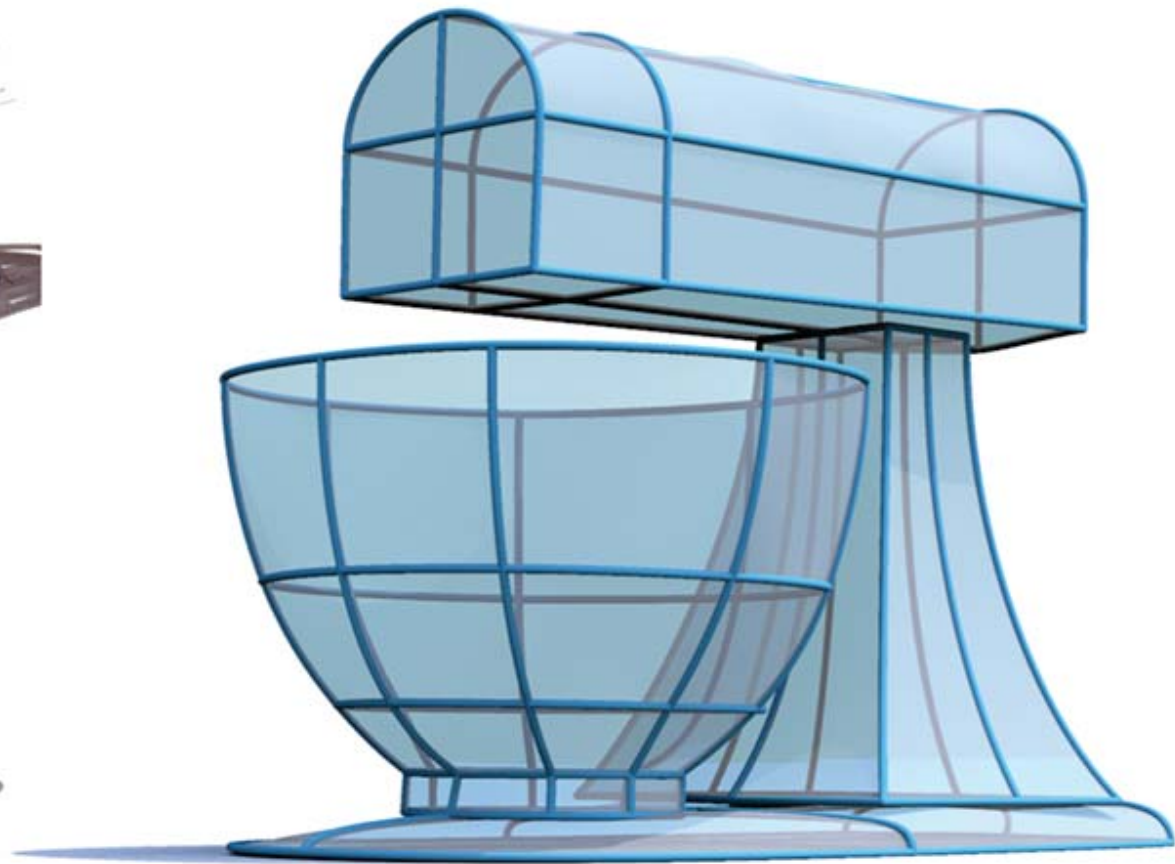
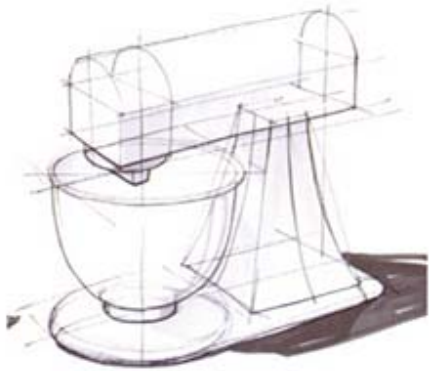


[Eissen et Steur 2008, 2011]

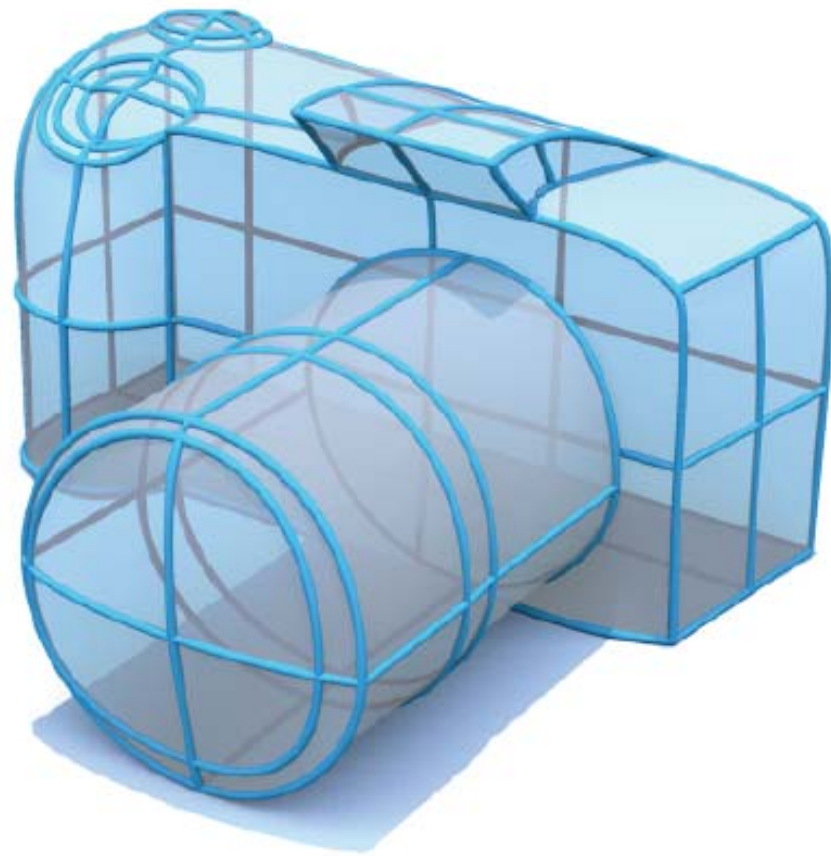
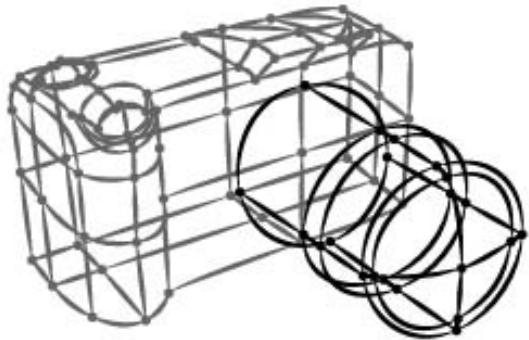
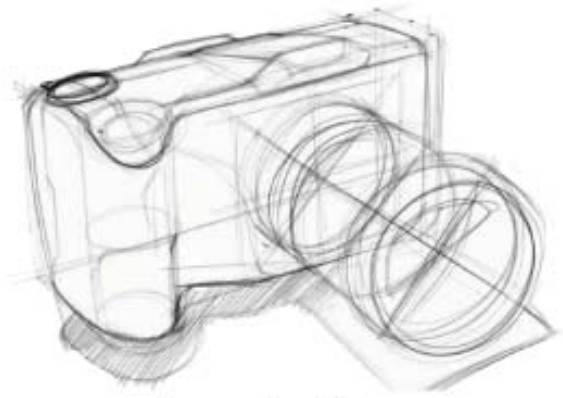
# Courbes tracées



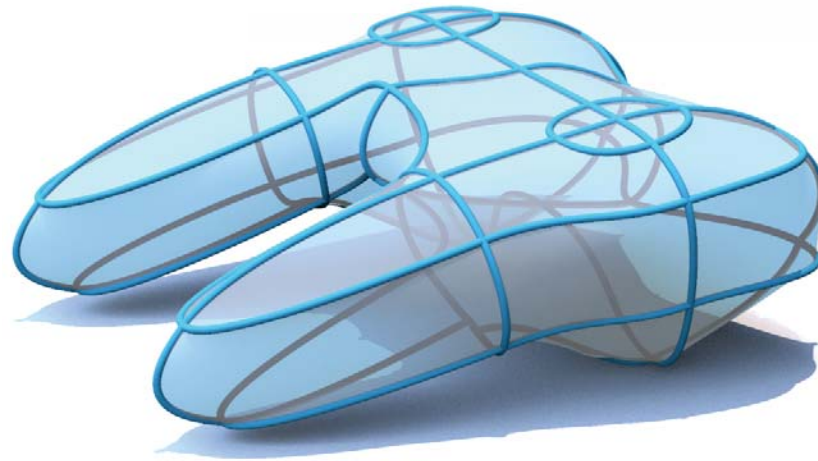
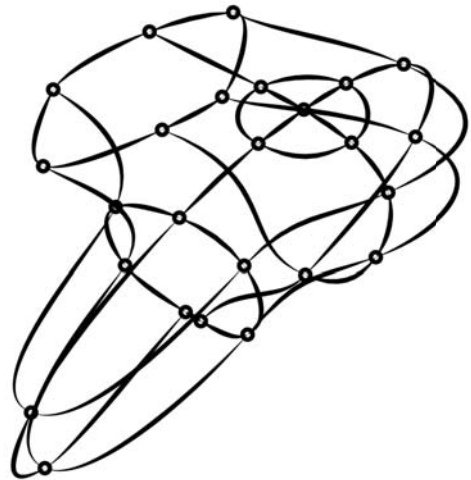
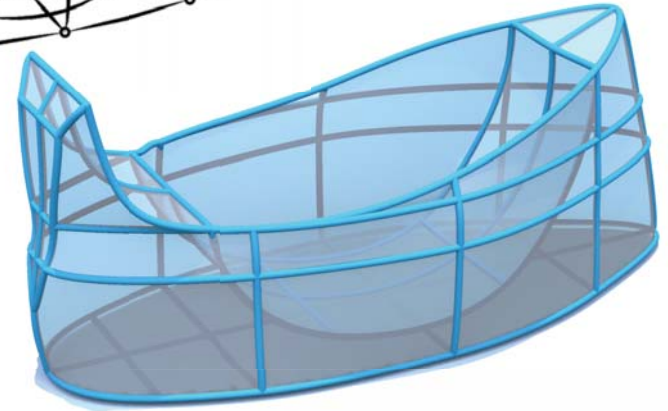
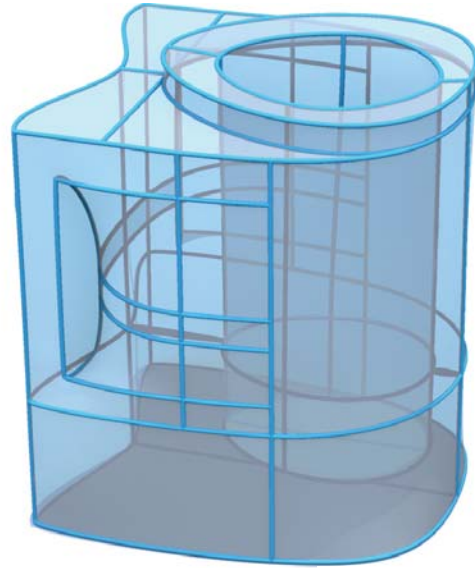
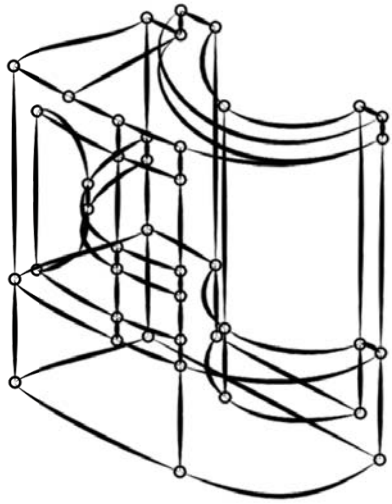
# Résultats



