

## **Evocation d'une expérience d'enseignement: « Architecture paramétrable et architecture fractale, génération numérique des formes complexes. »**

Romuald BIANCHI et Georges DEFAWES

ISA Lambert LOMBARD, LIEGE  
[gdefawes@archi-lombard.ulg.ac.be](mailto:gdefawes@archi-lombard.ulg.ac.be)  
[rbianchi@archi-lombard.ulg.ac.be](mailto:rbianchi@archi-lombard.ulg.ac.be)

**Résumé** : cette communication relate l'élaboration d'un cours orienté vers la découverte des formes à géométrie complexe. Le contenu de ce cours, dispensé pour la 1<sup>ère</sup> fois en mai 2005, a déjà évolué. Il est apparu que les outils proposés pour explorer les formes complexes étaient également opérationnels comme outils d'assistance à l'esquisse.

**Mots-clés** : processus de conception du projet d'architecture, esquisse assistée, outils d'assistance aux dessins.

### **1 Introduction**

Au sein des Instituts supérieurs d'architecture, l'enseignement de l'infographie est encore, aujourd'hui, en avance sur les pratiques quotidiennes de la plupart des agences d'architecture en Belgique. Par contre, la recherche proprement dite et tout particulièrement dans le domaine de la conception assistée par ordinateur est pratiquement inexistante dans nos Instituts.

En fait, dans l'enseignement supérieur dit de niveau universitaire et dont font partie les Instituts d'architecture, il n'existe pas de cadre normatif pour la recherche qu'elle soit appliquée ou fondamentale. Dès lors, s'il y a absence de cadre, il y a absence de budget, de programmes de recherche, de ressources humaines, etc., c'est à peine si elle est souhaitée. Par conséquent, une éventuelle recherche est laissée entièrement à l'initiative de son promoteur. Une des voies qui peut être suivie est la voie universitaire, dans le cadre d'une thèse de doctorat. L'autre voie, la nôtre en l'occurrence, est, au sein d'un Institut d'architecture, l'élaboration d'un cours consacré à une matière particulière. Dans ce cas, la recherche a essentiellement une finalité pédagogique.

### **2 Le module « Architecture paramétrable et architecture fractale, génération numérique des formes complexes. »**

Durant l'année 1993-1994, nous avons proposé à un groupe restreint d'étudiants une expérience qui, dans le cadre d'un exercice limité similaire à une esquisse,

consistait dans le refus du papier et du crayon pour se concentrer sur la seule utilisation d'un logiciel typique de la modélisation architecturale en 3 dimensions (Star Architecture). La question de la génération et du contrôle des formes à géométrie complexe a été posée. La technique de modélisation utilisée à l'époque a fait un abondant usage de la pseudoanamorphose, de la rotation-multiplication et du changement d'échelle dans l'espace à 3 dimensions. Mais, si l'on a pu approcher la génération et la modification des formes complexes, leur contrôle est resté globalement insatisfaisant. Cet exercice fut proposé durant 3 années consécutives. En tenant compte de la restriction concernant le contrôle, les résultats furent encourageants, mais l'expérience n'eut pas de suite.

Depuis cette époque, le questionnement des étudiants revient régulièrement sur les problèmes posés par la génération et le contrôle des formes complexes avec l'aide des logiciels courants (ArchiCad, AutoCad,...). Les réponses que nous pouvons donner sont toujours ponctuelles, il n'existe aucun enseignement développé pour apporter une réponse globale et systématique.

Cependant, suite à la refonte du programme des études des Instituts d'architecture en général et du nôtre en particulier, l'occasion nous a été donnée de développer un cours de 25 heures par an appelé 'module', ce cours est optionnel pour les étudiants de la 4<sup>ème</sup> année d'études.

Il a été donné pour la première fois en mai 2005.

## **2.1 Une approche des géométries complexes.**

Le cours que nous avons débuté en mai 2005 consistait à entrouvrir une porte sur la nature des géométries complexes et sur la possibilité de les générer, la finalité initiale étant d'enrichir le dictionnaire des formes utilisées dans le cadre du projet d'architecture. Mais l'interaction avec les étudiants a quelque peu modifié nos intentions et les a amplifiées. Le centre d'intérêt du cours s'est déplacé: l'utilisation -dès les premières phases de la conception du projet- des quelques outils d'aide au dessin envisagés est devenue essentielle.

Une partie importante de notre travail reste à l'heure actuelle à l'état d'hypothèse.

