

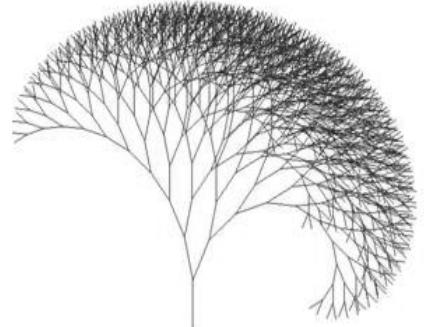
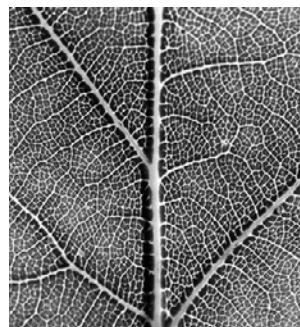
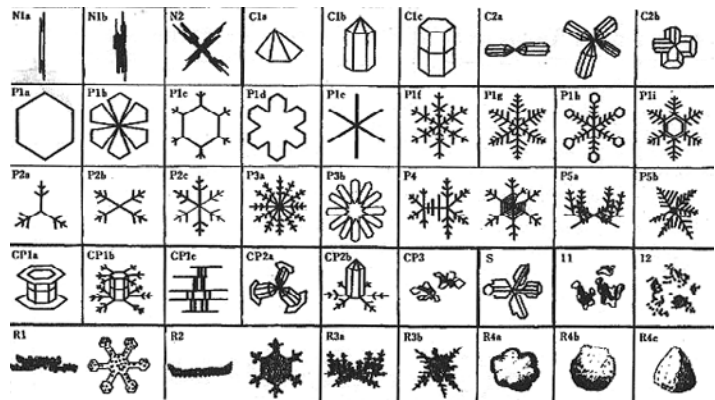
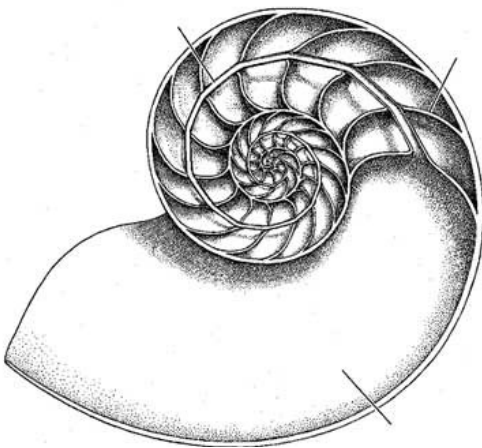
# Dossier thématique Architecture & mathématiques.

## 1. Géométrie, tracés régulateurs & création :

### Dans la nature :

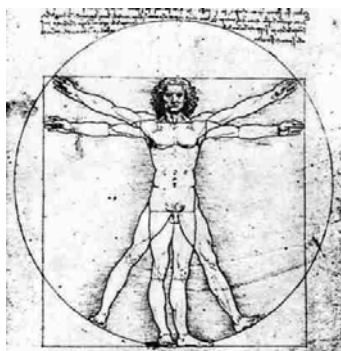
«Dès l'époque secondaire, les mollusques construisaient leur coquille en suivant les leçons de la géométrie transcendante». Gaston Bachelard.

Les mathématiques sont présentes dans la nature, de nombreux exemples conduisent à des transcriptions scientifiques possibles : spirales de tournesol, le nombre d'or du nautilus, les formes fractales du chou romanesco, la structure des cristaux de gel, l'arbre Dragonnier de Socotra, structures naturelles de feuillages et branchages...



### À partir de la nature :

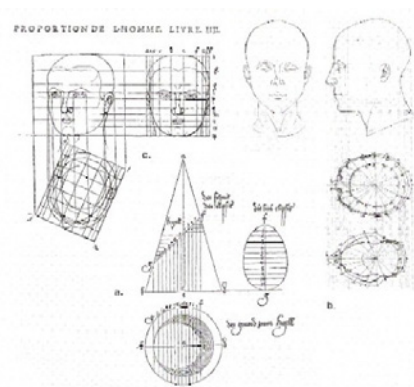
Avec l'homme de Vitruve, selon Léonard de Vinci, la représentation de l'homme passe par la construction géométrique. Albrecht Dürer, s'intéressa lui aussi particulièrement aux relations entre la nature et la géométrie.



L'homme de Vitruve,  
Léonard de Vinci vers 1492.



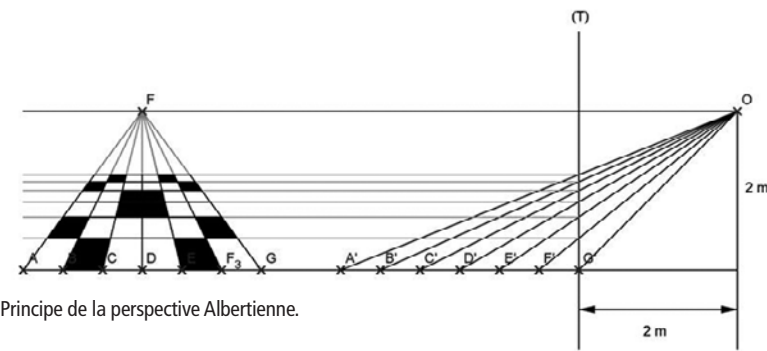
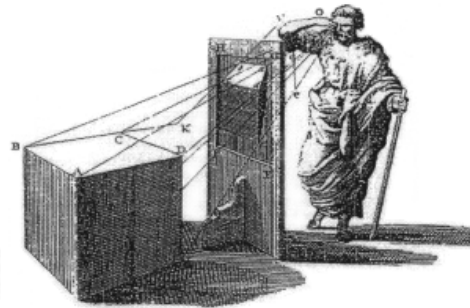
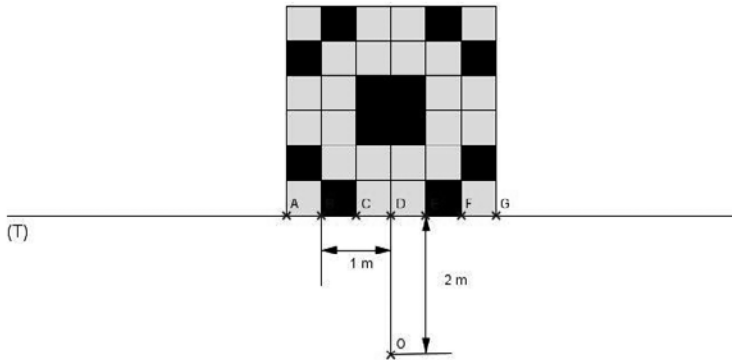
Étude du visage et de l'œil / Codex  
Léonard de Vinci vers 1489-90.



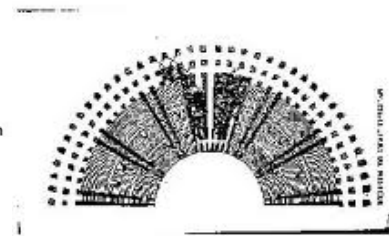
Page de dessin d'Albrecht Dürer vers 1525  
Instructions sur la mesure.

**La perspective et l'homme :**

Chez Alberti (1404-1472) un lien est défini entre un procédé de représentation en perspective et le point de vue de l'homme. Leon Battista Alberti, humaniste, écrivain, peintre, théoricien de la peinture et architecte florentin écrit, vers 1436, un texte intitulé De Pictura, imprimé en 1540. On peut concevoir ce texte comme le programme fondateur de la représentation occidentale. C'est aussi dans ce traité qu'apparaît la première formulation claire du principe de la perspective centrale.



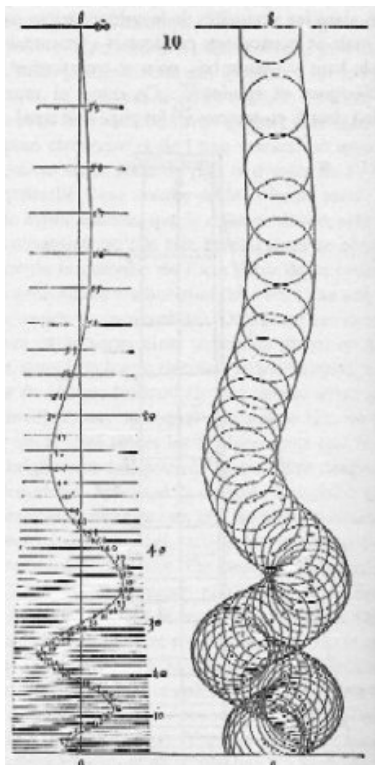
Principe de la perspective Albertienne.



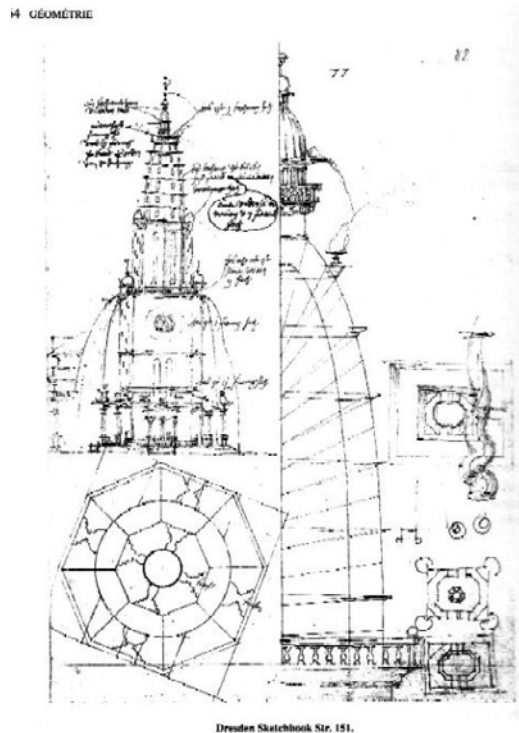
Implantation d'amphithéâtre par Alberti : principe d'équité pour la foule.

**La mesure de l'architecture et l'homme :**

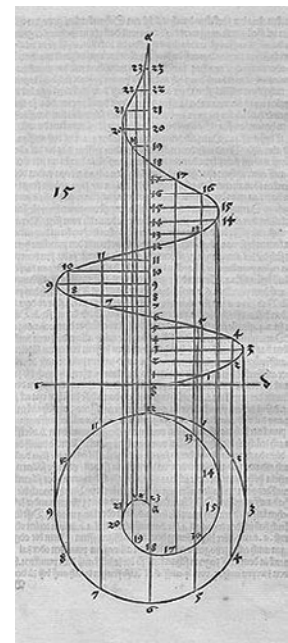
Dürer se rend en Italie en 1494 et s'initie au rôle des mathématiques dans les proportions et la perspective. Il se plonge alors dans les Éléments d'Euclide, dans les théorèmes pythagoriens et dans le traité De architectura de Vitruve. Il s'instruit aussi dans les travaux d'Alberti et Pacioli. De nombreuses relations entre mathématique, géométrie et procédés de tracés sont alors définies.