# Résultats



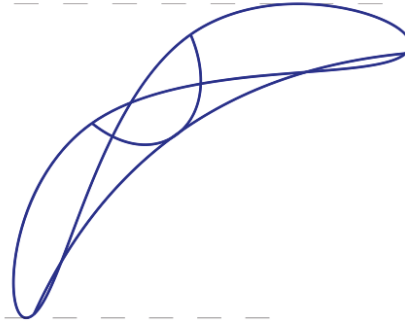
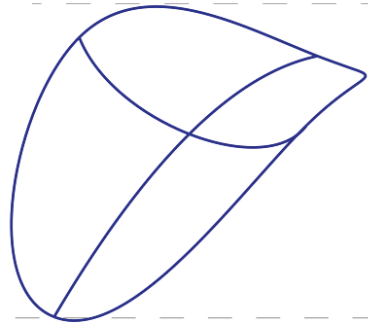
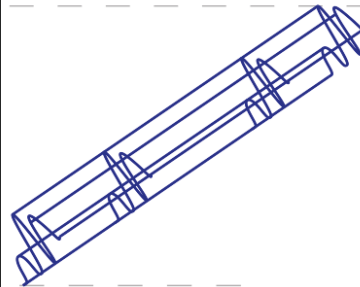
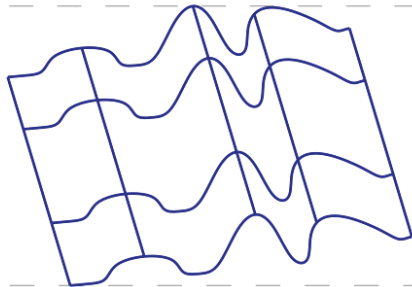
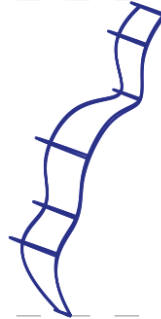
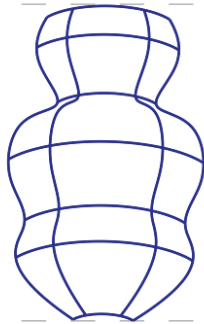
# Résultats



# Validation

Croquis

Référence  
vue de coté



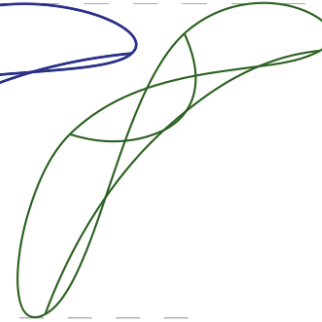
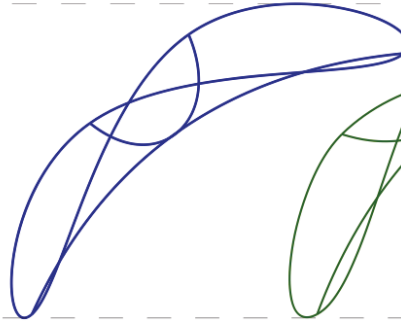
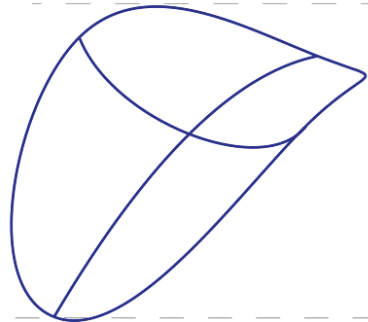
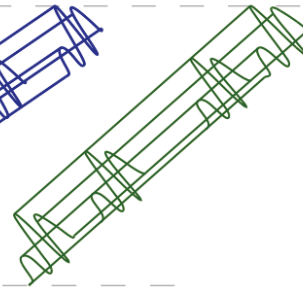
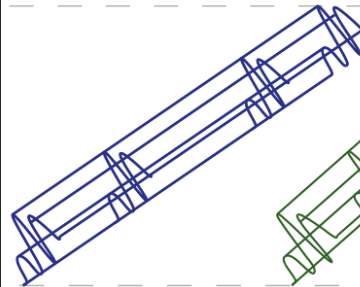
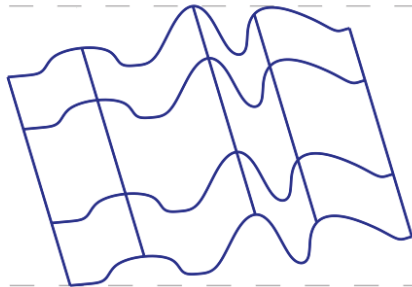
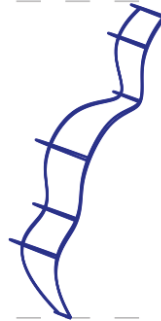
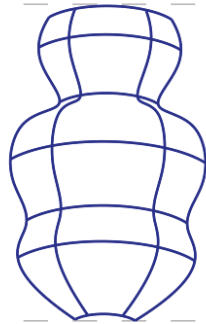


# Validation

Croquis

Référence  
vue de coté

Résultat



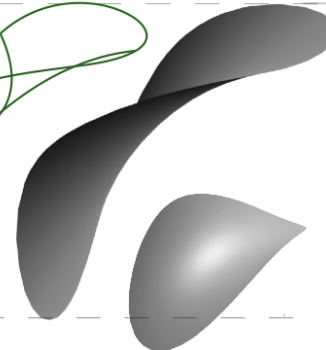
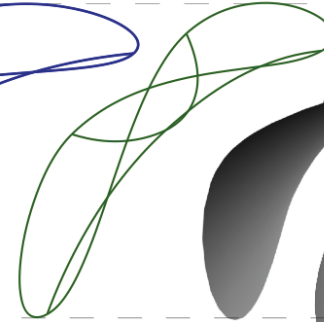
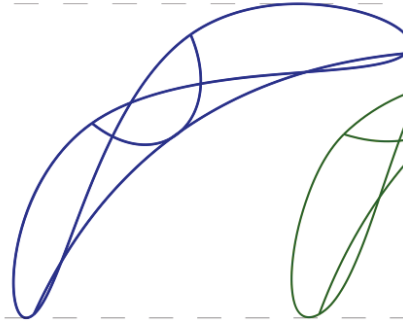
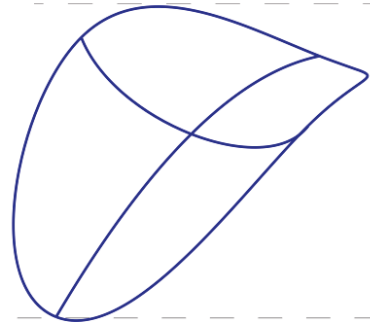
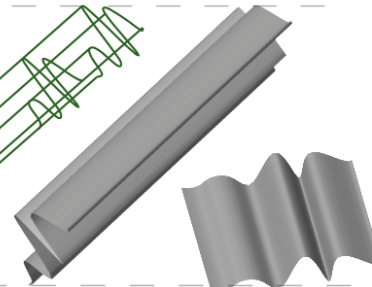
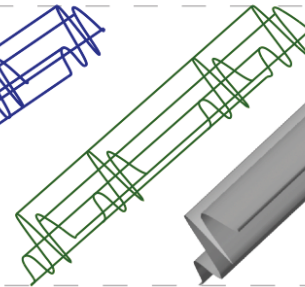
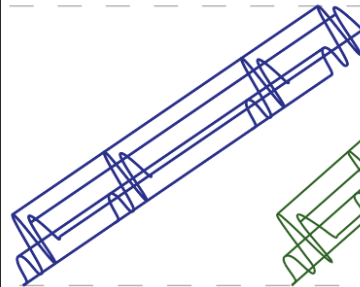
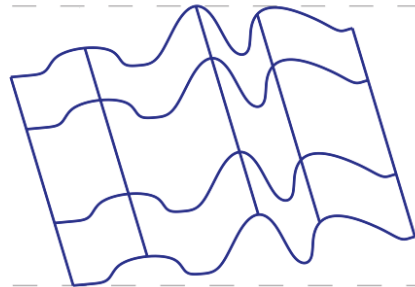
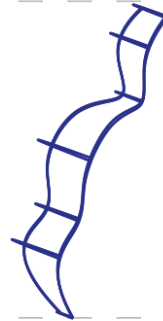
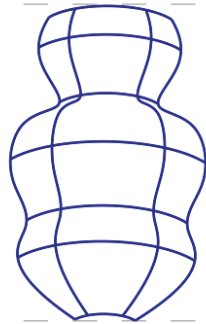
# Validation