## **3 Présentation du cours et de son évolution.**

### **3.1 1<sup>ère</sup> partie: la définition de certaines notions scientifiques.**

L'évocation et l'examen de certaines notions scientifiques et plus précisément mathématiques, telles que les géométries non-euclidiennes, la quatrième dimension du genre espace, etc., nous sont apparus comme essentiels. De fait, ces notions, régulièrement citées dans les articles consacrés à la « nouvelle architecture », sont souvent malmenées par les auteurs de ces articles. Cet état de fait provoque une confusion importante chez les étudiants pour lesquels cette « nouvelle architecture » prend régulièrement l'aspect d'une pratique occulte, brouillant ainsi sa vraie nature et

sa finalité. Cependant, les écrits de certains auteurs<sup>1</sup> restent particulièrement clairs, cela nous a considérablement aidés à rétablir scientifiquement et historiquement les concepts sous-tendant le travail des architectes qui « font l'actualité » au travers d'expositions telles que *Archilab*, *Architectures non standard* ou encore *Métamorph*. Cette partie constitue l'introduction du cours .

### 3.2 2<sup>ème</sup> partie: la génération et le contrôle des formes complexes.

Nous avons subdivisé notre travail en suivant deux directions.

D'une part, avec l'aide d'un outil simple, le Maxscript du logiciel 3DStudioViz, nous avons exploré les surfaces complexes telles que le paraboloïde hyperbolique et la bouteille de Klein qui est une extension de cet objet particulier et hautement symbolique qu'est le ruban de Möbius (Emmer, 2004a, pp 66-78).

D'autre part, nous avons abordé la géométrie fractale en tant que réponse des mathématiques contemporaines à la question de la complexité.

La génération et le contrôle seront plus particulièrement développés ci-dessous.

### 3.3 3<sup>ème</sup> partie: le script éditable comme outil de création et de contrôle de la forme.

Il est communément admis que l'ergonomie optimale d'un logiciel est étroitement liée à l'emploi de la « souris ». Mais cela n'est pas sans entraîner certaines contraintes, conséquences de la prédétermination des actions du logiciel en fonction de ce dispositif particulier.

Curieusement, le « mode texte » qui s'exprime plus précisément à travers le script éditable (langage GDL dans ArchiCad, Maxscript dans 3DStudio) ouvre un éventail de possibilités insoupçonnées en ce qui concerne la génération de la forme. Nous avons donc exploré ces possibilités. En fait, cette troisième partie a été étroitement liée à la précédente et en a constitué finalement un développement fondamental.

## 4 La 2<sup>ème</sup> partie du cours.

### 4.1 La génération et le contrôle des surfaces complexes.

*"Le point de départ a été la découverte (ou l'invention) de nouveaux algorithmes qui ont généré des formes inédites. Dans une sorte de nouvelle Renaissance, les mathématiciens et les artistes se sont lancés dans une coopération inédite, utilisant ce que l'on appelle la visualisation mathématique .... ».* (Emmer, 2004b)

Cette « coopération inédite » suscite un tel engouement que nous n'avons éprouvé que très peu de difficultés à trouver et rassembler la matière du cours. Le World Wide

---

<sup>1</sup> Ces auteurs sont principalement Michele EMMER (EMMER, 2004a) et Luc FERRY (FERRY, 1998)

Web (Réf. Web 2) est une source quasi inépuisable dans le domaine de la création graphique basée sur l'emploi des mathématiques.

Un autre événement nous a été particulièrement utile: l'exposition « Architectures non standard » par sa conception et sa documentation mais également par l'ampleur de sa diffusion auprès de nos étudiants.

### **Le 1<sup>er</sup> objet étudié: le parabolôïde hyperbolique.**

Nous avons obtenu rapidement les données de l'équation paramétrique générant ce genre de surface. L'intégrer à un script éditable, en l'occurrence le maxscript du logiciel 3DStudioViz n'a pas présenté de difficultés particulières.

En revanche, traiter uniquement des particularités géométriques de cette forme nous est apparu comme un risque à ne pas négliger. Un travail trop théorique, trop peu ancré dans le réel est généralement mal perçu sinon incompris de nos étudiants. Nous avons donc envisagé de rattacher ce parabolôïde à une architecture concrète. Néanmoins, le peu d'heures de cours attribué ne nous permettait pas de nous lancer dans une analyse fonctionnelle adéquate et d'amorcer une réflexion pertinente sur cette forme particulière. Nous avons donc fait appel à l'étude d'un cas précis, le pavillon Philips de l'exposition universelle de 1958 à Bruxelles (Fig.1). Cette architecture éphémère, érigée il y a près d'un demi siècle, est toujours d'une étonnante actualité tant dans sa programmation que dans sa recherche formelle. Notre analyse de cas a été facilitée par un document très complet, découvert sur le WWW (Réf. Web 3), la démarche du trio Le Corbusier – Xénakis – Varèse y est très bien exposée. Pour l'anecdote, il existe un projet de reconstruction de ce pavillon aux Pays-Bas, à Eindhoven précisément (Réf. Web 4).