Page de dessin d'Albrecht Dürer vers 1525 Instructions sur la mesure.

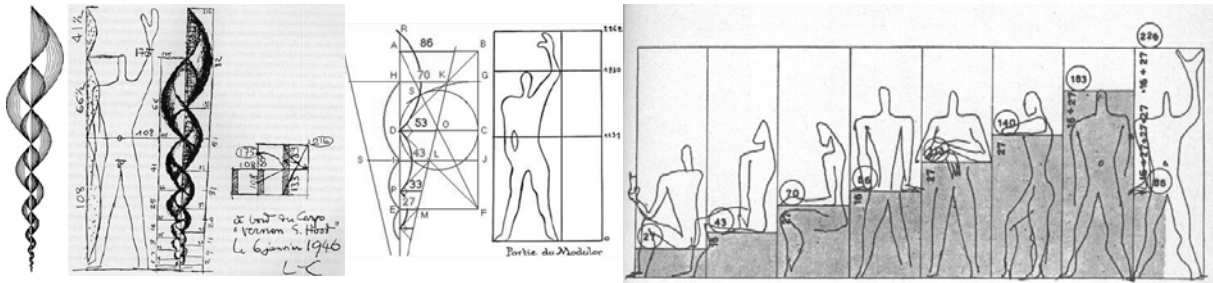
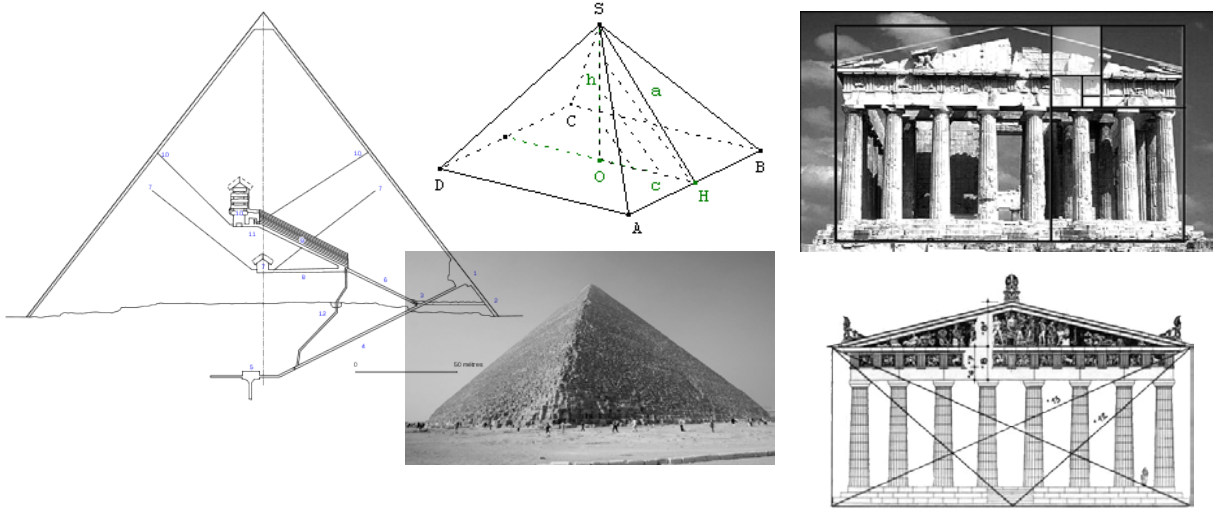


Page de croquis de conception d'Albrecht Dürer pour des tours Renaissance.



**Du nombre d'or au moduler :**

Depuis la pyramide de Kheops (vers -2560) et le Parthénon d'Athènes (vers -447) le nombre d'or s'illustre à de multiples reprises.

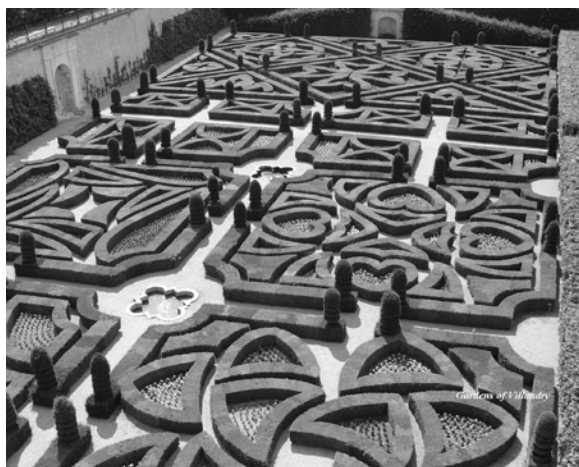


Le Modulor, Le Corbusier.

Le Modulor est une notion architecturale inventée par Le Corbusier en 1945. Silhouette humaine standardisée servant à concevoir la structure et la taille des unités d'habitation, comme la Cité radieuse de Marseille, la Maison Radieuse de Rezé ou l'Unité d'habitation de Firminy-Vert, elle devait permettre, selon lui, un confort maximal dans les relations entre l'homme et son espace vital. Ainsi, Le Corbusier pense créer un système plus adapté que l'actuel système métrique, car il est directement lié à la morphologie humaine, et espère voir un jour le remplacement de ce dernier. Il s'agit d'un mot-valise composé de « module » et « nombre d'or ». En effet, les proportions fixées par le moduler sont directement liées au nombre d'or. Par exemple, le rapport entre la taille (1,83 m) et la hauteur moyenne du nombril (1,13 m) est égal à 1,619, soit le nombre d'or à un millième près. D'autre part la taille humaine standard 1,83 mètre est basée sur l'observation de l'architecture traditionnelle européenne et de l'utilisation des proportions de cette unité pour élaborer l'harmonie d'une architecture.

**L'art du jardin et la géométrie :**

La nature inspire les mathématiques, mais l'histoire du paysage montre également de nombreuses réalisations normées, dessinées avec la nature. Le jardin dit à la française pousse le principe d'une nature construite de tracés géométriques à son paroxysme. Les jardins de Villandry, en sont un exemple majeur.

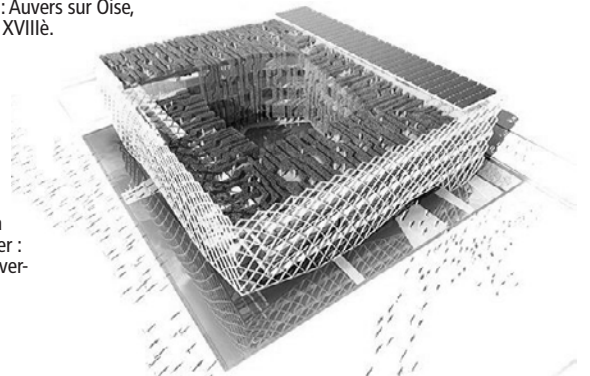


Jardin à la française : Villandry (du XVIè au XVIIIè).



Jardin à la française : Auvers sur Oise, dessinés au XVIIè et XVIIIè.

Relecture contemporaine du Jardin à la française par l'architecte Jacques Ferrier : Pavillon de la France à l'exposition universelle de Shanghai.



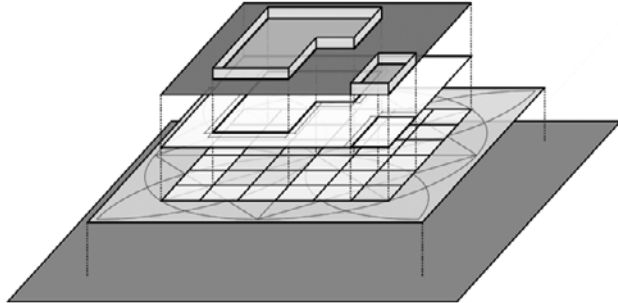
**Tracés régulateurs :**

En architecture, toute construction fait l'objet d'un tracé, comme la grille en mise en page, le tracé régulateur donne au plan sa structuration, sa logique spatiale.

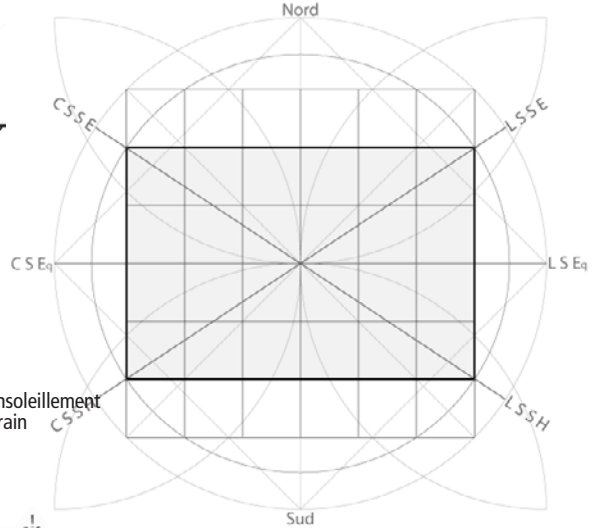
Un tracé régulateur est un plan, réalisé en premier à l'aide de la règle et du compas (la droiture et l'ouverture), qui reçoit le plan matériel, visible de la construction. C'est une trame sur laquelle le bâti se calle.

Le tracé régulateur est le support de la construction, l'interface entre elle et le lieu qui la porte.