Croquis

Référence  
vue de coté

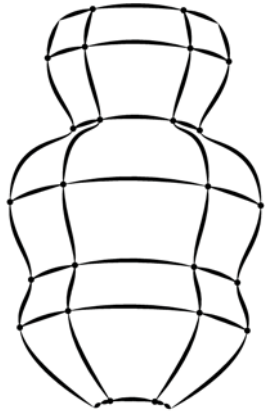
Résultat

Interprétation  
d'artiste

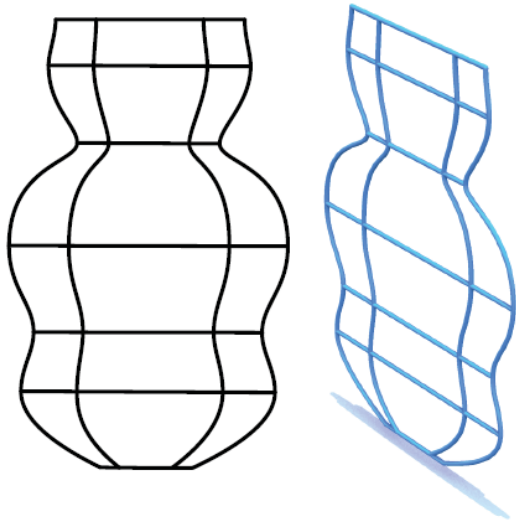




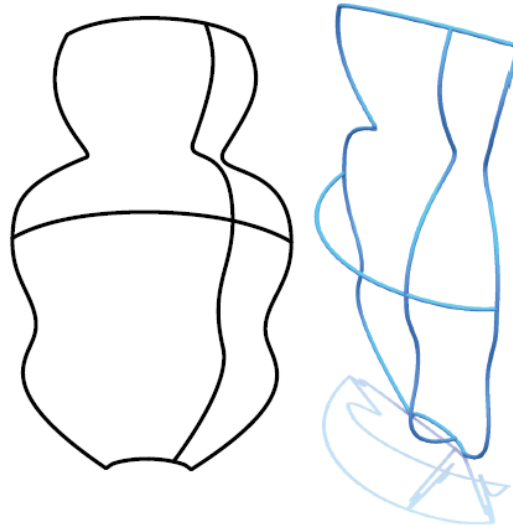
# Limitations



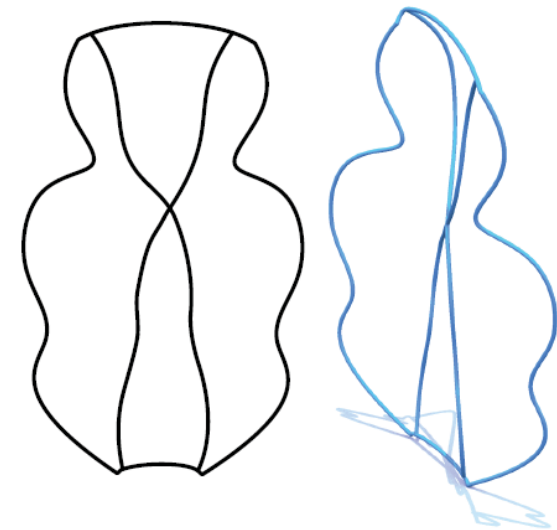
But



Vue accidentelle

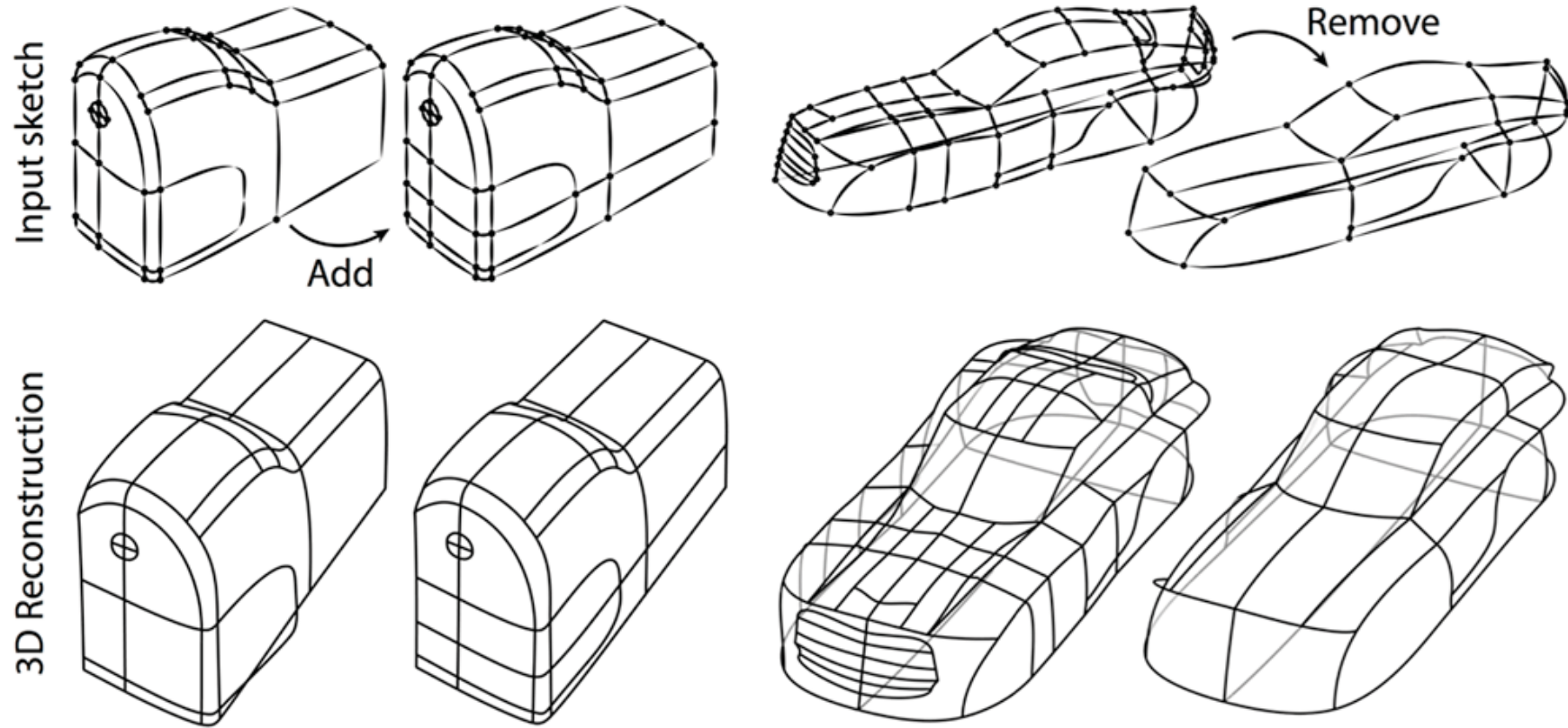


