



# Objets constructifs, crypto-objets et objets analogiques, les trois grands défis mathématiques de l'impression 3D.

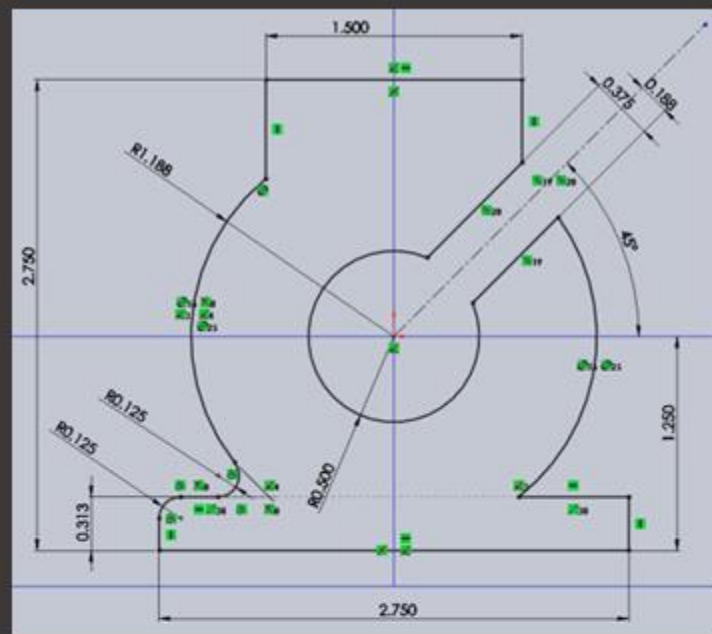
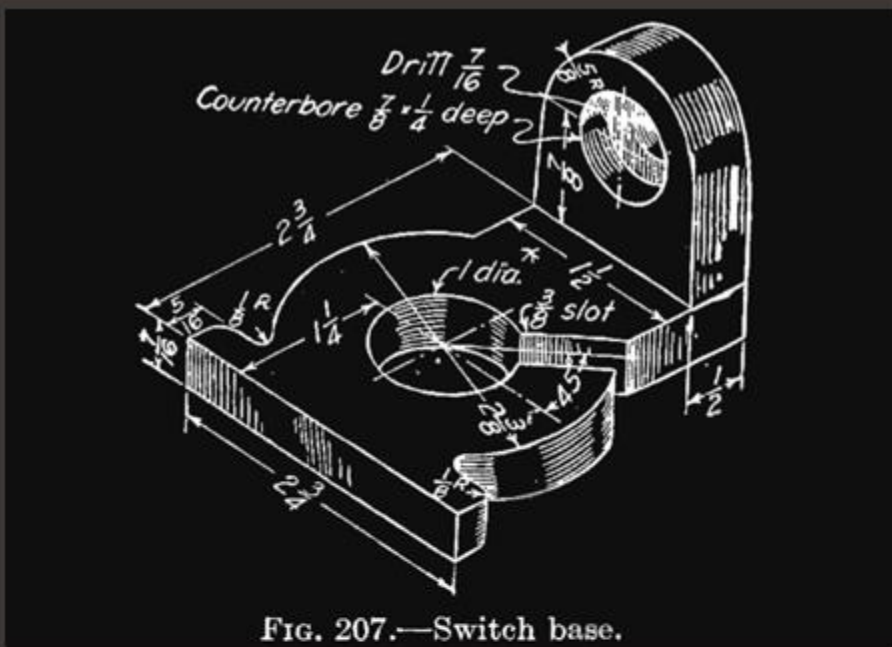
Montréal – Centre de Recherches Mathématiques – 27 Avril 2015



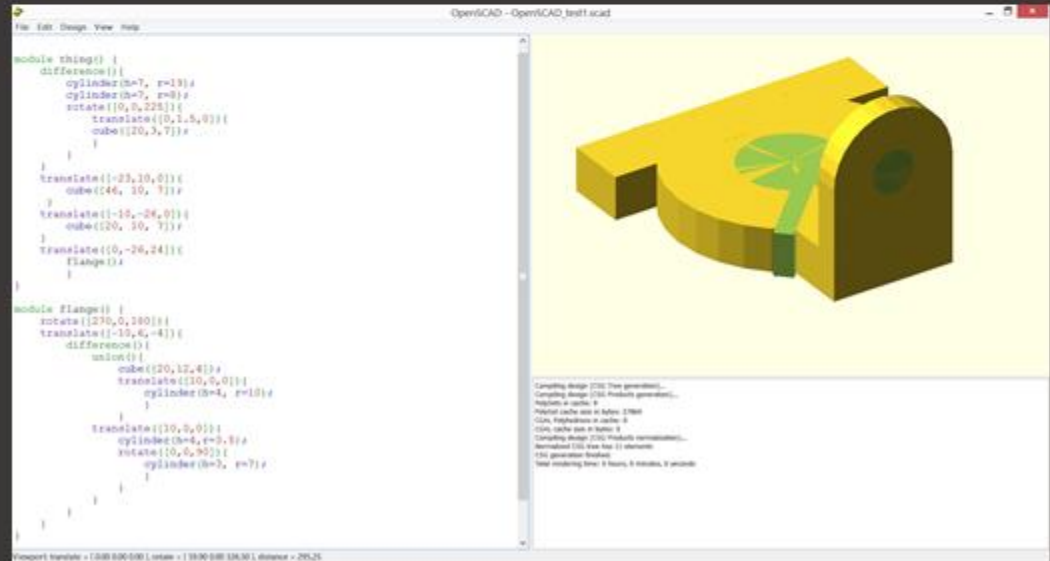
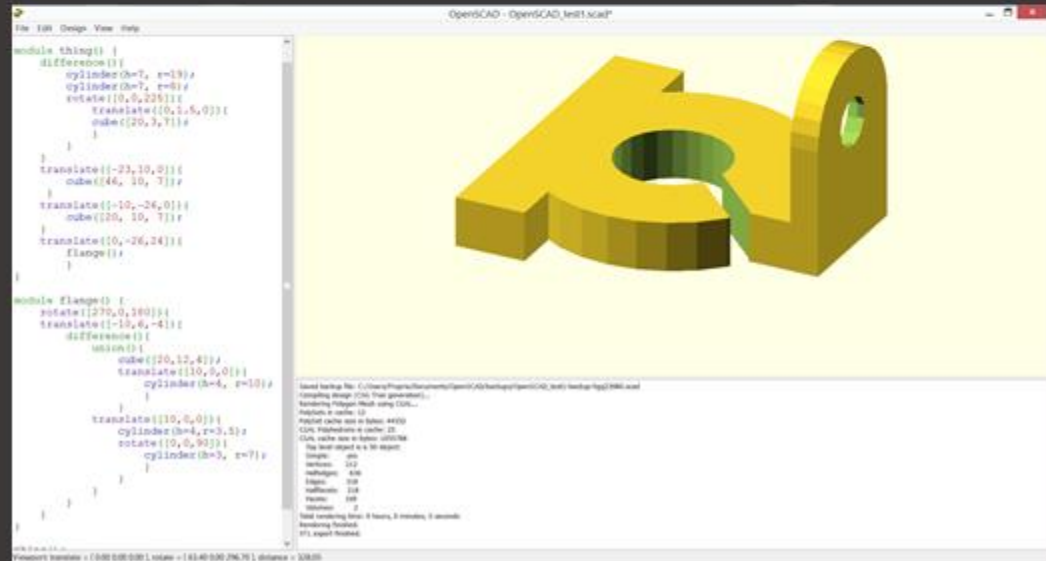
**parallel geometry**

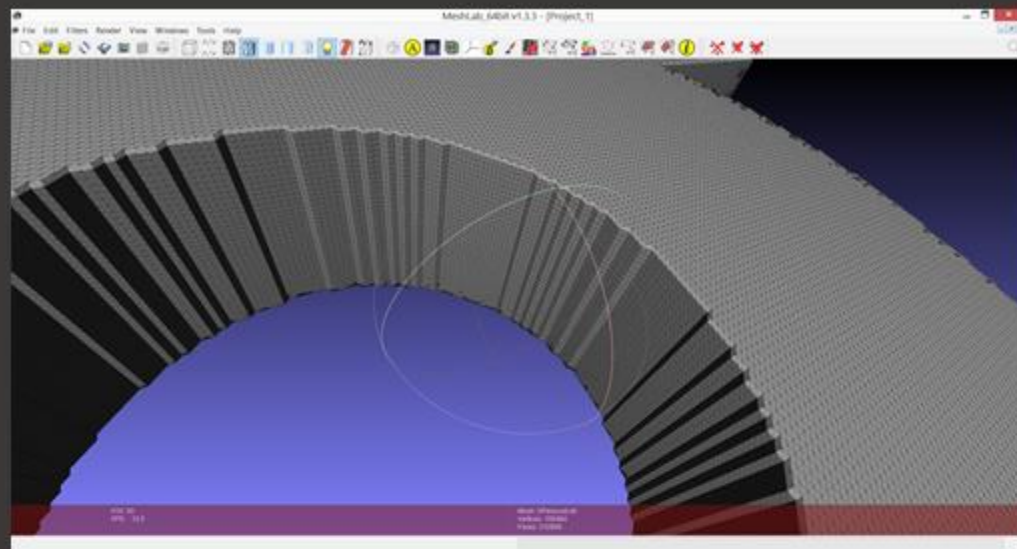
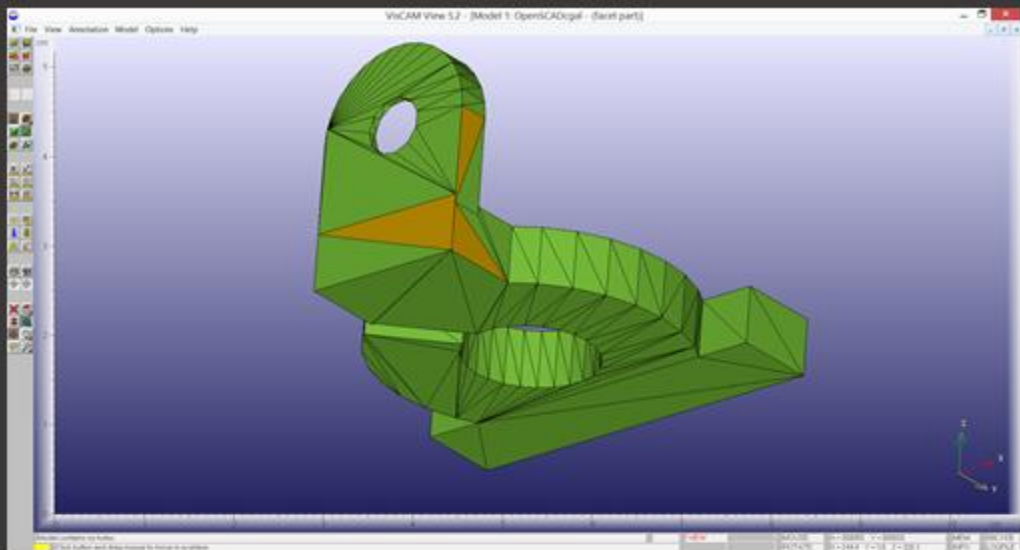
**Jean-François Rotgé**

Ph.D., M.Sc.A., Arch. DPLG

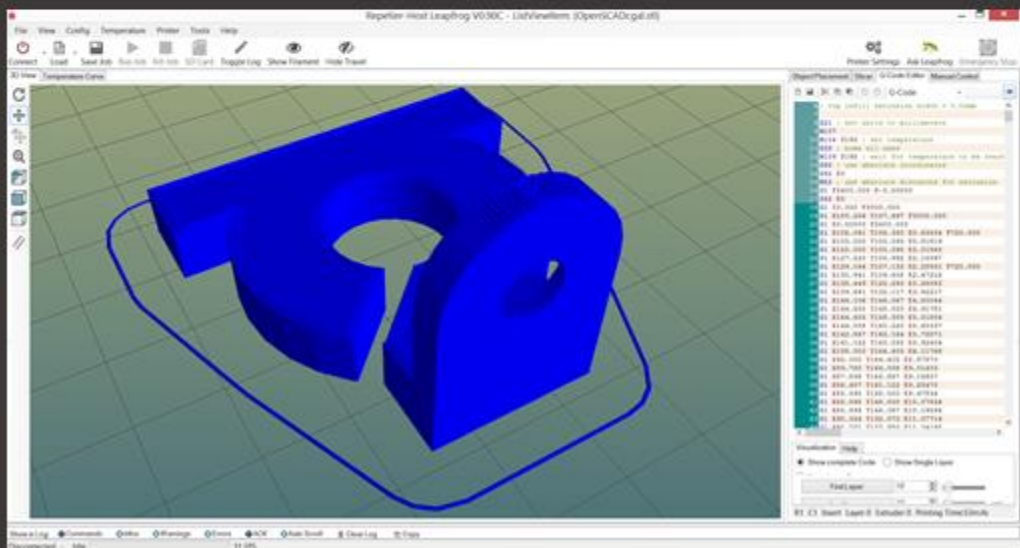


## Production d'un fichier STL : construction volumique polyédrique

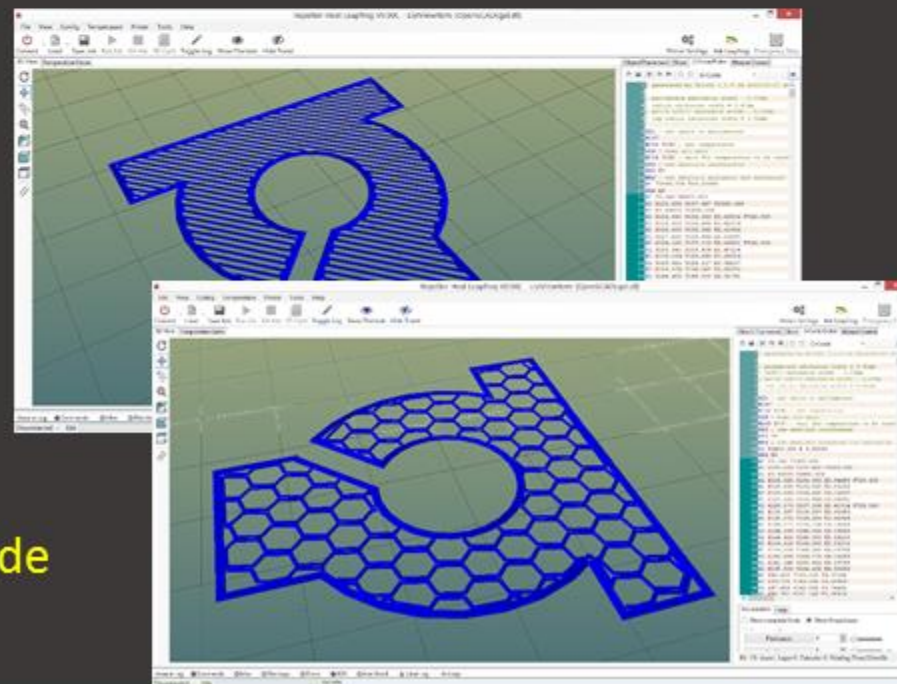




Altérations d'un fichier STL : decimation, réparation



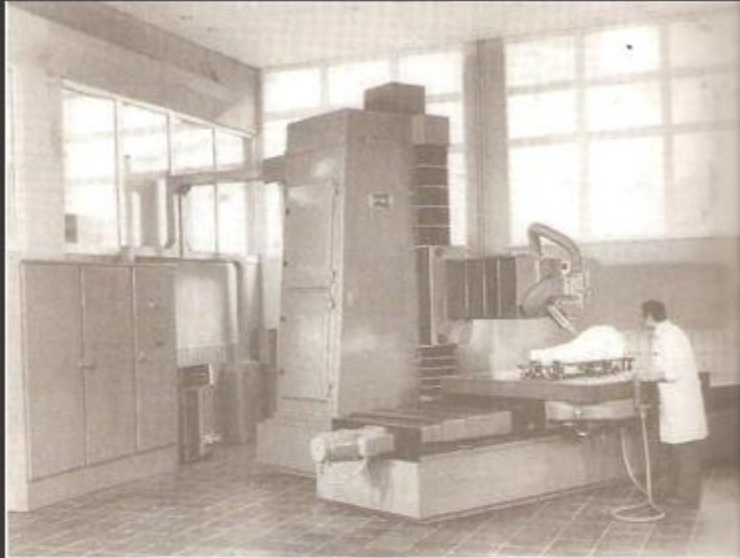
Optimisation du G-code



# Les objets constructifs



Partie I



Fraiseuse spéciale utilisée comme machine à tracer 3D (Doc. SOFERMO).



Maquette de voiture (échelle 1/8) et carter d'embrayage (échelle 1/1) en cours d'usinage (Doc. SOFERMO).



**La maquette physique:  
Des machines outils (surfaces paramétriques)  
à l'impression 3D (quelles surfaces ?)**

```

Rim:
{ 102, 103, 104, 105, 4, 5, 6, 7,
  8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 }
Body:
{ 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19,
  20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27 }
{ 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 32,
  33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40 }
Lid:
{ 96, 96, 96, 96, 97, 98, 99, 100,
  101, 101, 101, 101, 0, 1, 2, 3 }
{ 0, 1, 2, 3, 106, 107, 108, 109,
  110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117 }
Handle:
{ 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48,
  49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56 }
{ 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60,
  61, 62, 63, 64, 28, 65, 66, 67 }
Spout:
{ 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75,
  76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83 }
{ 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87,
  88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95 }

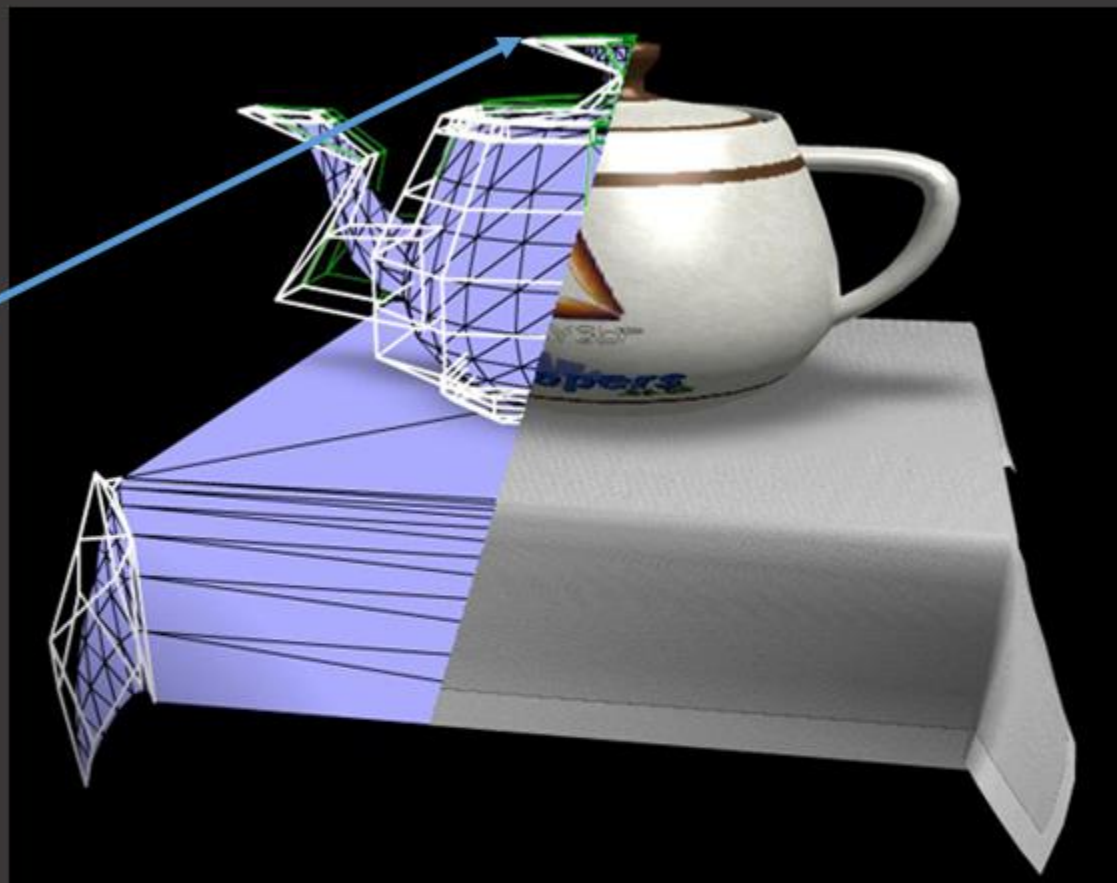
```

Vertices:

