

Rôle clé de la modélisation en “Shape From Shading”

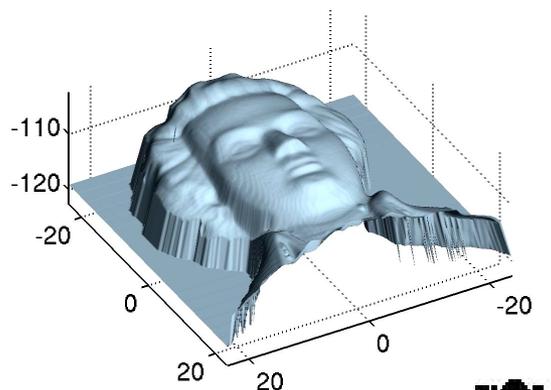
Emmanuel Prados & Olivier Faugeras

Laboratoire *Odyssée*





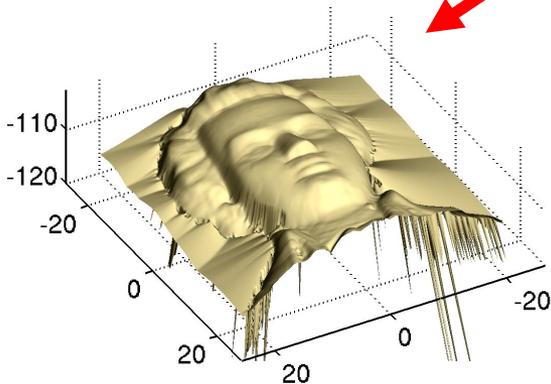
- 1. Description du problème du
“Shape From Shading”**
- 2. Modélisations classiques et difficultés**
- 3. Complexifier pour simplifier !
 (la modélisation) (la resolution)**



Surface 3D observée



Image 2D



Surface 3D reconstruite

- **Données:**

une seule image.

→ **Données minimales,**

→ **Problème mal posé.**

- **Information utilisée:**

l'ombrage.

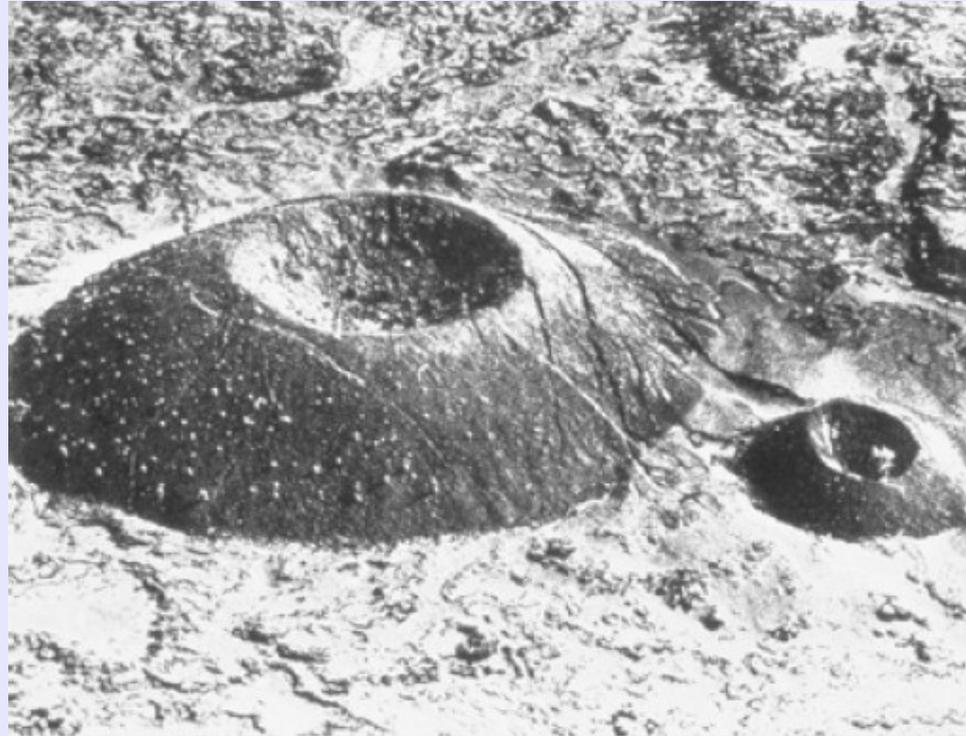
→ **Difficultés liées à la modélisation:** illumination, réflectance, caméra.