#### *Les phases du travail de génération et de contrôle du parabolôïde.*

1\_ Le maxscript, script éditable au sein du logiciel 3DStudioViz (idem Max). L'équation paramétrique a été intégrée dans le script suivant:

```
nset = NURBSSET()
nu = 30
nv = 30
uc = #()
vc = #()
for i=1 to nu do
(
    nom = "UCurve" + (i as String)
    uc[i] = NURBSPointCurve numPoints:nv name:nom
)
for j=1 to nv do
(
    nom = "VCurve" + (j as String)
    vc[j] = NURBSPointCurve numPoints:nu name:nom
)
```

```
umin = -1.0
umax = 1.0
vmin = -1.0
vmax = 1.0
for i=1 to nu do
(
  u = umin + (i-1)*(umax-umin)/(nu-1)
  for j=1 to nv do
  (
    v = vmin + (j-1)*(vmax-vmin)/(nv-1)
    x = u
    y = v
    z = u*v
    p = NURBSIndependentPoint [x,y,z]
    setPoint uc[i] j p
  )
  appendObject nset uc[i]
)
for j=1 to nv do
(
  v = vmin + (j-1)*(vmax-vmin)/(nv-1)
  for i=1 to nu do
  (
    u = umin + (i-1)*(umax-umin)/(nu-1)
    x = u
    y = v
    z = u*v
    p = NURBSIndependentPoint [x,y,z]
    setPoint vc[j] i p
  )
  appendObject nset vc[j]
)
n = NURBSNode nset pos:[0,0,0]
```

Le Maxscript génère la figure du paraboloïde (Fig.2) en dessinant des courbes NURBS qui peuvent être reliées entre elles par un « voile » évoquant la surface. Le paramétrage permet d'adapter l'aspect du paraboloïde, plus haut, plus plat, etc. Si l'on désire une modification à ce stade, il faut recréer la forme, c'est-à-dire exécuter de nouveau le Maxscript après avoir modifié les paramètres<sup>2</sup>.

Le paraboloïde ainsi dessiné est encore une figure élémentaire sans épaisseur, sans représentation d'une quelconque structure, mais cette figure est précise d'un point de vue géométrique et aisément reproductible et cela est essentiel pour notre démarche. Elle représente un « objet » en 3 dimensions qui peut soit être intégré à

---

<sup>2</sup>On peut se dispenser de créer de nouveau la forme, il existe une possibilité d'implémenter l'opération de modification de la figure dessinée dans un script mais nous ne l'avons pas utilisée.

d'autres objets architecturaux, soit être traité isolément, il s'apparente quelque peu à une maquette de masse.

2\_ Les commandes prédéterminées du logiciel 3DStudioViz, avec leur système de paramétrage propre, prennent alors le relais. Il est possible de donner une épaisseur à cet objet, de lui attribuer une matière, d'évoquer une structure (Fig. 3). Il est possible de le copier, de le déformer, etc..., l'objet continue à exister dans un mode paramétré donc en principe contrôlable. Cette étape est apparue aux étudiants comme essentielle grâce à la liberté de modélisation qu'elle réintroduisait (Fig.4).

Le parabolôïde hyperbolique ainsi manipulé gagne en complexité, il perd progressivement son statut d'esquisse et acquiert celui d'avant-projet. Dans le même temps, le processus à l'oeuvre engendre une perte du contrôle fin de la forme globale géométriquement maîtrisable, le dessinateur doit être attentif à préserver la possibilité d'un retour en arrière par le biais d'une méthode de modélisation rigoureuse (entre autre, enregistrement systématique des valeurs du paramétrage).

### Le 2<sup>ème</sup> objet étudié: la bouteille de Klein.

Cette forme particulière qui est constituée d'une surface unique que ne borde aucun côté, appartient à la catégorie des surfaces non orientables tout comme l'anneau de Möbius. Comme cet anneau, elle possède une connotation symbolique forte, elle évoque l'infini, le mouvement continu, l'absence de rupture. Outre sa particularité géométrique, ce symbolisme a largement motivé notre choix.