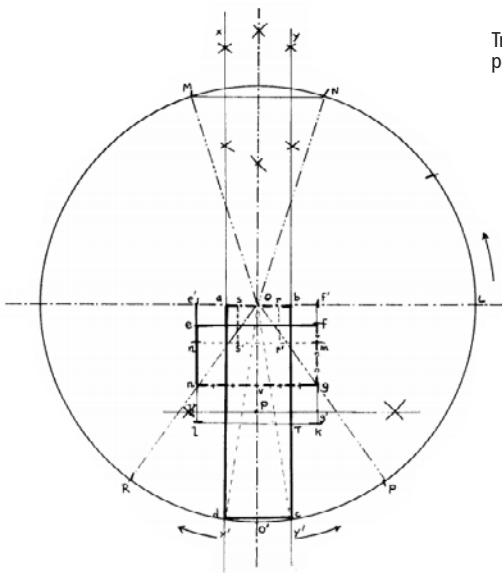
Au minimum, le tracé peut être une simple grille et les murs seront exactement sur le quadrillage de la grille, comme ceci :



Éclaté d'une construction et ses tracés régulateurs



Tracé régulateur de l'ensoleillement pour l'analyse d'un terrain



Tracés régulateurs pour l'abbaye de Boscodon, chef d'œuvre roman au XII<sup>e</sup> (Alpes)

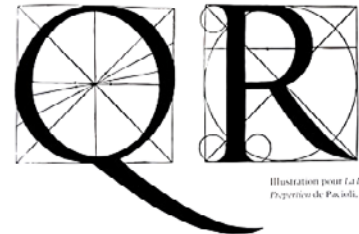
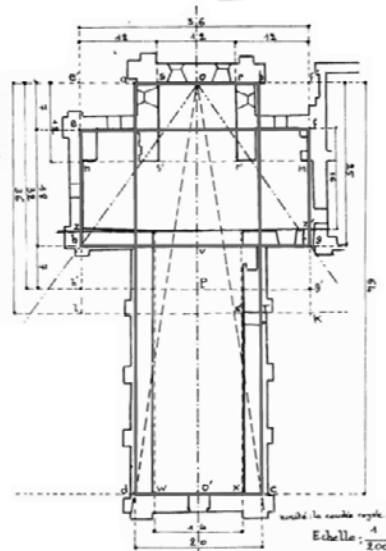
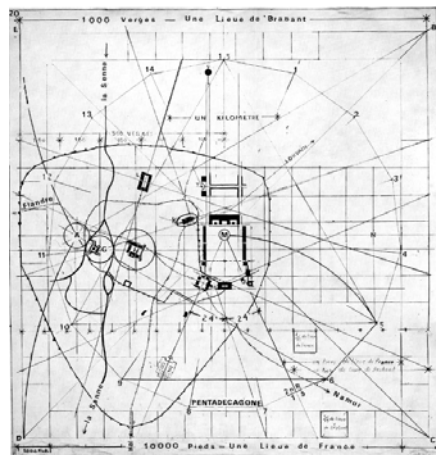


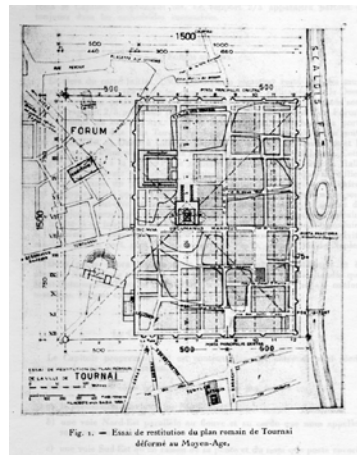
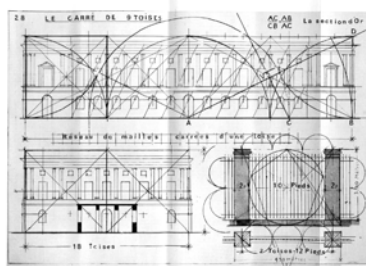
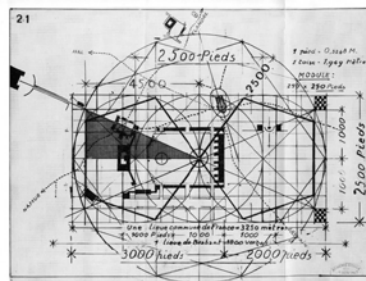
Illustration pour La Divine Propriété de Pacioli, 1509.

Tracés régulateurs de dessin de lettres La Divine (1509)

Un tracé régulateur peut exister à différentes échelles : en fonction du lieu, du contexte, en plan, en élévation.



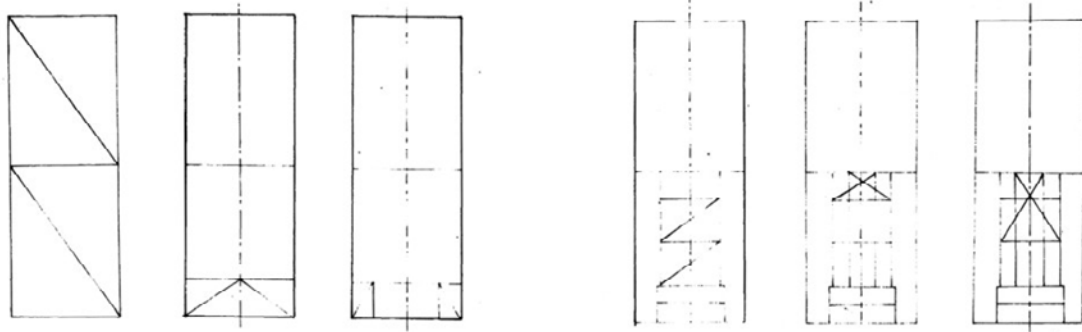
Tracés régulateurs du parc de Bruxelles



Tracés régulateurs du plan romain de Tournai

## Construction par les tracés régulateurs : la cathédrale de Reims.

« Un tracé régulateur construit et satisfait. Un tracé régulateur est une assurance contre l'arbitraire. » Le Corbusier, Vers une architecture, 1923.



**1**  
Le plan de la cathédrale pris dans les limites extérieures des contreforts du chœur, s'inscrit dans deux rectangles décagonaux.

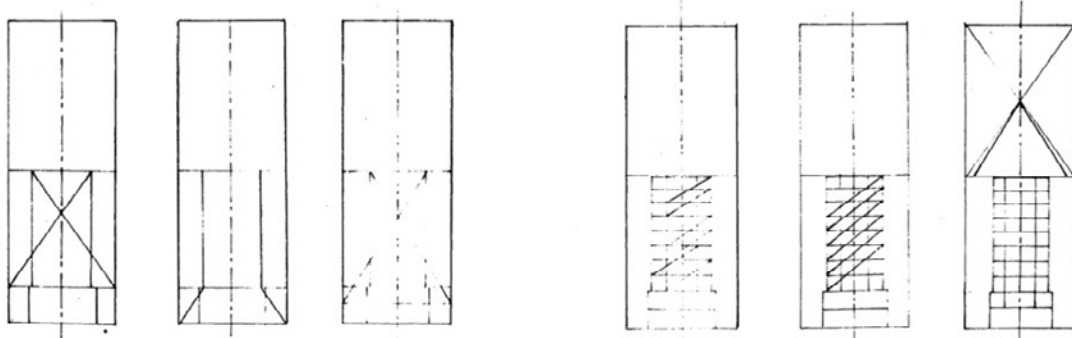
**2**  
La façade et la travée d'entrée sont inscrites dans deux rectangles dorés.

**3**  
La largeur de la façade s'obtient à l'équerre d'or, à partir du sommet inférieur du rectangle.

**7**  
La nef est divisée en 3 rectangles : 2 rectangles décagonaux identiques et ce qui reste de la nef.

**8**  
La découpe en vaisseau central + 2 collatéraux se fait à l'équerre d'or sur le plus petit des rectangles.

**9**  
On arrive au même résultat avec la même équerre en partant du sommet du premier rectangle.



**4**  
La largeur de la nef est donnée par l'équerre  $36^\circ-54^\circ$  à partir du sommet supérieur du rectangle contenant la façade et travée d'entrée.

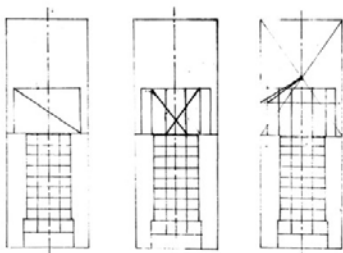
**5**  
Cette même largeur peut être obtenue à partir du sommet inférieur du grand rectangle, avec l'équerre décagonale.

**6**  
La profondeur du massif de la façade est obtenue à l'équerre d'or, à partir du sommet de ce rectangle contenant la nef, ou à l'équerre décagonale.

**10**  
La nef est divisée en 8 travées à l'aide de l'équerre d'or. On remarque qu'il reste alors une bande très étroite en haut du rectangle de la nef.

**11**  
Remarquons que 3 travées sont toujours inscrites dans un rectangle décagonal.

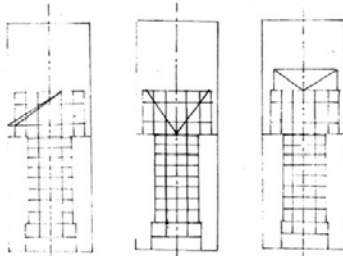
**12**  
La largeur du transept est donnée par l'équerre d'or à partir du centre de gravité du rectangle supérieur.



**13**  
Le transept est inscrit dans un rectangle d'or à partir des limites fixées précédemment.

**14**  
La largeur de la nef est poursuivie à travers le transept. Des points ainsi obtenus, on trace à l'équerre décagonale les deux collatéraux.

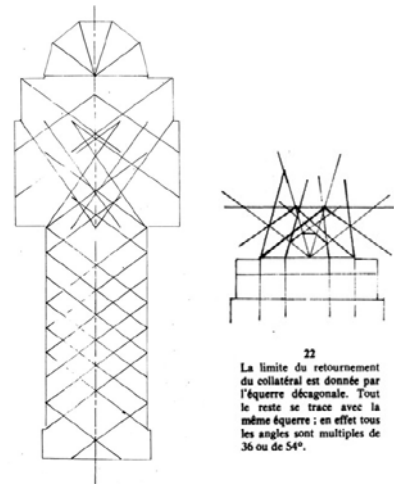
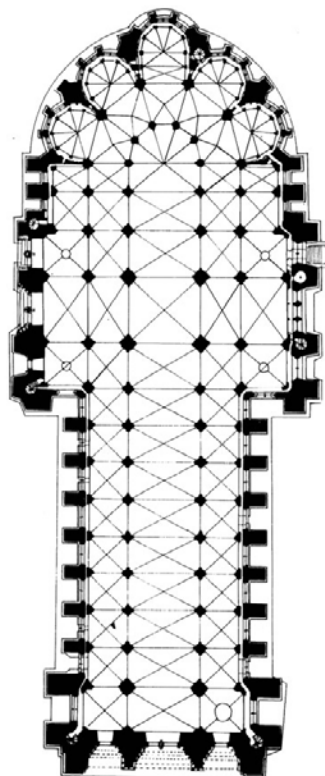
**15**  
La découpe horizontale du transept se fait avec l'équerre d'or pour la tête travée, à partir du centre de gravité du rectangle (ou encore à l'équerre décagonale).



**16**  
La deuxième travée s'obtient de même à l'aide de l'une ou l'autre des deux équerres.

**17**  
La largeur du chœur s'obtient avec l'équerre décagonale à partir du centre de gravité du plan pris en entier.

**18**  
Le chœur est lui-même formé de deux rectangles dorés.



**22**  
La limite du retournement du collatéral est donnée par l'équerre décagonale. Tout le reste se trace avec la même équerre ; en effet tous les angles sont multiples de  $36$  ou  $54^\circ$ .

