

La Cambre – Design Industriel – Projet Formes Génératives

Auteur : Richard Thommeret – 21 septembre 2024

Idées de titre du projet : **FORMALL** : FORms by Artificial inteLLigence

- De Jean : “Caractériser : l’aspect du toucher, l’aspect visuel, l’ergonomie de prise en main, le lien historique, la matière, la couleur, les assemblages possibles... la fiche par objet peut se complexifier au fil du temps. »

1 - Introduction

La question se pose sur le choix du référentiel, de l’alphabet, etc... qui permettra l’élaboration des formes, comme étant un langage.

Forme, contour et texture me semble être les 3 éléments qui structurent les formes.

Je me suis demandé quelles disciplines pourraient nous inspirer dans notre démarche en observant ce que je connais de la Nature :

- Minéralogie : cristallographie
- Mathématique : [Théorie des formes cristallines, les formules de volumes et surfaces](#)
- Chimie : formes simples de molécules, qui combinées, peuvent être très complexes comme les [protéines](#). Voir Annexe 1.
- Biologie et botanique : ex : feuilles... intéressant uniquement pour l’aspect texture des surface, sauf si l’on est passionné par l’Art Nouveau. Intéressant de constater que certains théoriciens en biologie pensent que l’évolution des formes des organismes vivants provient principalement de la forme initiale et des contraintes liées à l’environnement.

LES FORMES GÉNÉRATIVES

Ces formes engendrent des types de physionomies qui incluent la surface, parfois sous la forme d’une peau, différente de la composition de la forme et ayant souvent des aspects que l’on doit pouvoir catégoriser également.

2 - Les familles de formes en 2D

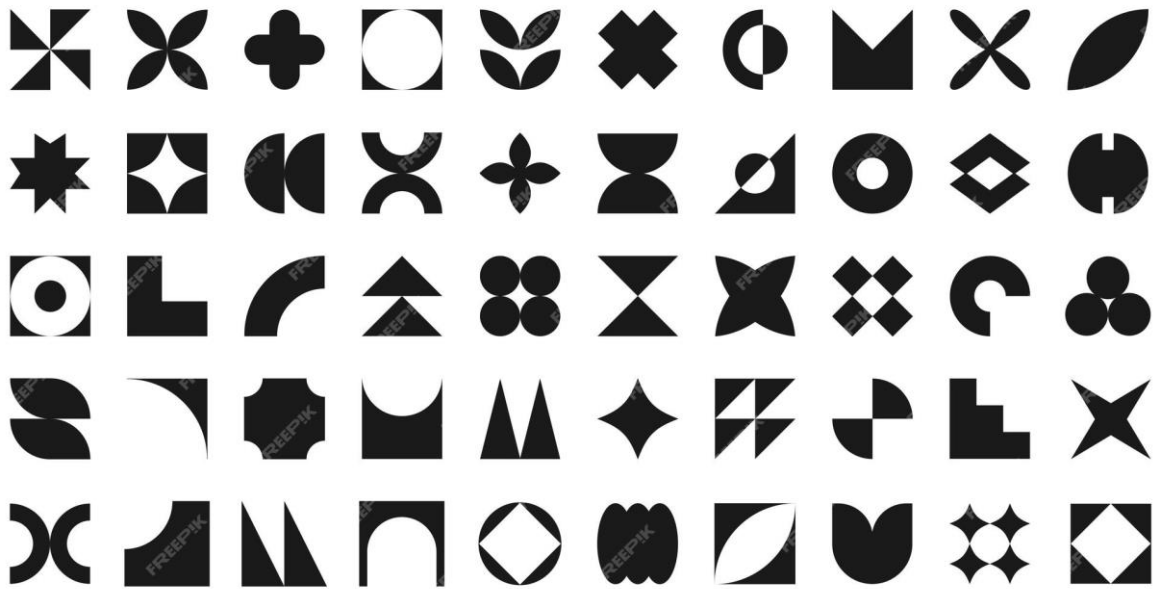
Les formes en 2D, qui sont donc des surfaces, seront « la peau » des objets 3D.