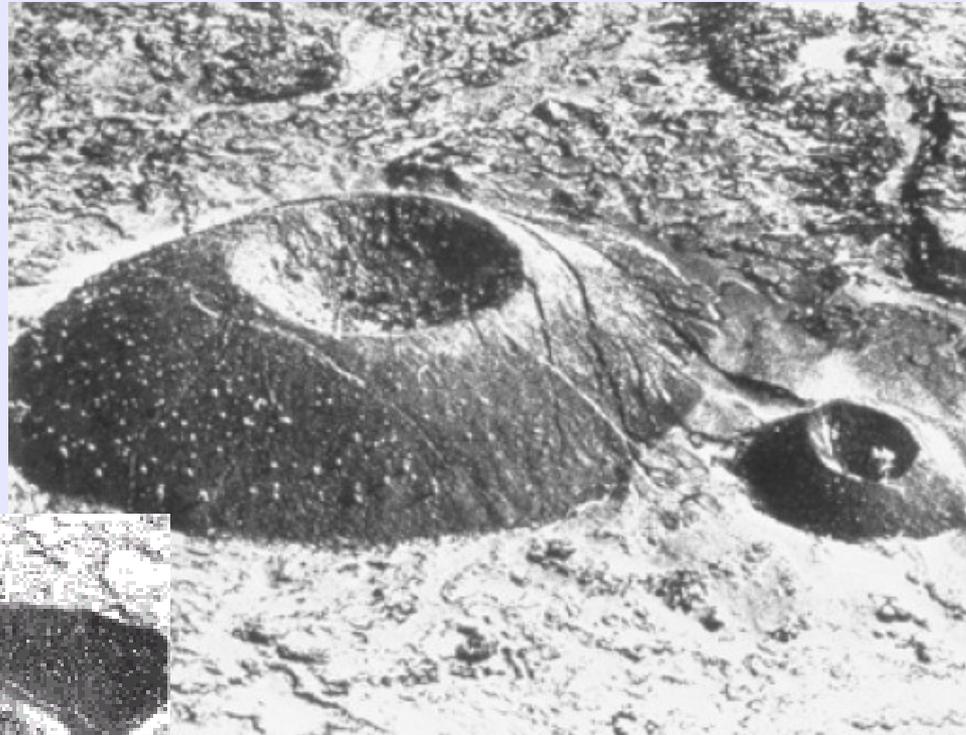
- **+30 années de recherche:**

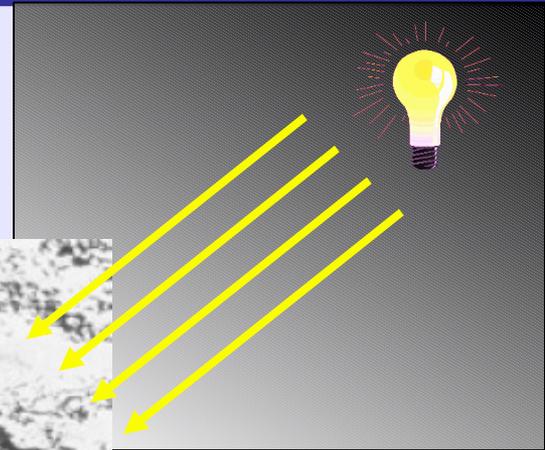
Horn:75, Lions-et-al:92, Dupuis-Oliensis:94