Trop peu de courbes

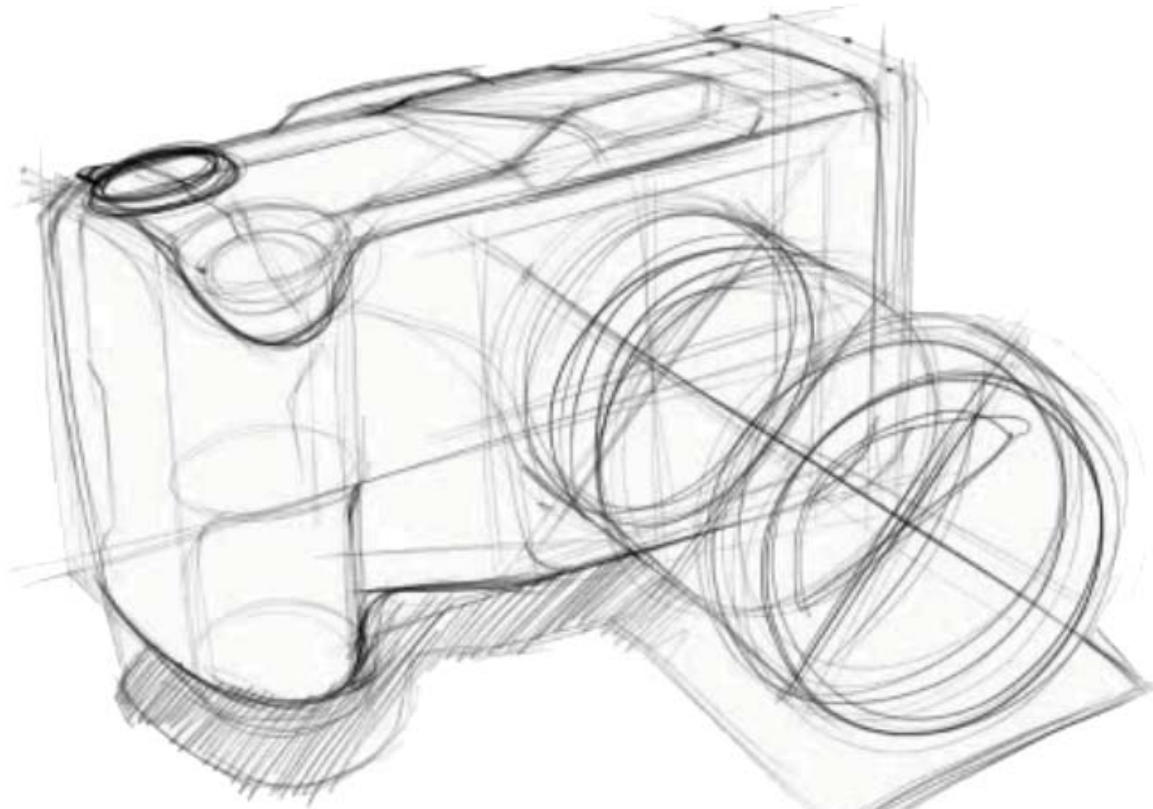


Courbes  
non orthogonales

# Robustesse



# Les croquis sont souvent composés de multiples coups de crayons



# BendFields

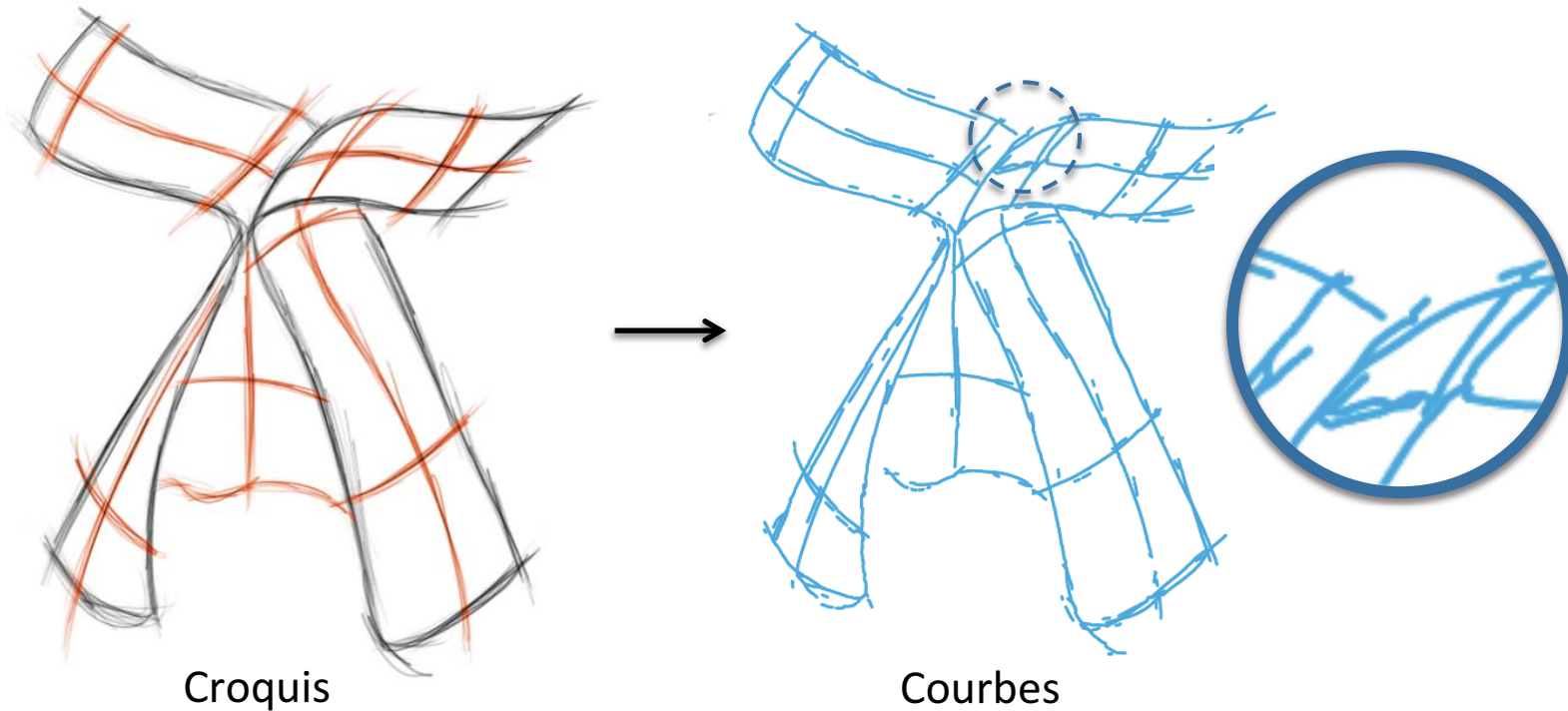
## Regularized Curvature Fields from Rough Concept Sketches