Nous avons également eu le souci de rattacher la géométrie de la bouteille de Klein à une architecture concrète et, dans ce cas, c'est le projet du bureau Asymptote, BMW Event and Delivery Center (Fig.5), élaboré pour le constructeur munichois qui a été retenu (Architectures non standard, 2003, p 60).

#### *Les phases du travail de génération et de contrôle de la bouteille de Klein.*

Pour créer et manipuler la bouteille de Klein (Fig.6), nous avons utilisé le même processus que celui mis en oeuvre pour le parabolôïde hyperbolique.

Voici son script, agrémenté de commentaires:

```
-- on crée un objet NURBSSet vide nset = NURBSSet ()
nu = 30
nv = 30
uc = #()
vc = #()
-- on fixe les limites des valeurs entre lesquelles varient
u et v
umin = 0.0
umax = 360.0
vmin = 0.0
vmax = 360.0
-- on crée une boucle qui crée les nu courbes U
for i=1 to nu do
```

## Architecture paramétrable et architecture fractale

```
(
  nomU = "UCurve" + (i as String)
  uc[i] = NURBSPointCurve numPoints:nv name:nomU
)
r = 3.0
-- ces boucles imbriquées parcourent les courbes dans les
deux dimensions u et v
-- suivant un intervalle qui est calculé en fonction du
nombre de courbes u (nu) -- et v (nv). L'intervalle pour les u
et les v est donné respectivement par
-- (umax-umin) / (nu-1) et (vmax-vmin) / (nv-1)
-- On attribue au fil du parcours de chaque point son x,y,z
correspondant.
-- celui-ci est calculé à l'aide des équations paramétriques
de la surface
for i=1 to nu do
  (
    u = umin + (i-1)*(umax - umin) / (nu-1)
    for j=1 to nv do
      (
        v = vmin + (j-1)*(vmax - vmin) / (nv-1)
        x = (r + cos(v/2)*sin(u)-sin(v/2)*sin(2*u))*cos(v)
        y = (r + cos(v/2)*sin(u)-sin(v/2)*sin(2*u))*sin(v)
        z = sin(v/2)*sin(u)+cos(v/2)*sin(2*u)
        p = NURBSIndependentPoint [x,y,z]
        setPoint cu[i] j p
      )
    appendObject nset cu[i] -- ajoute l'objet NURBSPointCurve
au container.
  )
  -- on crée un objet NURBSUloftSurface avec "nu" courbes qui
le définissent
  USurf = NURBSUloftSurface numCurves:nu

  -- on ajoute l'objet USurf au container
  appendObject nset USurf
  for i=1 to nu do
    (
      setCurve USurf i i
    )
  n = NURBSNode nset pos:[0,0,0].
```

Ce script génère une surface limitant un volume en forme d'anneau décalé, à l'image assez précise du projet du bureau Asymptote.

*Remarques:*

1\_ Encore une fois, il nous faut préciser que notre démarche est d'ordre pédagogique. Par conséquent, nous n'avons pas la prétention d'inventer de nouveaux outils ni de repenser complètement les méthodes de modélisation du projet d'architecture. Nous avons proposé à nos étudiants un outil qui, sans trop de difficultés, leur permet de créer, de visualiser et de contrôler avec une précision suffisante une forme à géométrie complexe. L'avenir devrait nous conduire à créer une bibliothèque de scripts facilitant ainsi la tâche de modélisation. C'est bien là toute notre ambition.

2\_ Nous n'avons envisagé, dans notre travail avec les étudiants, que la possibilité de vérifier, par un contrôle visuel, la valeur de la forme générée par rapport à ses proportions et à son intégration dans le projet architectural considéré.

3\_ L'interaction avec les étudiants a fait apparaître une réelle possibilité d'utilisation de l'outil script au début du processus de conception du projet. Nous n'avions pas d'emblée envisagé cette fonction d'aide à l'esquisse.

#### **4.2 La géométrie fractale.**

*« Après que l'homme lui eut appris à être un bon dessinateur, il assigna finalement à l'ordinateur une tâche digne de ses capacités: représenter ce que l'esprit de l'homme avait conçu mais que ses mains ne pouvaient pas concrétiser en une forme en raison de l'excessive complexité des opérations requises. »<sup>3</sup>*

Le premier projet de cours n'envisageait pas d'aborder la géométrie fractale. Pas plus qu'il n'envisageait précisément une utilisation des outils dès la première phase de l'élaboration du projet. Cependant, il existe au sein de notre enseignement, un cours optionnel important en nombre d'heures et en rayonnement. Il s'intitule officiellement « Problèmes formels architectoniques » mais il est plus connu sous son nom usuel de cours d' « architecture organique ». Il aborde les divers aspects de ce mouvement qui traverse l'histoire de l'architecture.