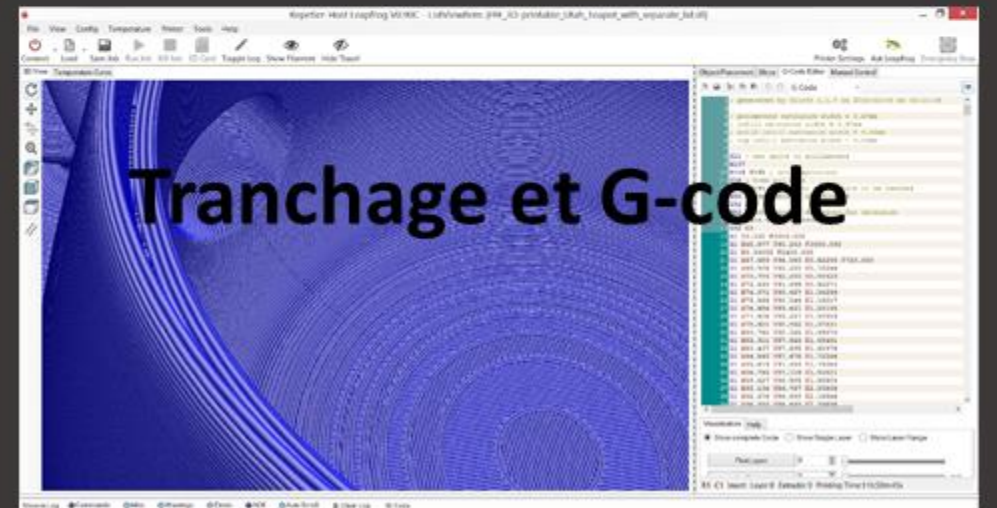
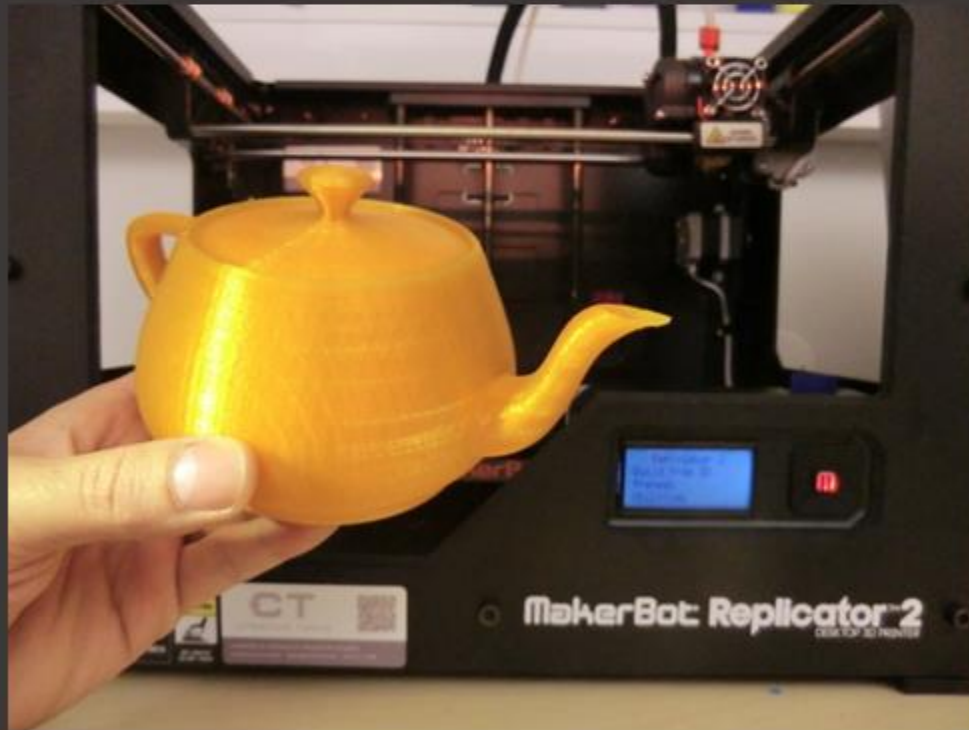
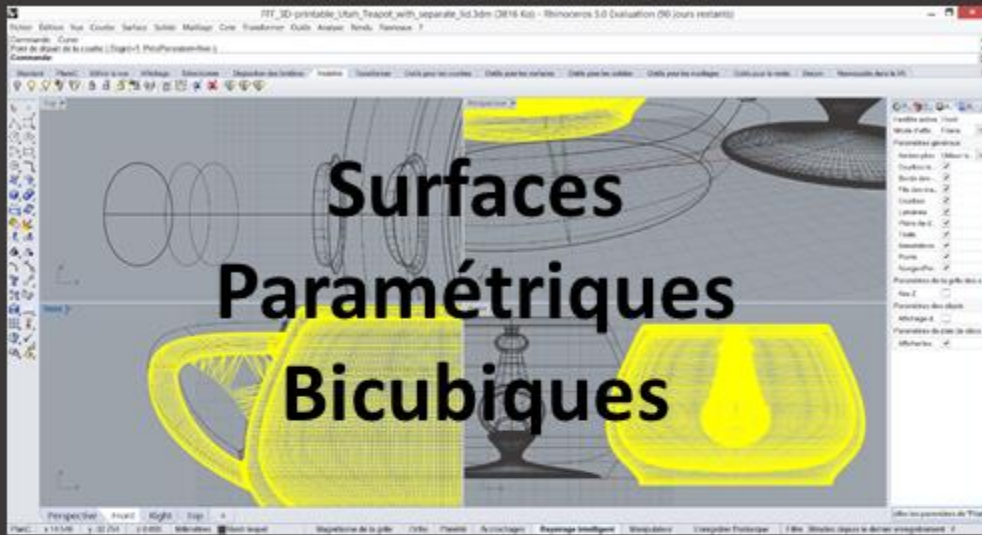
```

{ 0.2000, 0.0000, 2.70000 }, { 0.2000, -0.1120, 2.70000 },
{ 0.1120, -0.2000, 2.70000 }, { 0.0000, -0.2000, 2.70000 },
{ 1.3375, 0.0000, 2.53125 }, { 1.3375, -0.7490, 2.53125 },
{ 0.7490, -1.3375, 2.53125 }, { 0.0000, -1.3375, 2.53125 },
{ 1.4375, 0.0000, 2.53125 }, { 1.4375, -0.8050, 2.53125 },
{ 0.8050, -1.4375, 2.53125 }, { 0.0000, -1.4375, 2.53125 },
{ 1.5000, 0.0000, 2.40000 }, { 1.5000, -0.8400, 2.40000 },
{ 0.8400, -1.5000, 2.40000 }, { 0.0000, -1.5000, 2.40000 },
{ 1.7500, 0.0000, 1.87500 }, { 1.7500, -0.9800, 1.87500 },
{ 0.9800, -1.7500, 1.87500 }, { 0.0000, -1.7500, 1.87500 },
{ 2.0000, 0.0000, 1.35000 }, { 2.0000, -1.1200, 1.35000 },
{ 1.1200, -2.0000, 1.35000 }, { 0.0000, -2.0000, 1.35000 },
{ 2.0000, 0.0000, 0.90000 }, { 2.0000, -1.1200, 0.90000 },
{ 1.1200, -2.0000, 0.90000 }, { 0.0000, -2.0000, 0.90000 },
{ -2.0000, 0.0000, 0.90000 }, { 2.0000, 0.0000, 0.45000 },
{ 2.0000, -1.1200, 0.45000 }, { 1.1200, -2.0000, 0.45000 },
{ 0.0000, -2.0000, 0.45000 }, { 1.5000, 0.0000, 0.22500 },
{ 1.5000, -0.8400, 0.22500 }, { 0.8400, -1.5000, 0.22500 },
{ 0.0000, -1.5000, 0.22500 }, { 1.5000, 0.0000, 0.15000 },
{ 1.5000, -0.8400, 0.15000 }, { 0.8400, -1.5000, 0.15000 },
{ 0.0000, -1.5000, 0.15000 }, { -1.6000, 0.0000, 2.02500 },
{ -1.6000, -0.3000, 2.02500 }, { -1.5000, -0.3000, 2.25000 },
{ -1.5000, 0.0000, 2.25000 }, { -2.3000, 0.0000, 2.02500 },
{ -2.3000, -0.3000, 2.02500 }, { -2.5000, -0.3000, 2.25000 },
{ -2.5000, 0.0000, 2.25000 }, { -2.7000, 0.0000, 2.02500 },
{ -2.7000, -0.3000, 2.02500 }, { -3.0000, -0.3000, 2.25000 },
{ -3.0000, 0.0000, 2.25000 }, { -2.7000, 0.0000, 1.80000 },

```



**Représentation Surfacing par carreaux (Bezier ...)**  
**Points de contrôle des carreaux (vertices)**  
**Indices des points de contrôle des carreaux**



"circle as ONE parametric equation";

"circle as ONE parametric equation"

$x = (1-t^2)/(1+t^2);$

$$x = \frac{1-t^2}{1+t^2}$$

$y = 2t/(1+t^2);$

$$y = \frac{2t}{1+t^2}$$

"circle as intersection and conical projection of TWO cubic algebraic surfaces (implicit polynomial representation)";

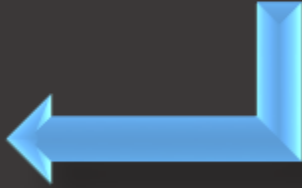
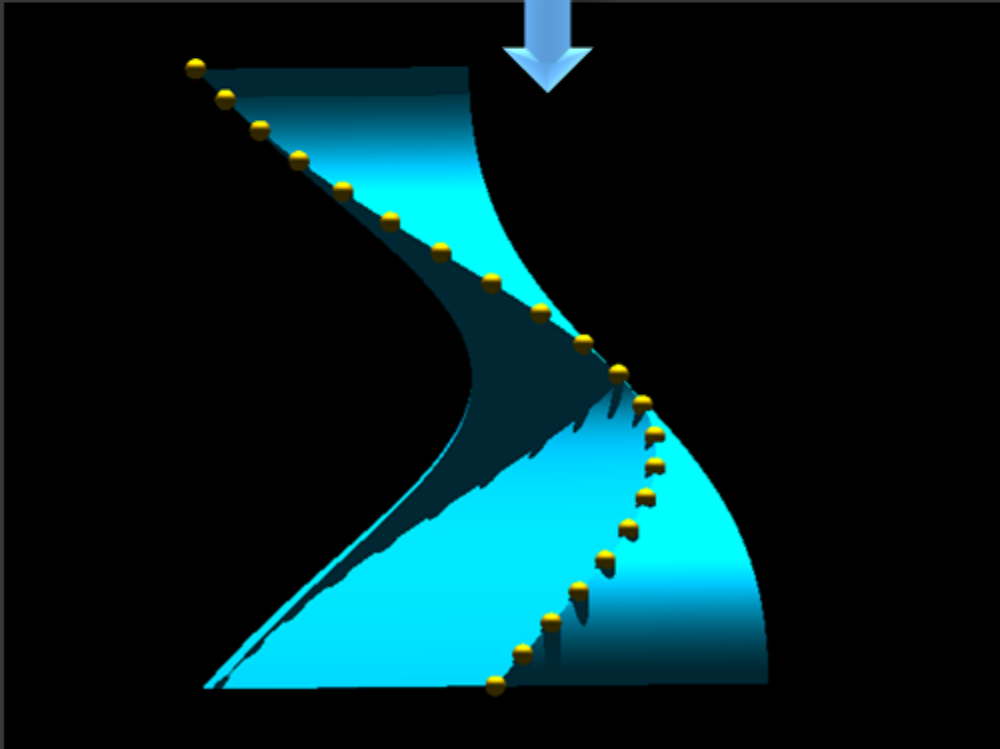
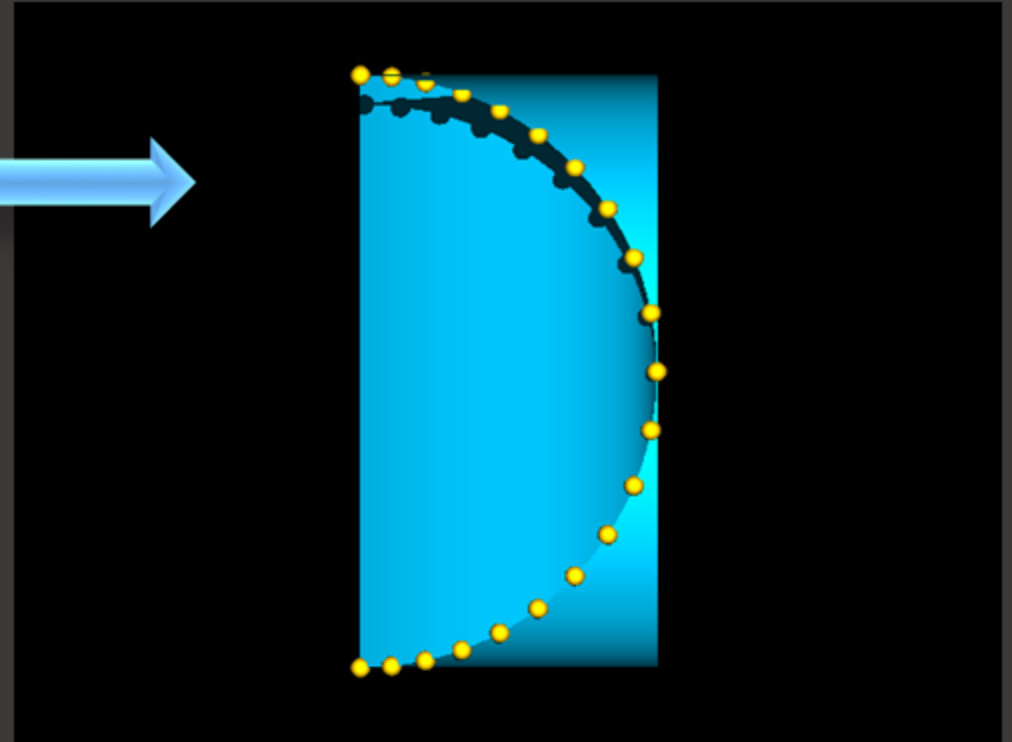
"circle as intersection and conical projection of TWO cubic algebraic surfaces (implicit polynomial representation)"

$z3a := \text{numer}(\text{factor}(\text{subs}(\{x=x0/x3, t=x2/x3\}, x*(1+t^2) - (1-t^2))));$

$$z3a := x0 x3^2 + x0 x2^2 - x3^3 + x2^2 x3$$

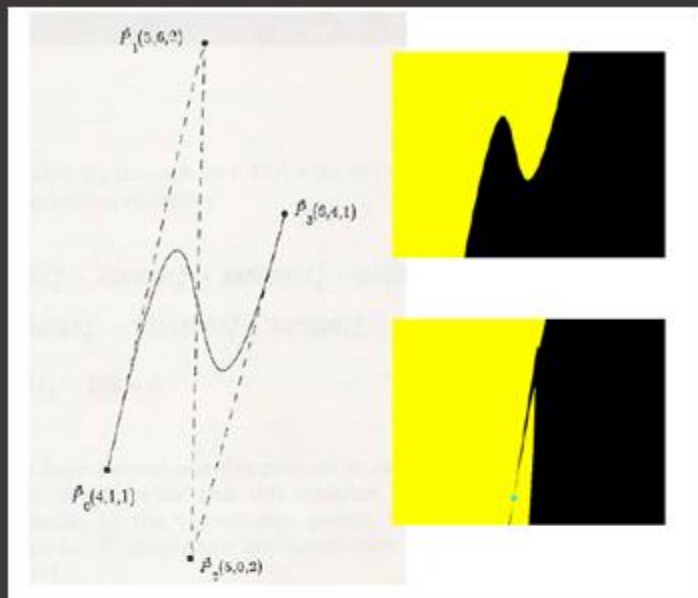
$z3b := \text{numer}(\text{factor}(\text{subs}(\{y=x1/x3, t=x2/x3\}, y*(1+t^2) - (2*t))));$

$$z3b := x1 x3^2 + x1 x2^2 - 2 x2 x3^2$$



Interprétation des représentations paramétriques et problème de l'implicitisation





$$x = \frac{a_{333} \cdot u^3 v^3 w^3 + \dots + a_{000}}{d_{333} \cdot u^3 v^3 w^3 + \dots + d_{000}} \rightarrow d_{333} \cdot x_0 \cdot x_3^3 \cdot x_4^3 \cdot x_5^3 + \dots + d_{000} \cdot x_0 \cdot x_6^9 - a_{333} \cdot x_3^3 \cdot x_4^3 \cdot x_5^3 \cdot x_6 + \dots + a_{000} \cdot x_6^{10} = 0$$

$$y = \frac{b_{333} \cdot u^3 v^3 w^3 + \dots + b_{000}}{d_{333} \cdot u^3 v^3 w^3 + \dots + d_{000}} \rightarrow d_{333} \cdot x_1 \cdot x_3^3 \cdot x_4^3 \cdot x_5^3 + \dots + d_{000} \cdot x_1 \cdot x_6^9 - b_{333} \cdot x_3^3 \cdot x_4^3 \cdot x_5^3 \cdot x_6 + \dots + b_{000} \cdot x_6^{10} = 0$$

$$z = \frac{c_{333} \cdot u^3 v^3 w^3 + \dots + c_{000}}{d_{333} \cdot u^3 v^3 w^3 + \dots + d_{000}} \rightarrow d_{333} \cdot x_2 \cdot x_3^3 \cdot x_4^3 \cdot x_5^3 + \dots + d_{000} \cdot x_2 \cdot x_6^9 - c_{333} \cdot x_3^3 \cdot x_4^3 \cdot x_5^3 \cdot x_6 + \dots + c_{000} \cdot x_6^{10} = 0$$

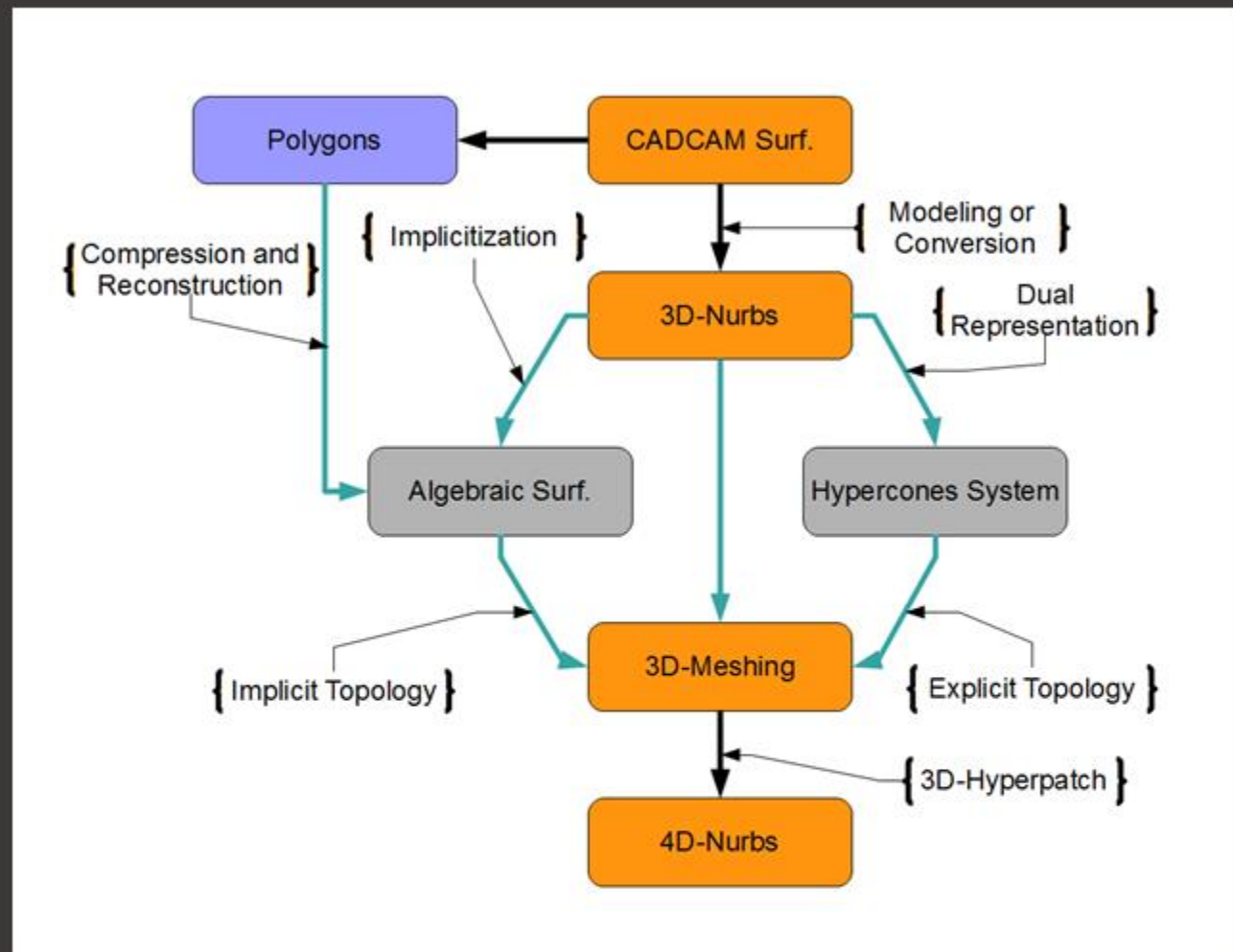


$$x = a_{333} \cdot u^3 v^3 w^3 + \dots + a_{000} \rightarrow x_0 x_7^8 - a_{333} \cdot x_4^3 x_5^3 x_6^3 - \dots - a_{000} \cdot x_7^9 = 0$$

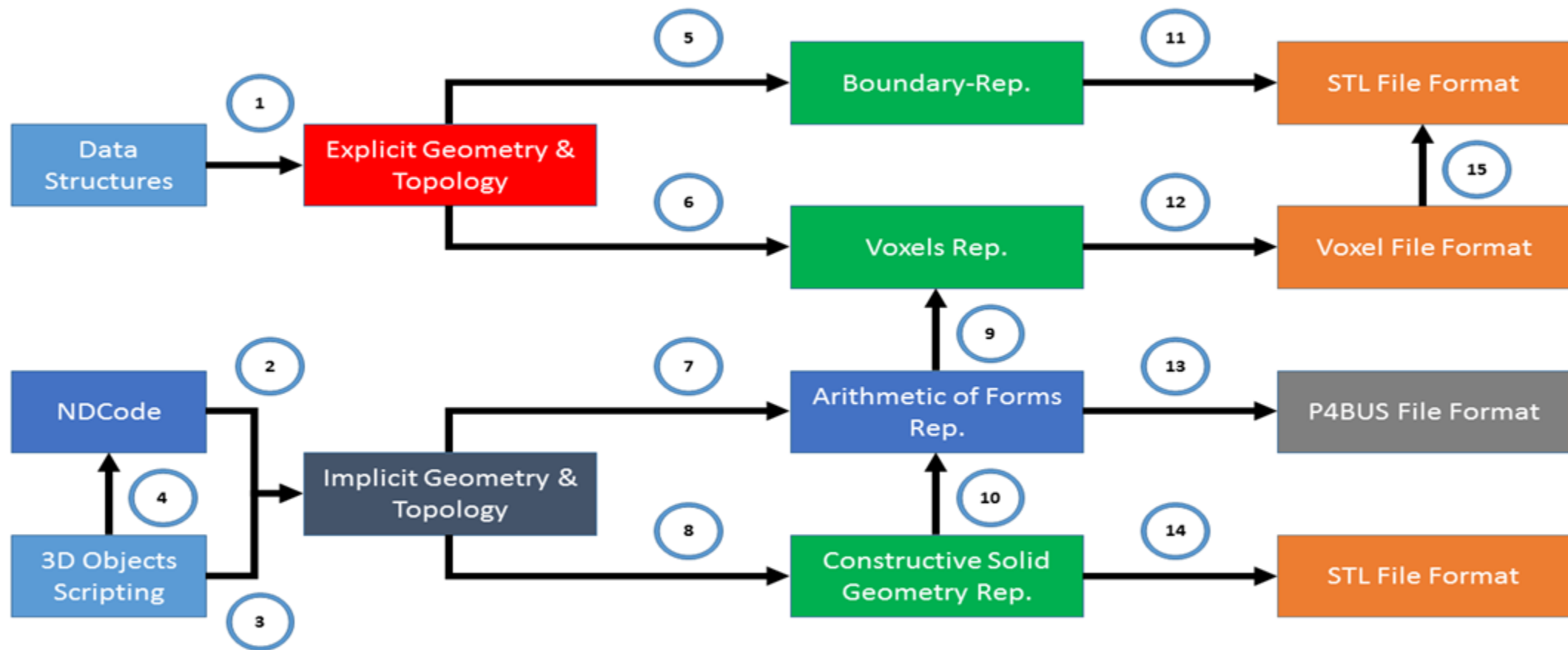
$$y = b_{333} \cdot u^3 v^3 w^3 + \dots + b_{000} \rightarrow x_1 x_7^8 - b_{333} \cdot x_4^3 x_5^3 x_6^3 - \dots - b_{000} \cdot x_7^9 = 0$$

$$z = c_{333} \cdot u^3 v^3 w^3 + \dots + c_{000} \rightarrow x_2 x_7^8 - c_{333} \cdot x_4^3 x_5^3 x_6^3 - \dots - c_{000} \cdot x_7^9 = 0$$

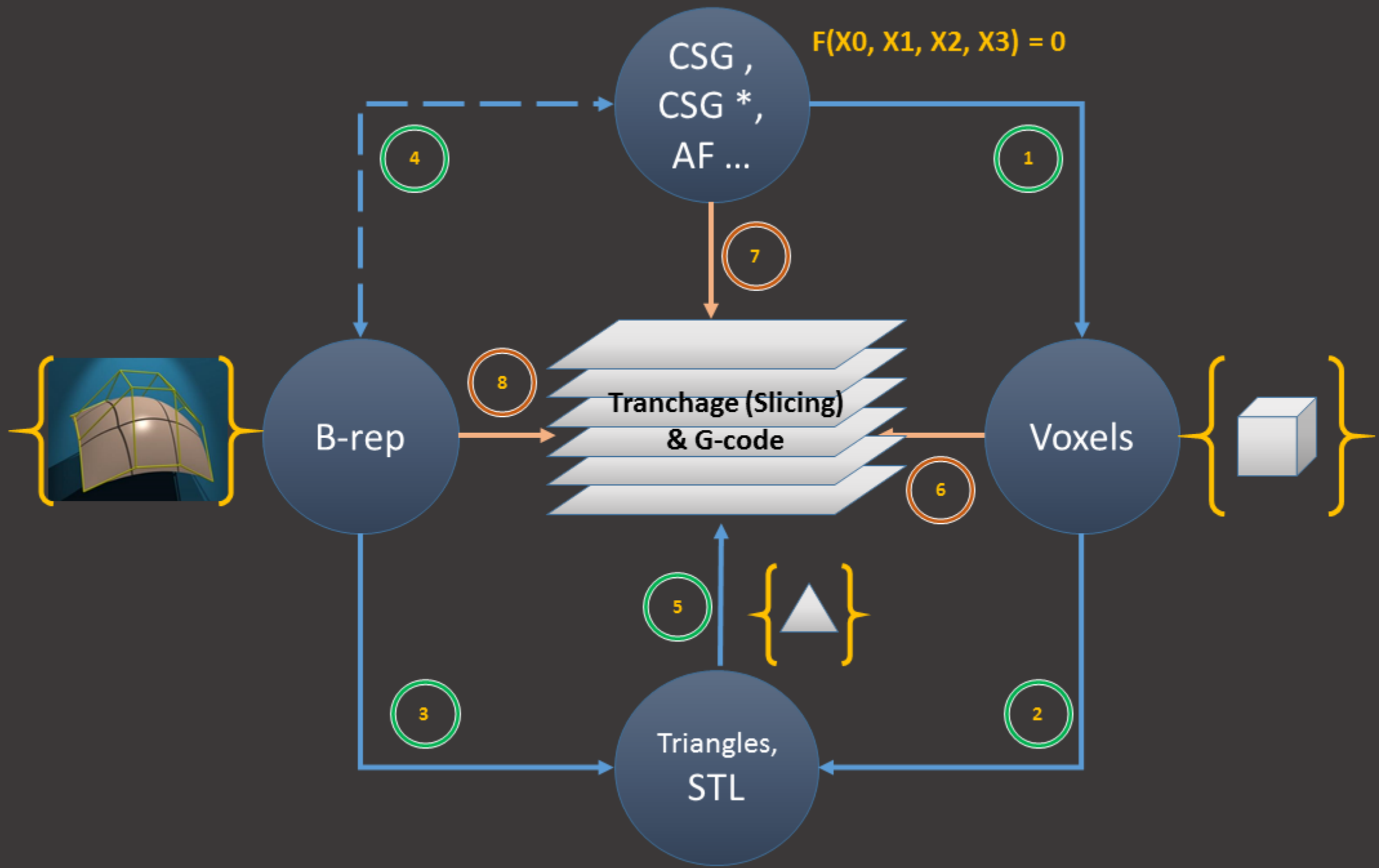
$$t = d_{333} \cdot u^3 v^3 w^3 + \dots + d_{000} \rightarrow x_3 x_7^8 - d_{333} \cdot x_4^3 x_5^3 x_6^3 - \dots - d_{000} \cdot x_7^9 = 0$$



**Challenge mathématique et industriel  
concernant les éléments finis**



## Provenance géométrique du format STL



## Modèle mathématique (objet)

Cet article concerne la représentation physique d'une surface géométrique. Pour la modélisation mathématique en général, voir *Modèle mathématique*.