Emmanuel Iarussi, David Bommes, Adrien Bousseau

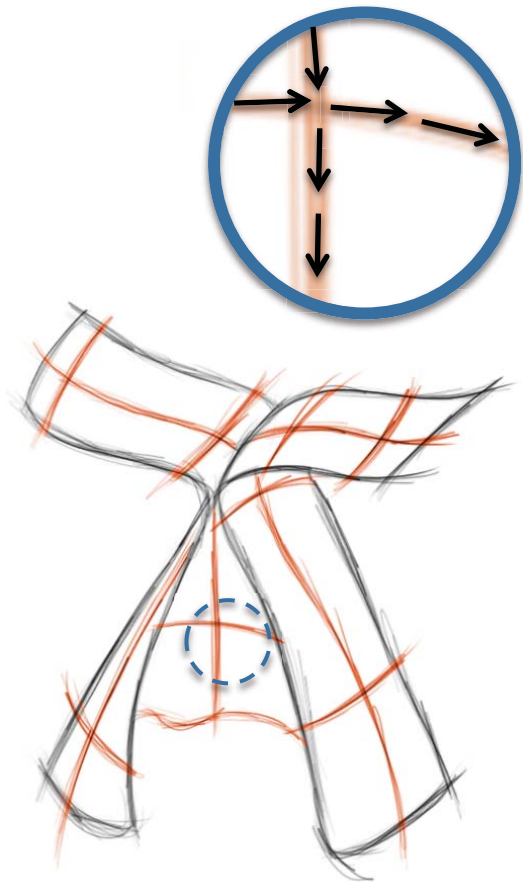
*ACM Transactions on Graphics 2015*



# Conversion automatique produit des courbes bruitées

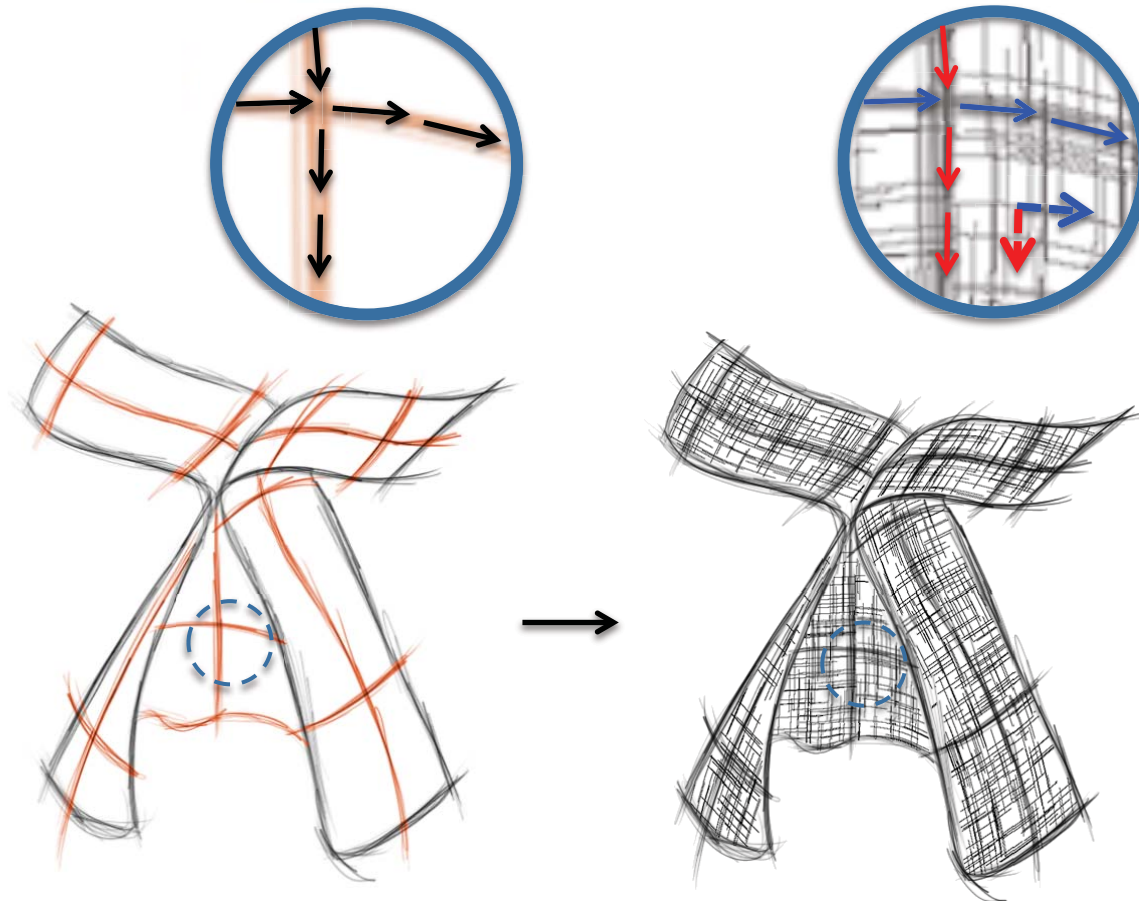


# Algorithme basé sur les pixels



Directions des coups  
de crayons

# Algorithme basé sur les pixels

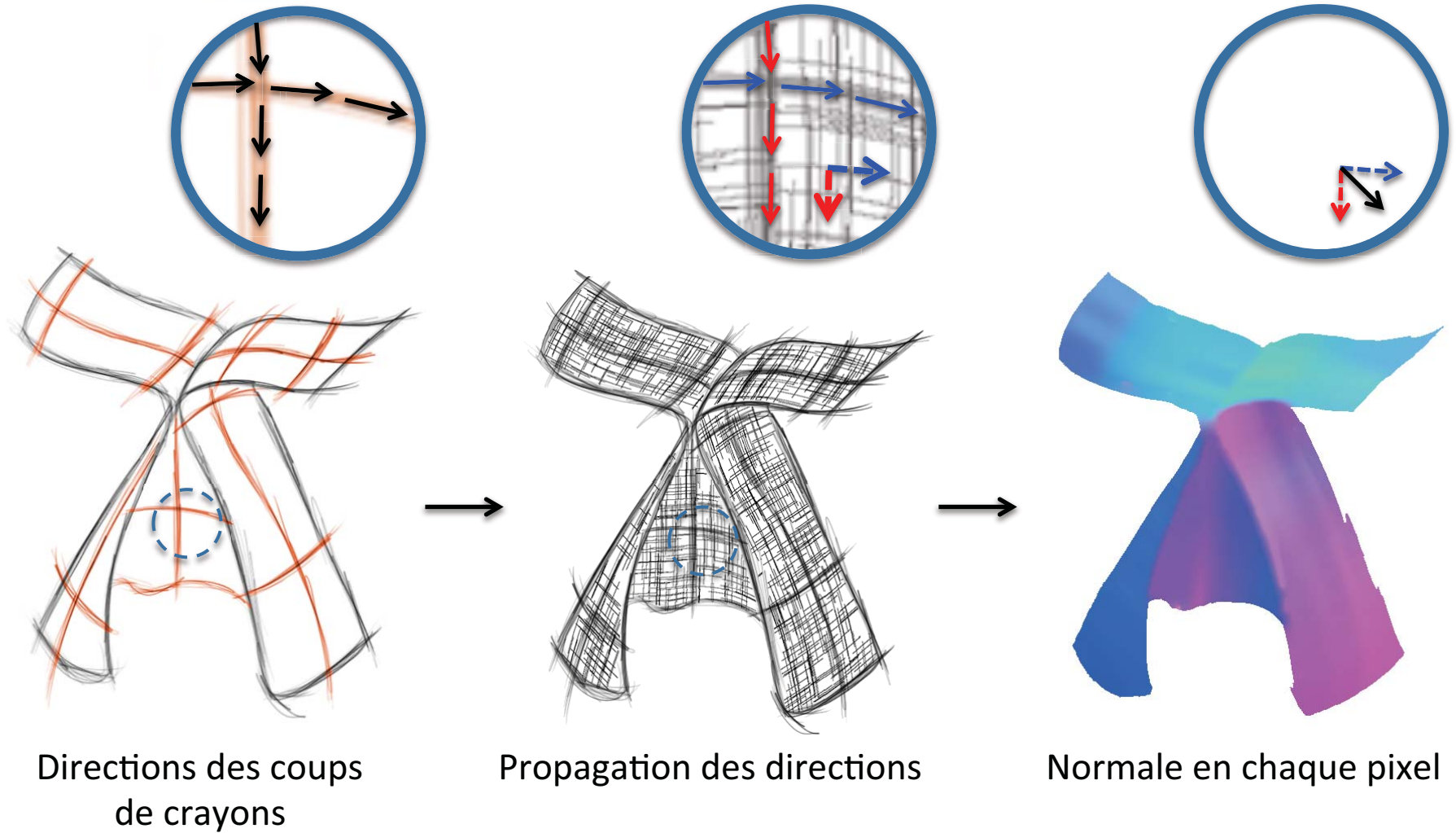


Directions des coups  
de crayons

Propagation des directions

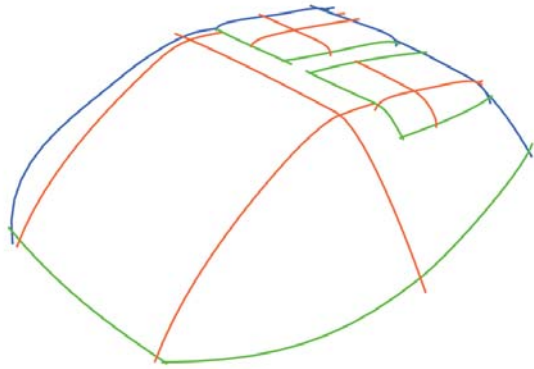


# Algorithme basé sur les pixels

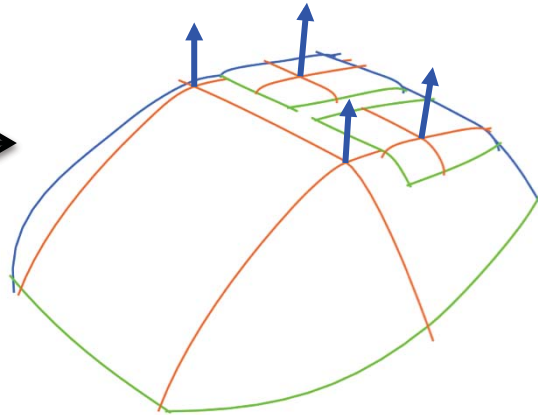