Au sein de ce cours, une des méthodes régulièrement utilisée pour l'élaboration du projet consiste, sur la base d'un thème dont seuls les traits généraux sont définis, soit à esquisser un dessin non figuratif, arbitraire, éventuellement automatique et répétitif (Fig.7), soit à choisir un sujet figuratif qui va être transformé progressivement par l'utilisation de diverses méthodes graphiques ou sculpturales (Fig.8). Les dessins et les maquettes issus de ces deux approches ont généralement une forte connotation baroque, image du vivant tel que le prône ce mouvement architectural.

C'est sur cette base esquissée fort librement, sans contraintes fonctionnelles a priori, que le projet final s'élabore par transformation et affinement progressifs. Par bien des aspects, cette méthode peut être rapprochée de celle exposée par Yves Weinand (Weinand, 2004).

---

<sup>3</sup>Traduction personnelle du texte suivant: « After being taught by man to pretend to be a good designer, finally the computer was given a task worthy of its capabilities: to represent what the mind of man had conceived but which his hands could not transform into form because of the excessively complicated operations involved. » (Portoghesi, 2000, p 406)



Nous avons finalement tenté d'établir un lien entre les images couramment utilisées au sein du cours d'architecture organique et les images fractales en 3 dimensions que nous avons côtoyées de plus en plus régulièrement lors de nos recherches sur le World Wide Web. De fait, au sein de la Toile, des artistes - mathématiciens ou des mathématiciens - artistes s'expriment abondamment avec une inventivité et une séduction troublante (Réf. Web 1). Nous avons intégré, dans notre cours, cette imagerie de la complexité, du baroque, du vivant, sous le nom d'« architecture fractale ».

### **Le pouvoir d'évocation des images fractales.**

Nous avons pensé, en fait alimenter la première phase de l'élaboration du projet d'architecture organique en fournissant, à l'auteur, un dessin en 3 dimensions figurées, tranche d'un objet en 4 dimensions éminemment complexe.

Nous avons utilisé le logiciel « Quat » pour générer des images matricielles au format PNG. Il est issu des travaux de Dirk MEYER (Réf. Web 5) de l'université de Stuttgart, il fournit des images riches de nuances, modelées par l'application d'un rendu étonnamment précis pour un logiciel d'apparence modeste.

Les objets fractals en vraie 3D sont issus du calcul d'un ensemble de Julia basé sur l'utilisation de nombres hypercomplexes (encore appelés quaternions). L'objet originel est créé en 4 dimensions et une « tranche » en 3 dimensions est visualisée (éventuellement en stéréoscopie) par le biais d'une « coupe » dans l'objet initial (une projection dans l'espace à 3 dimensions).

Le résultat est généralement séduisant sinon spectaculaire, mais, avec cette figure, nous ne sommes encore qu'au début du processus de conception de l'architecture organique comme nous l'avons exposé plus haut. Nous nous situons donc au niveau de l'esquisse sinon en amont si nous considérons le pouvoir d'évocation de ces objets fractals (ossatures, peaux, ornements, ...) (Fig. 9, 10 et 11). Nous n'en savons pas davantage car nous n'avons pu, faute de temps, développer un projet complet sur la base d'une telle figure fractale.

### **Maquette virtuelle d'architecture fractale.**

L'objet créé dans un logiciel spécialisé dans le traitement des fractales en 3 dimensions a effectivement... 3 dimensions. Le problème consiste donc à récupérer cette information sous la forme vectorielle.

L'usage d'un autre logiciel, QuaSZ (Réf. Web 6), nous a permis de générer des fractales en 3 dimensions et de les exporter au format d'échange DXF. Ce fichier a été interprété en tant que maquette virtuelle par le logiciel de dessin en 3 dimensions nommé Sketchup. Nous avons également montré qu'il était possible de le récupérer dans les logiciels AutoCad et ArchiCad.