Un **modèle mathématique** est une maquette d'une forme géométrique, réalisée le plus souvent pour une approche pédagogique.

### Sommaire (analyse)

- 1 Caractéristiques
- 2 Collections
- 3 Art
- 4 Annexes
- 4 1 Références

### Caractéristiques

Les modèles mathématiques sont principalement réalisés au cours du xix<sup>e</sup> siècle dans un but pédagogique, afin d'aider à visualiser des surfaces mathématiques (principalement des cubiques et des quadriques)<sup>1</sup>. Les modèles reproduisent dans l'espace des formes qui peuvent être difficiles à appréhender sur le papier ou sur un simple tableau noir et permettent d'illustrer leurs propriétés de façon concrète<sup>4,5</sup>. Les méthodes de réalisation varient : sculptures en plâtre ou en bois, surfaces matérialisées par des fils tendus (particulièrement pour les surfaces réglées), etc.

Au xix<sup>e</sup> siècle, les modifications d'approche dans la recherche et l'enseignement de la géométrie rendent rapidement obsolète la production de ces modèles mathématiques. Leur usage est oublié à partir des années 1920<sup>6</sup>.

### Collections

À la fin du xix<sup>e</sup> siècle et au début du xx<sup>e</sup> siècle, plusieurs universités comportent de véritables collections de modèles mathématiques<sup>7</sup>. Certaines ont conservé ces collections, parmi lesquelles<sup>7</sup> :

- Université technique de Dresde (Dresde) : environ 400 modèles<sup>8</sup>
- Université de Göttingen (Göttingen)<sup>9</sup>
- Université de Groningue (Groningue)<sup>10</sup>
- Institut Henri Poincaré (Paris) : environ 500 modèles, une centaine exposés de façon permanente dans la bibliothèque de l'Institut<sup>4</sup>
- Université de Tokyo (Tokyo)<sup>11</sup>
- Université d'Arizona (Tucson)<sup>12</sup>
- Université de Turin (Turin) : environ 180 modèles<sup>13</sup>
- Smithsonian Institution (Washington)



Maquette d'une surface minimale comportant un lemnicate comme géodésique, exemple de modèle mathématique solide en bois et verre comportant plusieurs courbes à sa surface à fins d'illustration.



Maquette d'une courbe dans l'espace de degré 4, exemple de modèle où des fils de soie tendus sur une armature métallique illustrent la courbe désirée.



Jaume Gabó étudie les modèles



## Modèles pédagogiques et "curiosités" mathématiques

A really nice family of implicit surfaces in  $\mathbb{R}^3$  are the Banchoff-Chmutov surfaces

$$BC_n := \{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 ; T_n(x) + T_n(y) + T_n(z) = 0\},$$

where  $T_n$  denotes the  $n$ -th Chebishev polynomial of the first kind, i.e.

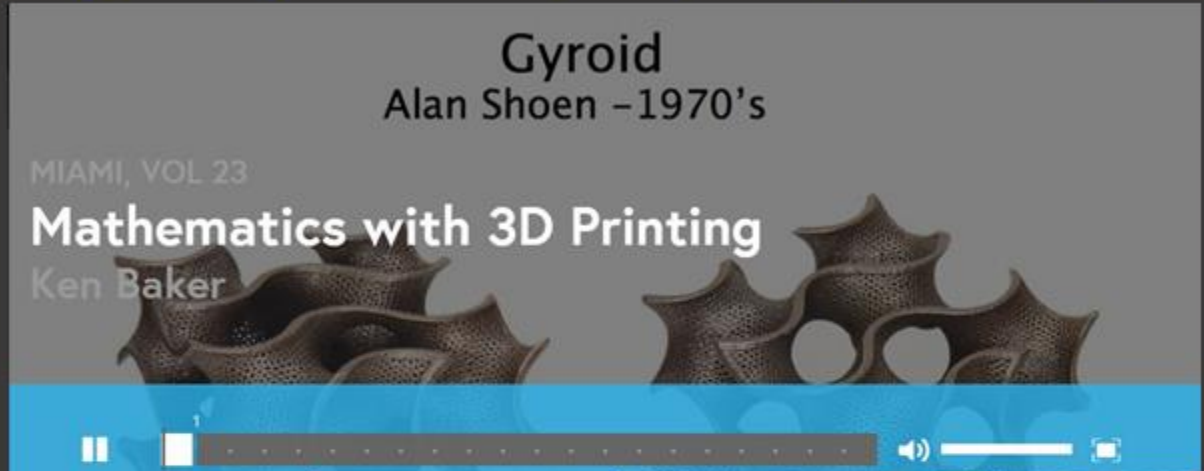
$$T_n(x) := \sum_{k=0}^{\lfloor n/2 \rfloor} \binom{n}{2k} (x^2 - 1)^k x^{n-2k}.$$

<http://www.pechakucha.org/cities/miami/presentations/mathematics-with-3d-printing>

Gyroid  
Alan Shoen - 1970's

MIAMI, VOL 23

Mathematics with 3D Printing  
Ken Baker



A video player interface with a blue progress bar and a play button. The video content shows a dark, textured, porous structure with a complex, interconnected lattice pattern, characteristic of a gyroid.

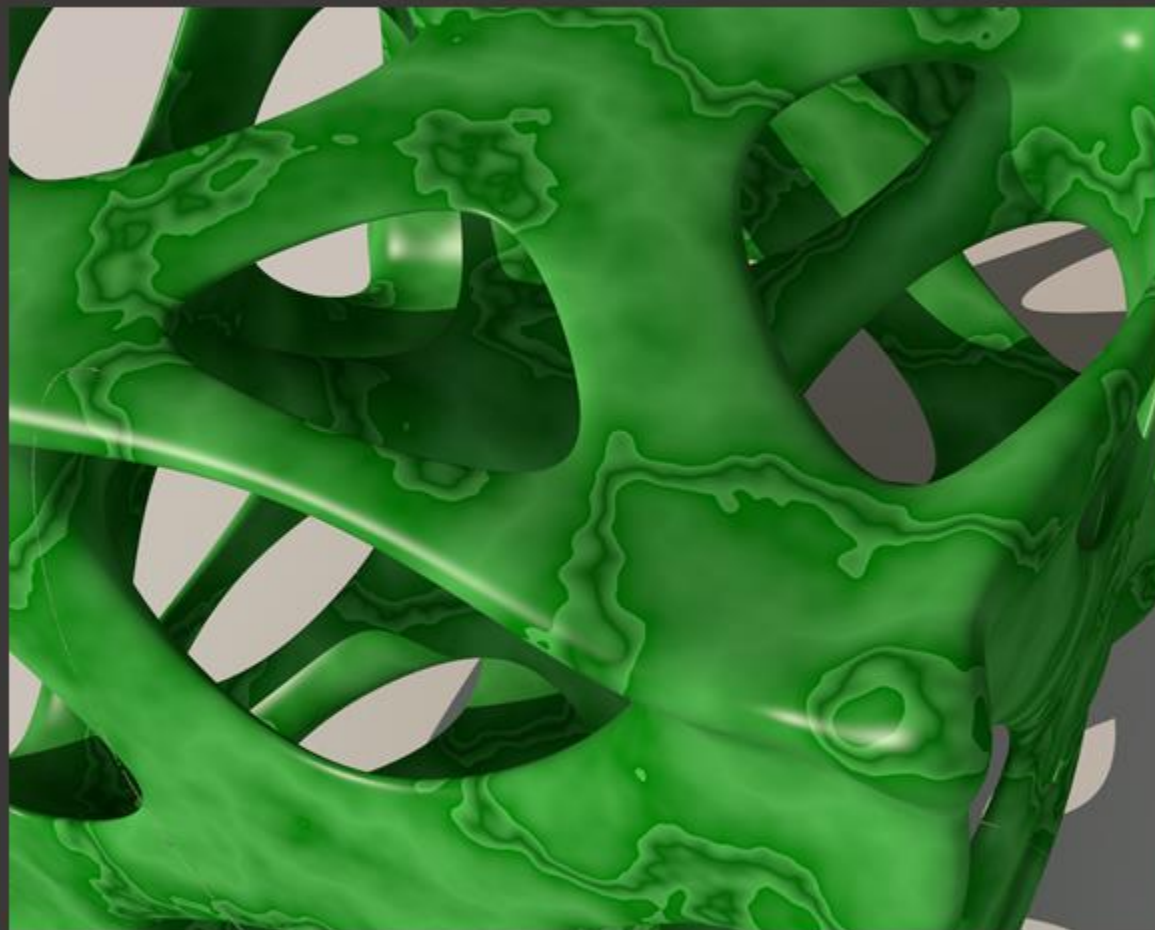
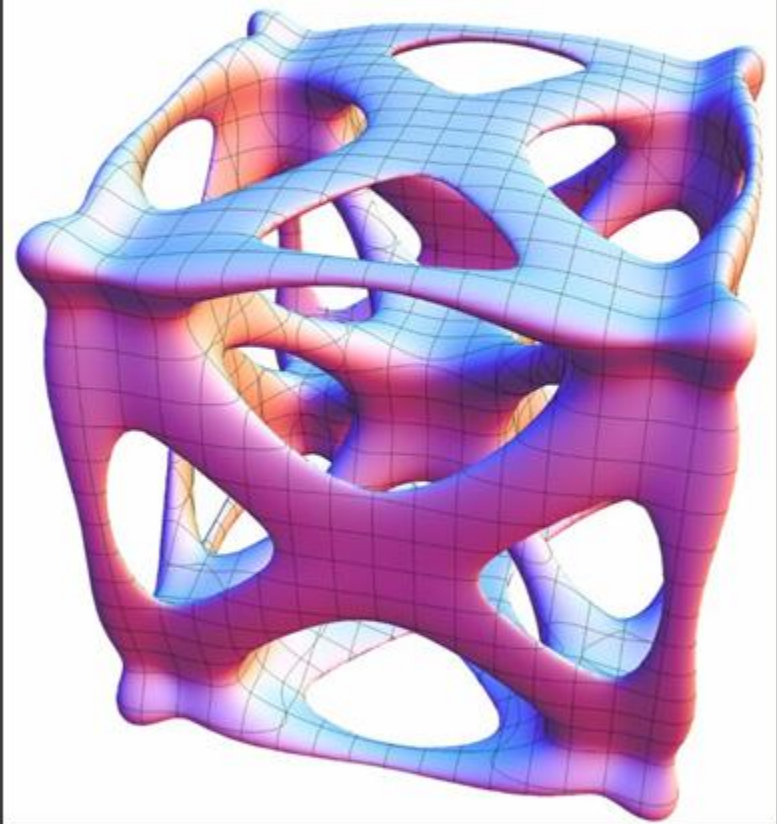


**Modèles mathématiques et  
impression 3D**

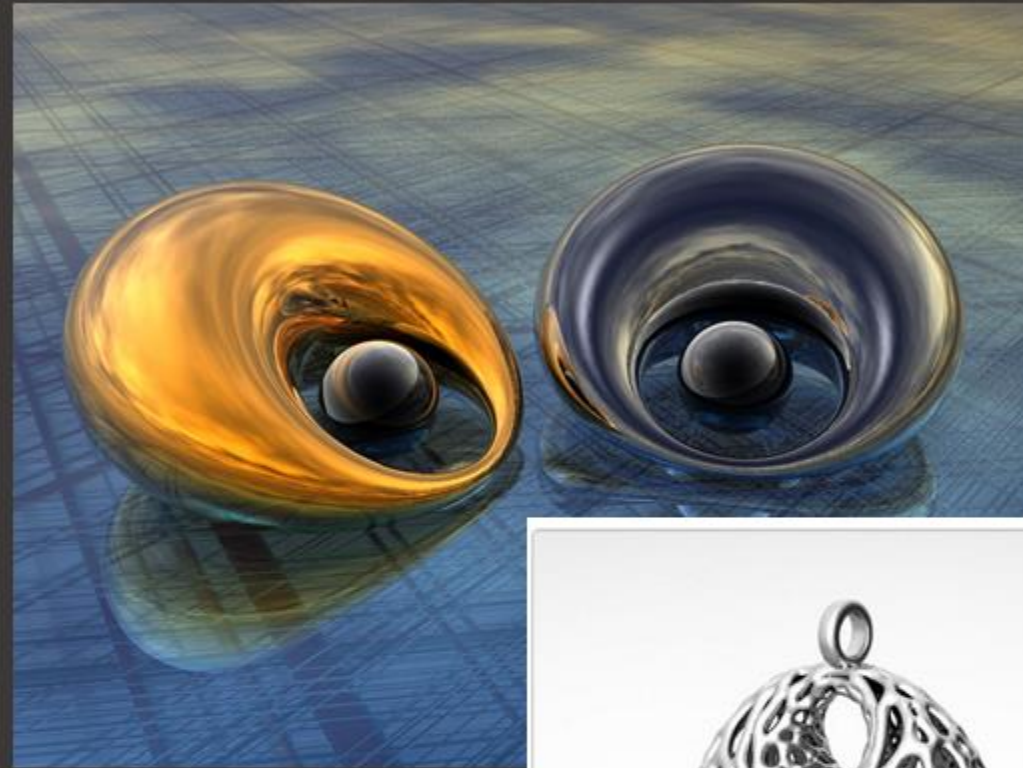
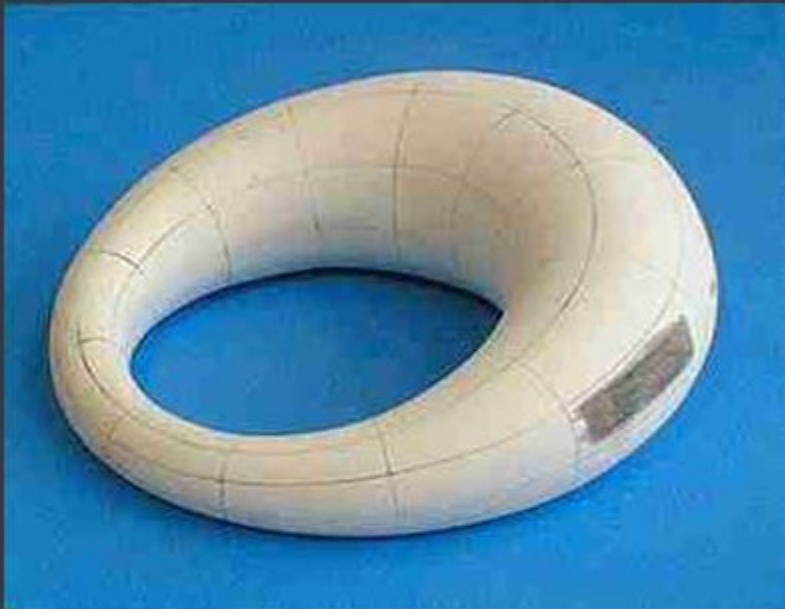
<http://math.stackexchange.com/questions/46212/interesting-implicit-surfaces-in-mathbbR3>



$$\{(x, y, z) \in \mathbb{R}^3 ; (2.92(x-1)x^2(x+1) + 1.7y^2)^2 * (y^2 - 0.88)^2 + (2.92(y-1)y^2(y+1) + 1.7z^2)^2 * (z^2 - 0.88)^2 + (2.92(z-1)z^2(z+1) + 1.7x^2)^2 * (x^2 - 0.88)^2 - 0.02 = 0\}$$



**Approche expérimentale par modification itérative des coefficients**



## Le cas particulier des cyclides de Dupin

HOME / SHOP / JEWELRY

### Cellular Dupin Cyclide Pendant

Cellular Dupin Cyclide Pendant - Math Based Jewelry by Dizingof

Size: 30x20x35mm  
Thickness: 1.3mm  
Volume: 1.3 cubic cm

3D print it in colored Nylon (SL5 3d printer) or precious metals such as Silver, Gold, Brass etc.

Category: Jewelry.

Tags: cells, gold, jewelry, Organic, pendant, resin, silver, SLA, 3d.

©3Dizingof.com

1) Cyclides ellipto-hyperboliques.

L'ellipse et l'hyperbole confocales étant :

$$\begin{cases} \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \\ z = 0 \end{cases} \text{ et } \begin{cases} \frac{x^2}{c^2} - \frac{z^2}{b^2} = 1 \\ z = 0 \end{cases} \text{ avec } 0 < b \leq a, c^2 = a^2 - b^2.$$

La paramétrisation cartésienne de la cyclide par la double famille des cercles de courbure est :

$$\begin{cases} x = \frac{d(c - a \cos u \cos v) + b^2 \cos u}{a - c \cos u \cos v} \\ y = \frac{b \sin u (a - d \cos v)}{a - c \cos u \cos v} \\ z = \frac{b \sin v (c \cos u - d)}{a - c \cos u \cos v} \end{cases}$$

où  $d$  est tel que les cercles directeurs soient de rayons  $a + d, |a - d|, c + d, |c - d|$ .

la normale en  $M$  est la droite  $(I_1 I_2)$  avec  $I_1 \begin{pmatrix} a \cos u \\ b \sin u \\ 0 \end{pmatrix}$  sur l'ellipse et  $I_2 \begin{pmatrix} c \\ \cos v \\ b \tan v \end{pmatrix}$  sur l'hyperbole.

Équation cartésienne  $(x^2 + y^2 + z^2 + b^2 - d^2)^2 = 4((ax - cd)^2 + b^2 y^2)$ .

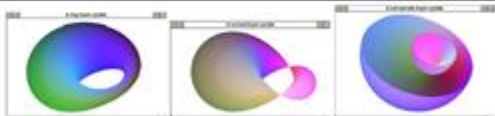
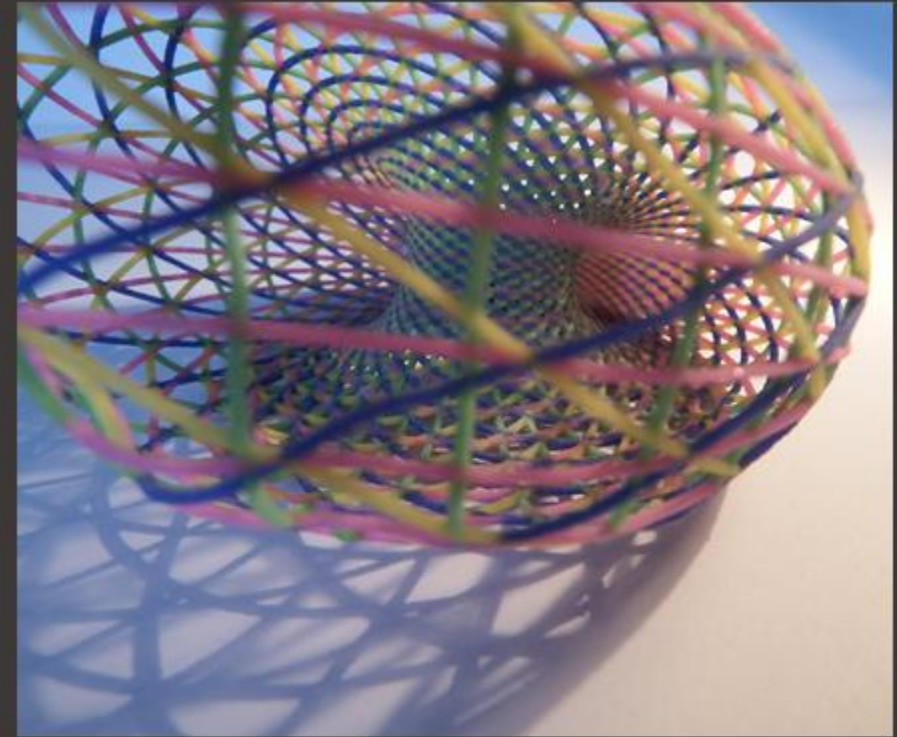


Figure 1: The three types of Dupin cyclides. Left: ring cyclide  $0 \leq c < \mu \leq a$ . Middle: horned cyclide  $0 < \mu \leq c < a$ . Right: spindle cyclide  $0 \leq c \leq a < \mu$ .



Figure 2: Cut of a Dupin cyclide by its symmetry plane  $P_y$  : ( $y = 0$ ).