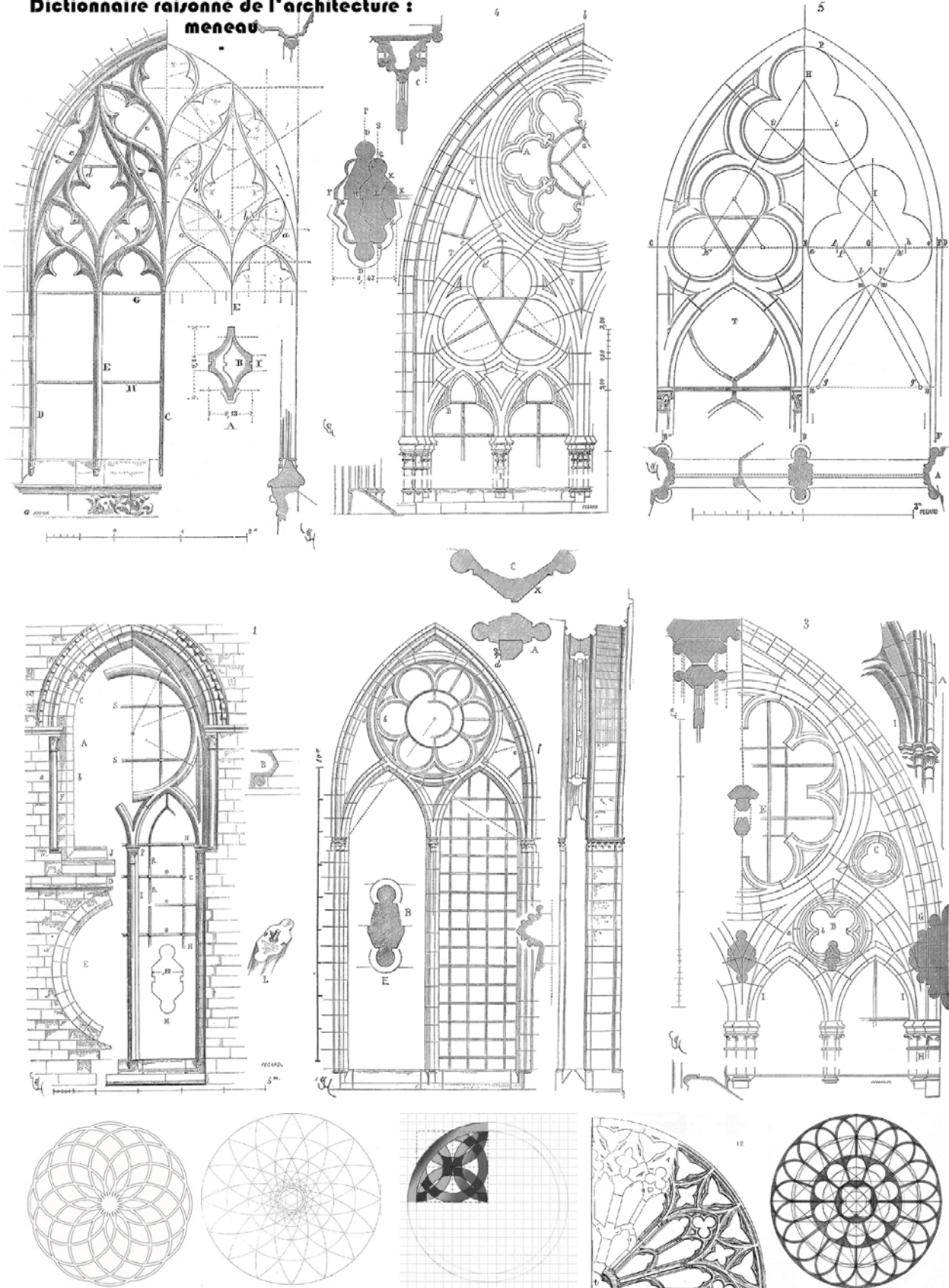
Tracés obtenus avec l'équerre décagonale  
Plan de la cathédrale de Reims



**Des tracés régulateurs aux épreuves : dictionnaire raisonné de l'architecture**

Tracés de rosaces, pour construire une épreuve, la géométrie est un outil privilégié : extraits du dictionnaire de Viollet le Duc. (10 volumes au dictionnaire de 1854 à 1868).

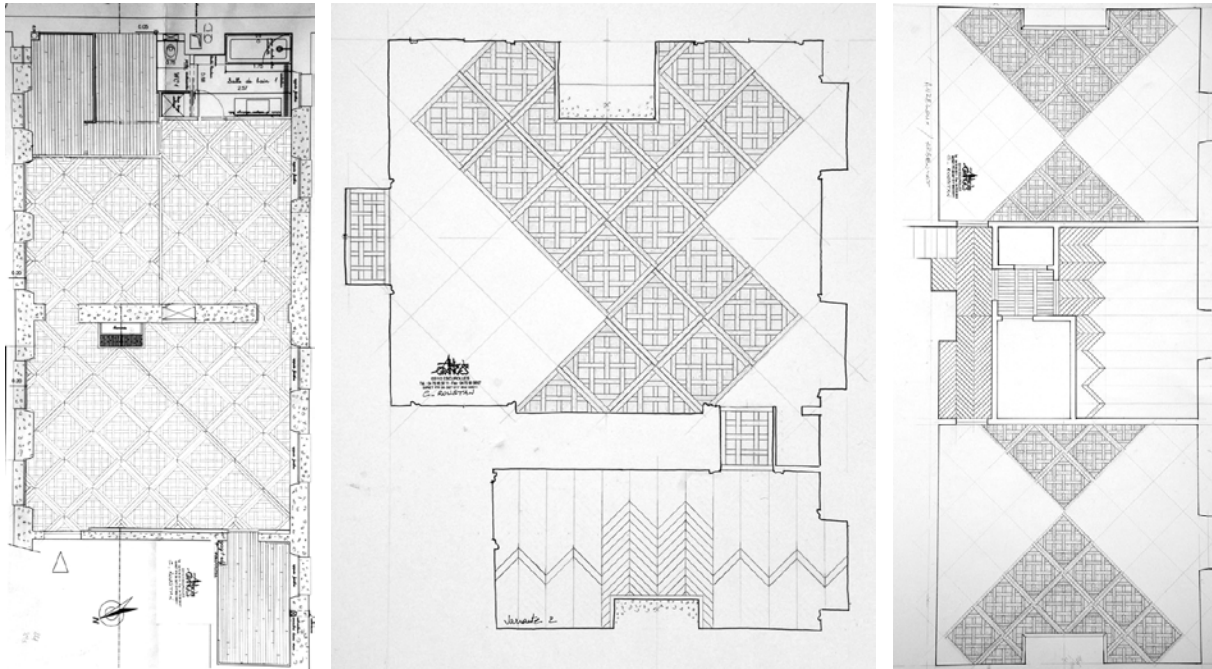
**épreuves d'architecture**  
**Dictionnaire raisonné de l'architecture :**  
**meneau**



Dessins et tracés de rosaces pour vitraux et calpinages de sols.

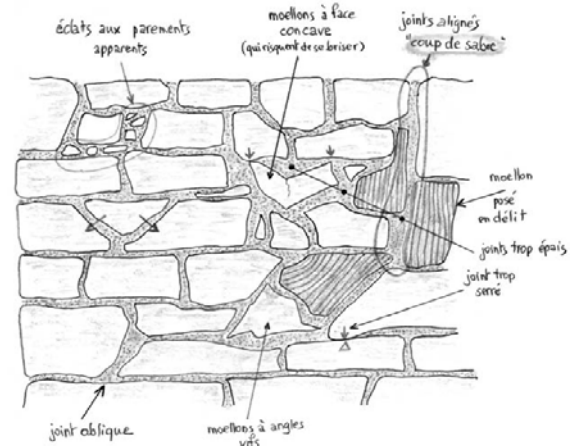
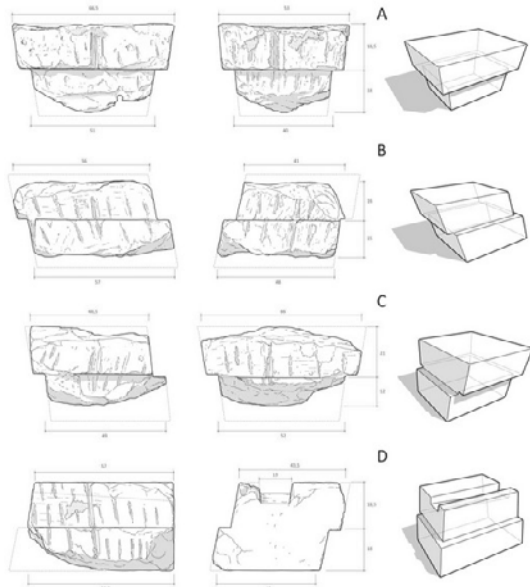
**Géométrie et motifs imbriqués : calepinages de sols.**

En architecture, de nombreux dessins et poses de matériaux nécessitent une composition précise. Lors de création ou de réhabilitation de sols, le motif doit être implanté en fonction de la morphologie de l'espace, il est alors nécessaire de «calepiner» le sol, de composer le motif sur l'ensemble de la surface. Cette composition a évidemment une incidence importante pour le résultat final (cohérence entre sols et plafonds, entre paroi verticale et paroi horizontale, placement des motifs en regard d'ouvertures, cohérence entre les motifs et des sources de lumière...)

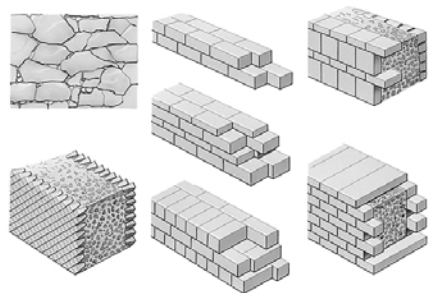


Dessins et tracés de parquets panneaux Versailles avec navettes, un calepinage correct permet souvent de centrer le motif par rapport aux spécificités formelles d'un espace.

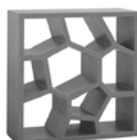
Ci-après, les différents blocs de pierre de taille sont observés et catégorisés selon leur volumétrie : un calepinage d'assemblage peut alors être pensé de manière géométrique et ainsi obtenir des appareillages de murs selon les volumes et leur orientation dans l'espace. Des principes de combinaison, de rotation, de répétition mathématiques peuvent être alors utiles.



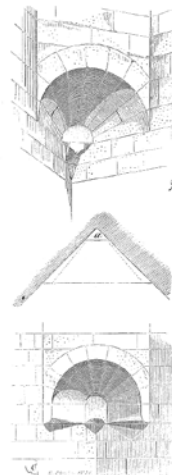
Croquis de recommandations pour le dessin d'un appareillage de pierres traditionnel



Modèles d'appareillages selon différents opus : en haut à gauche, l'opus incertum montre comment les pierres sont composées entre elles mais donnent l'impression d'une imbrication incertaine.