L'objet ainsi transféré est formé d'un assemblage de facettes triangulaires (maillage) (Fig.12) constituant une surface qui limite un volume. Ce système de représentation gomme malheureusement l'aspect vivant si particulier des images fractales. La forme est comme gelée, confite dans une enveloppe qui épaissit ses contours et efface les détails. Néanmoins, avec l'aide des commandes du logiciel 3D

(Sketchup), elle peut évoluer, se découper, se creuser, etc (Fig.13). Cette méthode a incontestablement un rôle à jouer dans l'esquisse du projet d'architecture. Elle ne nous a pas entièrement convaincu dans ce sens que l'appliquant comme nous l'avons fait, nous avons perdu une part de l'information créée en amont par le logiciel QuaSZ.

## 5 Conclusion.

Au sein de nos Instituts d'architecture, la pédagogie s'articule autour du travail de l'atelier de projet. En 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> année, l'atelier est orienté vers des projets de grande ampleur. Dès lors, les travaux des étudiants dépassent rarement le stade de l'avant-projet. Dans ce contexte, l'esquisse occupe une place proportionnellement plus importante. Assez naturellement, dans notre cours, les étudiants ont orientés leur questionnement vers l'utilisation - dès le premier stade du processus de conception du projet d'architecture - des outils que nous leur proposons. Notre intention de départ était principalement de leur faire découvrir les formes géométriques complexes et nous savons maintenant que nous devons mettre l'accent sur les possibilités opérationnelles des outils proposés. Notre très courte expérience nous a appris qu'ils en possèdent, il nous appartient de les développer davantage et de les orienter clairement vers l'assistance à l'esquisse.

## Références:

- Architectures non standard*, Catalogue d'exposition, éditions du Centre Pompidou, Paris, 2003.  
EMMER M., *Mathland – From Flatland to Hypersurfaces*, Birkhäuser, Basel, 2004a.  
EMMER M., cité dans *Les mathématiques en beauté*, magazine de la recherche européenne RDT, info Numéro spécial, mars 2004b.  
FERRY L., *Le Sens du Beau*, éditions Cercle d'Art, 1998.  
PORTOGHESI P., *Nature and Architecture*, Skira Editore, Milano, 2000.  
WEINAND Y., *New\_modeling*, presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 2004.

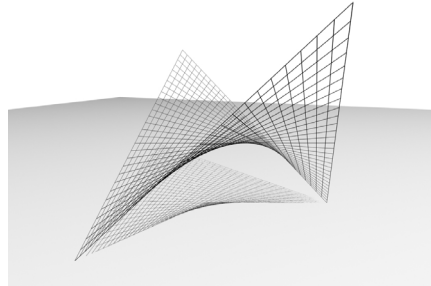
### World Wide Web:

1. <http://astronomy.swin.edu.au/~pbourke>, septembre 2005.
2. <http://mathworld.wolfram.com/topics/LiveGraphics3DApplets.html>, septembre 2005.
3. <http://home.hccnet.nl/a.meyer/philipsavilion58/>, septembre 2005.
4. <http://www.alice-eindhoven.nl/02/pers.php>, septembre 2005.
5. [http://www.physcip.uni-stuttgart.de/phy11733/index\\_e.html](http://www.physcip.uni-stuttgart.de/phy11733/index_e.html)
6. <http://www.hypercomplex.org/quasz.htm>, septembre 2005

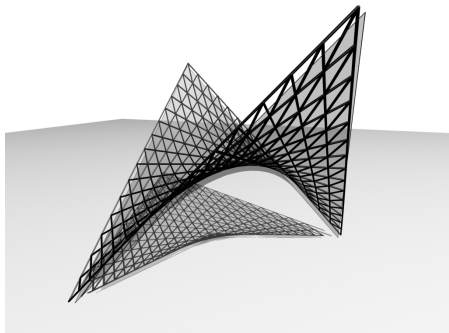
## 6 Annexes.



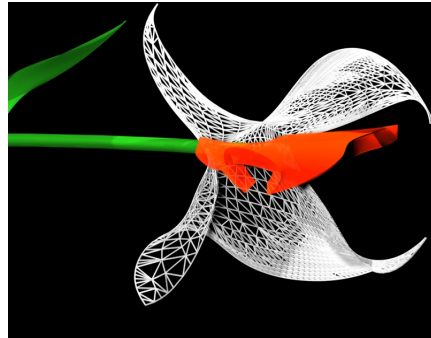
**Fig.1** – Pavillon Philips (Réf. Web 3).