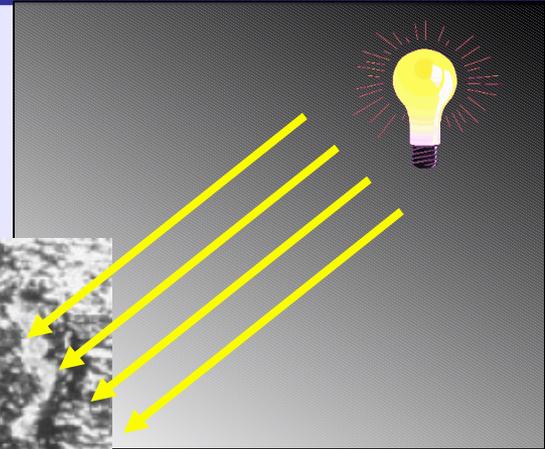
→ **Constat d'échec.**

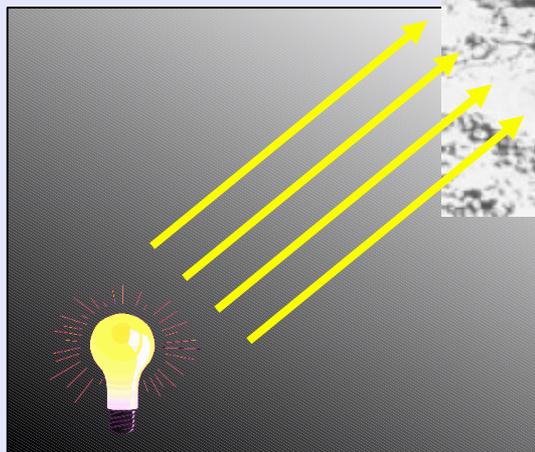
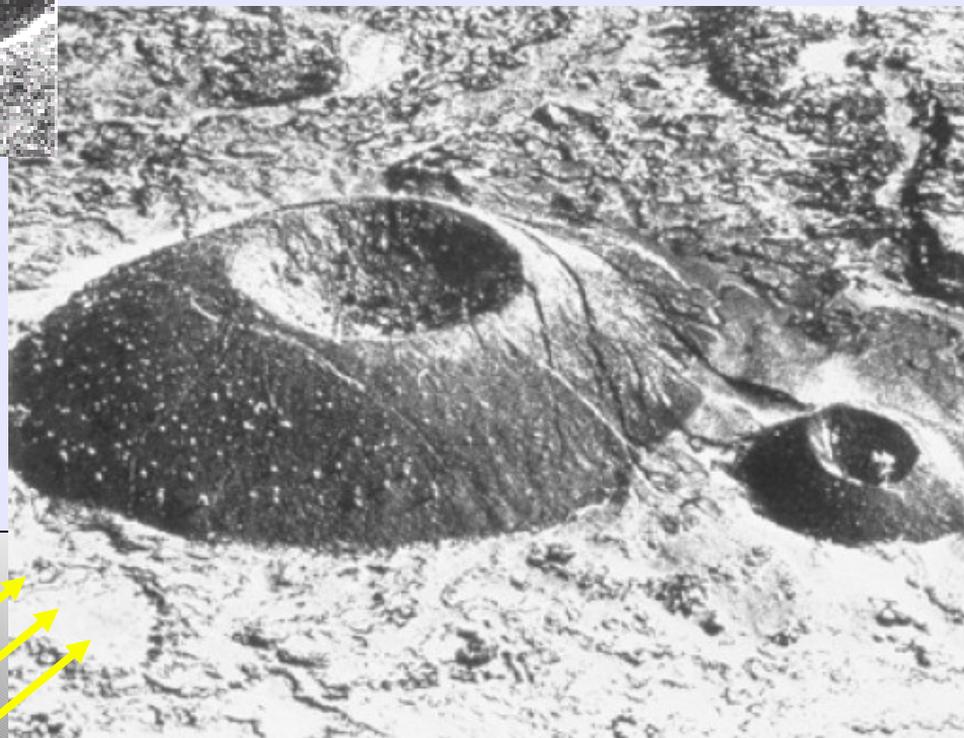