Conversion de cyclides de Dupin en carreaux de Bézier Rationnels biquadratiques

L. GARNIER, S. FOUFOU, M. NEVEU

La "reconversion" des cyclides dans le monde industriel

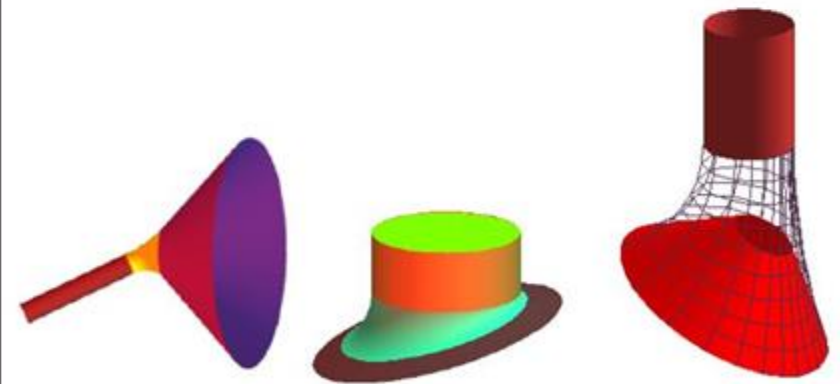
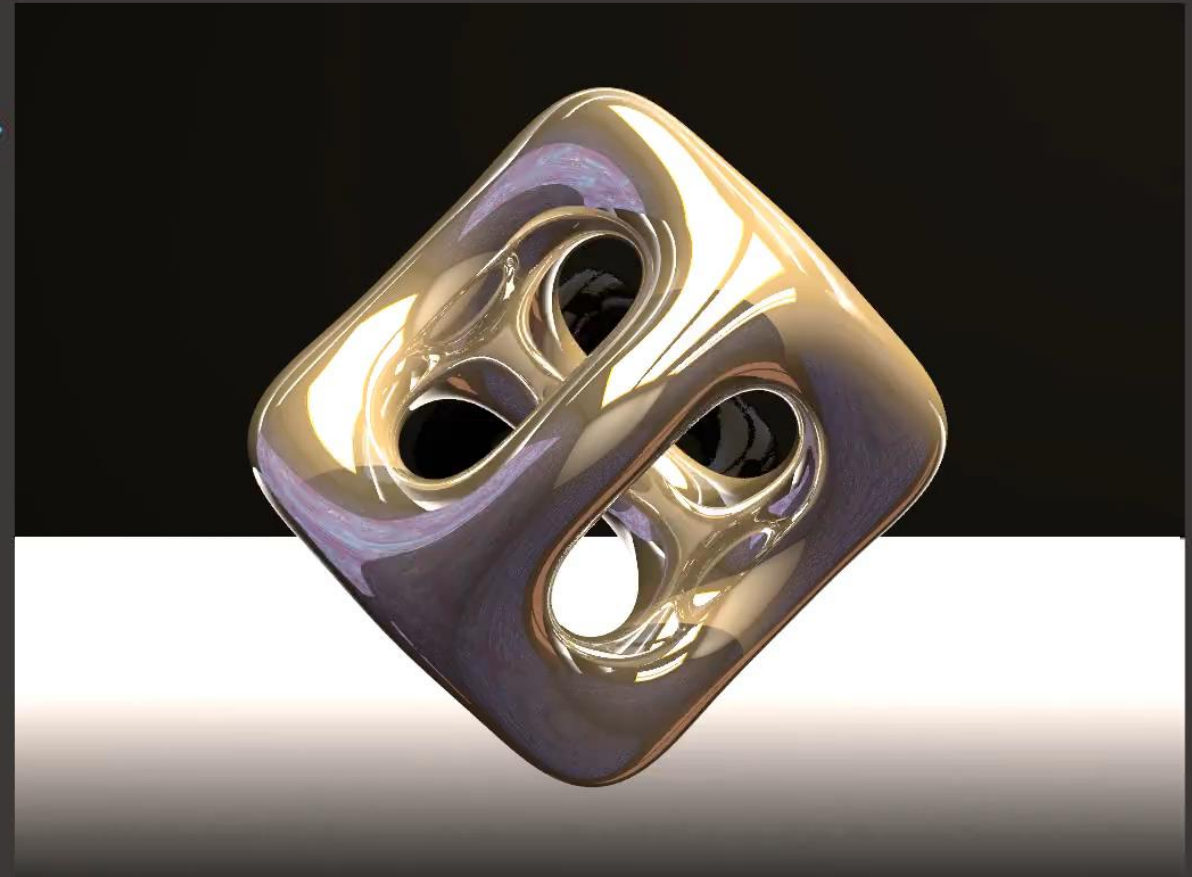


Figure 8: Cone-cylinder ring Dupin cyclide blends.



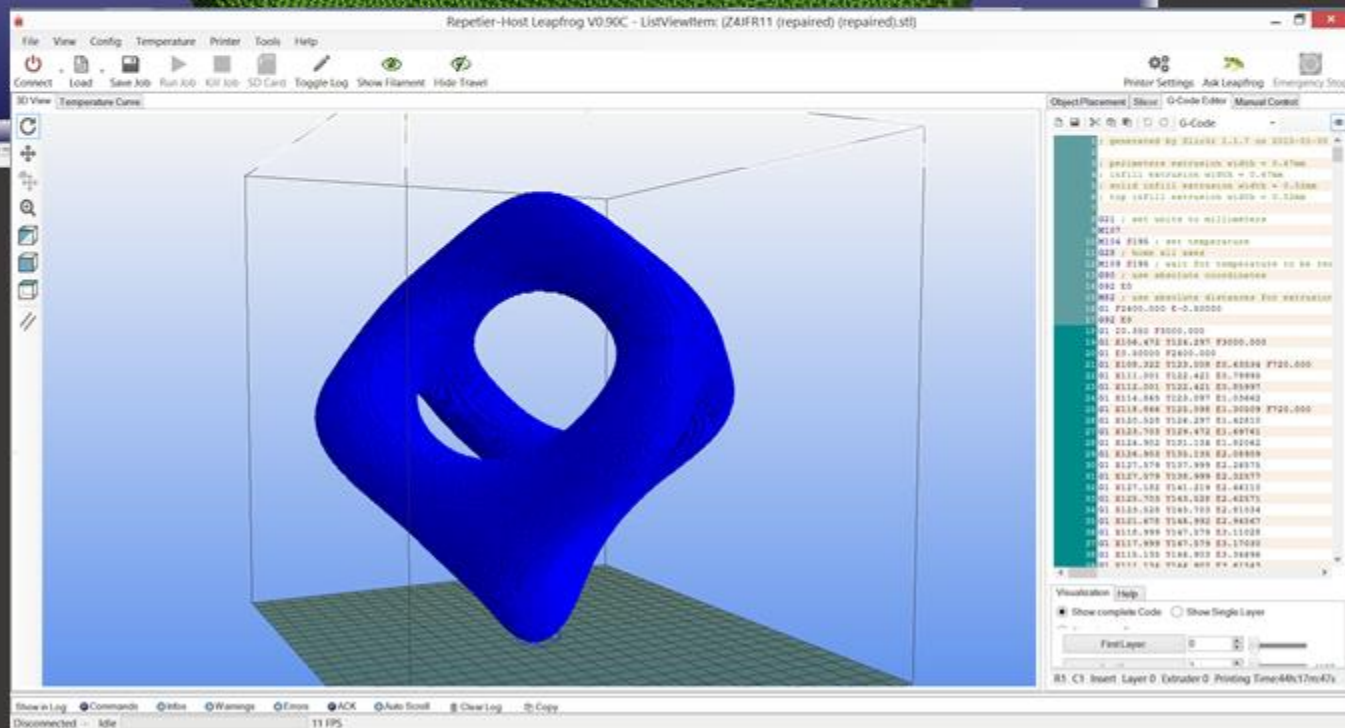
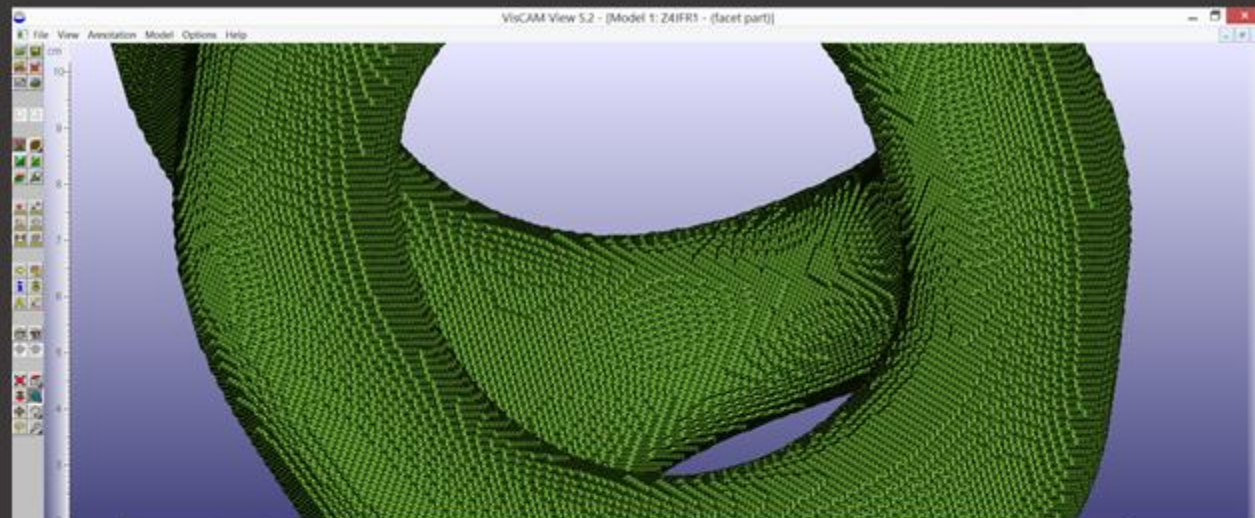
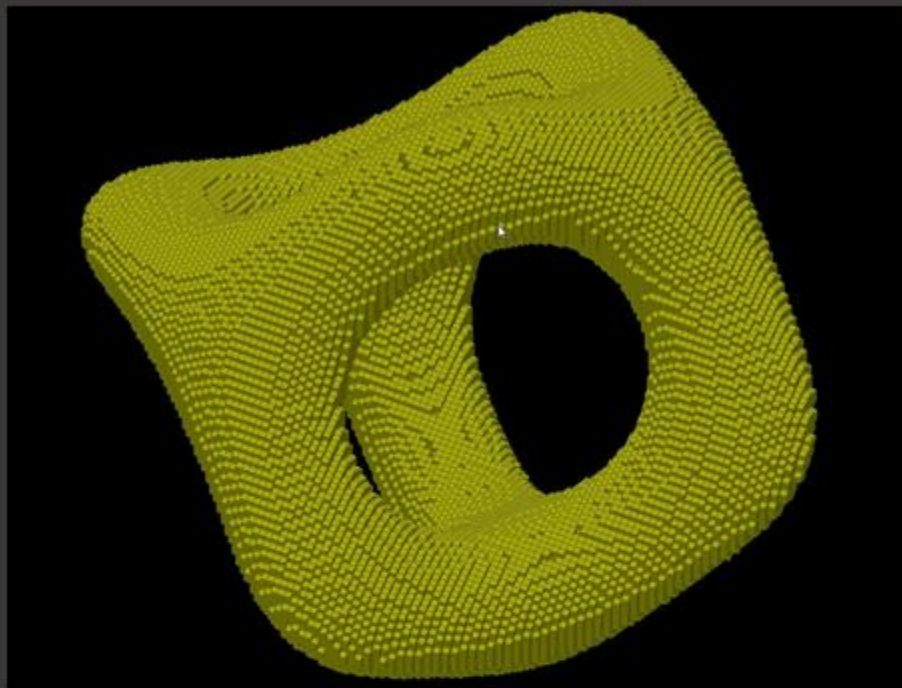
$$z4Ex6 := x0^4 + 6 x0^2 x1^2 + 6 x0^2 x2^2 - 26 x0^2 x3^2 + 24 x0 x1 x2 x3 + x1^4 + 6 x1^2 x2^2 - 26 x1^2 x3^2 + x2^4 - 26 x2^2 x3^2 + 125 x3^4$$

[1, 0, 6, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 6, 0, 6, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 24, 0, 0, 0, 0, -26, 0, -26, 0, 0, -26, 0, 0, 0, 125]

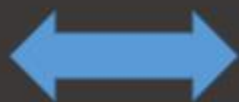


**Le design mathématique de surfaces  
en Algèbre Ornementale  
Maurice El-Milick 1936**

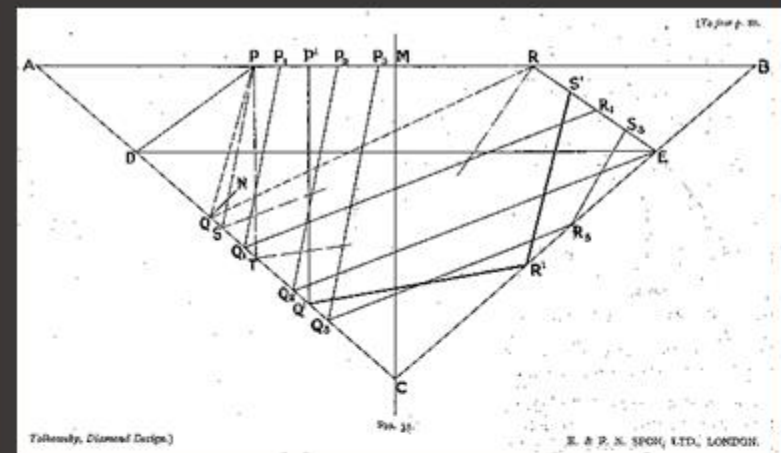
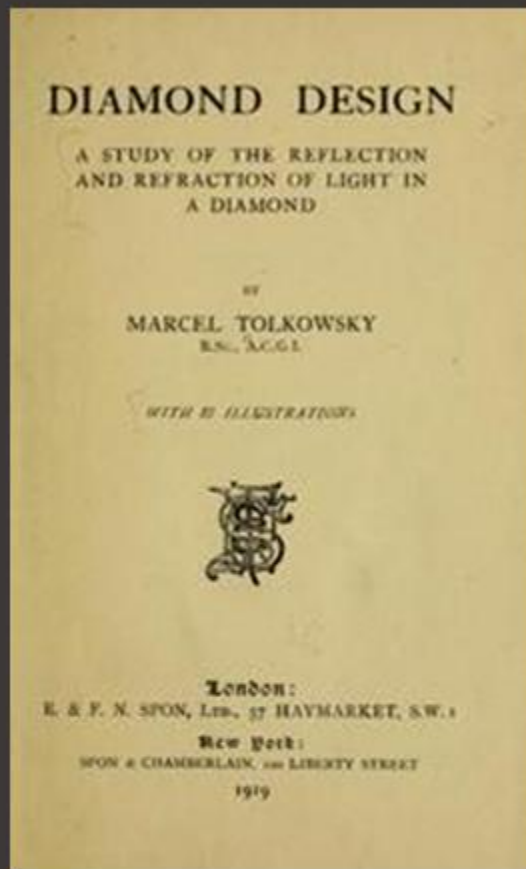
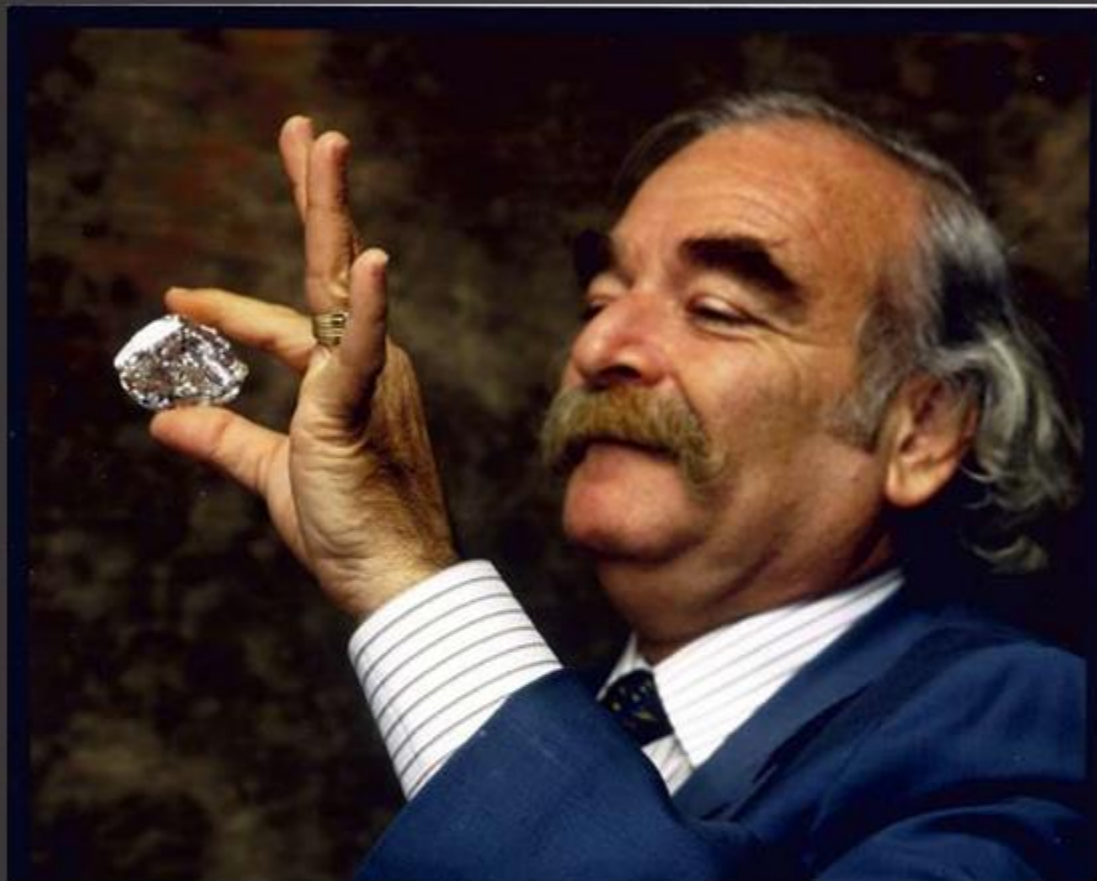
**Le design mathématique de surfaces  
en Arithmétique des Formes  
JFR-1997**



PHASE 2



- 1 - Voxélisation
- 2 - Polygonisation & STL & réparation
- 3 - Tranchage (Slicing) & G-code



Tolkowsky, Diamond Design

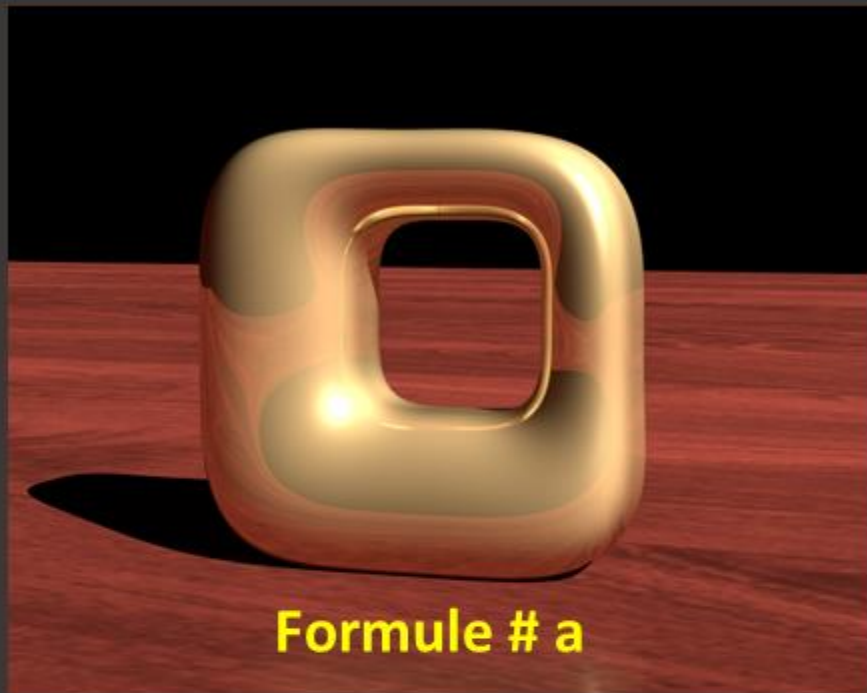
Fig. 26

E. & F. N. SPON, LTD., LONDON

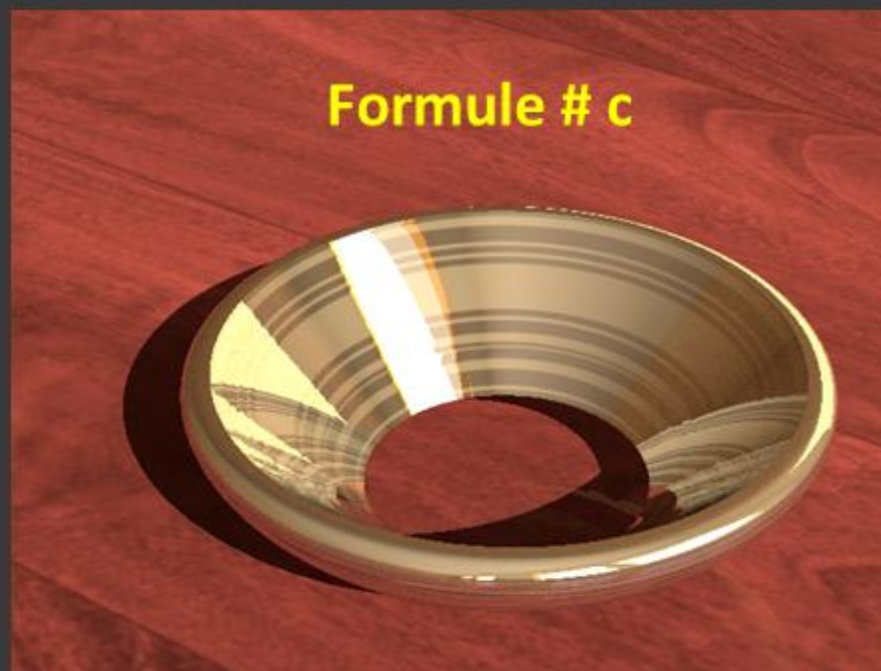
La joaillerie mathématique et l'impression 3D : reproduire le passé, imaginer l'avenir



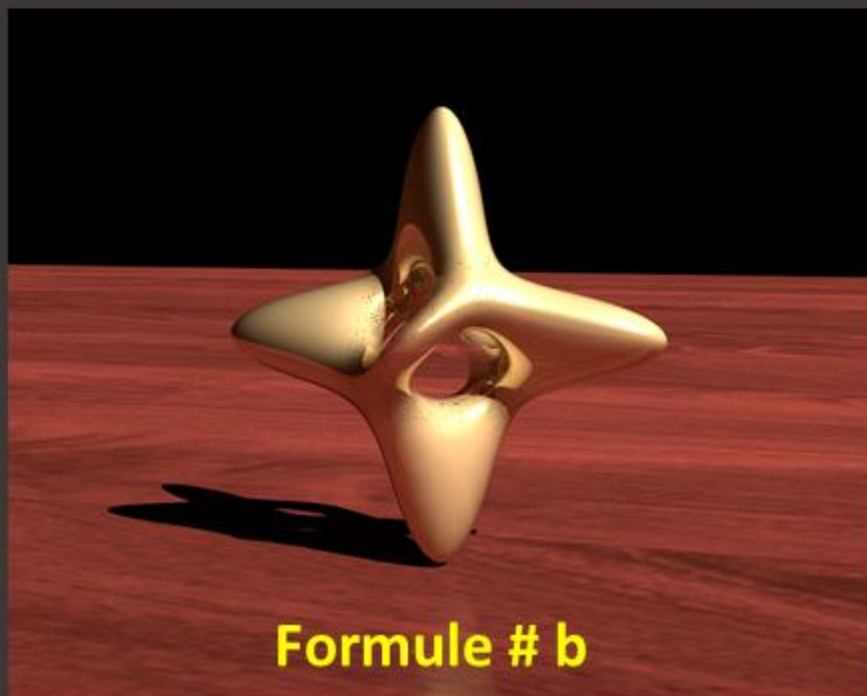
Torque en or porté par la princesse de Vix 500 avant JC environ - Châtillon-sur-Seine



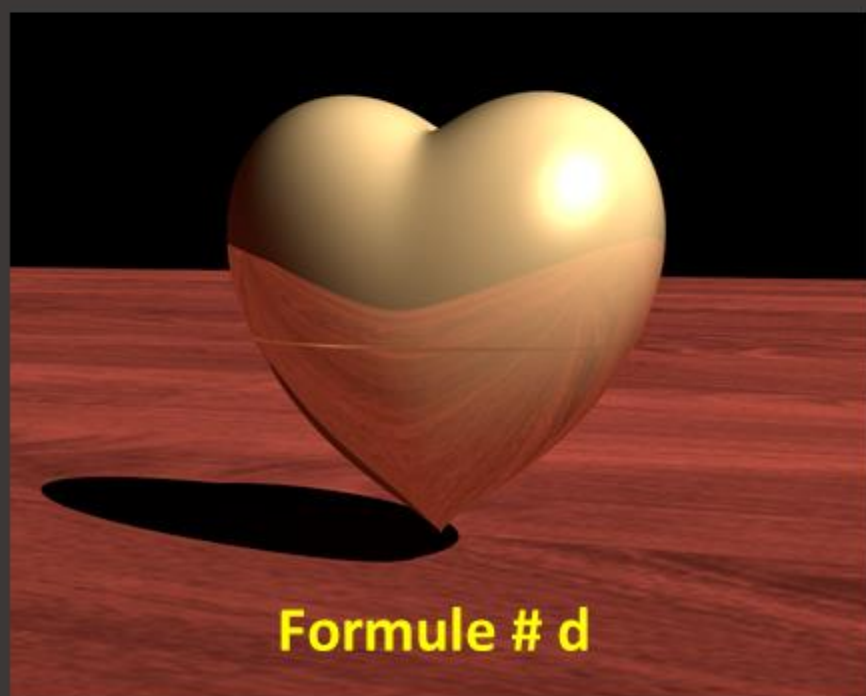
Formule # a



Formule # c



Formule # b



Formule # d

- ❖ Chaque “Lego” est une formule mathématique, formant une primitive géométrique (# a ...)
- ❖ Le nombre de “Legos” est illimité
- ❖ Les “Legos” peuvent être utilisés séparément ou combinés, coupés, troués, assemblés, déformés.