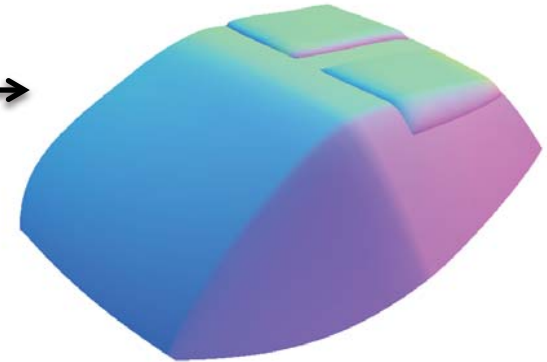
# Inverse l'ordre des opérations



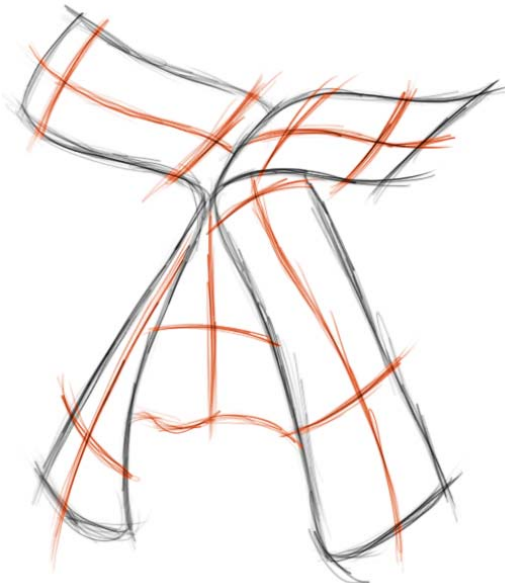
Courbes



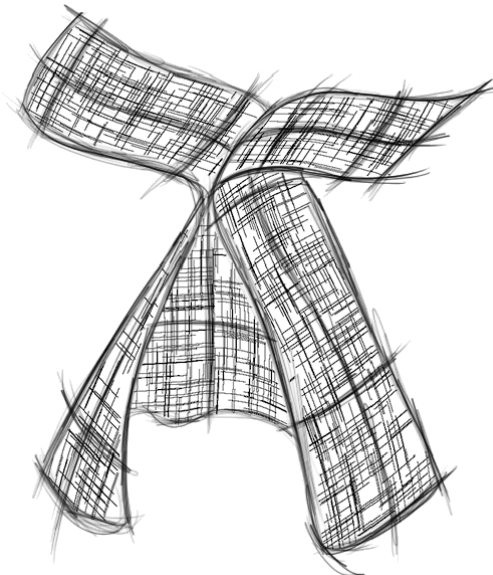
Normales aux intersections



Propagation



Directions

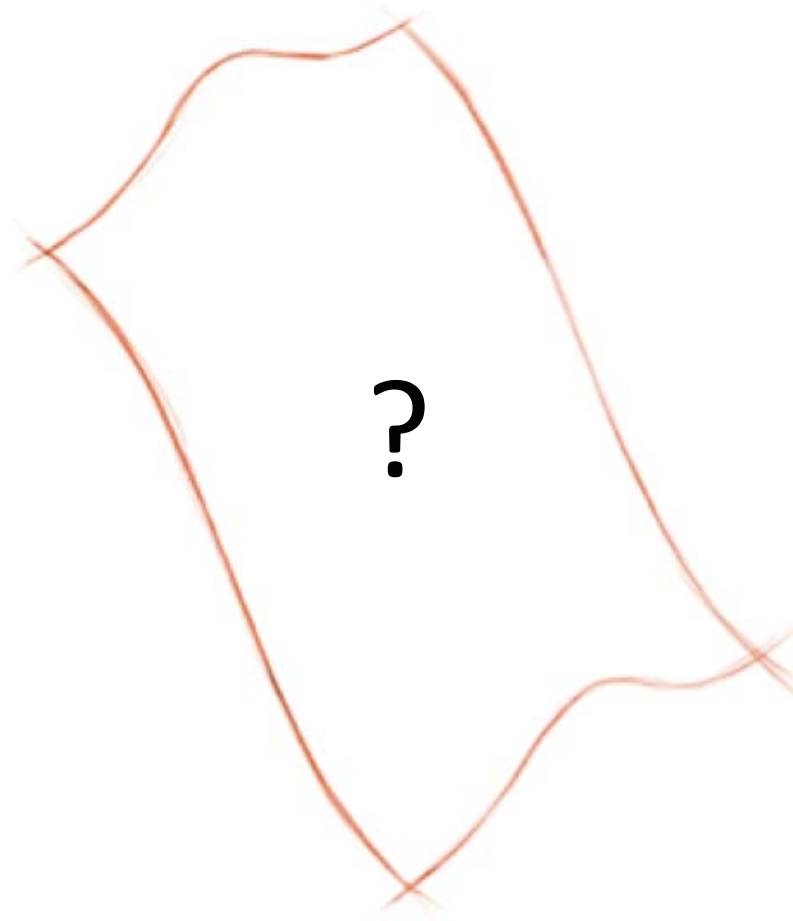


Propagation

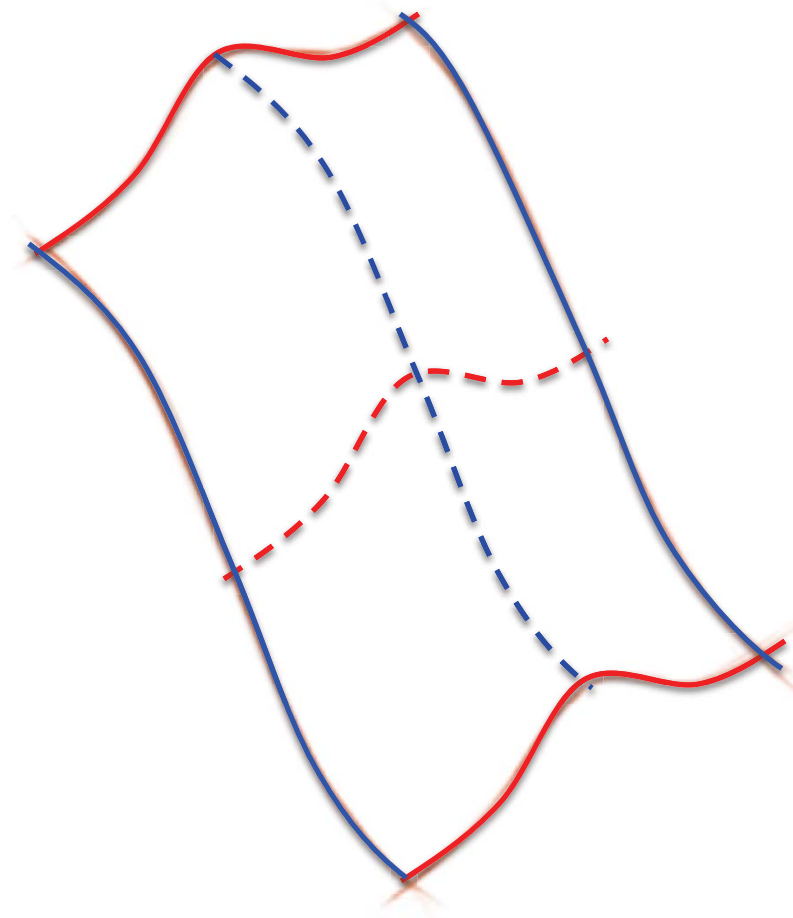


Normale en chaque pixel

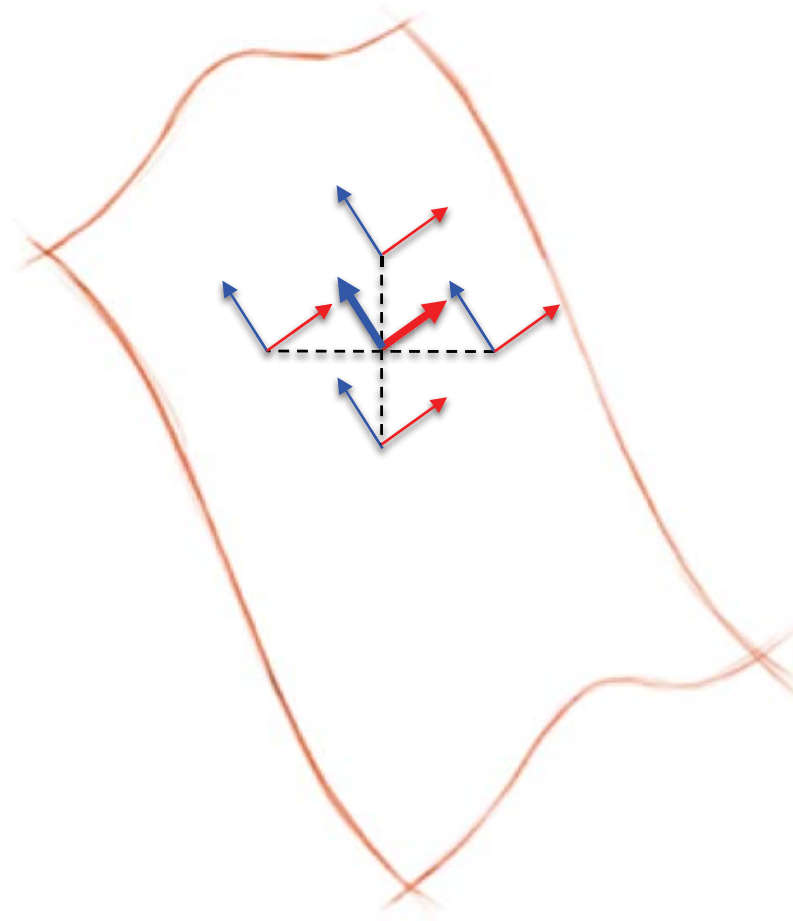
# Comment propager les directions?



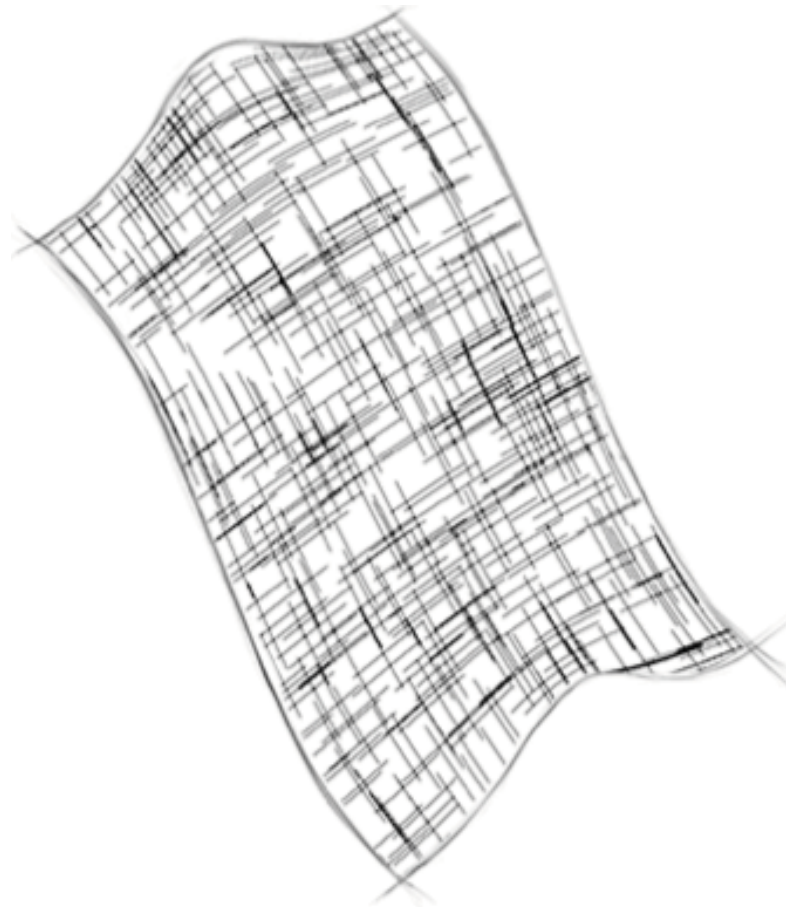
# Interpoler les cotés opposés [Coons]