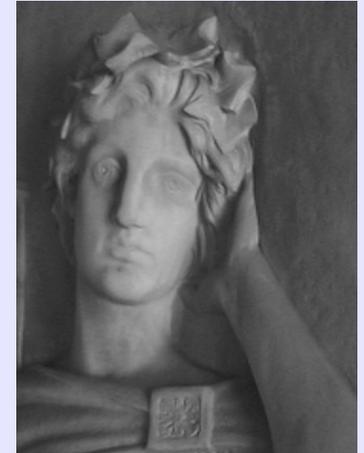
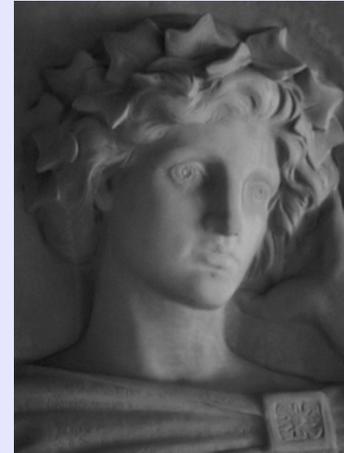






- Ambiguïté: changement d'éclairage !

- Généralisation:
Belhumeur Et al.
Ambiguïté de bas-relief.



- Hypothèses: cadre expérimental connu:
éclairage, réflectance.
- Problème: reconstruire la géométrie de la scène.



- 1. Description du problème du
“Shape From Shading”**
- 2. Modélisations classiques et difficultés**
- 3. Complexifier pour simplifier !
 (la modélisation) (la resolution)**



- **Hypothèse de base: réflectance connue.**
- Relation entre:
 - ♦ La brillance de l' image: I ,
 - ♦ Le vecteur lumière: L ,
 - ♦ Le vecteur normal a la surface: n .
- Hypothèse usuelle: **surface Lambertienne.** (albedo=1)

$$I(X) = \frac{n(X)}{|n(X)|} \cdot L(X)$$

Pour tout point X de la surface

“équation de brillance”



Hypothèses sur la **source de lumière**:

1 - Source unique localisée

- à l'infini,
- ou au centre optique.

2 – Intensité uniforme:

⇒ Norme du vecteur lumière égale à 1...

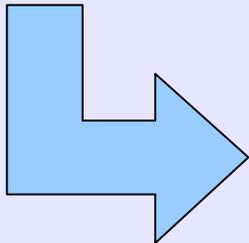
$$I(X) = \frac{n(X)}{|n(X)|} \cdot L(X) = \cos(n(X), L(X))$$



- Reconstruction d'une surface 3D.
- Paramétrisation de la surface: $u(x)$, $x \in \mathbb{R}^2$ (image).
- Vecteur normal n (à la surface) $\longrightarrow \nabla u$ et u .

$$I(x) = \frac{n(x)}{|n(x)|} \cdot L(x) = \cos(n(x), L(x))$$

Modélisation classique



$$\kappa_x \sqrt{|A_x \nabla u + v_x|^2 + K_x^2} + w_x \cdot \nabla u + c_x = 0$$

$$\kappa_x, K_x \geq 0, A_x \in \mathcal{M}_{2 \times 2}, v_x, w_x \in \mathbb{R}^2, c_x \in \mathbb{R}.$$

Equation de Hamilton-Jacobi
ne dépendant que de ∇u (pas de u).



$$\kappa_x \sqrt{|A_x \nabla \mathbf{u} + \mathbf{v}_x|^2} + K_x^2 + \mathbf{w}_x \cdot \nabla \mathbf{u} + c_x = 0$$

- Absence de solution classique (images réelles)
- Échec des méthodes calculant des solutions exactes régulières:
 - Cf. état de l'art [Durou-Falcone-Etal:04, Daniel:PhD'00]
 - Méthodes globales [Kimmel-Bruckstein:95, Oliensis-Dupuis:93]
- Alternatives:
 - Méthodes variationnelles: [Durou-Falcone:04, Daniel:PhD'00].
 - Affaiblir la notion de solutions.