Les catégories sont réparties par rapport au nombre de côtés : de 3 à 8 plus les plus communes, mais théoriquement l’infini, il suffit d’observer l’écorce d’un arbre tel que l’acacia.

- 3 côtés : Triangle
- 4 côtés : Parallélogramme, avec les cas particuliers suivants : carré, rectangle, losange, trapèze
- > 4 côtés : polygone régulier, ou pas... alors associer plusieurs polygones réguliers pour faire la forme finale
- Disque : ici, pas de côtés !

Si l’on associe ces formes, voire les ombres projetées de ces formes, qui appartiennent toujours à notre liste, la complexité n’est qu’apparente, car il ne s’agit que de simples combinaisons. Ici, un rectangle moins un (demi) disque.





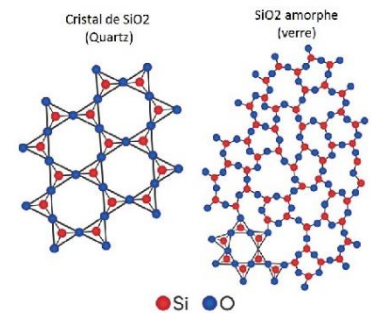
Combiner des formes de surface pour toujours en faire des surfaces.



Ces formes en 2D ont des caractéristiques spécifiques (cf § 5) :

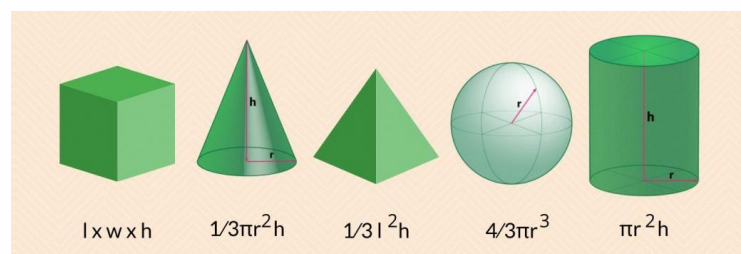
- Interaction avec la lumière
 - L'aspect, en première approche, un dessin ou pas avec des couleurs
 - La notion de rugosité (3D)
 - La texture ou pattern : « mini » structures 3D de la surface
 - La notion de dureté. Voir §4.2.
- Le toucher

Ici un exemple de structure qui se déforme, passant d'un cristal à une structure amorphe, tel un tissu aux motifs géométriques qui, lorsqu'il passe d'une table (plan) à un vêtement, et qu'il est porté, sa forme 3D devient complexe, mais pas impossible. Plus complexe qu'une simple anamorphose.



3 - Les familles de formes en 3D

On développe les formes 3D en ajoutant une 3^{ème} dimension, « déformant » la surface pour en faire un solide, avec quelques cas particuliers comme le tore ou la spire, des cylindres déformés...