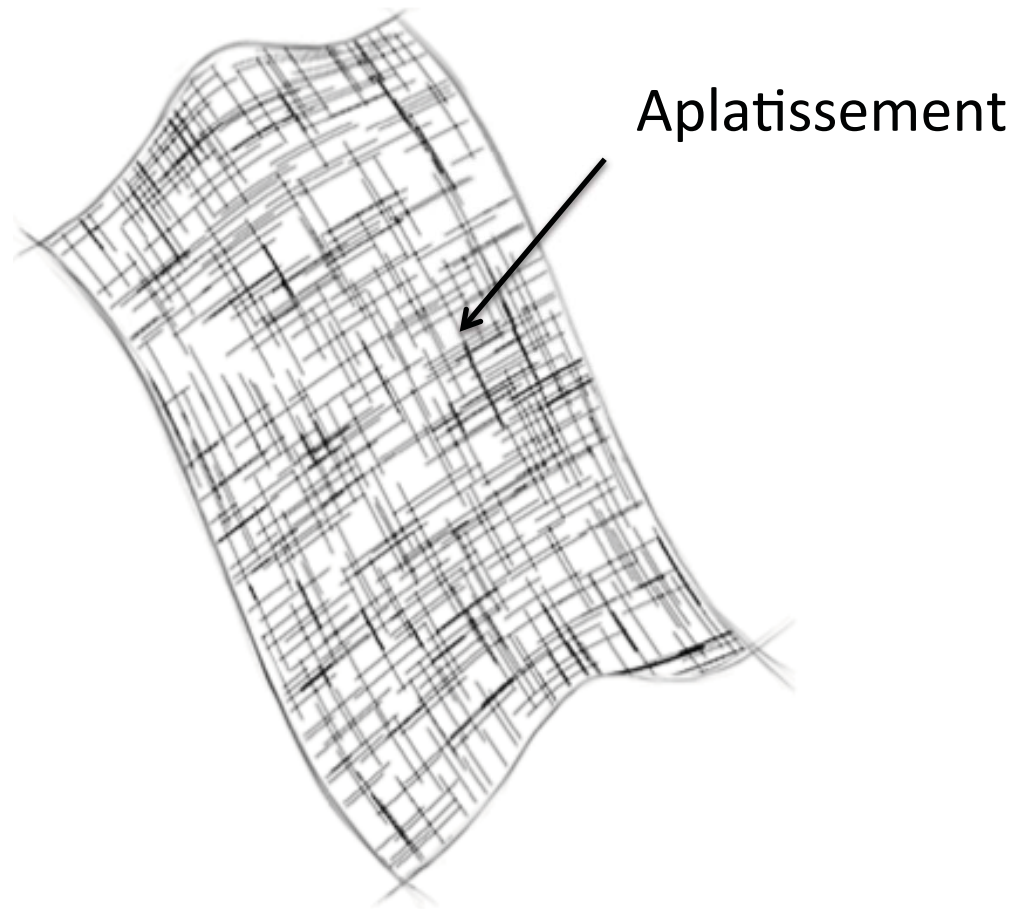
# Le plus lisse possible



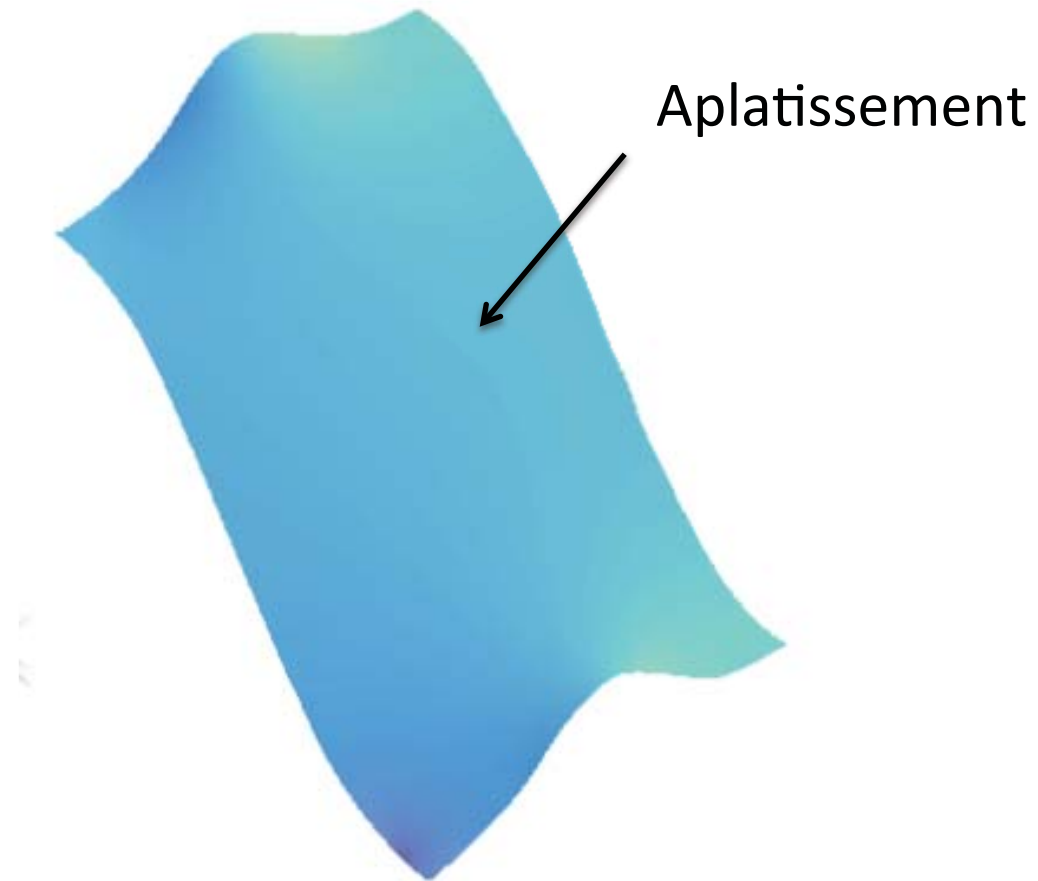
# Le plus lisse possible



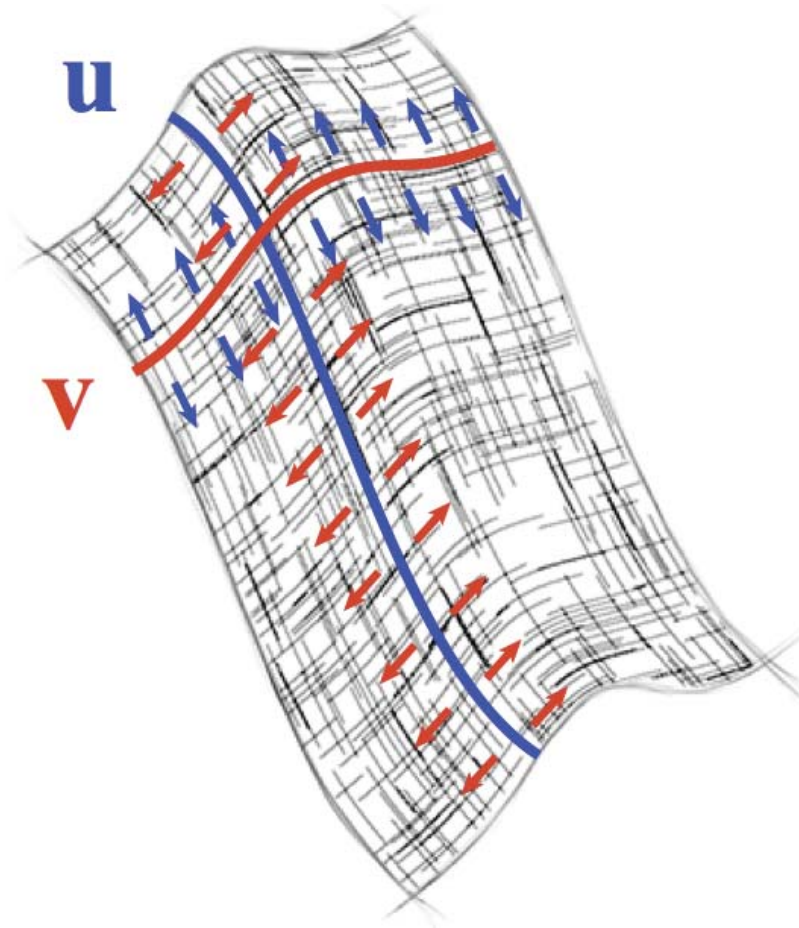
# Le plus lisse possible



# Le plus lisse possible

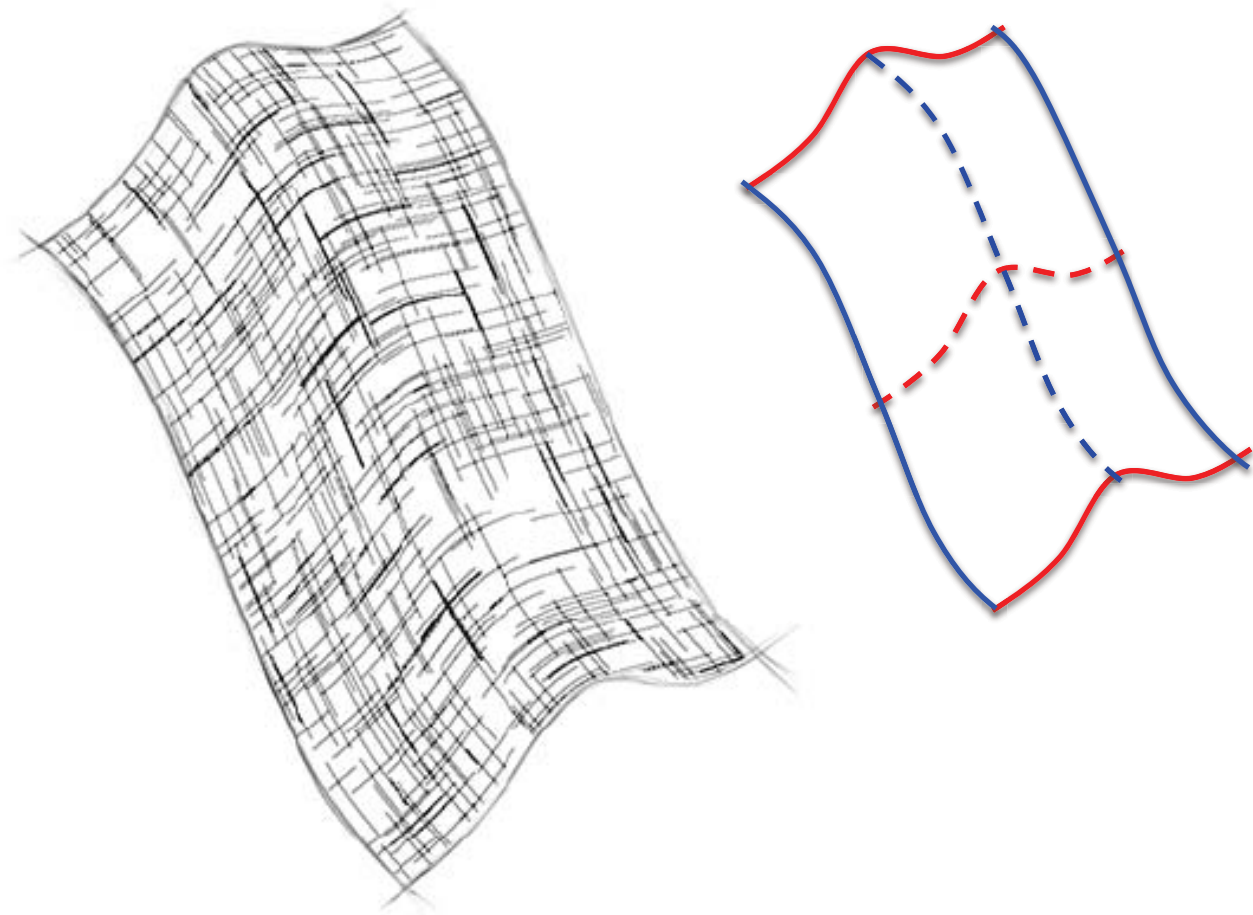


# Le plus lisse possible le long de l'autre direction





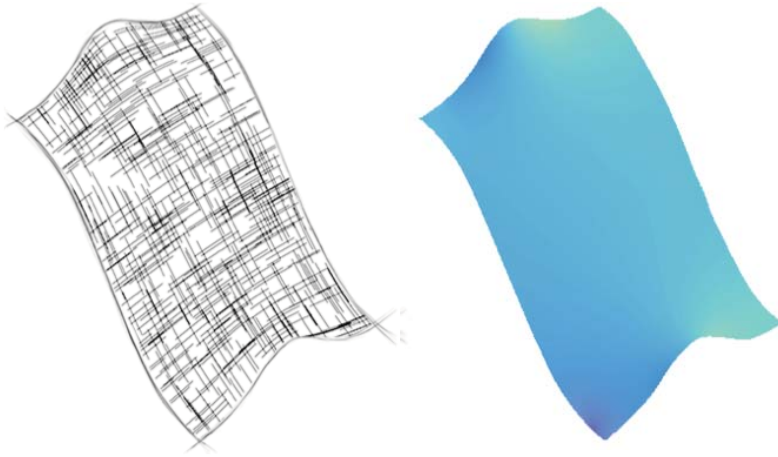
# Le plus lisse possible le long de l'autre direction