$$\kappa_x \sqrt{|A_x \nabla \mathbf{u} + \mathbf{v}_x|^2} + K_x^2 + \mathbf{w}_x \cdot \nabla \mathbf{u} + c_x = 0$$

- Solutions de viscosité:
 - Existence.
 - Bonnes propriétés: calculabilité, stabilité, continuité
 - Solutions calculées par différentes méthodes!
[Prados-Faugeras:Handbook'05]
 - Difficulté: Perte de l'unicité
 - Données supplémentaires nécessaires et suffisantes.
 - Preuve théorique et expérimentale sur des images synthétiques.
[Prados-Etal: ECCV'04 – JMIV'06]



- 1. Description du problème du
“Shape From Shading”**
- 2. Modélisations classiques et difficultés**
- 3. Complexifier pour simplifier !**
(la modélisation) (la resolution)



- **Tendance:**
 - SFS fatalement mal posé
 - Complexification de la modélisation serait prématurée
- **Question:** Caractère "mal posé" due à la nature du problème lui même, ou à la simplicité de la modélisation ?
- **Motivations**
 - 1) EDP semblables aux équations de SFS classiques complètement bien posées!
 - 2) Applications: Modélisation classique non adaptée.
- **Réponse:**

Raison = simplicité de la modélisation!



➤ Surface Lambertienne:

$$I(X) = \frac{n(X)}{|n(X)|} \cdot L(X)$$

l = image
 L = vecteur lumière
 n = vecteur normal à la surface

• Éclairage:

Source ponctuelle placée au **centre optique**.

Atténuation de l'intensité avec la distance: i.e.,

$$L(X) = \alpha \frac{1}{|X|^2} \frac{X}{|X|}$$

$$\forall X \in \mathbb{R}^3$$

• Perspective...

Norme

Direction



$$I(X) = \frac{n(X)}{|n(X)|} \cdot L(X)$$

SFS Classique

$$|L(X)| = 1$$

$$I(X) = \cos(n(X), L(X))$$

→ Intensité bornée (Max=1)

→ points singuliers...

Nouvelle
modélisation

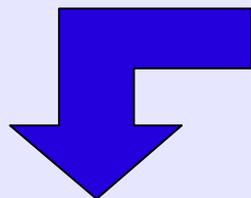
$$|L(X)| = \alpha \frac{1}{|X|^2}$$

Intensité **non** bornée

~~points singuliers~~

$$I(X) = \alpha \frac{1}{|X|^2} \cos(n(X), L(X))$$

$$I(X) = \alpha \frac{1}{|X|^2} \cos(n(X), L(X))$$



$$-e^{-2u} + J(x) \sqrt{f^2 |\nabla u|^2 + (\nabla u \cdot x)^2 + Q(x)^2} = 0.$$

Nouveau

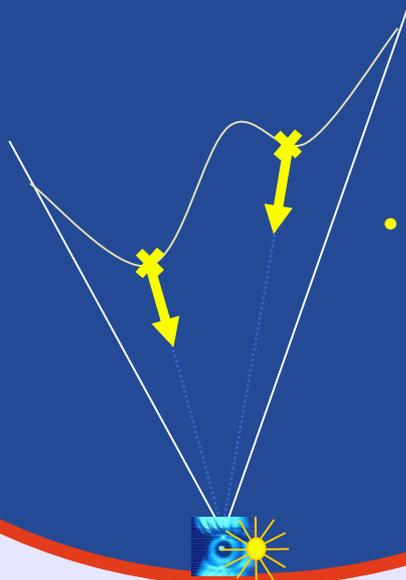
Terme classique

$$J(x) = I(x)f/Q(x)^2,$$

$$Q(x) = \sqrt{f^2/(|x|^2 + f^2)}.$$

Gain d'information !