Module de bibliothèque Casamania, Sean Yoo, designer



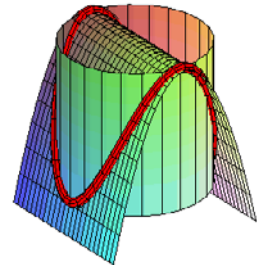
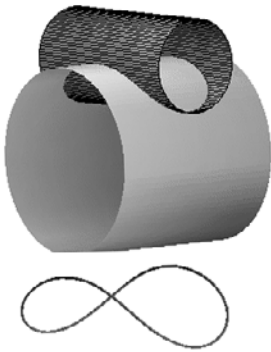
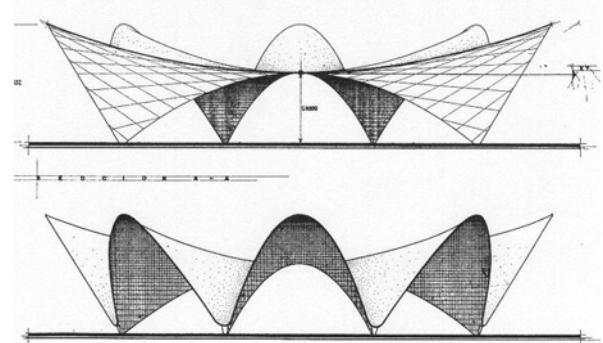
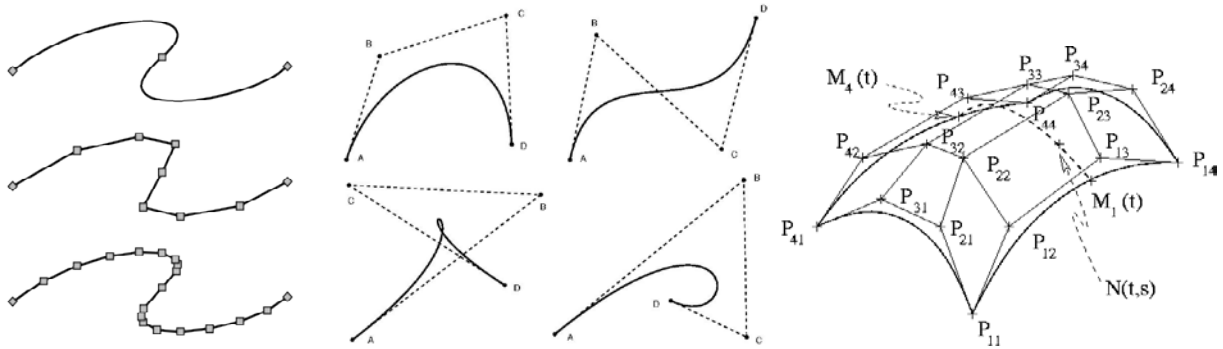
Pierres appareillées selon un axe de symétrie, construction en trompe cylindrique sur pan coupé

### Courbes : de Bézier. 2d. 3d. surfaces.

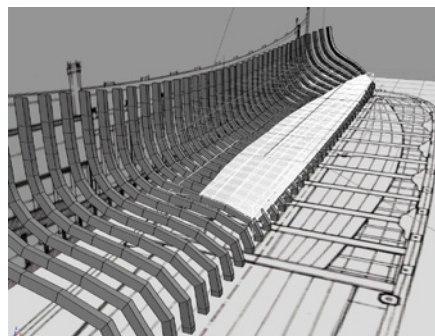
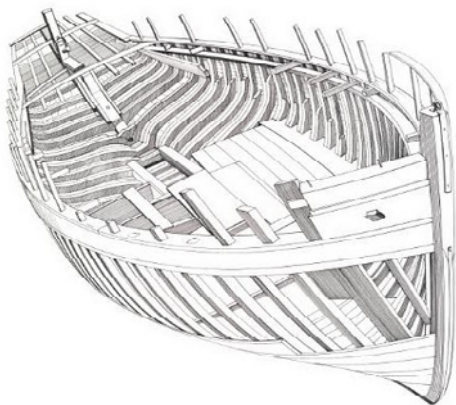
Les courbes de Bézier sont des courbes polynomiales paramétriques décrites pour la première fois en 1962 par l'ingénieur français Pierre Bézier qui les utilisa pour concevoir des pièces d'automobiles à l'aide d'ordinateurs. Elles ont de nombreuses applications dans la synthèse d'images et le rendu de fontes. Elles ont donné naissance à de nombreux autres objets mathématiques.

Il existait avant Bézier des courbes d'ajustement nommées splines, mais dont le défaut était de changer d'aspect lors d'une rotation de repère, ce qui les rendait inutilisables en CAO. Bézier partit d'une approche géométrique fondée sur la linéarité de l'espace euclidien et la théorie, déjà existante, du barycentre : si la définition est purement géométrique, aucun repère n'intervient puisque la construction en est indépendante, ce qui n'était pas le cas pour les splines (les splines conformes aux principes de Bézier seront par la suite nommées B-splines).

Le logiciel Adobe Illustrator repose essentiellement sur le dessin vectoriel à partir de courbes de Bézier.



[www.mathcurve.com](http://www.mathcurve.com) :  
visualisation de courbes 2d et 3d modélisées.



Architecture navale : chaque section d'un plan de coque est une courbe évolutive en 3 dimensions

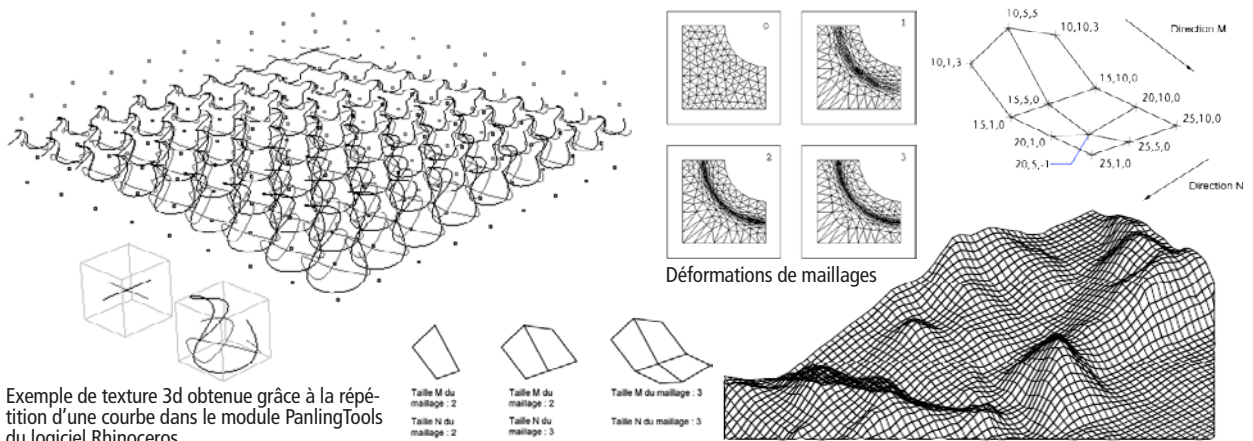


Charpente en coque de bateau



**Répétition, motif, maillage : du module à la constellation.**

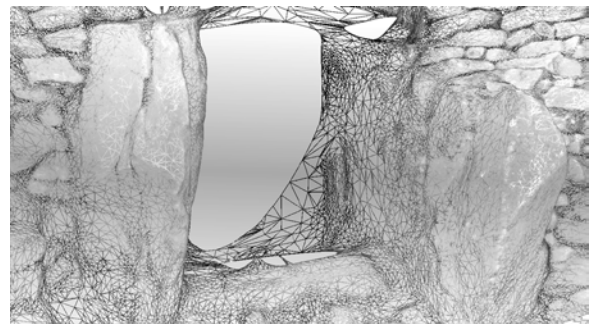
Répéter un modèle par translation, rotation dans l'espace permet de concevoir des formes complexes à partir de modules initiaux. Les technologies de modélisation numérique ouvrent la voie d'un vocabulaire plastique particulier.



Exemple de texture 3d obtenue grâce à la répétition d'une courbe dans le module PanlingTools du logiciel Rhinoceros.



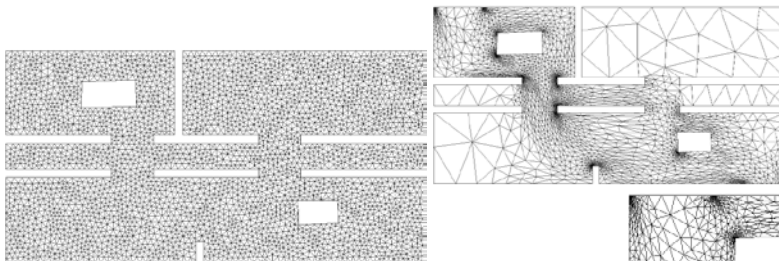
Maillage d'une paroi rocheuse par photomodélisation, l'usage de technologies numérique rend possible l'enregistrement in situ de données de relief (scanners 3d)



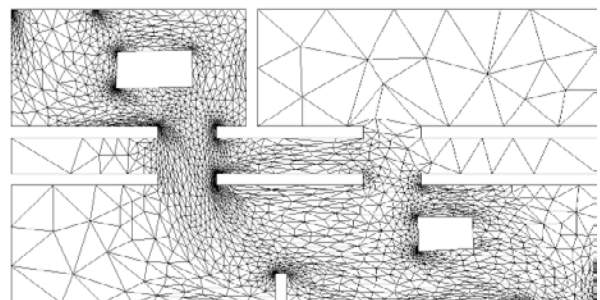
The fish, une des premières réalisations de l'architecte F.O'Gehry à barcelone : le maillage est transposé à l'échelle d'une construction



NewYork par Gehry : le jeu formel des façades traduit visuellement le jeu de surfaces de la tour obtenues par modification de son maillage, sorte de déformation paramétrique.

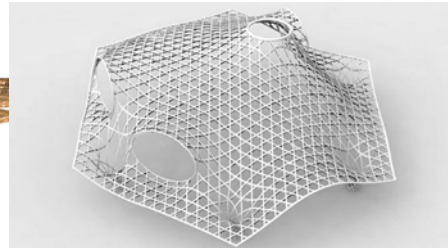
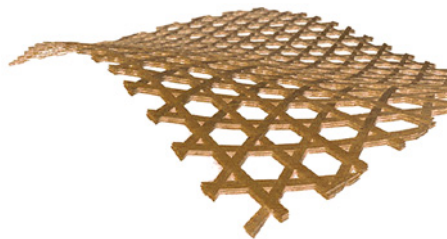


3 formes de maillage au sein d'un même espace sont ici utilisés pour simuler les incidences du vent sur une structure légère : le maillage dans les deux secondes vues montre une évolution paramétrée par la vitesse et l'orientation du vent. Des réactions structurelles peuvent être ainsi anticipées.