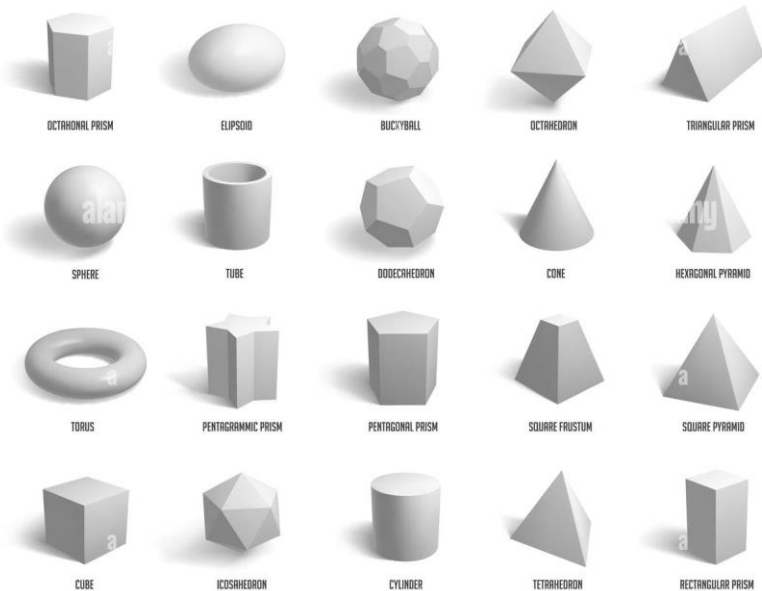


➤ Avec des angles marqués

- Cube
- Parallélépipède
- Polyèdre
- Pyramide
- Etc...

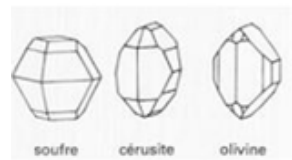
➤ Sans angle marqué

- Sphère
- Cylindre
- Ellipsoïde
- Tore
- Cône
- Etc...



Voir les formules en Annexe 2.

Le cas des **polyèdres** est probablement celui sur lequel nous devons porter notre attention car il est la combinaison de plusieurs lignes qui génèrent le volume. Les principales formes cristallines des minéraux en sont un bel exemple.



Voir Annexe 3 les formes cristallines des **minéraux**.

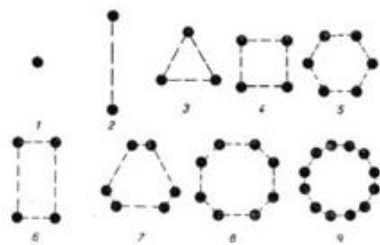
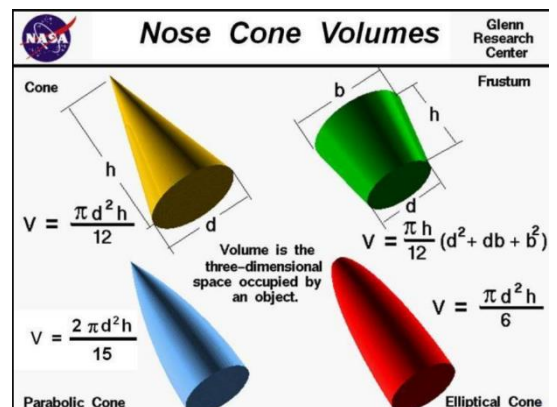