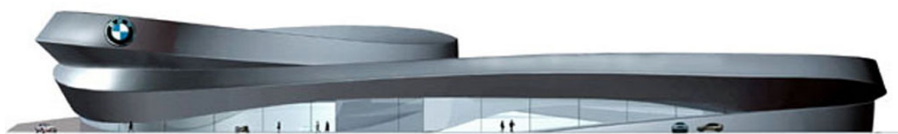
**Fig.2** – Paraboloïde hyperbolique initial.



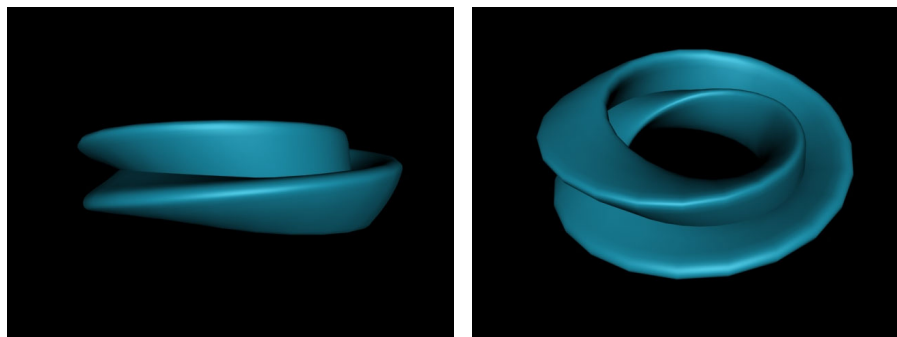
**Fig.3** – Paraboloïde modifié (lattice).



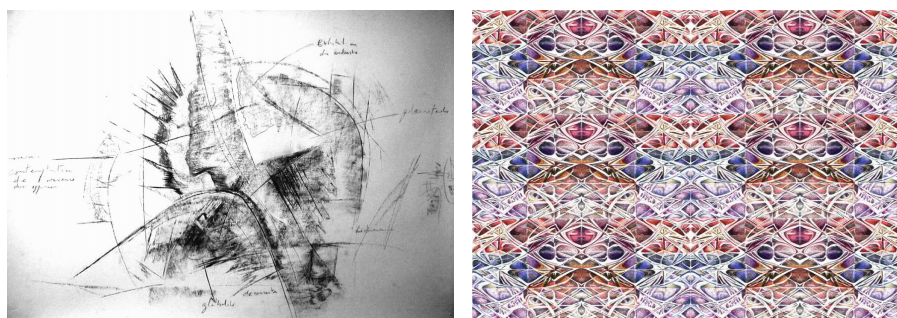
**Fig.4** – Paraboloïde librement transformé.



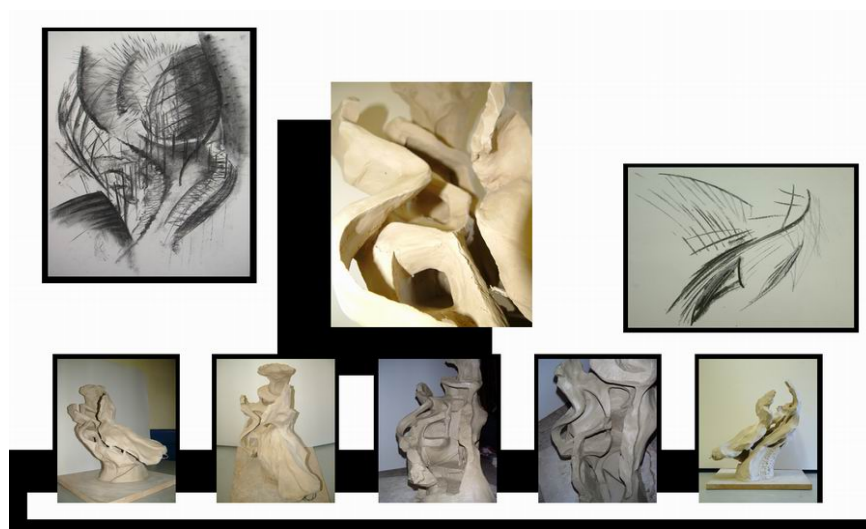
**Fig.5** – Asymptote: BMW Event and Delivery Center  
(Architectures non standard, 2003, p 61).