1



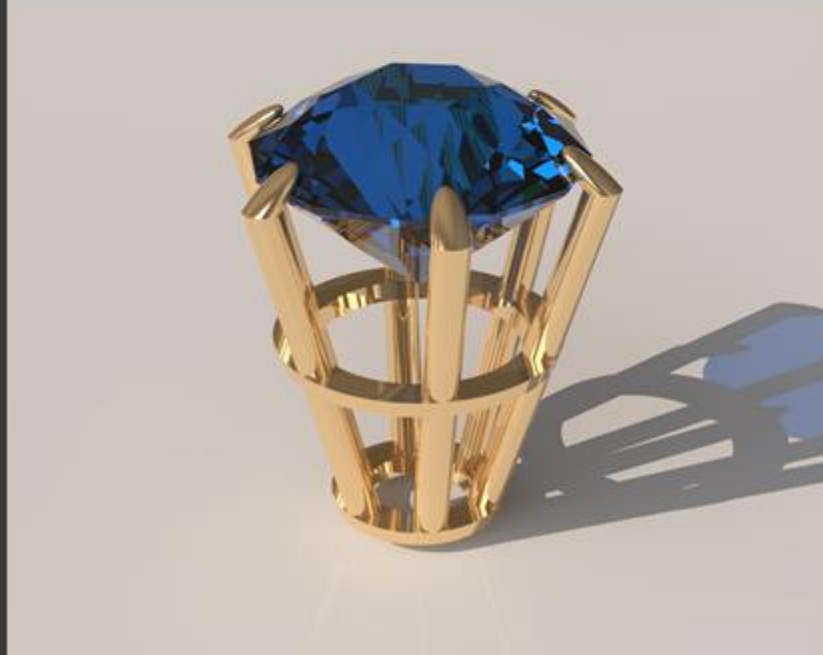
3



2



4

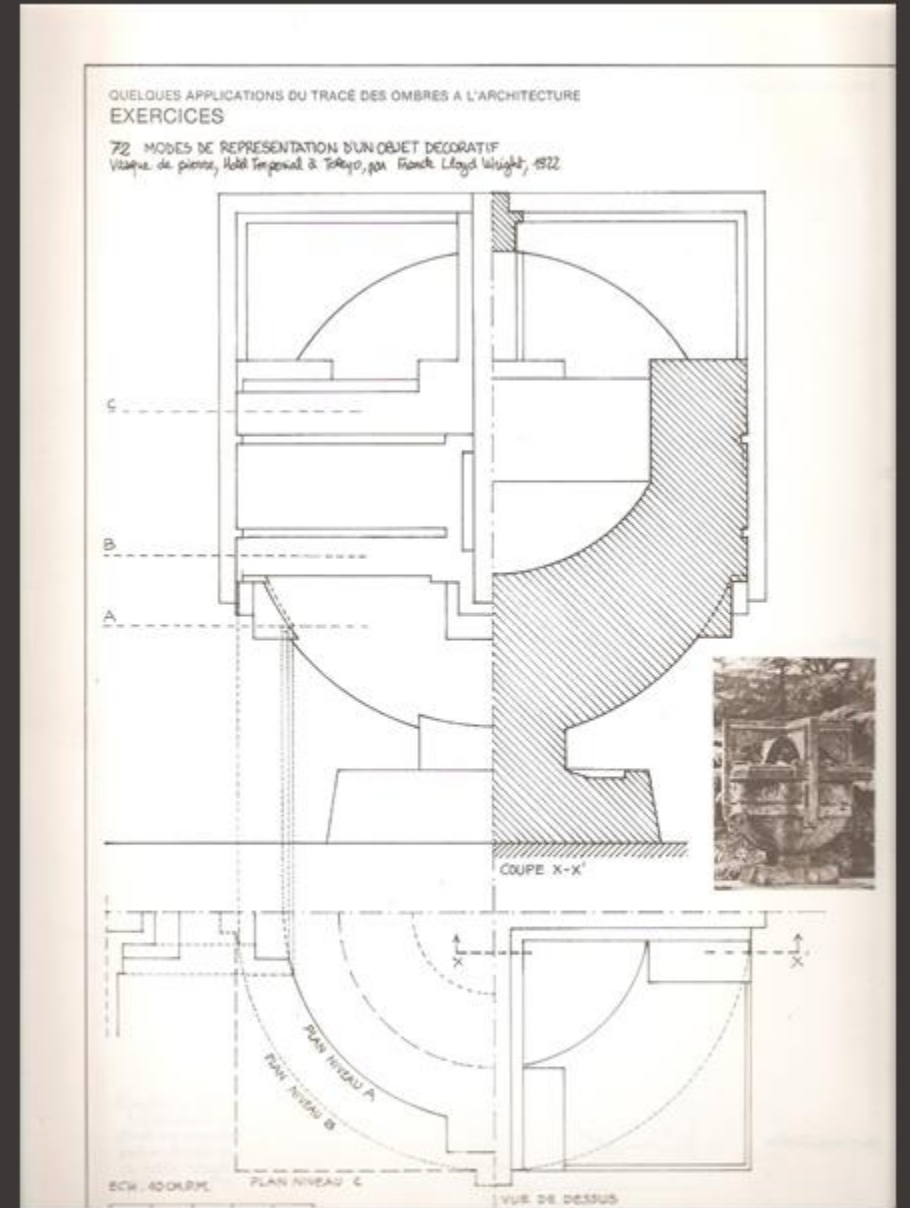


I  
m  
p  
e  
r  
i  
a  
l  
H  
ô  
t  
e  
l

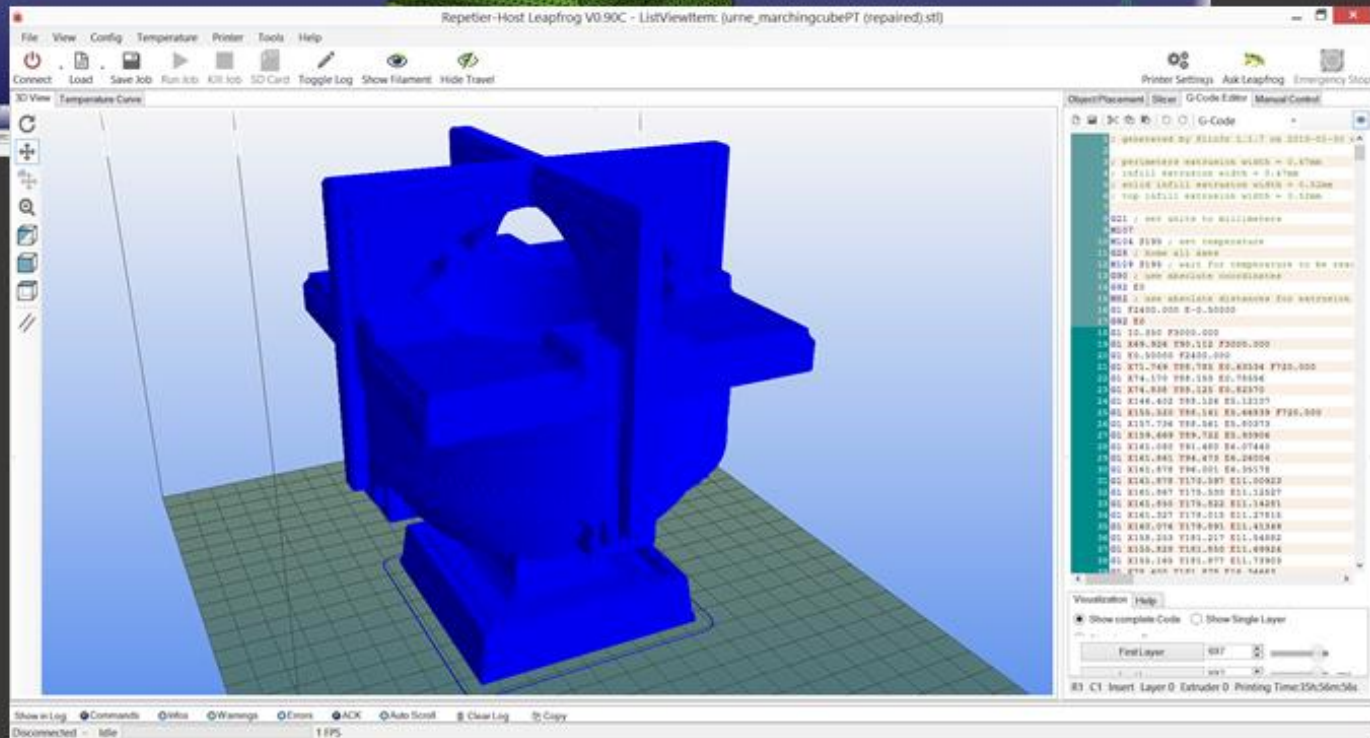
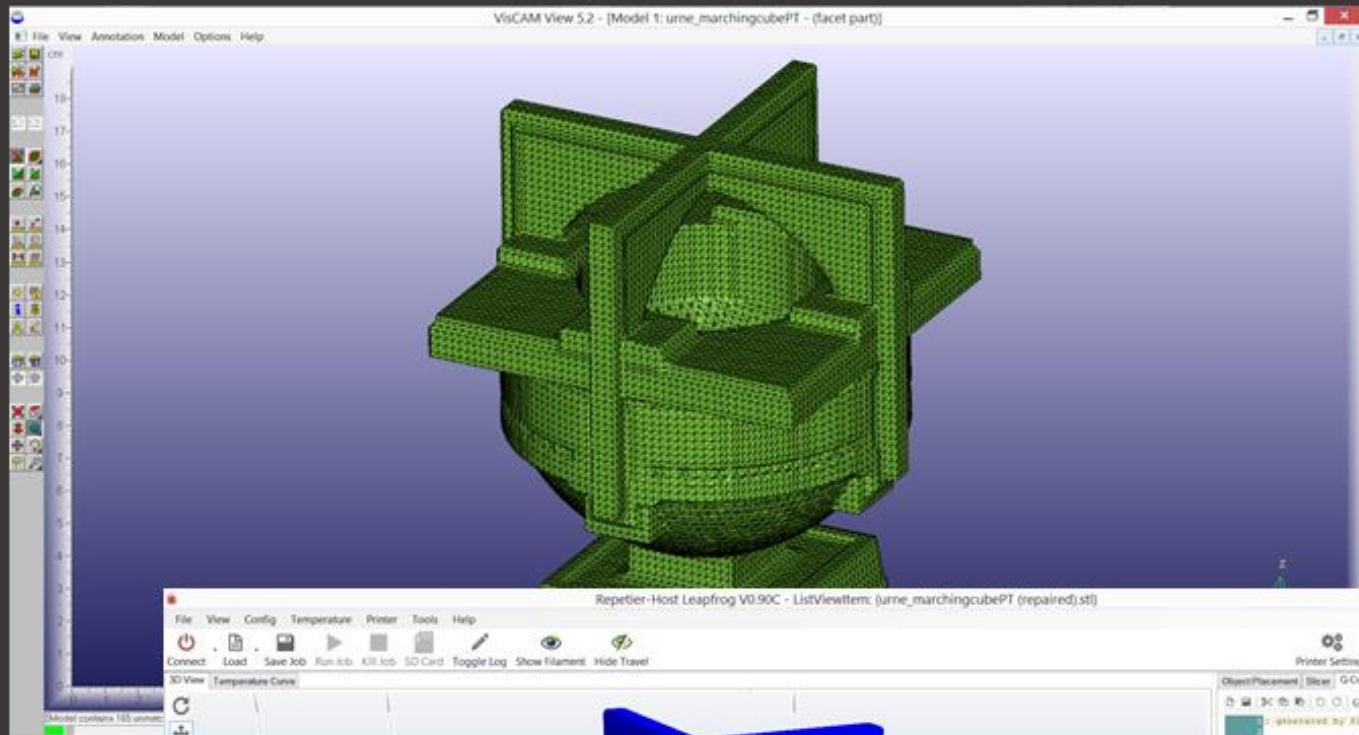
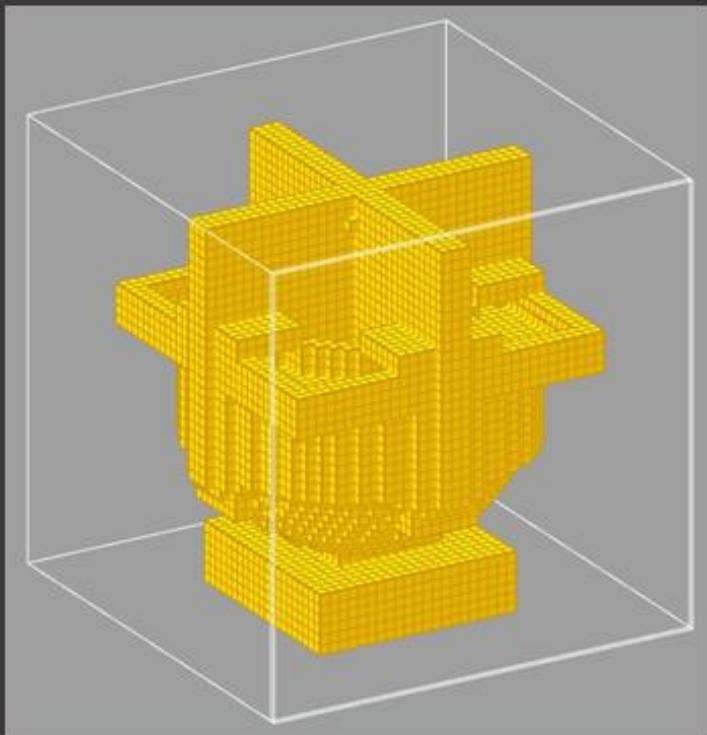


Frank Lloyd Wright - 1922

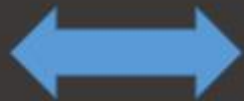
PHASE 1



Rétroanalyse - Rétroconception

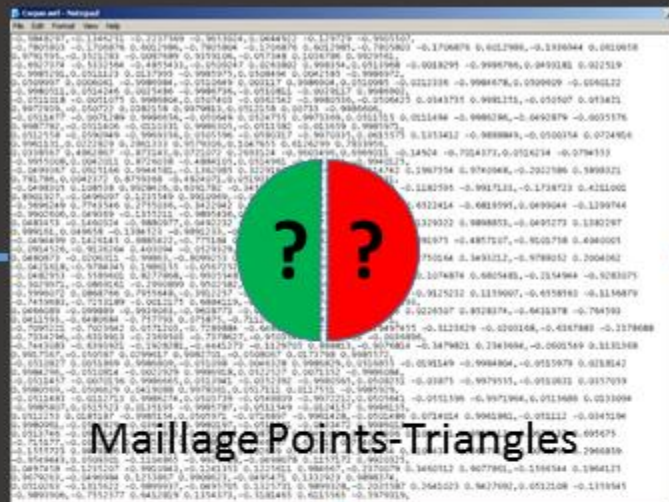


PHASE 3



- 1 - Voxélisation
- 2 - Polygonisation & STL & réparation
- 3 - Tranchage (Slicing) & G-code

Forme "Libre"

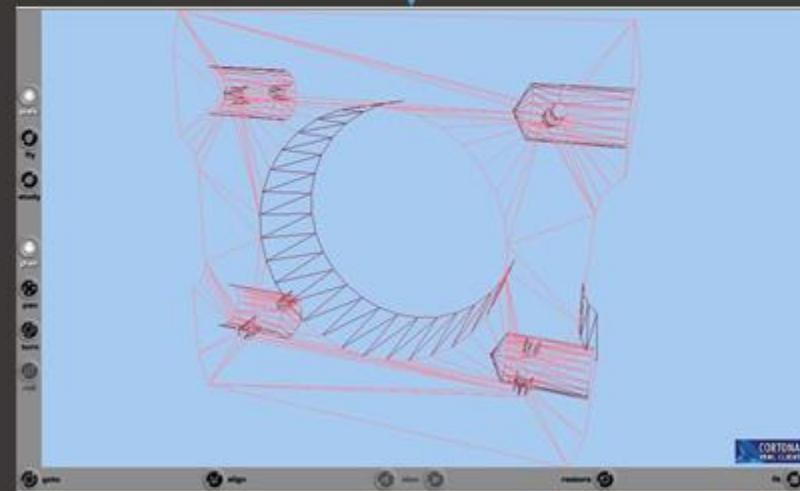
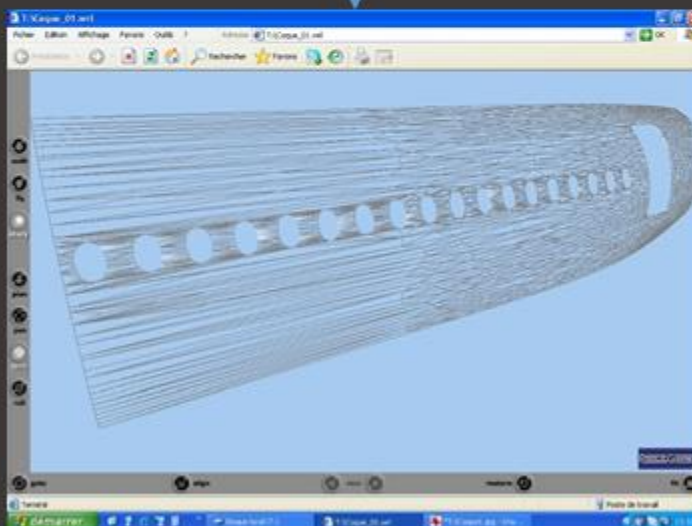
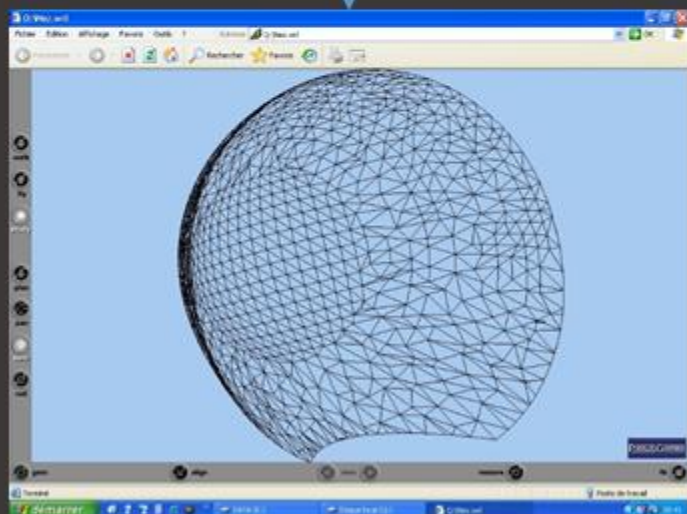


```
1 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
2 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
...
100 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
```