• SFS "classique"

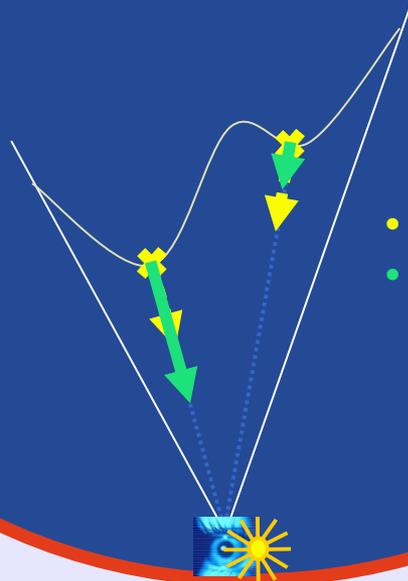


Normale à la surface

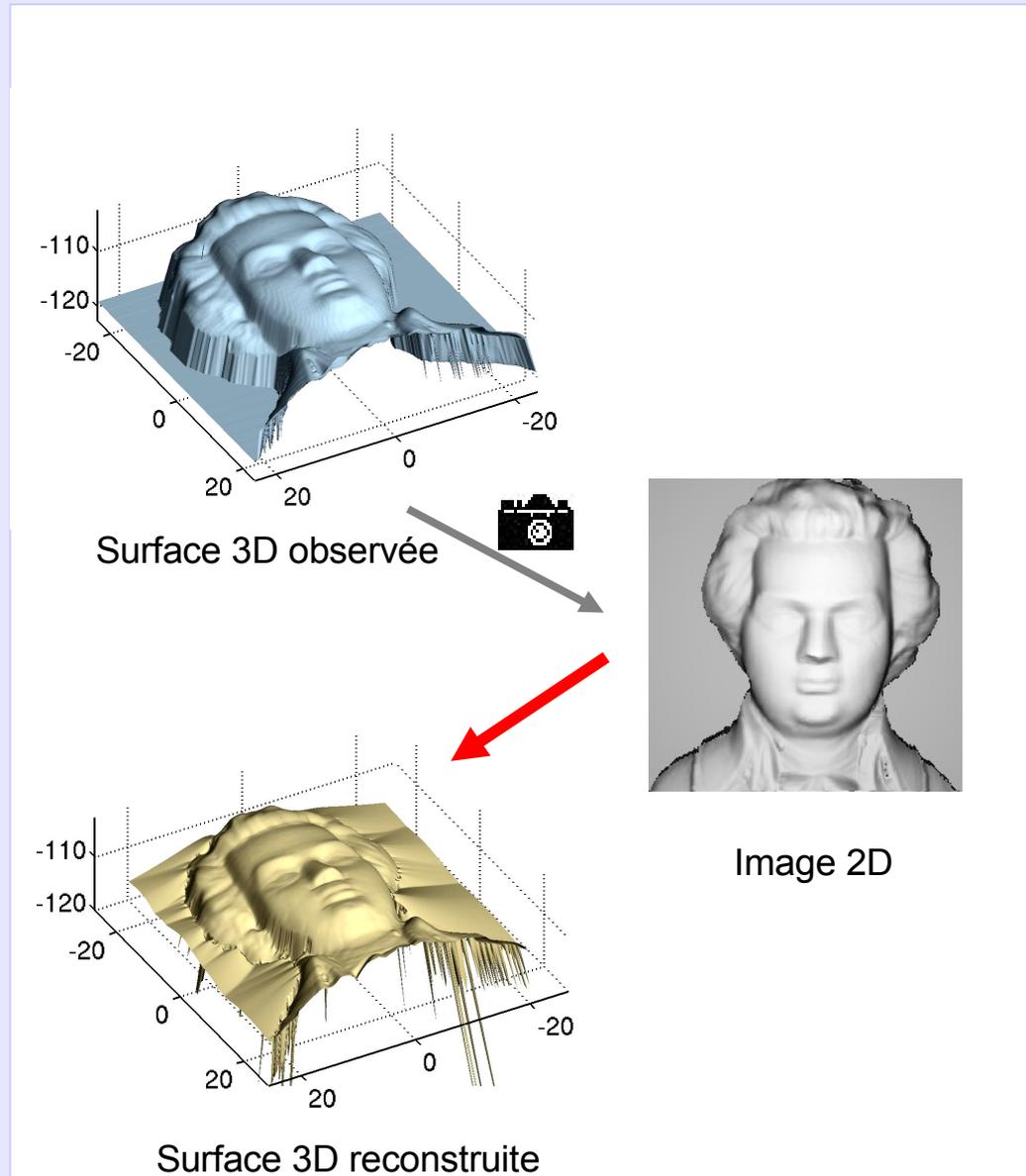
Vecteur lumière

$$I(X) = \cos(n(X), L(X))$$