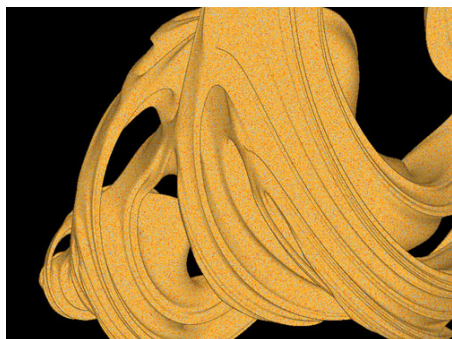
**Fig.6** – Bouteille de Klein



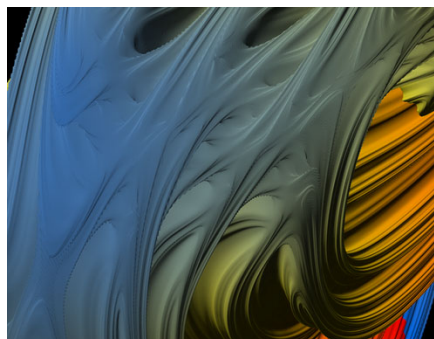
**Fig.7** – Architecture organique, dessins initiaux.



**Fig.8** – Architecture organique, dessins initiaux et début d'interprétation sous la forme de sculptures.



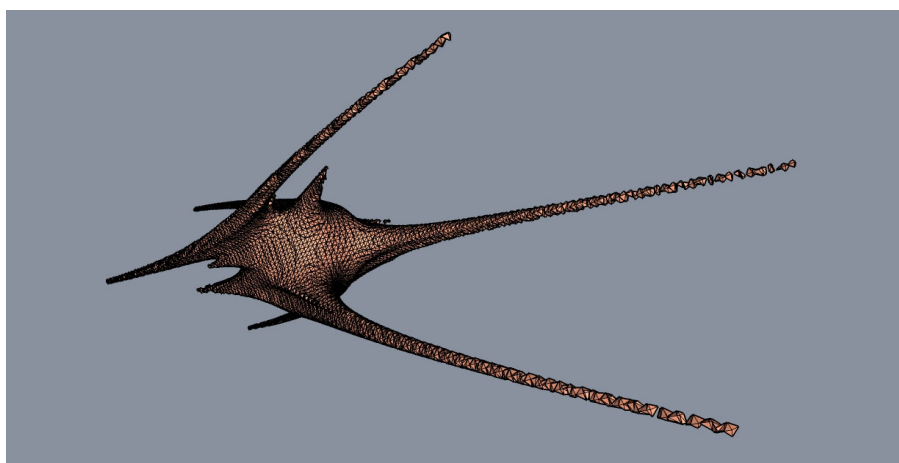
**Fig.9** – Achitecture fractale, ossature.



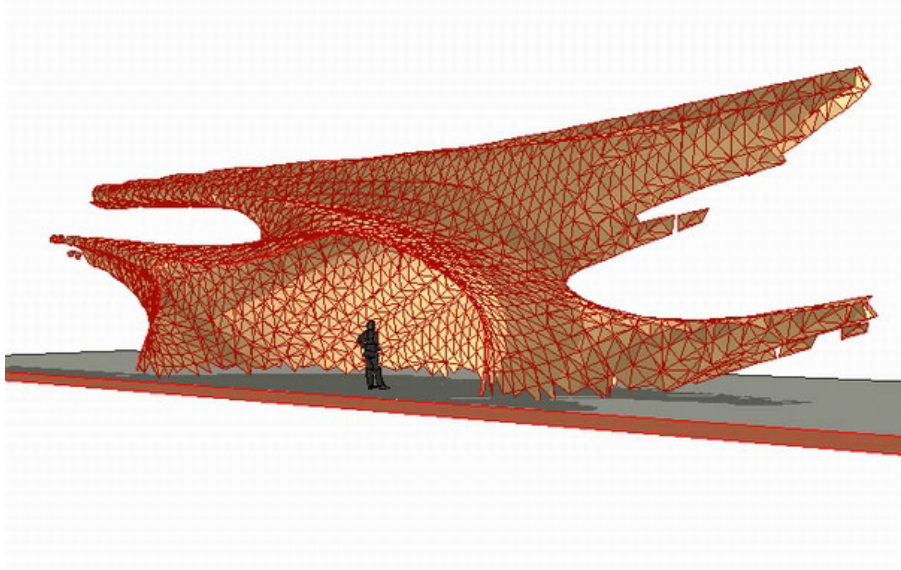
**Fig.10** – Architecture fractale, peau.



**Fig.11** – Architecture fractale, ornements.



**Fig.12** – Objet fractal récupéré sous forme d'une maquette virtuelle 3D (maillage).



**Fig.13** – La maquette virtuelle (fig.12) évolue, se découpe, se creuse, ...