Maillage Points-Triangles

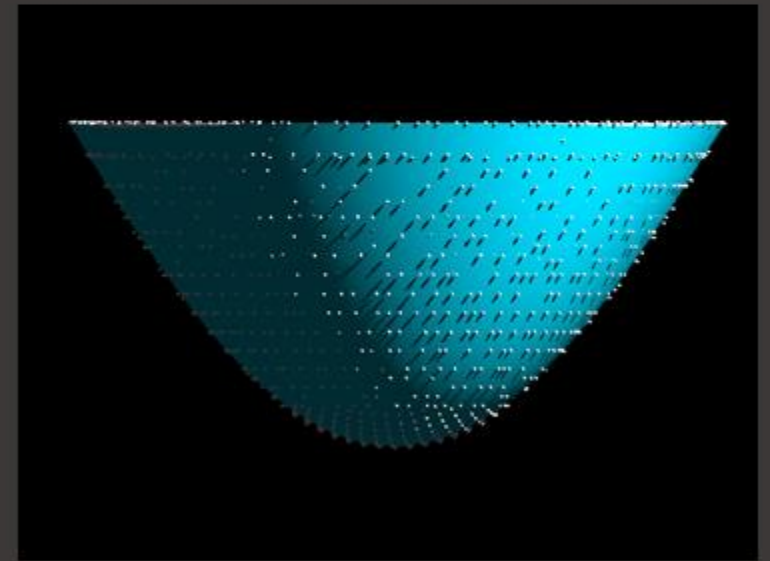
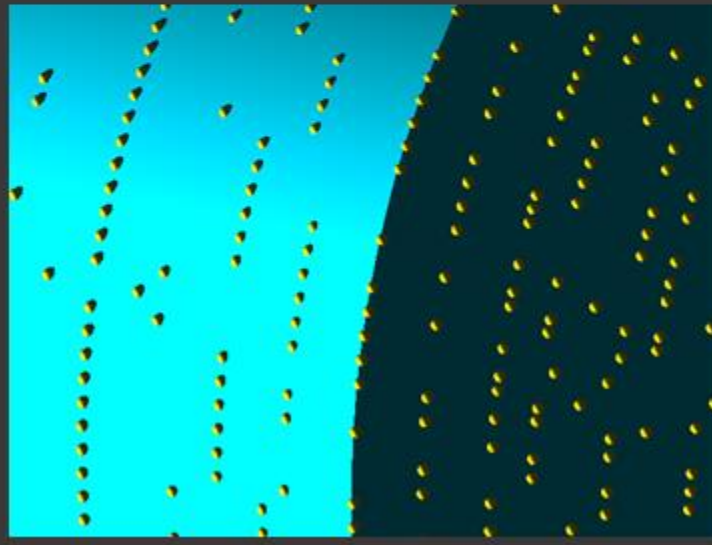
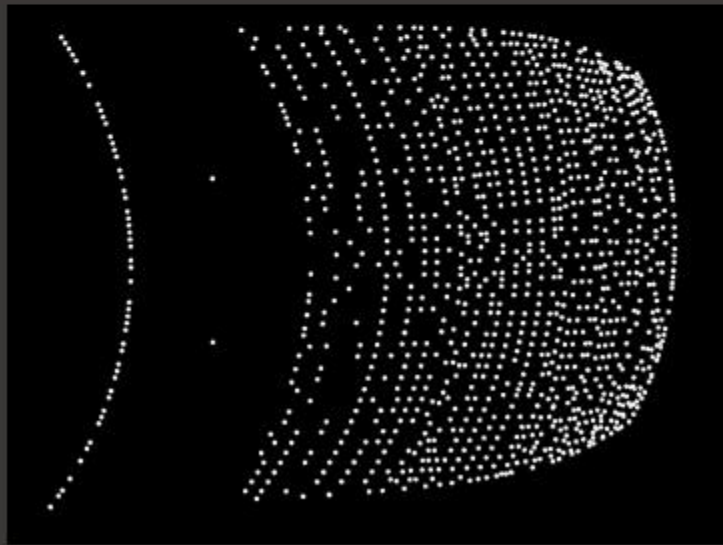
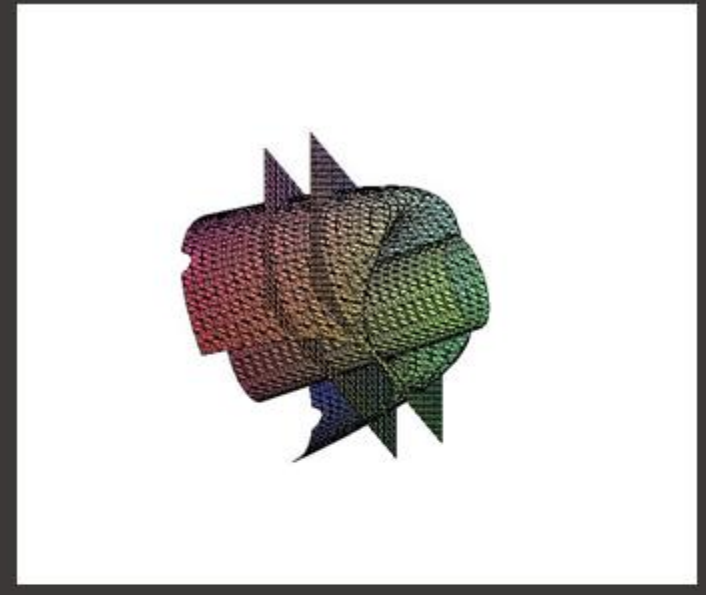
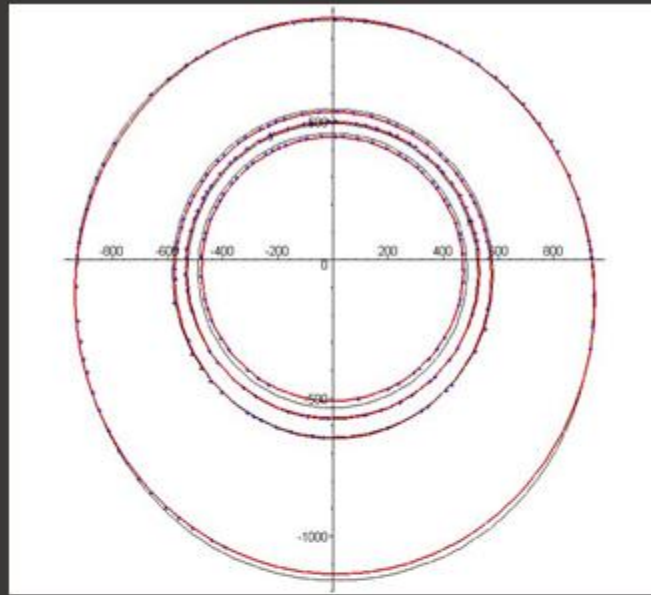
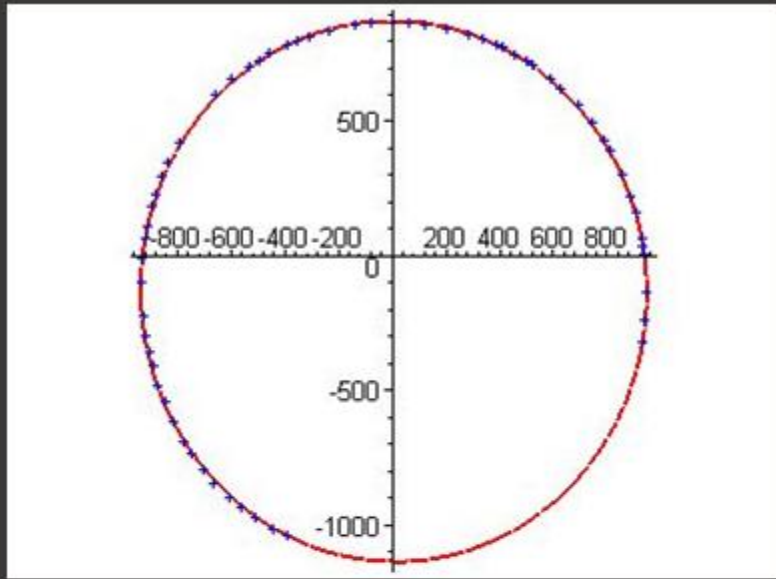
Forme "Constructive"

Forme "Composée"

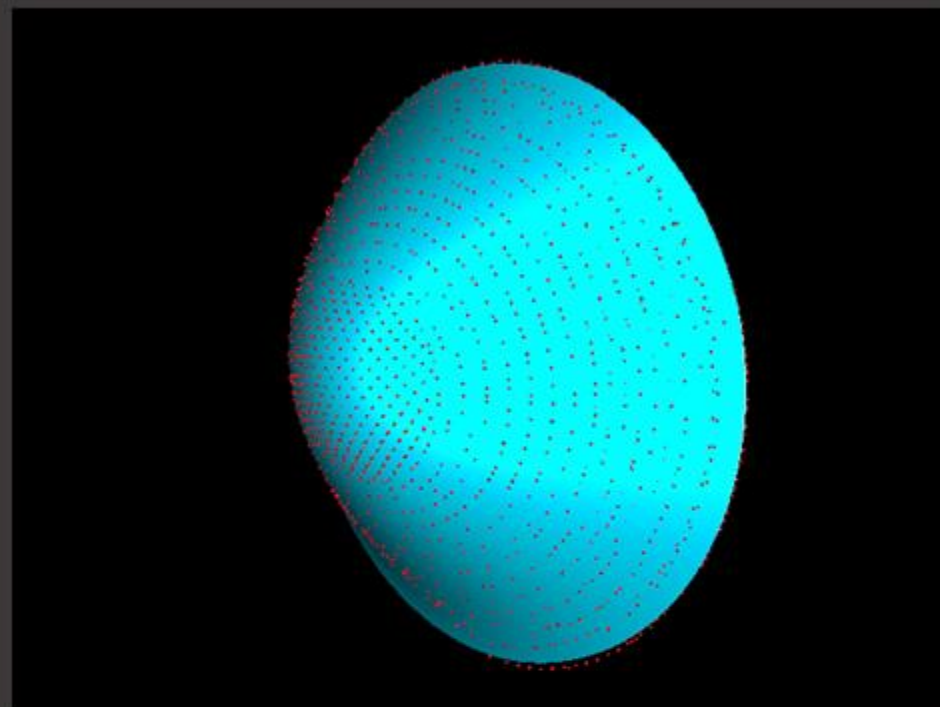


# Attaque de maillage en Aéronautique par Rétroanalyse – Rétroconception





**Approximation de surfaces et reconstruction de volumes**



$$\begin{aligned} \text{Paraboloide4} = & .1874753870 \cdot 10^{-6} x_0^4 + .4794451450 \cdot 10^{-6} x_0^2 x_2^2 - .0001590129750 x_0^2 x_2 x_3 \\ & - 1.222041000 x_0^2 x_3^2 + .2239932790 \cdot 10^{-6} x_2^4 - .0001548910028 x_2^3 x_3 - 1.206448809 x_2^2 x_3^2 \\ & - 43.69632550 x_2 x_3^3 + 1000 x_1 x_3^3 + 483163.2432 x_3^4 \end{aligned}$$

$$\text{Cylindre2} = x_0^2 + .0038748858 x_0 x_2 + .8809945728 x_2^2 + 222.5991235 x_2 x_3 - 871887.6073 x_3^2$$

$$\text{Diedre2} = x_1^2 + 161 x_1 x_3 - 263400 x_3^2$$

**Modèle équationnel du nez de l'avion**

### PackMerger: A 3D Print Volume Optimizer

Vanek, J., García, J., Benes, B., Mech, R., Carr, N., Stava, O., and Miller, G

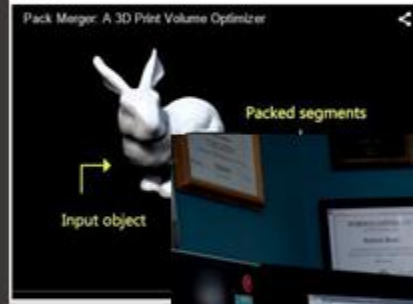
Purdue University, Adobe Research



#### Abstract

We propose an optimization framework for 3D printing that seeks to save printing time and the support material required to print 3D shapes. 3D printing technology is rapidly maturing and may revolutionize how we manufacture objects. The total cost of printing, however, is governed by numerous factors which include not only the price of the printer but also the amount of material and time to fabricate the shape. Our PackMerger framework converts the input 3D watertight mesh into a shell by hollowing its inner parts. The shell is then divided into segments. The location of splits is controlled based on several parameters, including the size of the connection areas or volume of each segment. The pieces are then tightly packed using optimization. The optimization attempts to minimize the amount of support material and the bounding box volume of the packed segments while keeping the number of segments minimal. The final packed configuration can be printed with substantial time and material savings, while also allowing printing of objects that would not fit into the printer volume. We have tested our system on three different printers and it shows a reduction of 5%-30% of the printing time while simultaneously saving 15%-65% of the support material. The optimization time was approximately 1 minute. Once the segments are printed, they need to be assembled.

#### Video



## Optimisation et fabrication ...

### PackMerger: A 3D Print Volume Optimizer

J. Vanek, J. A. Garcia Galicia, B. Benes,  
R. Měch, N. Carr, O. Stava and G. S. Miller

Computer Graphics Forum  
2014

# Les crypto-objets



Partie II

# From 3D Mesh Data Hiding to 3D Shape Blind and Robust Watermarking: A Survey

Patrice Rondao Aflac, Benoit Macq



## Copyright Protection of Digital Images of Cultural Heritage

Vito Cappellini, Roberto Caldelli, Andrea Del Mastio, Francesca Ucheddu  
University of Florence

Image Attacks	Mesh Attacks
Translation/Rotation/Scaling	Translation/Rotation/Scaling
Additive Noise	Additive Noise
Down-sampling	Simplification
Up-sampling	Refinement
Compression (e.g., JPEG)	Mesh Compression
Low-pass Filtering	Smoother
Cropping	Cropping
Bi-dimensional Free-Form Deformation	Three-dimensional Free-Form Deformation
Second watermark insertion	Second watermark insertion
...	Vertices and/or faces re-ordering
...	Re-triangulation
...	Remeshing

TABLE 17.1 Comparison between image and mesh attacks.

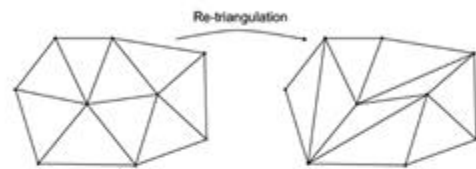


FIGURE 17.10 Re-triangulation attack.

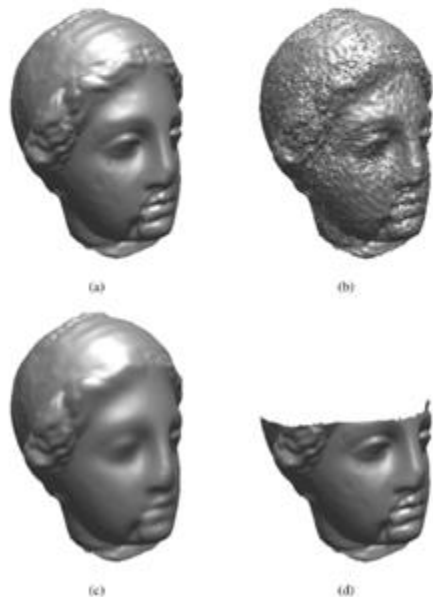
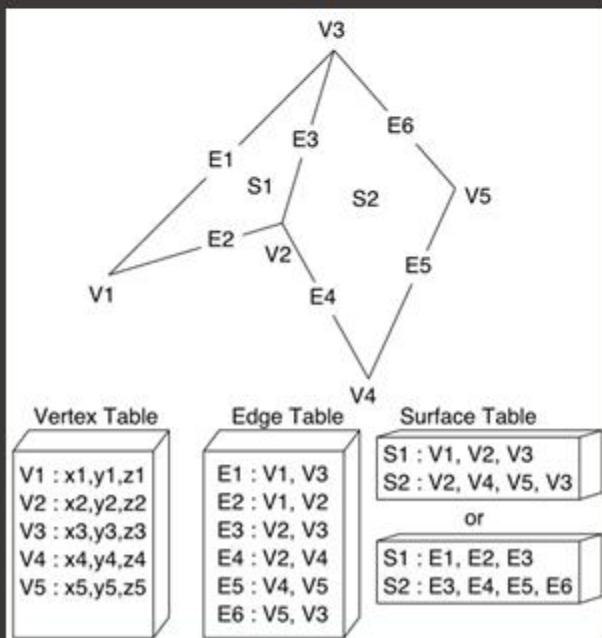
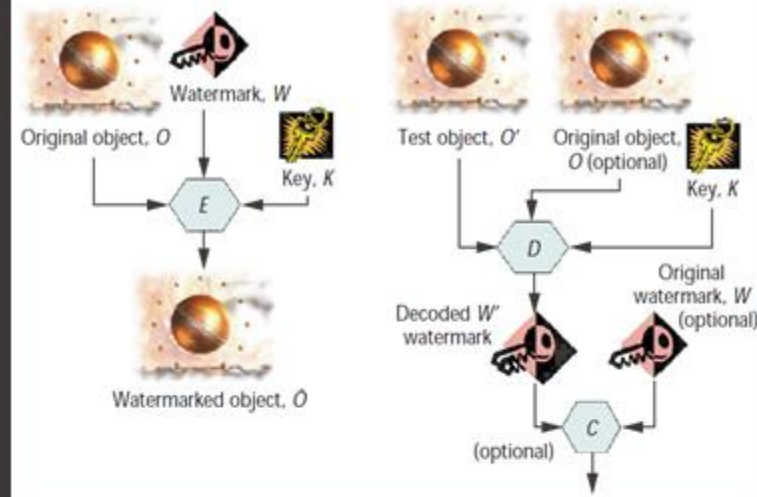


FIGURE 17.11 Mesh attacks. (a) Original model. (b) Additive noise attack. (c) Smoothing. (d) Cropping.

## Le tatouage des maillages (watermarking) 3D

Identification et contrôle antinomieques



## Encodage – Cryptage des paramètres de l'anamorphose

Restitution des données initiales :

Clé d'encodage-cryptage + données 3D perturbées

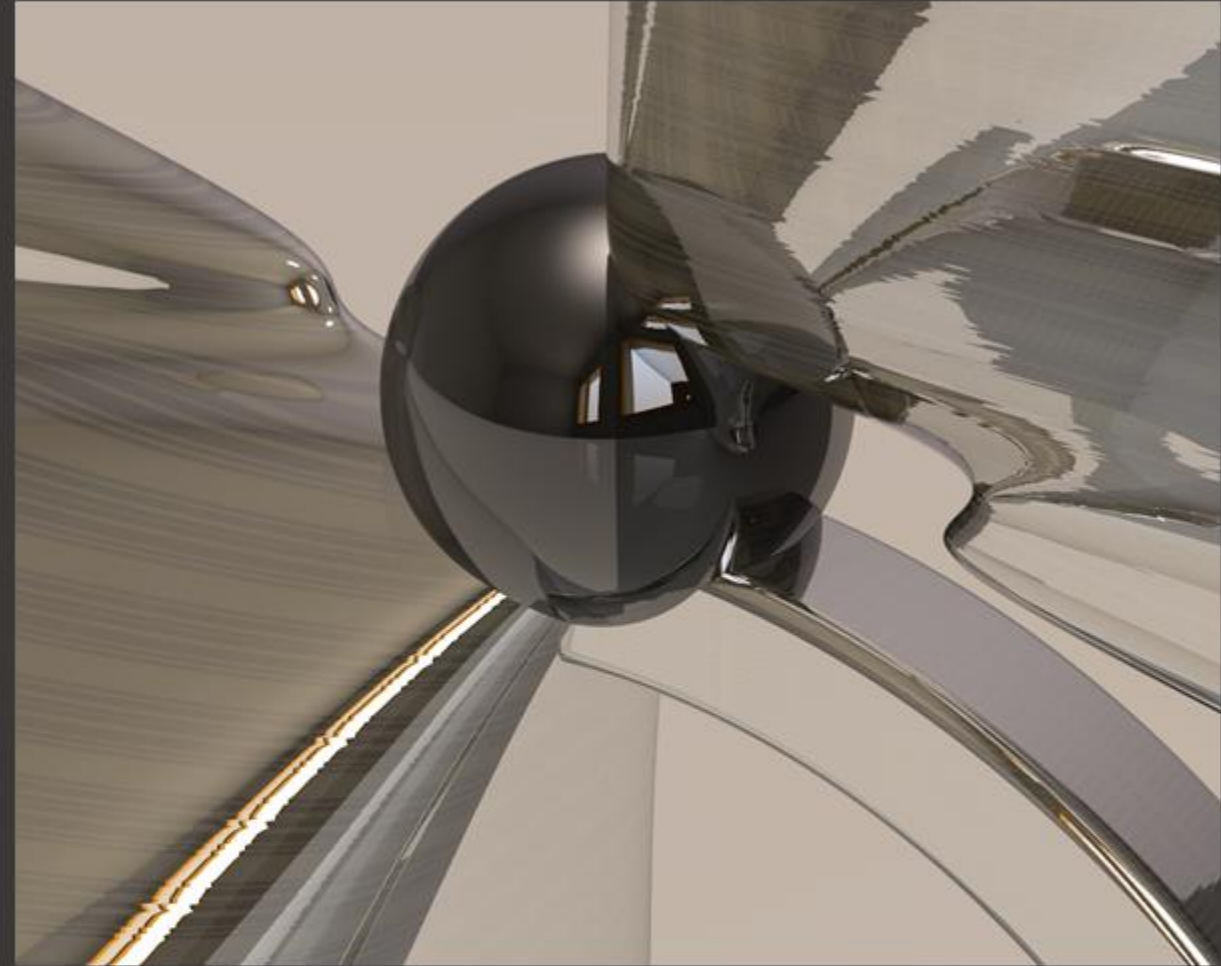


## Modélisation et Codage par Composition Arithmétique de Volumes Polynômiaux

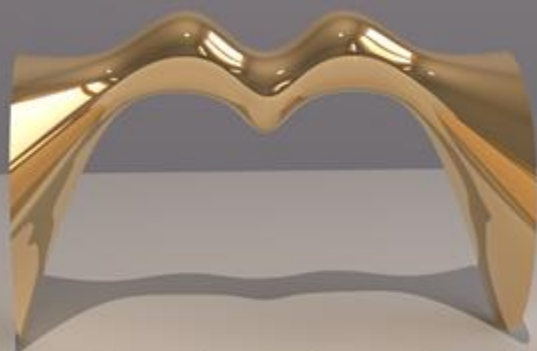
$$x^0^2 + x1^2 - 2 t x1 x3 + x2^2 + (r^2 - r^2) x3^2$$

$$x0^4 b^4 c^4 + x1^4 a^4 c^4 + x2^4 a^4 b^4 - (x1 k0 + x3)^4 a^4 b^4 c^4 - k1 (x0^2 + x1^2 - 2 t x1 x3 + r^2 x3^2 + x2^2 - r^2 x3^2) x3^2$$

Opérateurs Arithmétiques				
	+	-	×	=
Primitives	Degré 2	Degré 4	Degré ...	Degré 2.n
Volume Sphérique	Oui			
Volume Cylindrique				
Volume de Révolution		Oui		
Volume Libre		Oui		



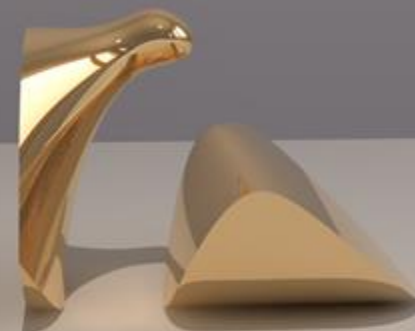
**Cryptage géométrique partiel et sans pertes d'un modèle équationnel polynomial**



Surface du sixième degré  
Tronquée et bornée



Polynôme à 84 coefficients



1 Perturbation et 2 Permutations

-7.8913419 ,  
0 ,  
0 ,  
189,392204 ,  
... ,  
0 ,  
...

-7.8913419 ,  
0 ,  
0 ,  
189,392204 ,  
... ,  
3000 ,  
...

189,392204 ,  
0 ,  
0 ,  
-7.8913419 ,  
... ,  
3000 ,  
...

**Perturbations et Permutations du modèle équationnel**



BREVIA

## Next-Generation Digital Information Storage in DNA

George M. Church<sup>1,2</sup>, Yuan Gao<sup>3</sup>, Sriram Kosuri<sup>1,2,3</sup>

Author Affiliations

To whom correspondence should be addressed. E-mail: [sri.kosuri@wyss.harvard.edu](mailto:sri.kosuri@wyss.harvard.edu)

### ABSTRACT

Digital information is accumulating at an astounding rate, straining our ability to store and archive it. DNA is among the most dense and stable information media known. The development of new technologies in both DNA synthesis and sequencing make DNA an increasingly feasible digital storage medium. We developed a strategy to encode arbitrary digital information in DNA, wrote a 5.27-megabit book using DNA microchips, and read the book by using next-generation DNA sequencing.

Received for publication 20 June 2012.



# Towards practical, high-capacity, low-maintenance information storage in synthesized DNA

Nick Goldman<sup>1</sup>, Paul Bertone<sup>1</sup>, Siyuan Chen<sup>2</sup>, Christophe Dessimoz<sup>1</sup>, Emily M. LeProust<sup>2</sup>, Botond Sipos<sup>1</sup> & Ewan Birney<sup>1</sup>

<sup>1</sup>European Bioinformatics Institute, Wellcome Trust Genome Campus, Hinxton CB10 1SD, UK.

<sup>2</sup>Agilent Technologies, Genomics-LSSU, 5301 Stevens Creek Boulevard, Santa Clara, California 95051, USA.

Nature 494, 77–80 (07 February 2013) doi:10.1038/nature11875

Received 15 May 2012; Accepted 12 December 2012; Published online 23 January 2013

## Stockage de l'information sous forme ADN

the guardian  
Home of the Pulitzer prize

UK world sport football comment culture economy lifestyle fashion environment tech money travel all sections

home > tech games

Technology  
The Observer

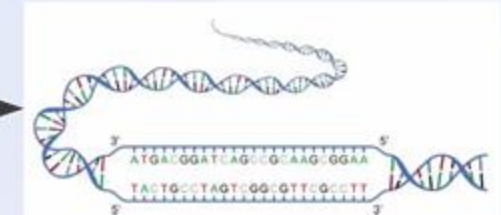
### OK Go: the band who want to release their new album on DNA

The next way to store music could be within DNA if a groundbreaking project by the innovative American band is a success



## Introduction

- Main challenge of existing DNA storage techniques is the “difficulty of synthesizing long sequences of DNA *de novo* to an exactly specified design.”