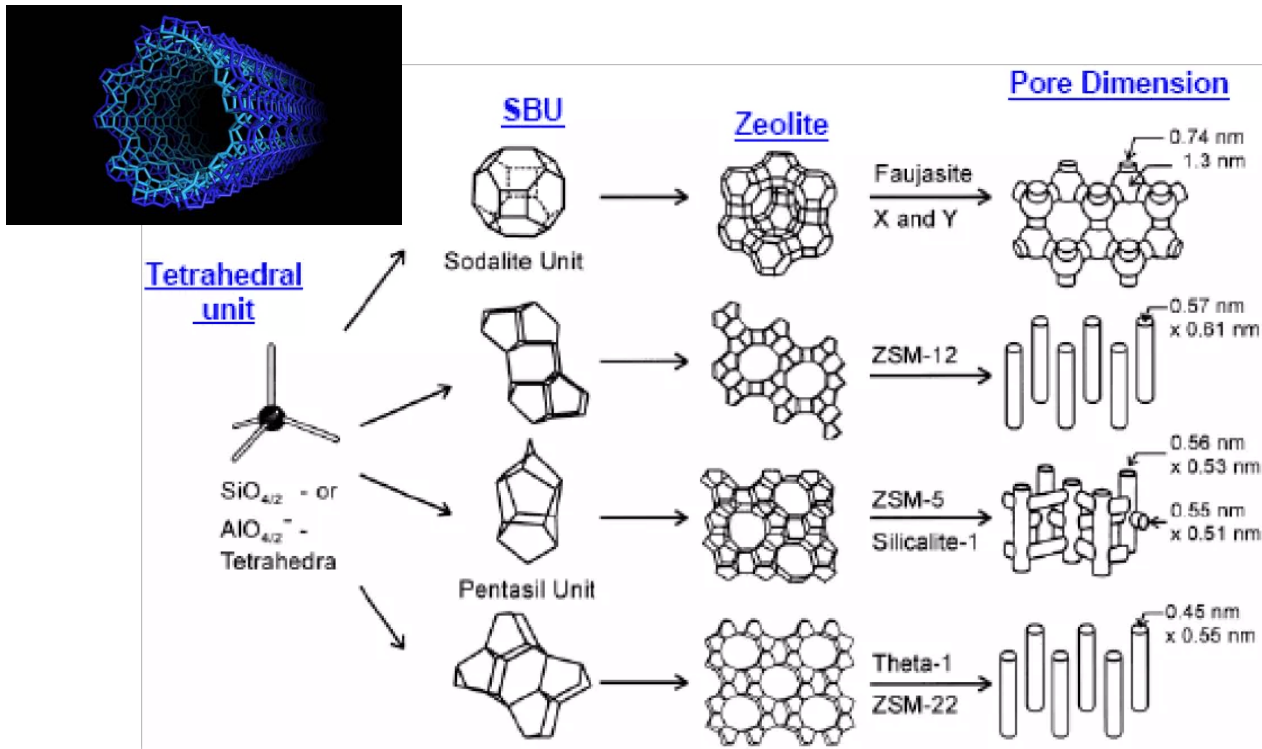
FIG. 1. — Les neuf formes planes de sommets.

polyèdres les 5 solides de platon		Sommets	Arêtes	Faces
Tétraèdre		4	6	4
Hexaèdre (ou cube)		8	12	6
Octaèdre		6	12	8
Dodécaèdre		20	30	12
Icosaèdre		12	30	20

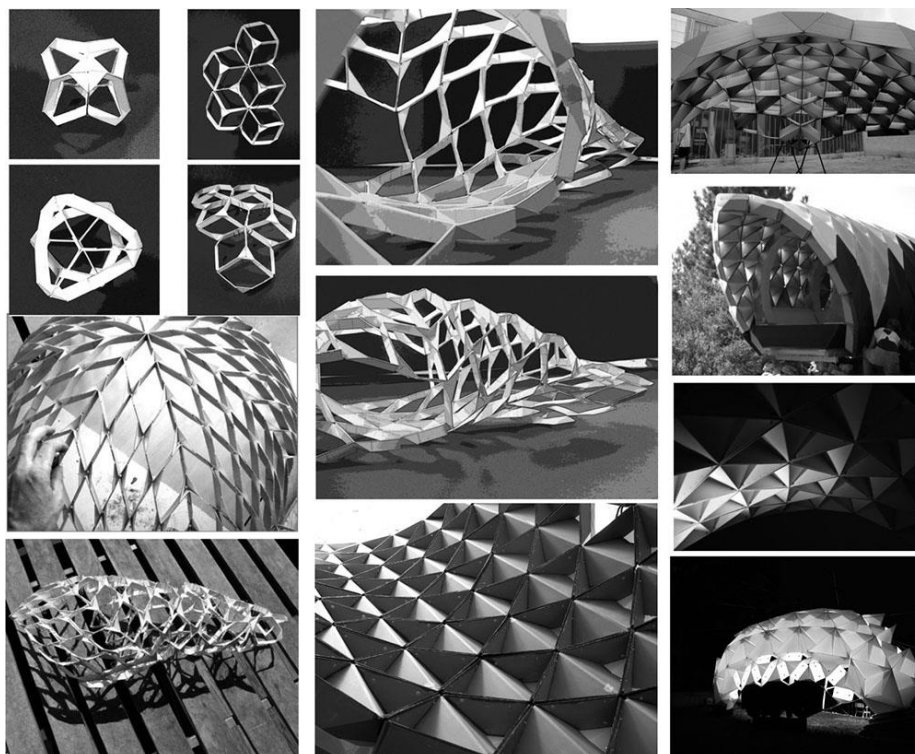
Et bien évidemment, à partir d'un cône, en le déformant, obtenir toute sortes de formes **d'ogives**, comme cela se fait lors de procédé de forgeage à froid du métal par exemple.