**Du maillage à la structure : question d'échelle.**

Le projet du Centre Pompidou de Metz est exemplaire d'une structure inspirée de systèmes artisanaux de tissage. En changeant l'échelle et le matériau, mais en conservant le principe fondateur, un voile aux propriétés de rigidité est obtenu grâce aux lamellé collé de bois, exprimant malgré tout la fluidité du modèle.

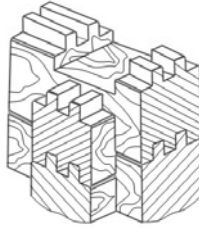
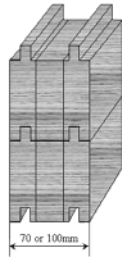


À partir d'un modèle de chapeau chinois tressé, l'architecte Shigeru Ban définit un modèle de structure modélisé, puis optimisé pour permettre des raccords systématiques de poutres de bois lamellé collé.

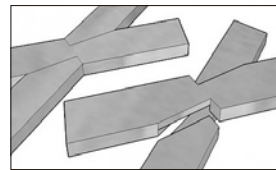
Le modèle virtuel est pensé pour «coiffer» des espaces de différentes natures et ainsi accueillir un programme spécifique.



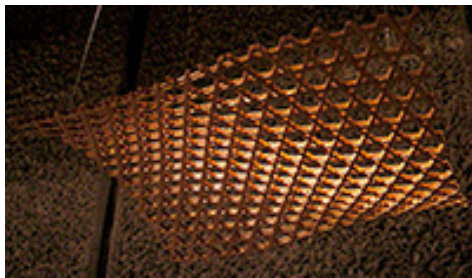
Bois lamellé collé



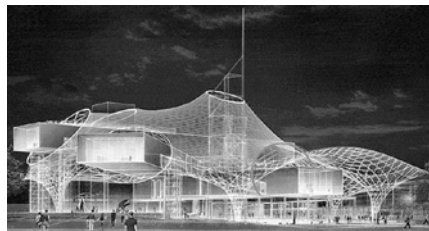
Bois lamellé collé assemblé à mi-bois



Détail d'assemblage des poutres : visserie et callage.



Maquette de vérification de la structure



Modélisation infographique du nuage en transparence

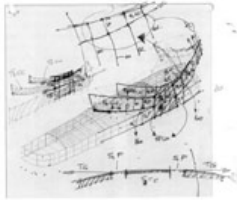
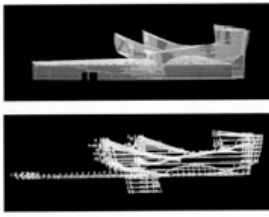


Construction du nuage de lamellé collé

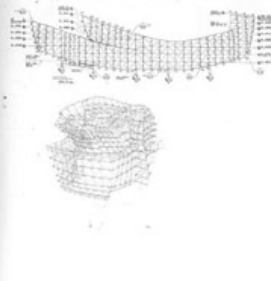
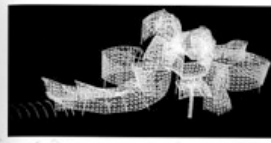


## Architecture mathématique : l'inévitable Gehry.

Le bâtiment-sculpture de Gehry à Bilbao offre une esthétique liée aux outils de conception. Les lignes fluides, les courbes complexes, les enchevêtrements sont permis à une telle échelle grâce au soutien de technologies avancées de calcul de surfaces, de volumes et d'imbrications. D'un projet à l'autre, un vocabulaire plastique identifiable naît de l'usage de technologies complexes.



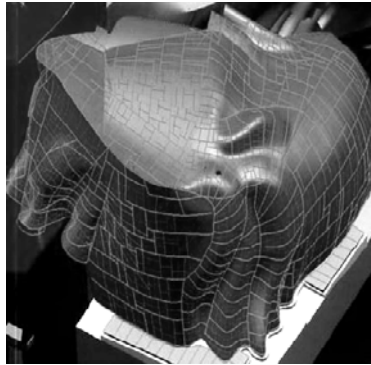
Guggenheim Museum Bilbao 1991-97. Top: CAD model. Middle: CAD model of galeries. Bottom: notes over CAD printout (inset).



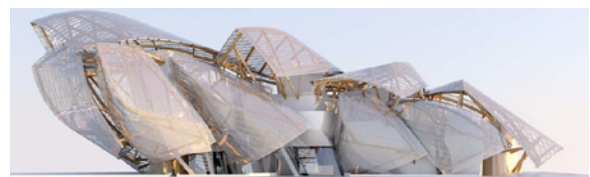
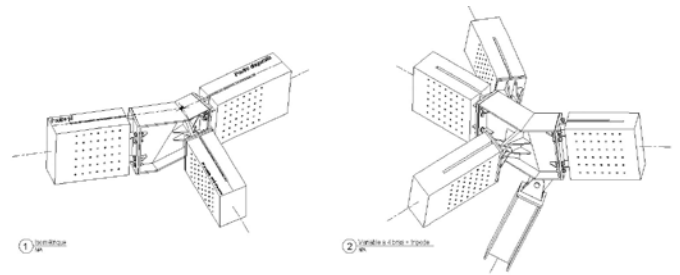
Guggenheim Museum Bilbao 1991-97. Top: CAD model of steel frame. Middle: steel shop drawing. Bottom: computer model of steel frame for laser.



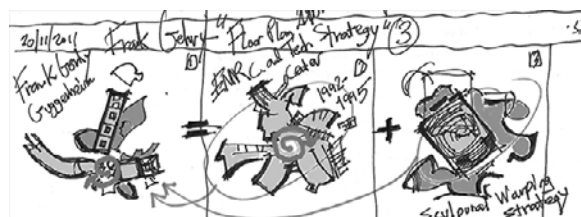
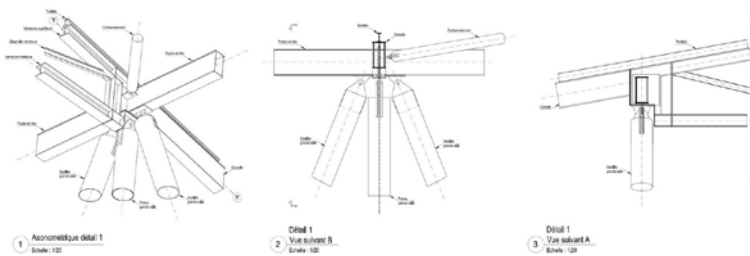
Diverses étapes de conception des volumes et leur lien par esquisses manuelles, modélisation de nuages de points, retours à des maquettes réelles en carton et bois, modélisation de surfaces, de données programmatiques, construction de détails en feuilles d'aluminium : allers & retours entre le réel et le virtuel.



Projet pour Arles : feuilles monochromes d'aluminium (2010)

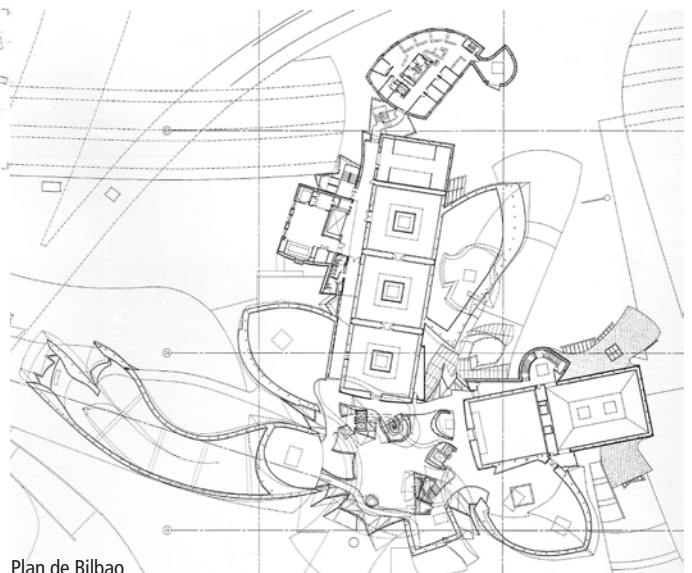


Vue 3d éclairée et texturée



Esquisses de programmation par niveaux

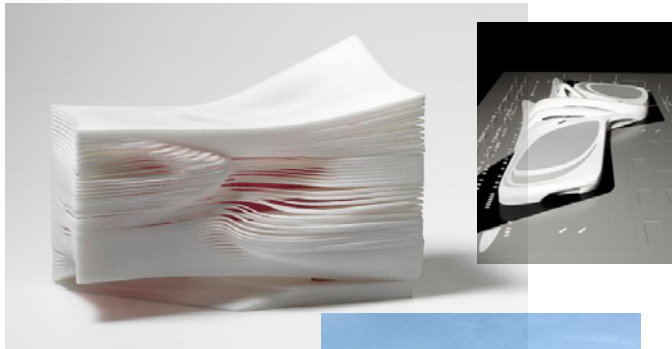
**Technologie & sémiologie du design d'espace /**  
Bts Design d'espace & DSAA Design - Mention Espace / Esaab-Nevers.



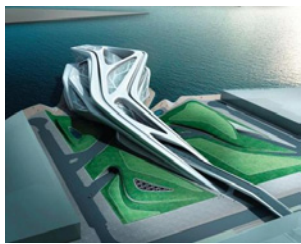
Plan de Bilbao

**Modélisation informatique : une esthétique ? Zaha Hadid VS Morphosis.**

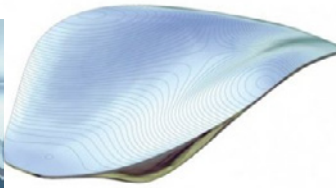
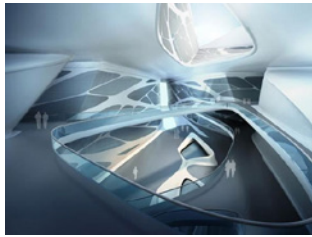
Comparons deux séries de projets architecturaux d'envergure : maquettes et modèles virtuels de Zaha Hadi à gauche, de l'agence Morphosis à droite. L'usage des technologies numériques de modélisation conduisent à un vocabulaire commun.