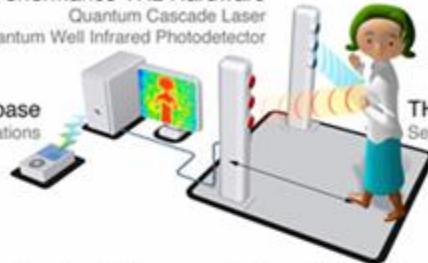


# NICT テラヘルツプロジェクト NICT Terahertz Project

Small High Performance THz Hardware

Quantum Cascade Laser  
Quantum Well Infrared Photodetector

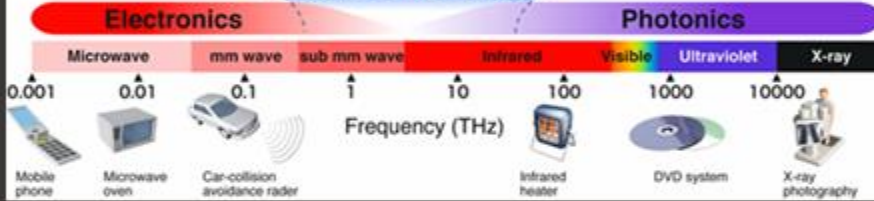
THz Spectral Database  
Industrial applications



THz Propagation Model  
Sensing distance: ~20 m

THz Remote Sensing, Telecommunications, THz Spectroscopy

Terahertz Technology



## Systemes d'imagerie volumique Terahertz

### InfraStructs: Fabricating Information Inside Physical Objects for Imaging in the Terahertz Region

Karl D.D. Willis  
Carnegie Mellon University

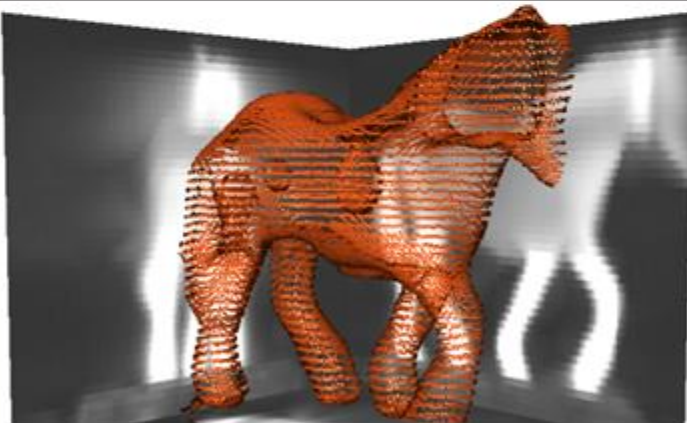
Andrew D. Wilson  
Microsoft Research



Figure 1: InfraStructs are material-based tags that embed information inside physical objects for imaging in the Terahertz region. Terahertz imaging can safely penetrate many common materials, opening up new possibilities for encoding hidden information inside digitally fabricated objects. (a) InfraStruct tags are embedded during the fabrication process to immediately identify objects without additional labeling or packaging. (b) Inexpensive polymer materials are used to (c) create a layered internal structure. (d) The object interior is scanned to create a volumetric image that is decoded into meaningful information.



Laboratoire Ondes et Matière d'Aquitaine



## TERAHERTZ.DK

Danish Center for Terahertz Science, Technology and Services

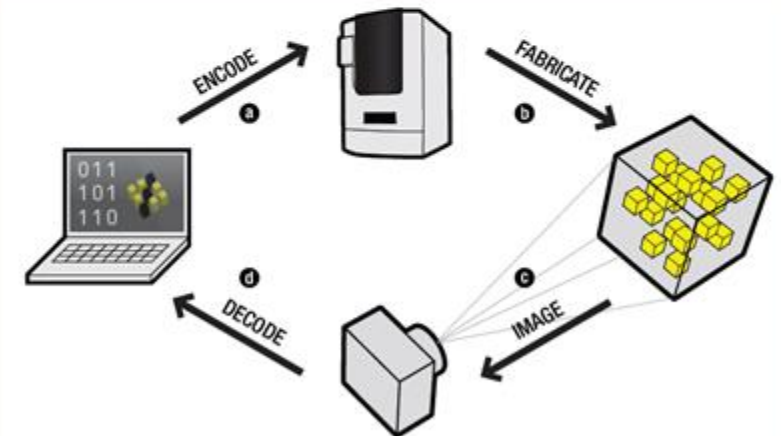
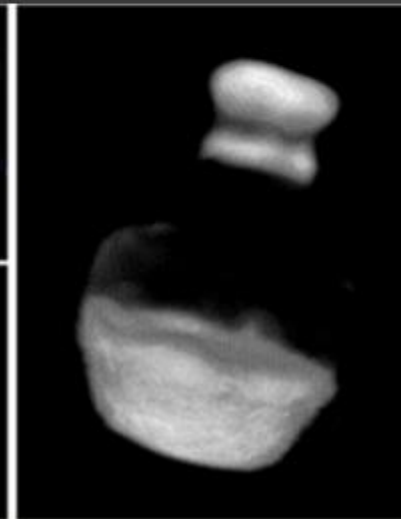
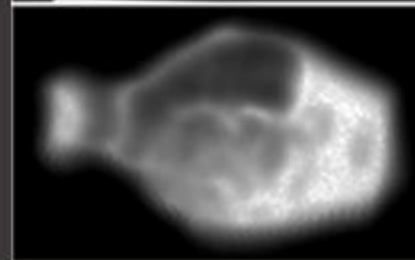
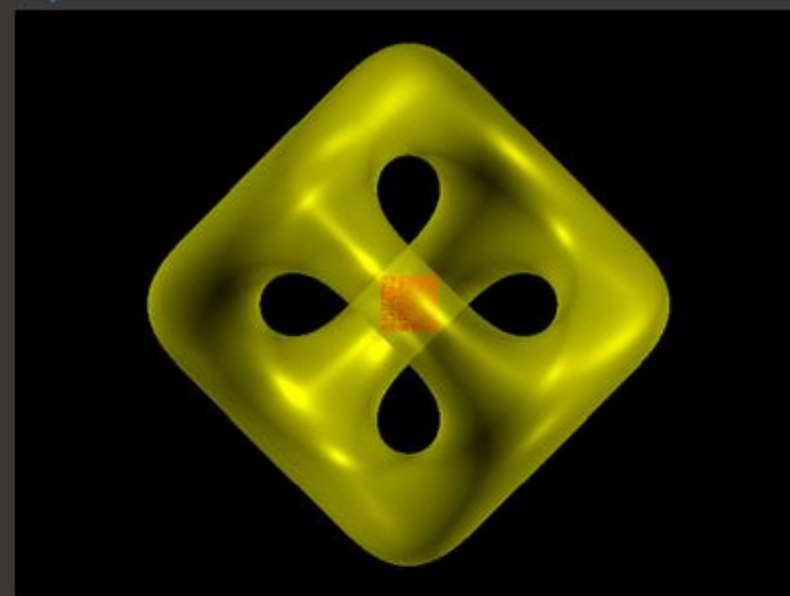
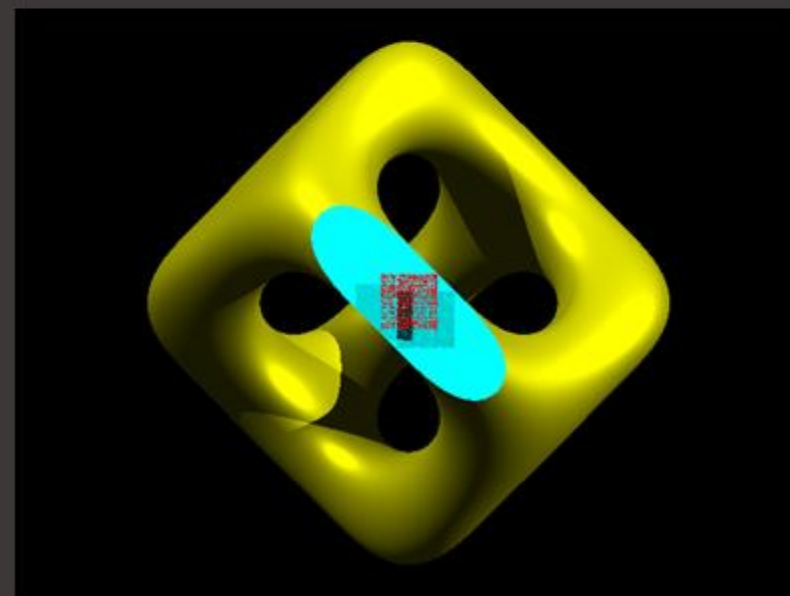
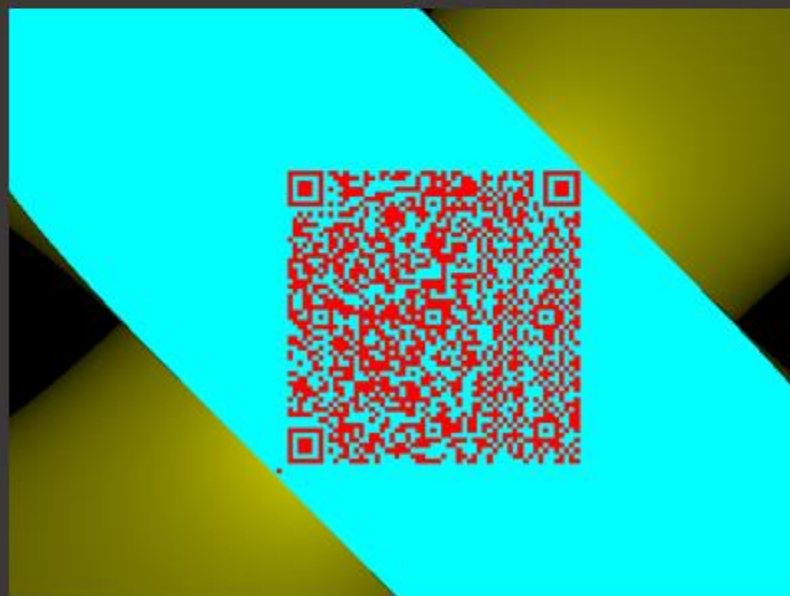


Figure 3: InfraStructs are created by (a) encoding information into a digital model that is then (b) fabricated with material transitions inside a physical object. The object's internal volume is (c) imaged in the THz region and (d) decoded into meaningful information.



Incrustation  
d'un QRcode  
volumique

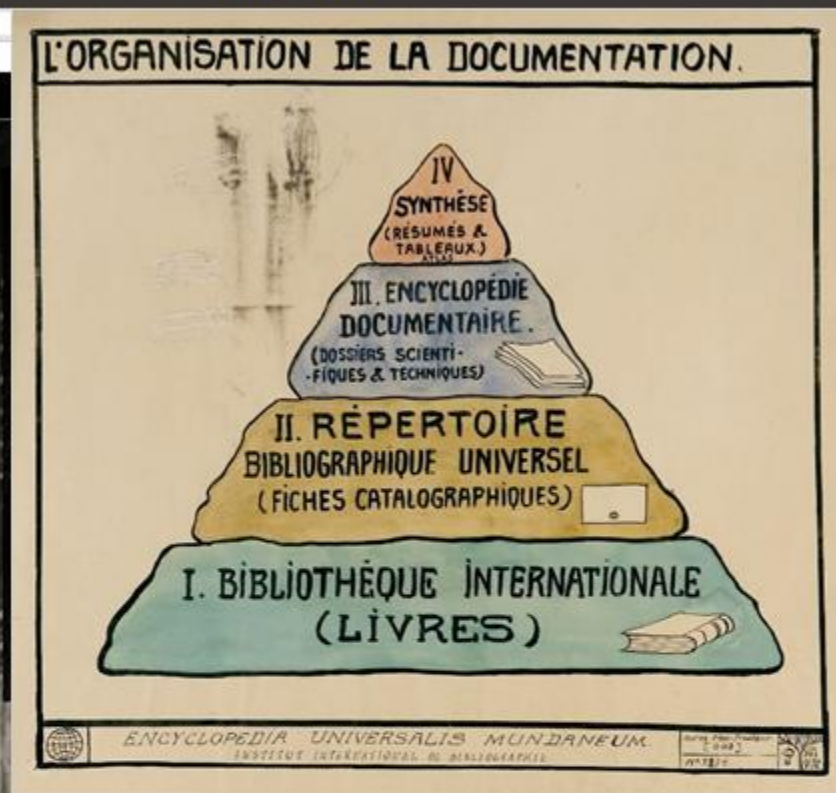
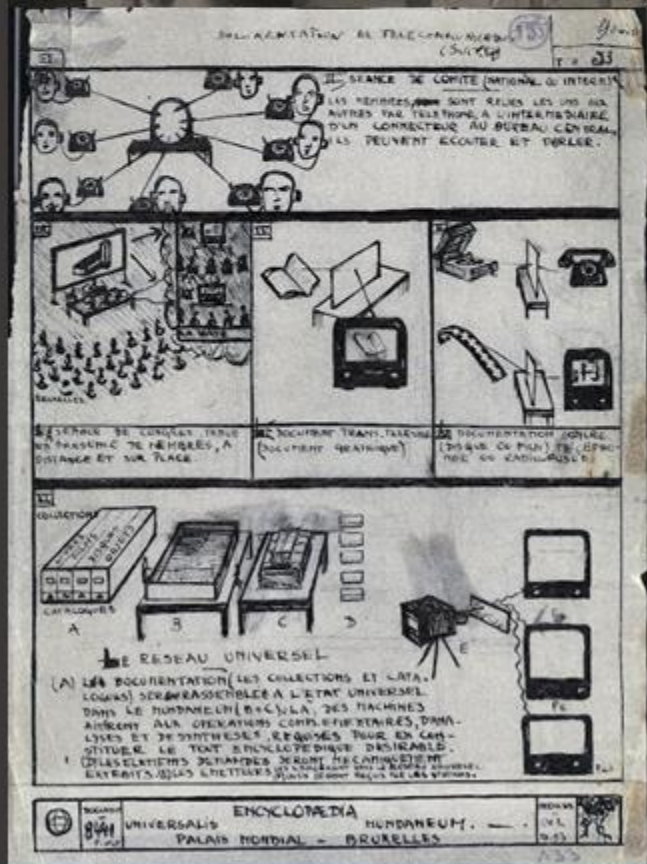




1895 - 2013  
**THE ORIGINS OF THE  
INTERNET IN EUROPE**

Collecting, indexing & sharing knowledge

Mundaneum / 05.02.2013



**Le Mundaneum de Ottlet et Lafontaine (1920) :  
Collectionner, indexer et partager la connaissance**


Google Ma2369

Web Maps Images Vidéos Actualités Plus Outils de recherche

Environ 4 870 résultats (0,54 secondes)

**File:Nike of Samothrake Louvre Ma2369 n4.jpg - Wikimedia ...**  
 commons.wikimedia.org/.../File:Nike\_of\_Samothrake... Traduire cette page  
 9 mars 2014 - Department of Greek, Etruscan and Roman Antiquities, Denon, first floor, Daru stairs. Accession number, Ma 2369. Credit line, Archaeological ...

Images correspondant à Ma2369 Signaler des images inappropriées



Plus d'images pour Ma2369

Home Submit Browse Search Documentation

hal-00717421, version 1

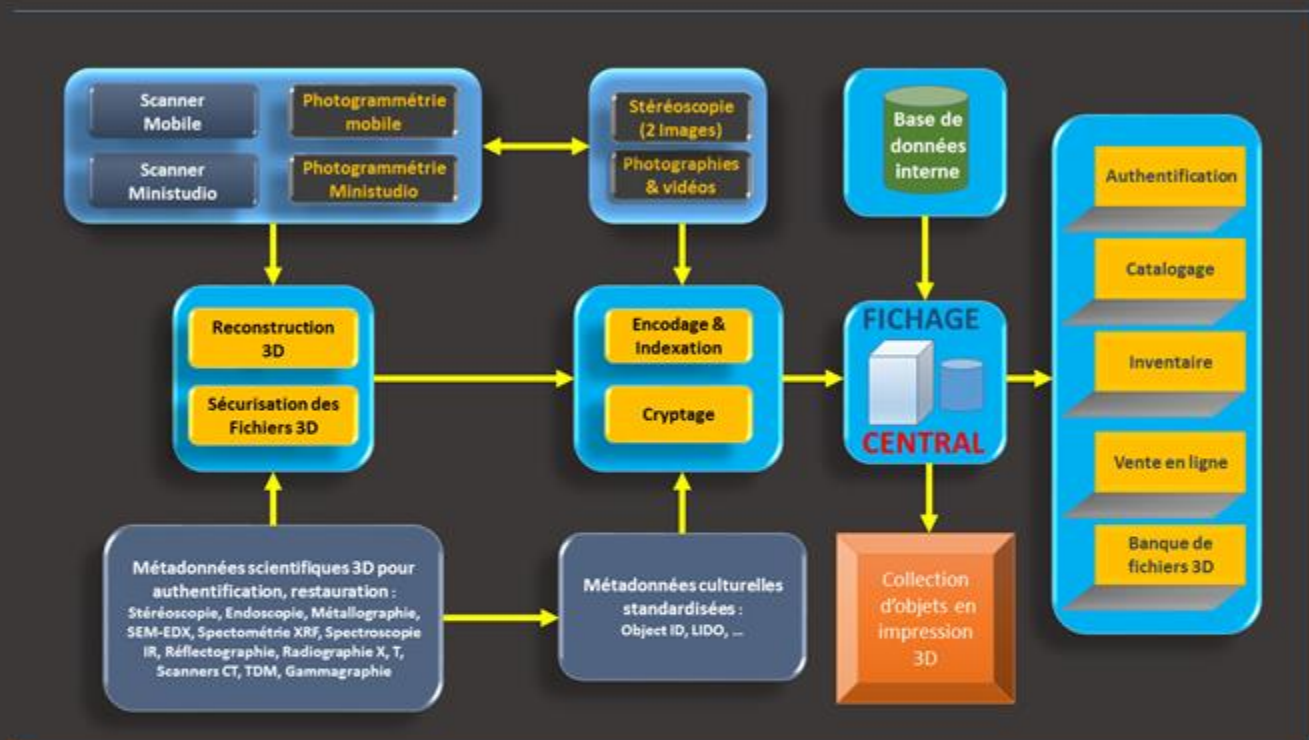
**De l'Indexation des HyperTreillis Pyramidaux au Codage Combinatoire des Listes de Nombres Entiers**

Jean-François Rotgé Chercheur Indépendant

Résumé : Cet article unifie la théorie des fonctions de couplage des entiers naturels et celle du codage et de la représentation des polynômes homogènes à plusieurs variables. L'extension du système de codage et décodage à des listes générales d'entiers considérées comme les coordonnées de points projectifs en  $n$ -dimensions est immédiate et permet de s'attaquer à des problématiques algorithmiques plus vastes concernant l'indexation hyperspatiale et alliant de l'informatique théorique, en passant par la théorie du calcul formel, jusqu'à la théorie du codage et cryptage de l'information numérique.

Document type : Preprints, Working Papers, ... 2012

Domain : Computer Science / Information Theory  
 Mathematics / Information Theory



**Le fichage et l'indexation des objets 3D**

# Les objets analogiques



Partie III



# APPLICATION DES ANALOGIES ÉLECTRIQUES A LA SOLUTION DE QUELQUES PROBLÈMES DE L'HYDRODYNAMIQUE

PAR

LUCIEN MALAVARD  
INGÉNIEUR CIVIL DE L'AÉRONAUTIQUE  
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

PRÉFACE DE M. J. PÉRÈS  
PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

## Simulation numérique de la turbulence

La simulation numérique en mécanique des fluides consiste à étudier les mouvements d'un fluide, par la résolution numérique des équations le régissant. En fonction des approximations choisies, qui résultent d'un compromis en termes de représentation physique et de ressource informatique disponible, les équations résolues peuvent être les équations d'Euler, les équations de Navier-Stokes, etc.

- **Fluide parfait** : Cette méthode est basée sur des hypothèses relativement importantes (fluide non visqueux et sans conductivité thermique). Ceci permet de résoudre les équations de Navier-Stokes en supprimant le terme visqueux. On résout donc les équations d'Euler. C'est une méthode qui est très rapide en temps d'exécution mais qui n'est pas très précise dès que les hypothèses ne sont plus vérifiées.
- **RANS** : Le modèle statistique RANS (pour Reynolds Average Navier-Stokes) permet de modéliser des écoulements. Il est obtenu en moyennant les équations de Navier-Stokes. Le principal avantage de la méthode RANS réside dans les temps de calcul industriels, elle ne nécessite pas beaucoup de ressources informatiques. Cependant, si les écoulements faiblement instationnaires sont généralement simulés avec une précision correcte, on perd des informations pour les écoulements fluctuants.
- **SGE** : La Simulation des Grandes Echelles (SGE ou LES pour Large Eddy Simulation) est une approche intermédiaire. Cette méthode résout les équations de Navier Stokes pour les grandes échelles de l'écoulement qui sont porteuses d'énergie. Quant aux échelles plus petites, elles sont modélisées. La SGE permet d'obtenir des informations supplémentaires par rapport à la méthode RANS qui sont des informations statistiques (comme la valeur moyenne, mais aussi les fluctuations des différentes grandeurs) et topologiques (apparition des structures cohérentes comme des tourbillons).
- **SND** : Simulation Numérique Directe (SND ou DNS pour Direct Numerical Simulation) consiste à résoudre (simuler) toutes les échelles de la turbulence. C'est la solution qui se rapproche le plus de la réalité (nous pouvons avoir toutes les statistiques que nous voulons puisque nous calculons des valeurs instantanées). Elle permet d'effectuer une étude numérique d'un écoulement dont on résout entièrement le système d'équations considérées. Cette approche est très précise et permet d'avoir des grandeurs instantanées de façon non intrusive. Par contre cette méthode nécessite de grosses ressources informatiques.