Gain d'information !



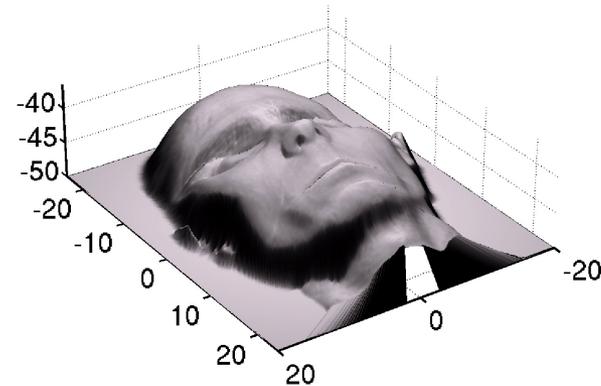
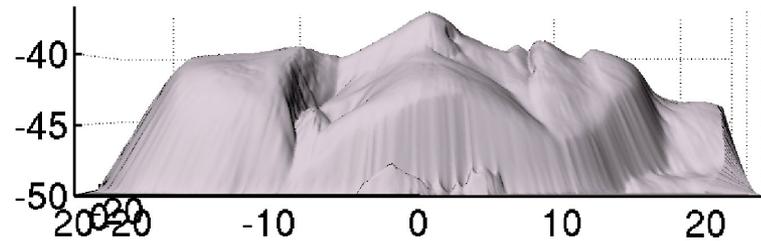
- SFS "classique",
- Nouvelle modélisation



... à partir d'une image réelle.