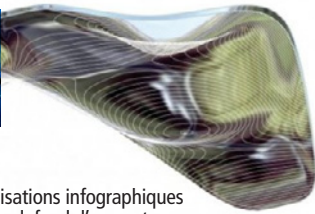
Performing Arts Center Hague 2010 - Maquette imprimée en prototypage rapide



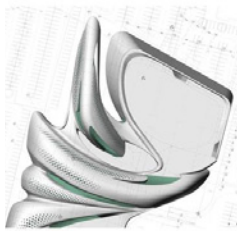
Dancing Towers



Abu Dhabi Performing Arts Center



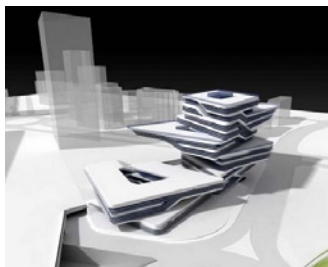
Modélisations infographiques pour le plafond d'un centre aquatique



Plan d'un centre d'affaires à Venise



Guggenheim Hermitage Museum - Vilnius



Spiralling Tower\_ Barcelona

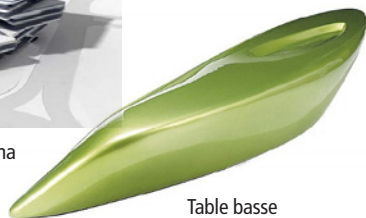
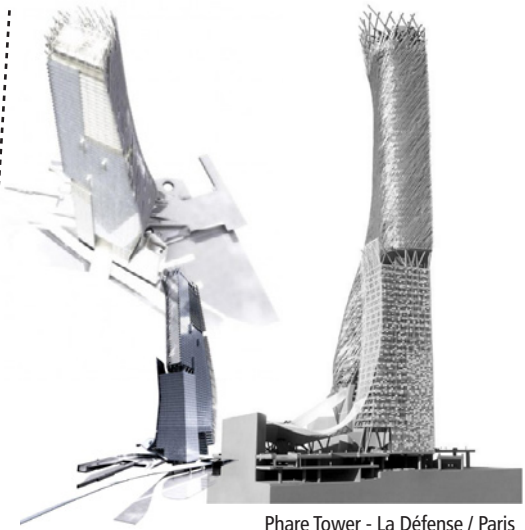


Table basse



Phare Tower - La Défense / Paris

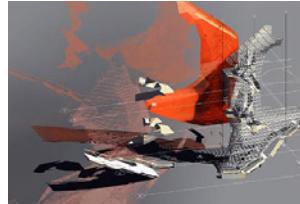
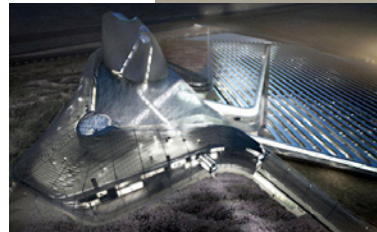
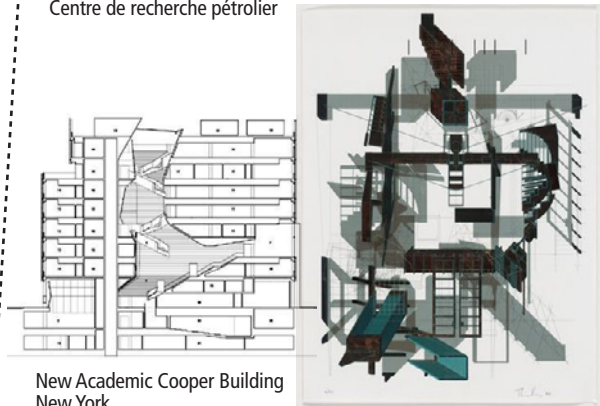


Diagramme 3d d'un projet de bâtiment scolaire / New York

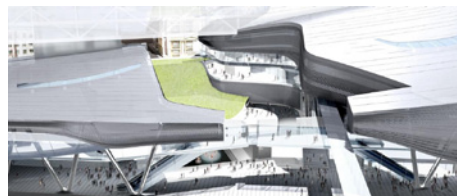


Centre de recherche pétrolier



New Academic Cooper Building New York

Dessin vectoriel à partir d'un fichier 3d



Tapei Performing Art Center

## Architecture 'computationnelle' ou 'Blob Architecture :

La blob architecture ou blobitecture ou encore architecture de blobs, de « blob » en anglais signifiant « tache » ou « goutte », est un terme donné à un courant architectural dans lequel les bâtiments ont une forme organique molle et bombée, comme de grosses amibes.

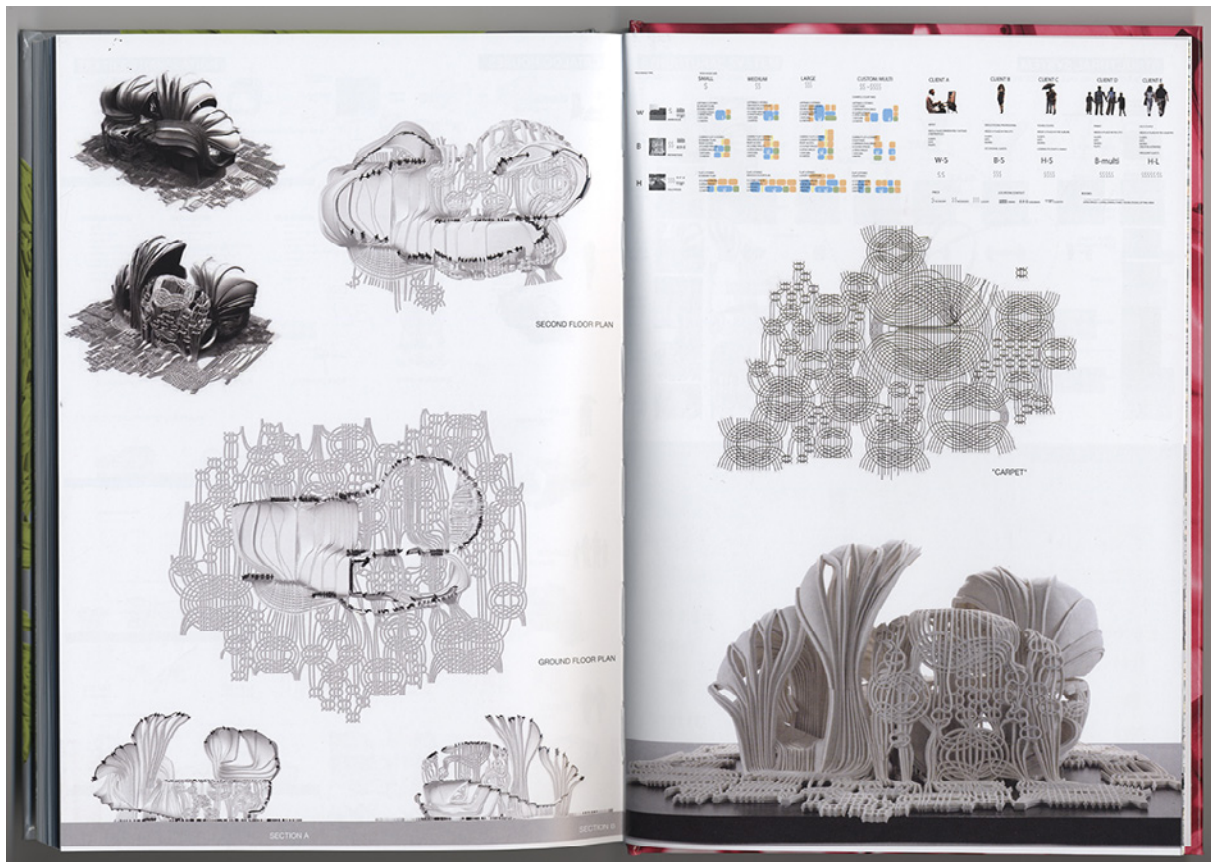
Parfois, en voulant donner un nom plus francophone pour cette appellation correspondant à une catégorisation relativement peu répandue localement dans ses concepts, certaines revues d'architecture avancent le terme d'architecture « organique » mais c'est faire l'amalgame avec une architecture organique qui tirerait ses fondements de Wright et qui ne serait pas forcément de forme molle (comme la maison de la cascade). Le qualificatif « biomorphique » serait alors plus approprié pour ses correspondances avec « organique » sans pour autant les confondre l'un avec l'autre.

La blob architecture se définirait alors selon trois optiques :

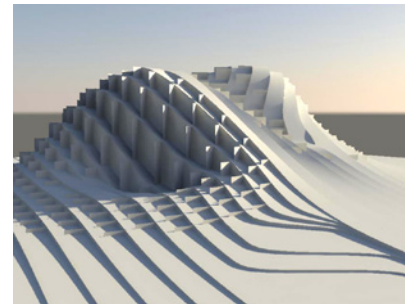
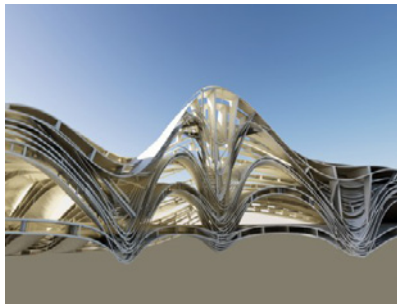
> philosophique, puisqu'elle s'inscrit comme l'héritière de l'architecture organique et poursuit son dialogue entre le bâti et la nature ou cosmos qui est le fondement antique de l'harmonie et donc de la codification du beau.

> structurelle, puisqu'elle prend pour modèle dans la nature les organismes mous qui ont des organes dont la forme provient d'une enveloppe à tension minimum en tension de surface ou la forme que prend le galet usé, le rocher usé, la courbe de la côte usée en bord de rivière.

> formelle, puisque dès qu'un bâtiment a une allure informe et sinueuse il est catalogué comme blob, c'est-à-dire mou, situation venant de la nouveauté et de l'absence de règles catégorisant consensuellement ce mouvement. (Wikipédia).