### Récapitulatif des différentes méthodes

	Ressources informatiques	Précision des résultats
Fluide Parfait	++	--
RANS	+	-
SGE	-	+
SND	--	++

**Les années 1930:  
Transition entre les calculs  
analogiques et la simulation  
numérique (Malavard et Pérès)**





## Applied Modeling & Simulation (AMS) Seminar Series

### Computational Challenges of the Aerodynamic Design Process in FORMULA 1

Speaker: **Neil Ashton**, University of Manchester  
February 10, 2015

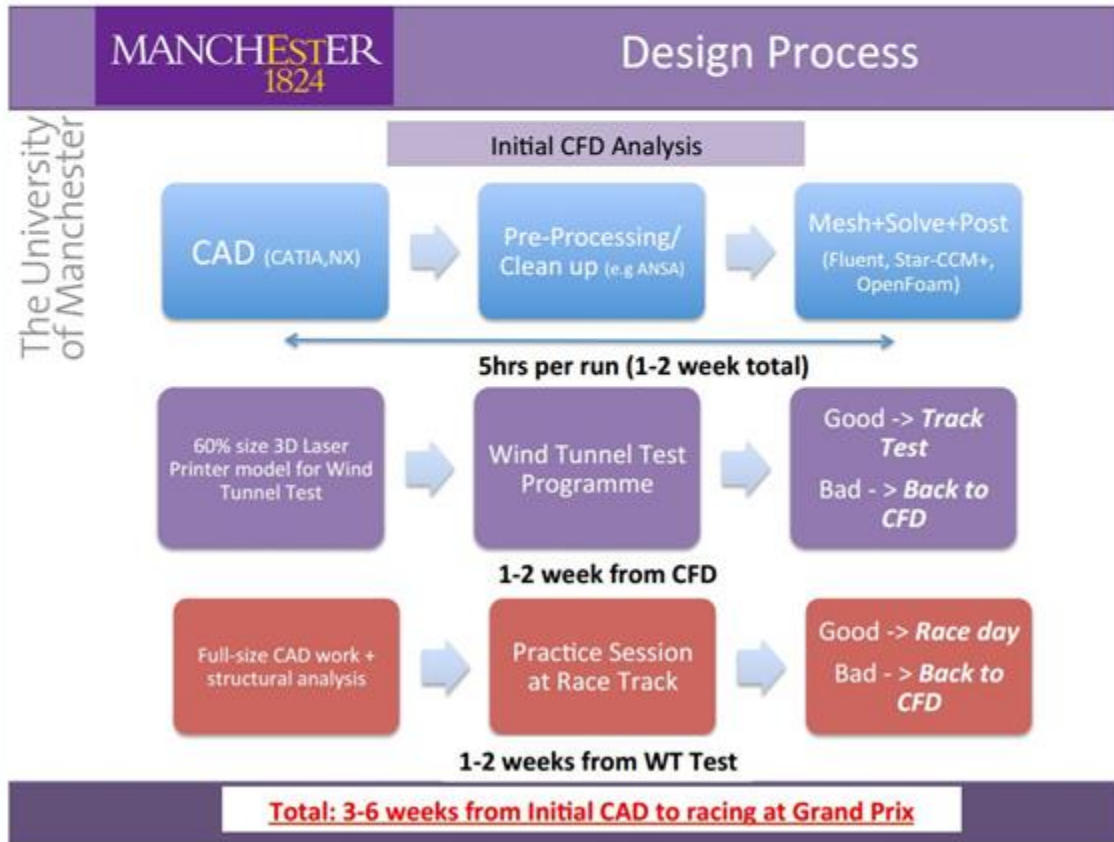
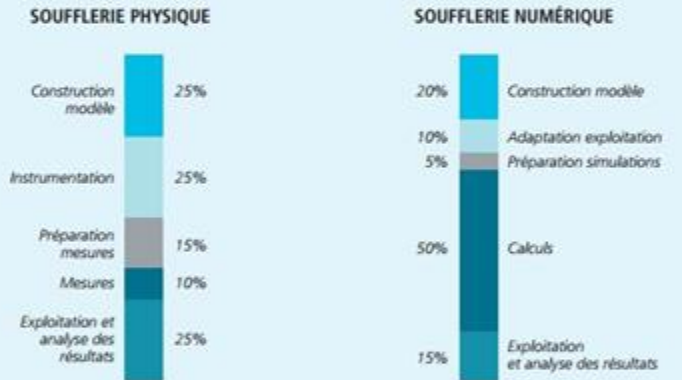


Figure 3 : Répartition temporelle par tâches entre soufflerie physique et numérique



Les deux méthodes ont leurs sources d'incertitudes, voire d'erreurs.

Avec le numérique, elles sont de plusieurs ordres :

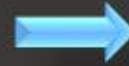
- Comme évoqué précédemment, le filtre appliqué aux structures modélisées dépend directement de la taille des cellules du maillage utilisé pour la réalisation des simulations. Une réduction de la taille de ces cellules pour économiser du temps de calcul aura donc des répercussions potentiellement énormes sur la qualité des simulations réalisées.
- Les choix de paramétrage des modèles : nous travaillons sur son optimisation depuis vingt ans, et le maîtrisons donc bien. Cette situation ne nous empêche pas de continuer à suivre attentivement les travaux et avancées scientifiques universitaires consacrés à ces sujets afin de continuer à affiner nos choix.

En soufflerie physique, les sources d'incertitude principales sont :

- le facteur d'échelle et les phénomènes de similitude entre ce qui se passe à une échelle réduite et ce qui se passe à une échelle réelle
- les effets de blocage de veine
- les limitations des instruments de mesure
- le caractère ponctuellement intrusif de certains moyens de mesure.

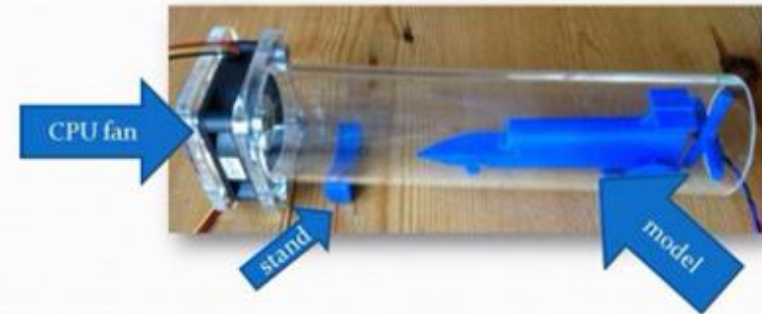
Nous avons participé à certaines campagnes dont le but était de comparer, sur des objets relativement simples, les résultats de mesures réalisées dans différentes souffleries physiques et, parallèlement, entre les résultats de simulations numériques réalisées par différentes équipes. Les écarts observés entre les mesures en soufflerie entre elles et les résultats des simulations numériques entre eux se sont avérés être du même ordre de grandeur.

# Le retour de la maquette physique

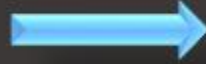


## Wind tunnel

- 3D Printed models
- QTC "force sensor"
- Comparative efficiency of streamlining.



**Les souffleries à échelle réduite ou minimale**



## • Les règles de similitude

Dans le courant du XX<sup>e</sup> siècle, l'évolution des souffleries s'est poursuivie, dictée par l'impérieuse nécessité de respecter des règles de similitude afin de garantir la validité des essais à échelle réduite. Ainsi la maquette doit avoir la même forme géométrique que l'objet original. La deuxième condition impose de respecter les caractéristiques de l'écoulement, c'est-à-dire son nombre de Mach  $M$  ( $M = V/a$ , avec  $V$  qui représente la vitesse de l'écoulement et  $a$  celle du son), ce qui revient en soufflerie subsonique (vitesse inférieure à celle du son) à respecter la vitesse de l'écoulement. La troisième grande règle de similitude consiste à réaliser des essais en conservant, autant que faire se peut, le nombre de Reynolds ( $Re$ ) de l'écoulement réel. Ce nombre, caractéristique de l'objet se déplaçant dans le fluide en première approximation immobile, est sans dimension. Il est défini par :

$$Re = \rho VL / \mu$$

où  $\rho$  est la masse volumique de l'écoulement réel,  $V$  sa vitesse et  $\mu$  sa viscosité dynamique, et  $L$  la longueur caractéristique de l'objet réel étudié.

Sous réserve que l'on parvienne à obtenir en soufflerie les mêmes caractéristiques que l'air réel (masse volumique et viscosité) et que celui-ci se déplace à la même vitesse, le nombre de Reynolds ne sera parfaitement respecté que pour une maquette à l'échelle 1. Les premières souffleries – de taille modeste – ne permettaient donc pas de reproduire le nombre réel de Reynolds. Aussi, dans un premier temps, la taille des souffleries s'accroît afin de pouvoir étudier des avions à taille réelle, soit à l'échelle 1, ce qui satisfait immédiatement la condition sur le nombre de Reynolds.

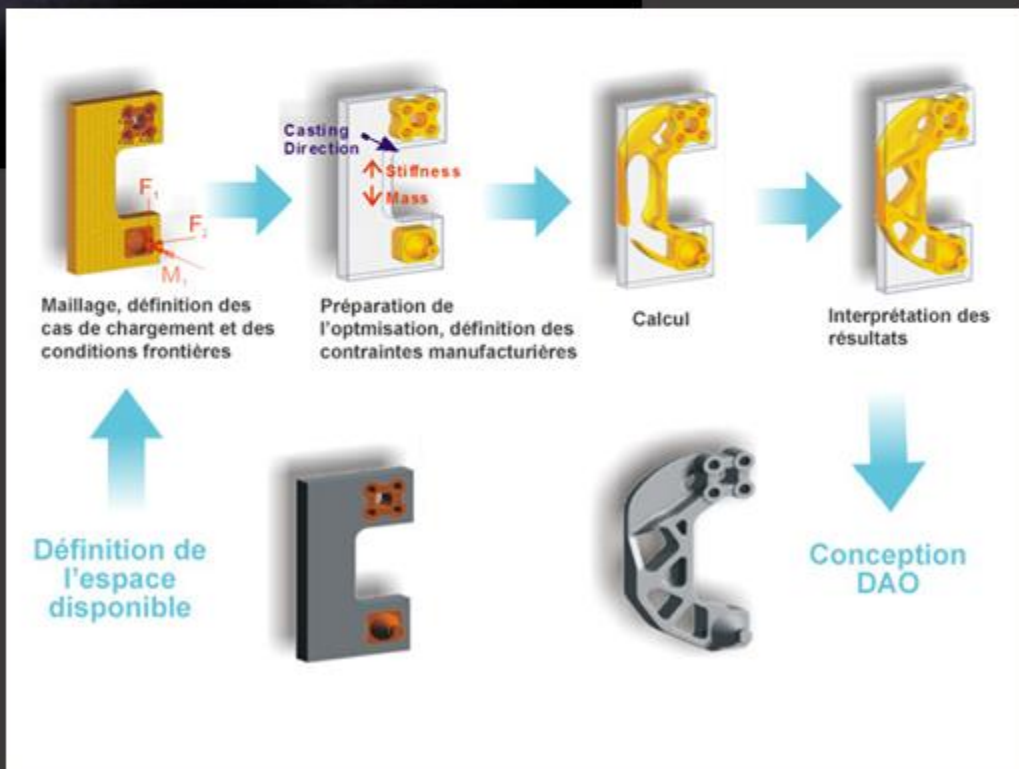
L'augmentation rapide de taille des aéronefs n'a cependant pas permis une croissance corrélative de la taille des installations. On expérimente alors de nouveau des maquettes à échelle réduite. Pour respecter le nombre de Reynolds, on joue sur les autres paramètres de la formule que sont la masse volumique (en pressurant le fluide) et la viscosité (en refroidissant le fluide).

## Les règles de similitude

# Optimisation structurale Optimisation de produit Optimisation topologique



-A



-C



## Introduction

The Flying Cam Helicopter is a small unmanned vehicle that carries filming equipment. It has been used in a wealth of commercials and movies, but it is also applied in other sectors; for example traffic management and emergency assistance.

## Helicopter Frame



-B

It is highly desirable that the frame of the helicopter is as light as possible. Several directions has been investigated, including a complete redesign based on topology optimization (see below) and different building materials like steel, aluminium and titanium.

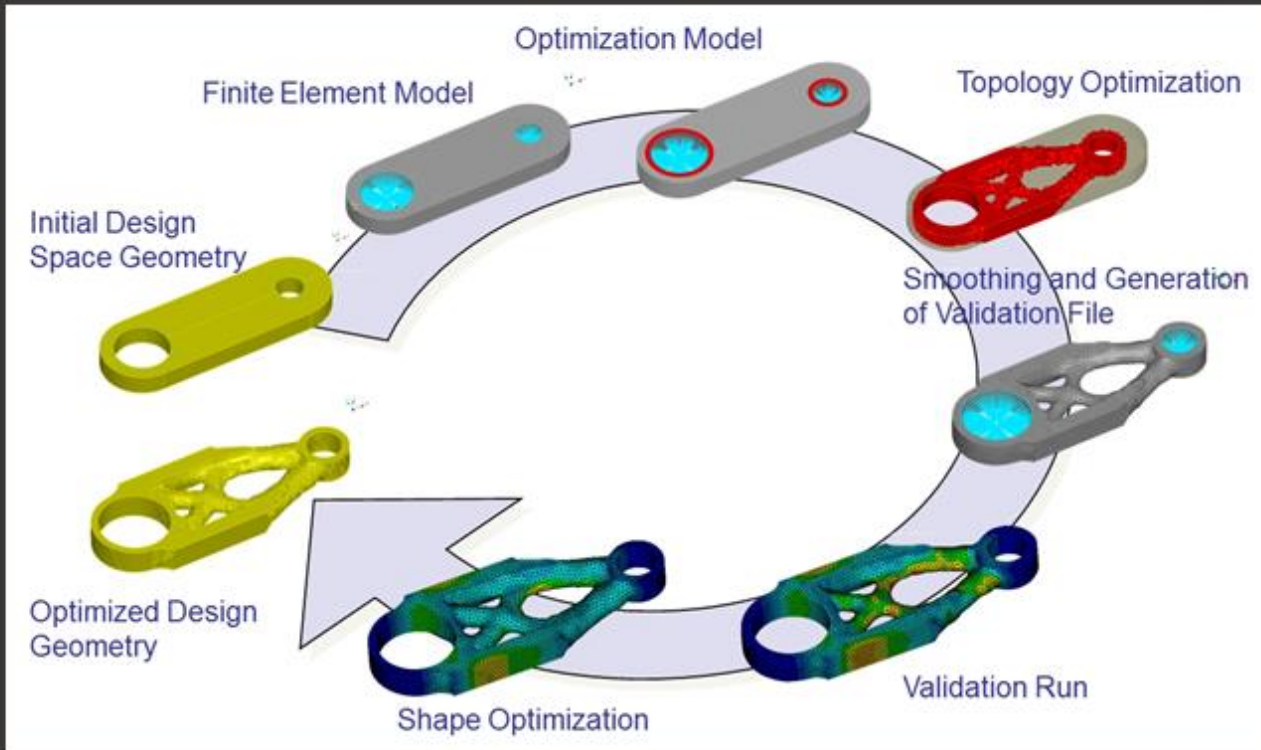
## Topology Optimization



The helicopter frame was redesigned based on topology optimization:

1. Define outer constraints.
2. Remove unnecessary material by topology.

# Géométrie discrète ou Géométrie de conception ...



DISS. ETH NO. 18770

## GEOMETRY-BASED STRUCTURAL OPTIMIZATION ON CAD SPECIFICATION TREES

*A dissertation submitted to the*  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
ZURICH

*for the degree of*  
Doctor of Sciences ETH Zurich

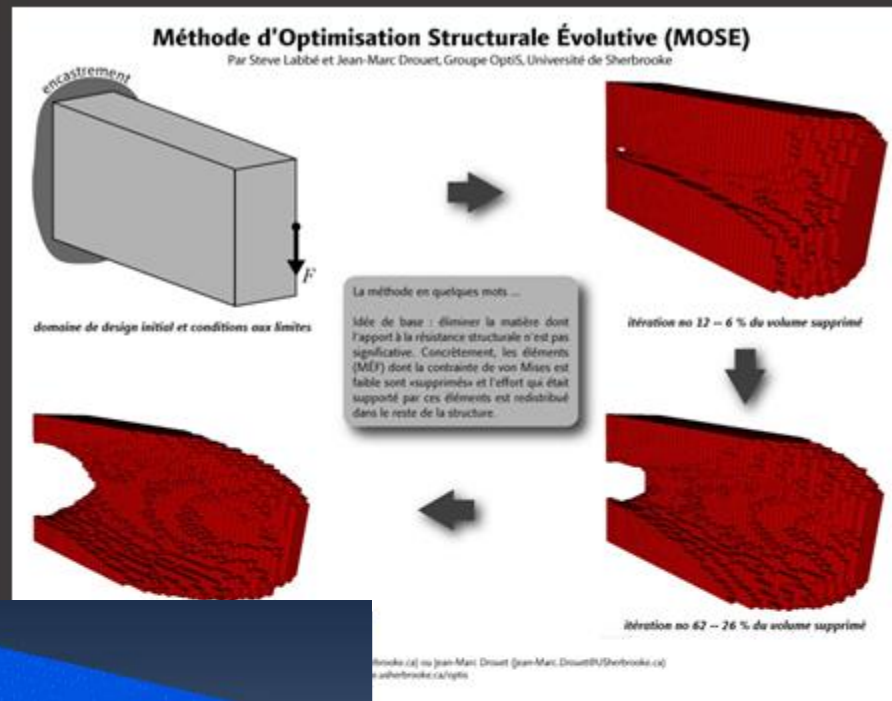
*presented by*

**DANIEL WEISS**

Dipl. Masch.-Ing. ETH  
born February 29, 1980  
citizen of Herisau (AR)

*accepted on recommendation of*  
Prof. Dr. P. Ermanni, examiner  
Prof. Dr. E. Mazza, co-examiner  
Dr. J. Sprave, co-examiner  
Dr. G. Kress, co-examiner

2009



# Solutions logicielles et stratégies existantes



Figure 1: Topology optimization can create a light weight part for 3D printing.

As the figures illustrate, you can simply upload the STL file of your choice and adjust its settings, after which the software will easily and quickly (visually) modify your design to its optimal shape. Additional constraints such as symmetry can also be imposed to guide the software towards a preferred design. The final design, often computed in less than a minute, can be saved in a standard STL format for 3D printing. This will not only save you hours in printing time, but also in design. For a complete tutorial on the software's functions and abilities, check out this [YouTube-based tutorial](#).

Until now, Cloud Topology Optimization was only available for desktops, either as a standalone, or embedded within SolidWorks. But it can also be accessed from the comfort of a browser at [www.cloudtopopt.com](http://www.cloudtopopt.com). The software is supported on most browsers including Firefox, Chrome and Opera, Internet Explorer (partial support) and Safari (with WebGL enabled).

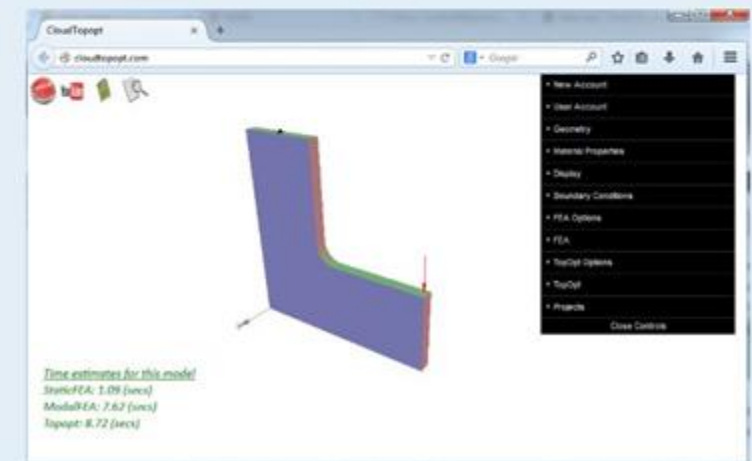
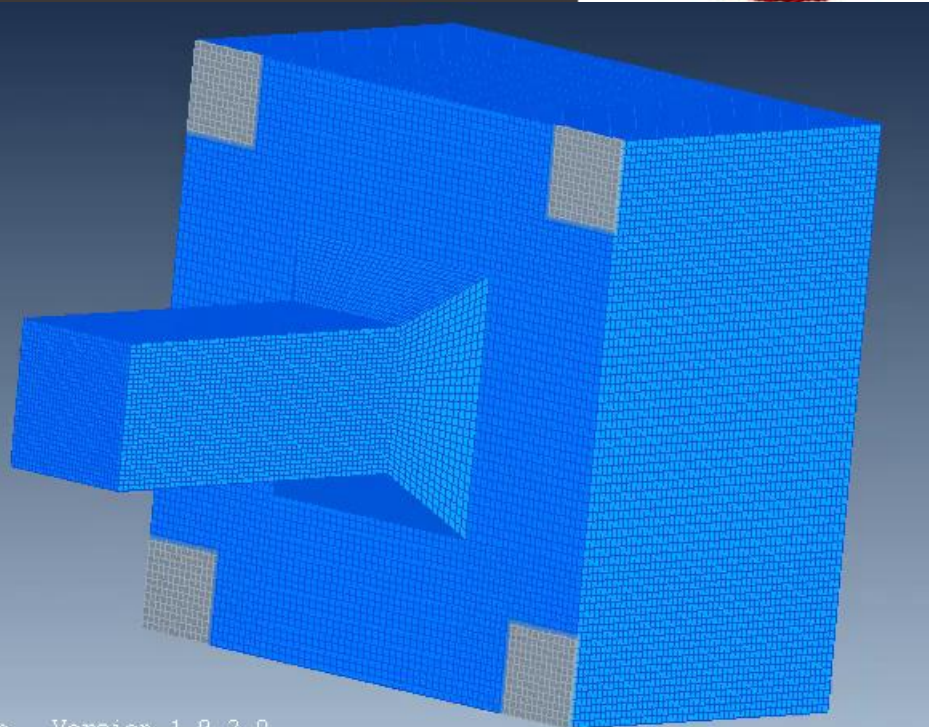


Figure 2: Cloud based topology optimization at [www.cloudtopopt.com](http://www.cloudtopopt.com)



ProTop Version 1.9.2.0  
Date: 11/29/2013 Cycle: 0 VolPrt: 100.0 VtxAdj: 0.35

-B

### 1.3 General Mathematical Form of a Structural Optimization Problem

The following function and variables are always present in a structural optimization problem:

- *Objective function* ( $f$ ): A function used to classify designs. For every possible design,  $f$  returns a number which indicates the goodness of the design. Usually we choose  $f$  such that a small value is better than a large one (a minimization problem). Frequently  $f$  measures weight, displacement in a given direction, effective stress or even cost of production.
- *Design variable* ( $x$ ): A function or vector that describes the design, and which can be changed during optimization. It may represent geometry or choice of material. When it describes geometry, it may relate to a sophisticated interpolation of shape or it may simply be the area of a bar, or the thickness of a sheet.
- *State variable* ( $y$ ): For a given structure, i.e., for a given design  $x$ ,  $y$  is a function or vector that represents the response of the structure. For a mechanical structure, response means displacement, stress, strain or force.

A general structural optimization problem now takes the form:

$$(SO) \begin{cases} \text{minimize } f(x, y) \text{ with respect to } x \text{ and } y \\ \text{subject to } \begin{cases} \text{behavioral constraints on } y \\ \text{design constraints on } x \\ \text{equilibrium constraint.} \end{cases} \end{cases}$$

One can certainly imagine a problem with several objective functions, a so-called *multiple criteria*, or *vector optimization* problem:

$$\text{minimize } (f_1(x, y), f_2(x, y), \dots, f_l(x, y)), \quad (1.1)$$

where  $l$  is the number of objective functions, and the constraints are the same as for (SO). This is not a standard optimization problem since all  $f_i$ 's in general are not minimized for the same  $x$  and  $y$ . Instead, one therefore typically tries to achieve so-called *Pareto optimality*: a design is Pareto optimal if there does not exist any

-A

Peter W. Christensen  
Anders Klarbring

An Introduction  
to Structural  
Optimization

Quelques références de base ...

ANNALS OF THE UNIVERSITY OF ORADEA  
Fascicle of Management and Technological Engineering  
ISSUE #3, DECEMBER 2014, [http://www.imtuoradea.ro/auo\\_fmte/](http://www.imtuoradea.ro/auo_fmte/)

## OVERVIEW OF STRUCTURAL TOPOLOGY OPTIMIZATION METHODS FOR PLANE AND SOLID STRUCTURES

Razvan CAZACU<sup>1</sup>, Lucian GRAMA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Industrial Engineering and Management Department, Petru Maior University, Nicolae Iorga Street, No. 1, Targu Mures, Romania, [razvan.cazacu@ing.upm.ro](mailto:razvan.cazacu@ing.upm.ro)

<sup>2</sup> Industrial Engineering and Management Department, Petru Maior University, Nicolae Iorga Street, No. 1, Targu Mures, Romania, [lucian.grama@ing.upm.ro](mailto:lucian.grama@ing.upm.ro)

-C