**Le plus lisse possible  
le long de l'autre direction**

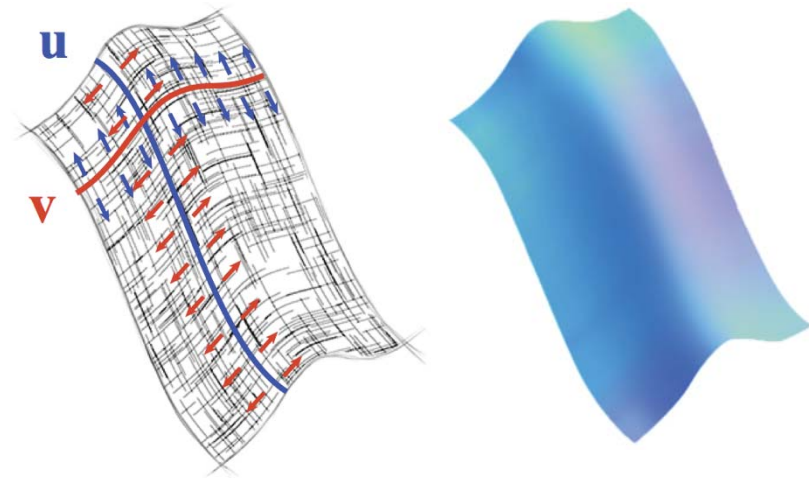


# Formulation mathématique



$$E = \int_I \|\nabla \mathbf{u}\|^2 + \|\nabla \mathbf{v}\|^2$$

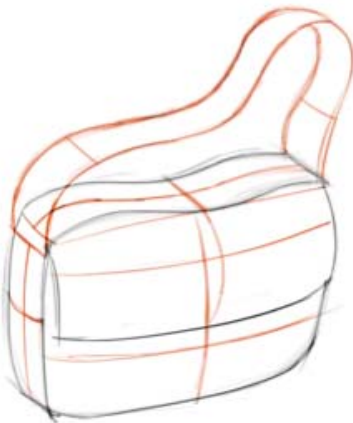
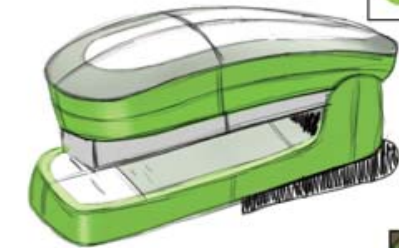
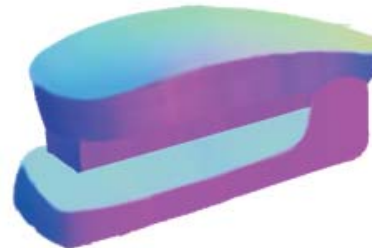
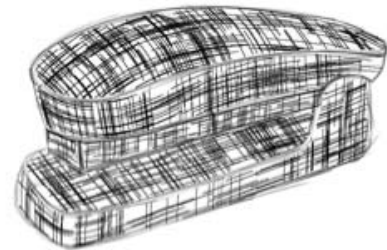
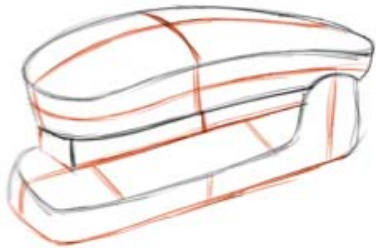
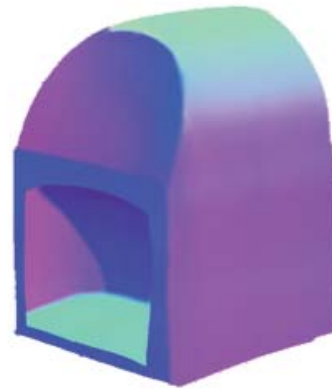
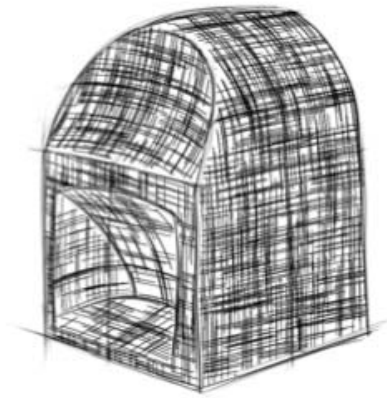
Minimise le gradient



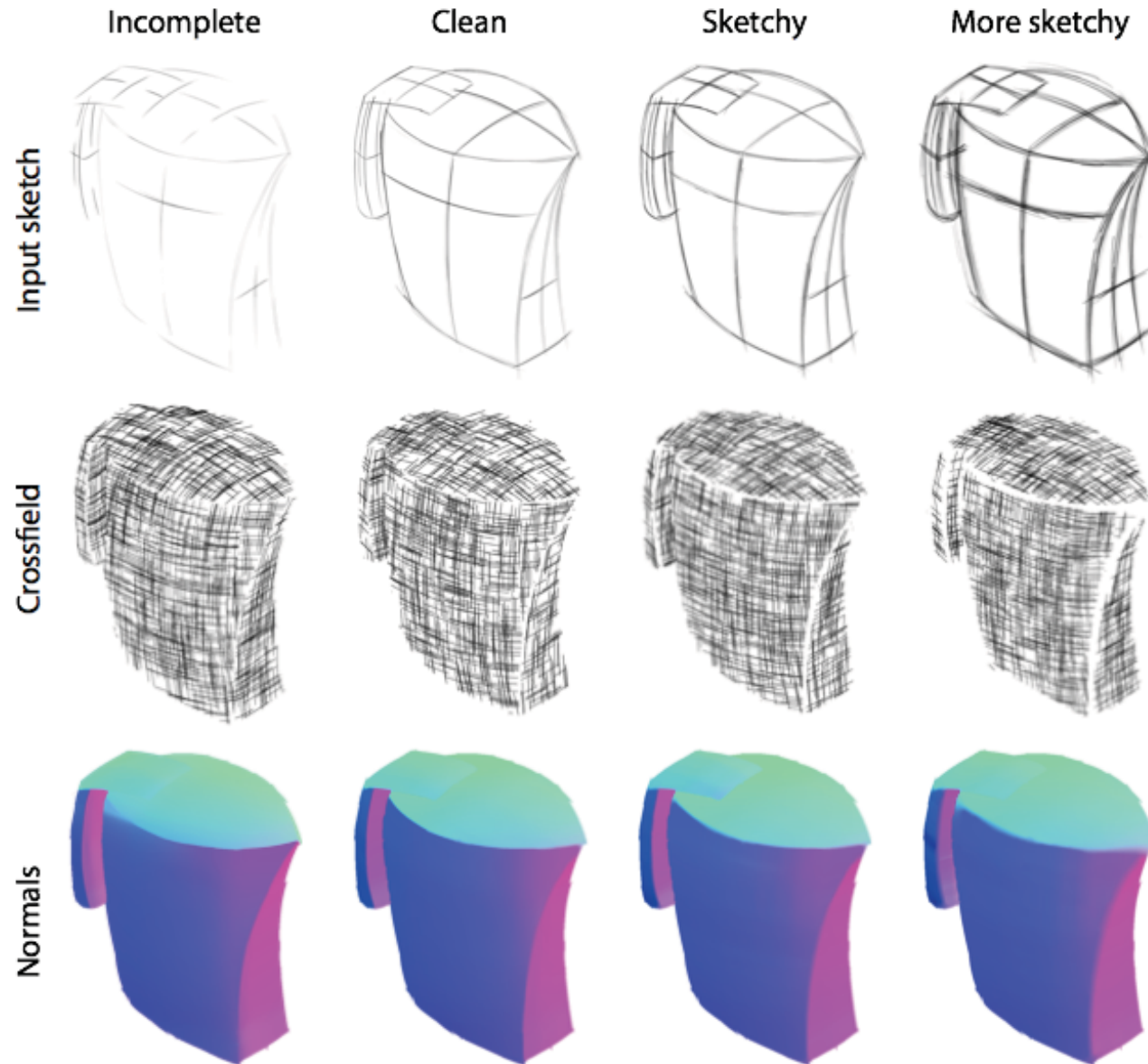
$$E = \int_I \|\nabla_{\mathbf{u}} \mathbf{v}\|^2 + \|\nabla_{\mathbf{v}} \mathbf{u}\|^2$$

Minimise les dérivées covariantes

# Résultats



# Robustesse





# Conclusion



# Estimer des formes 3D à partir de croquis

- Modélisation à partir d'un seul dessin
  - Exploite les lignes de section
  - Régularise la forme sélectivement
- Méthodologie
  - Observer comment les designers dessinent
  - Mettre en lien avec la perception humaine
  - En déduire des propriétés mathématiques

# Merci!

- CrossShade: Shading Concept Sketches Using Cross-Section Curves  
Cloud Shao, Adrien Bousseau, Alla Sheffer, Karan Singh  
*ACM Transactions on Graphics, Proc. SIGGRAPH 2012*
- True2Form: 3D Curve Networks from 2D Sketches  
via Selective Regularization  
Baoxuan Xu, William Chang, Alla Sheffer,  
Adrien Bousseau, James McCrae, Karan Singh  
*ACM Transactions on Graphics, Proc. SIGGRAPH 2014*
- BendFields: Regularized Curvature Fields from Rough Concept Sketches  
Emmanuel Iarussi, David Bommes, Adrien Bousseau  
*ACM Transactions on Graphics 2015*