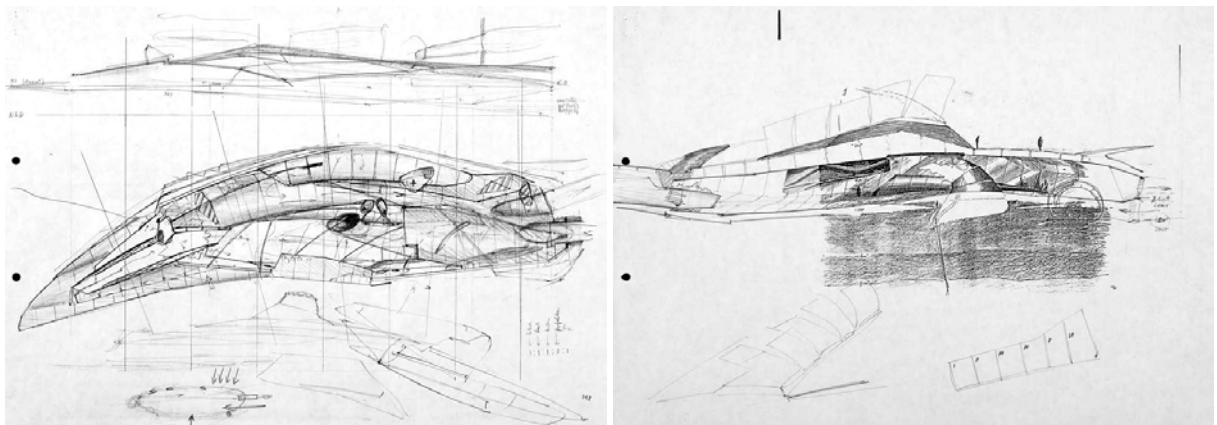
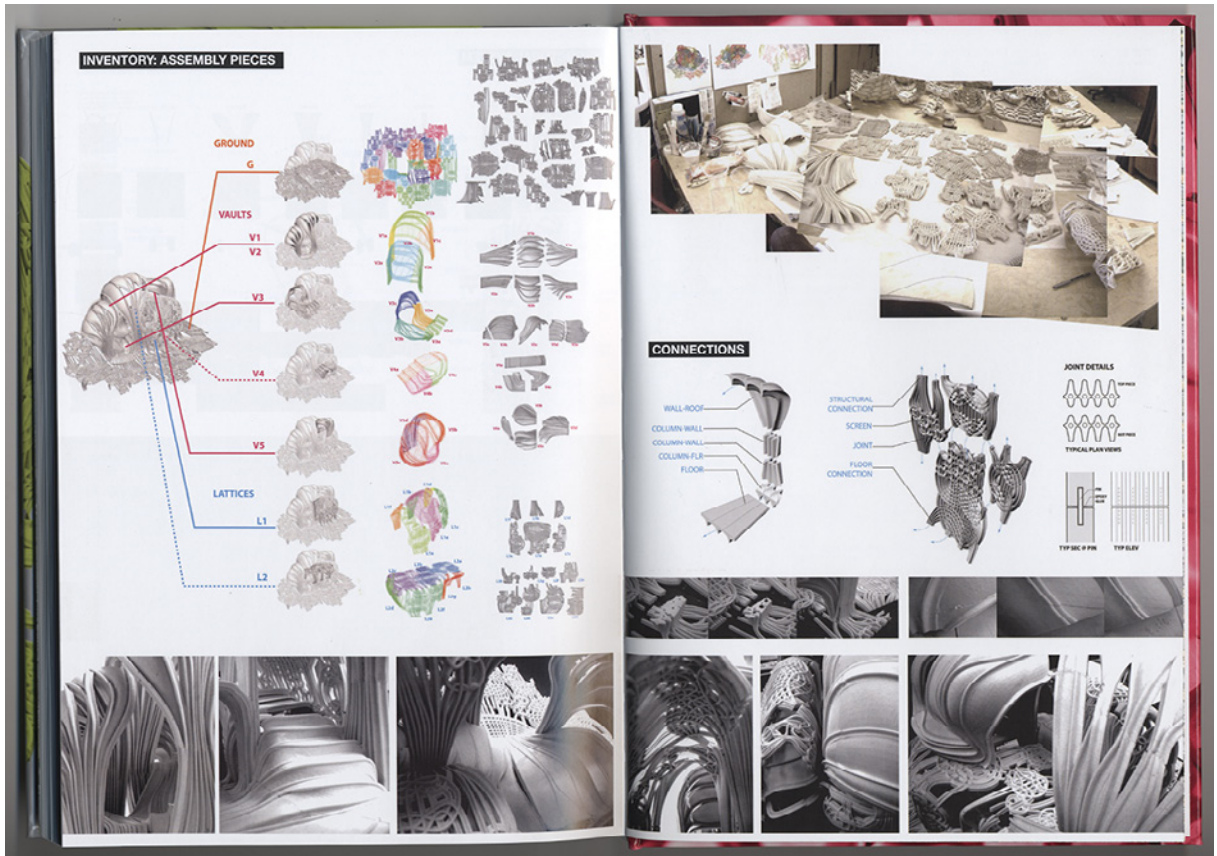
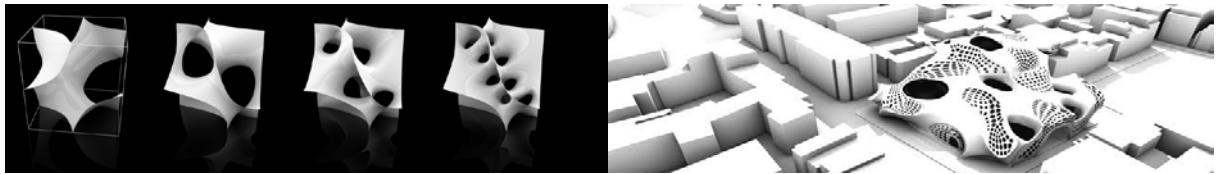


Ouvrage *The Architecture of variation* sous la conduite de Lars Spuybroek : divers outils numériques d'aide à la conception architecturale.



Cette approche plasticienne de l'architecture rejoint d'autres domaines de création comme le textile, les formes obtenues ont une parenté avec des secteurs de l'artisanat d'art (verrière, céramique, sculpture sur bois, taille de pierre...)

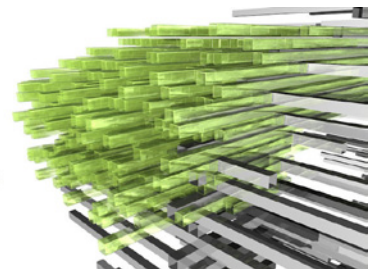
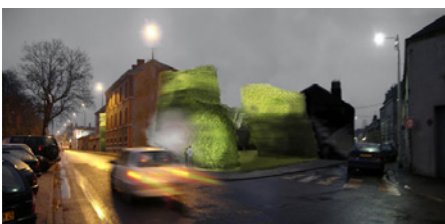
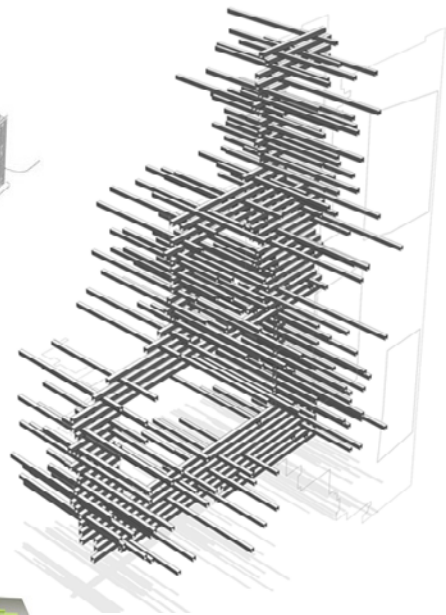
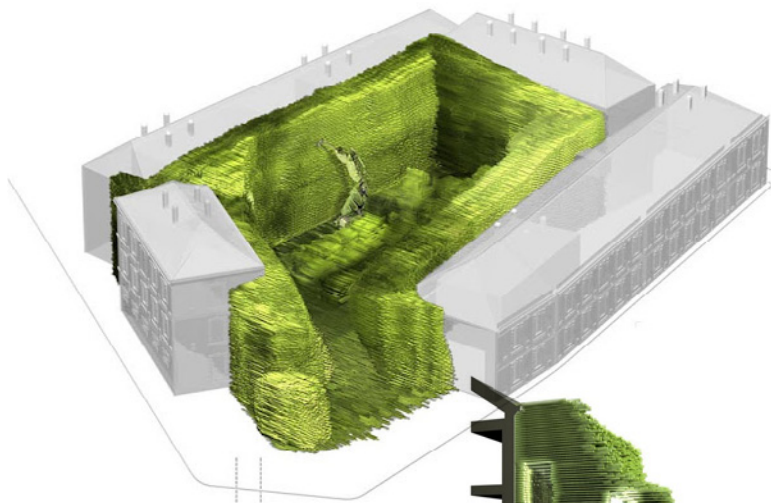
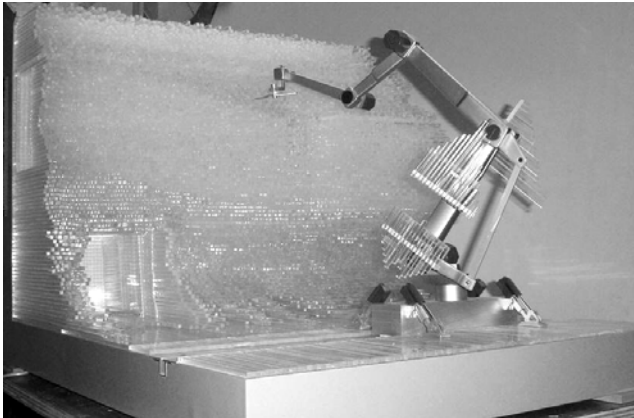
Lars Spuybroek.



Impressions de formes mathématiques pures en métal.

**François Roche R&Sie(n) : le prototypage appliqué à l'architecture.**

Dans le sillage de nombreux architectes qui pensent leur œuvre grâce à l'outil informatique, le collectif R&Sie(n) guidé par François Roche espère fabriquer l'architecture en utilisant des machines-outils de prototypage (fraiseuse 3, 5 axes, robot-sculpteur...) à une échelle plus grande qu'actuellement pratiquée dans l'industrie du meuble. Sculpter la ville numériquement ?



**De la figure humaine au polygone : les architectes de Xavier Veilhan.**



Richard Rogers



Claude Parent



Jean Nouvel



Renzo Piano



Le carrosse





## Ressources :

### Bibliographiques :

*Apprendre à voir l'architecture*, Bruno Zévi, Les éditions de minuit.

*Compositon, non-compositon, architectures et théories, XIX - XXè siècles*, Jacques Lucan, Presses polytechniques et universitaires romandes.

*The Architecture of variation*, Edited by Lars Spuybroek, Thames & Hudson.

*Eccentric structures in architecture*, Joseph Lim, Bis.

*Folding Architecture*, Sophia Vyzoviti, Bis.

*Xavier Veilhan*, les presses du réel.

### Sitographiques :

<http://www.michael-hansmeyer.com/>

<http://www.domusweb.it/en/architecture/>

<http://www.archilovers.com/>

<http://www.zaha-hadid.com/>

<http://www.nox-art-architecture.com/>

<http://www.foga.com/>

<http://www.morphosis.com/>

<http://www.new-territories.com/>

[www.veilhan.net/](http://www.veilhan.net/)

<http://www.mathcurve.com/surfaces/developpable/developpable.shtml>



Architecture computationnelle : <http://www.michael-hansmeyer.com/>

## Technologie & rémiologie du design d'espace /

Bts Design d'espace & DSAA Design - Mention Espace / Ésaab-Nevers.