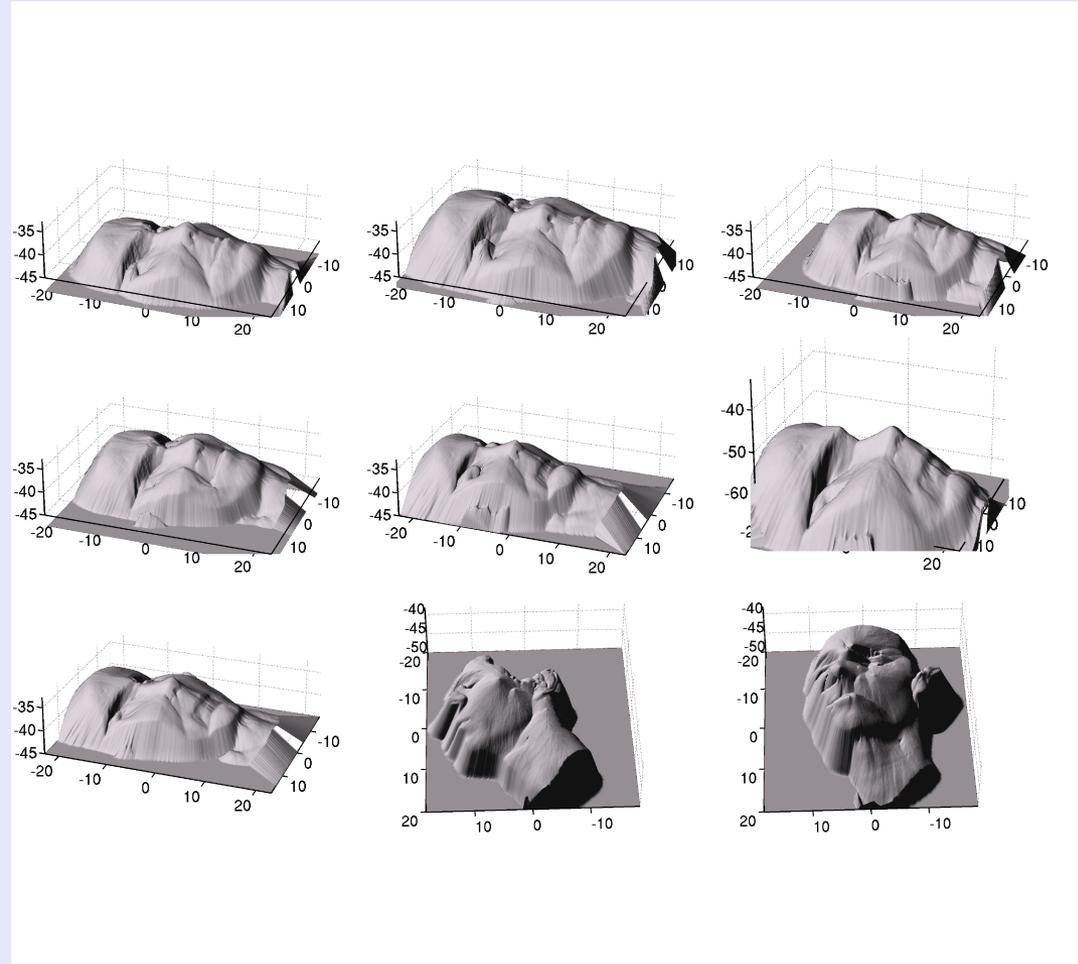
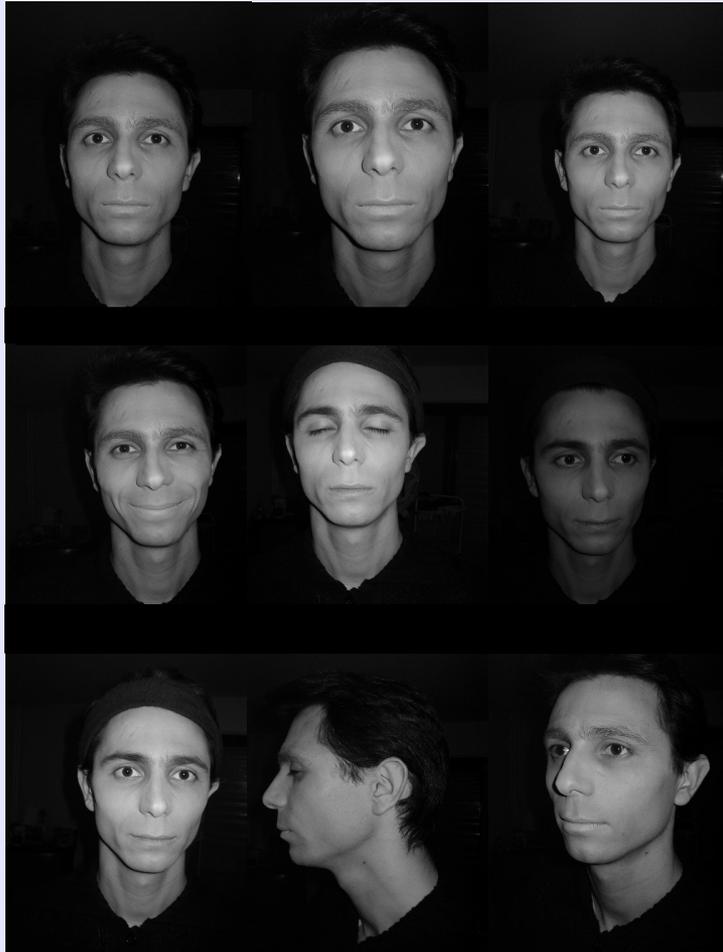


Image



Surface reconstruite par
notre nouvel algorithme

Video...



Images



Surfaces reconstruites

Merci !

Fin...