J'aime bien évoquer le cas très spécifique des zéolithes, faites de cages et de tunnels, dérivées d'une forme cristalline parente, un polyèdre...



Et puis en combinant des surfaces, telles de longs rectangles, on peut réaliser des structures 3D dont la peau 'est pas uniforme., ressemblant aux maillage de pièces avec des logiciels, ne montrant que les nœuds.



4 - Quelles propriétés fonctionnelles génériques ?

Ces propriétés fonctionnelles sont souvent valable tant pour la surface que le volume, mais s'applique plus particulièrement au volume, si l'on parle de forme.

Choisir les paramètres clés et définir dans un premier temps une échelle simple : 1 : petit ; 2 : moyen ; 3 : grand

1 – Densité (masse volumique sans unité car rapportée à celle de l'eau)

Elle va de la masse volumique de la mousse de PUR à 40 kg/m³ à celle du plomb 11 300 kg/m³.

Les densités les plus courantes sont :

- Bois : 0.5 à 1.1
- Plastiques : 0.9 à 1.5
- Alu : 2.5
- Verre : 2.5
- Marbre, ciment, etc... : +/- 2.5
- Aciers : +/- 7.5

2 – Dureté

Certes, la mesure se fait sur la surface de l'objet, mais celle-ci est supposée refléter les propriétés du volume entier.

2.1 - Pour les matières dures : minérales

Je recommande d'utiliser l'échelle de Mohs allant du talc : 1 au diamant : 10 ; cf ci-dessous. Et l'échelle de dureté Rockwell voire Brinell, vraiment pour les métaux, dont l'acier (plus tard).

Échelle de dureté de Mohs			
	Nom du minéral	Numéro de l'échelle	Objet
Augmentation de la dureté ↑	Diamant	10	
	Corundum	9	Foret de maçonnerie (8,5)
	Topaze	8	
	Quartz	7	Clou en acier (6,5)
	Orthoclase	6	Couteau (5,5)
	Apatite	5	
	Fluorite	4	Penny de cuivre (3,5)
	Calcite	3	
	Gypse	2	Ongle (2,5)
	Talc	1	

Metals	Mohs hardness	Various materials	Mohs hardness
Lead	1.5	Mg(OH) ₂	1.5
Tin, cadmium	2	Fingernail	2–2.5
Aluminium	2.3–2.9	Cu ₂ O	3.5–4
Au, Mg, Zn	2.5	ZnO	4–4.5
Silver	2.7	Mn ₂ O ₄	5–5.5
Antimony	3	Fe ₂ O ₃	5.5–6
Copper	3	MgO	6
Iron	3.5–4.5	Mn ₂ O ₃	6
Nickel	3.5–5	SnO ₂	6.5–7
Chromium (soft)	4.5	Martensite	7
Cobalt	5	MoC	7–8
Os, Ta, W, Si, Mn	7	V ₂ C ₃	8
Chromium (hard, electrolytic)	8	TiC	8–9
Case carburized steel	8	Sapphire (Al ₂ O ₃)	9
		Mo ₂ C, SiC, VC, W ₂ C, WC	9–10
		Cubic boron carbide	10

2.2 - Pour les matières moins dures, souvent organiques : plastiques et bois

Je recommande l'utilisation de la dureté Shore A (souple) D (ferme).

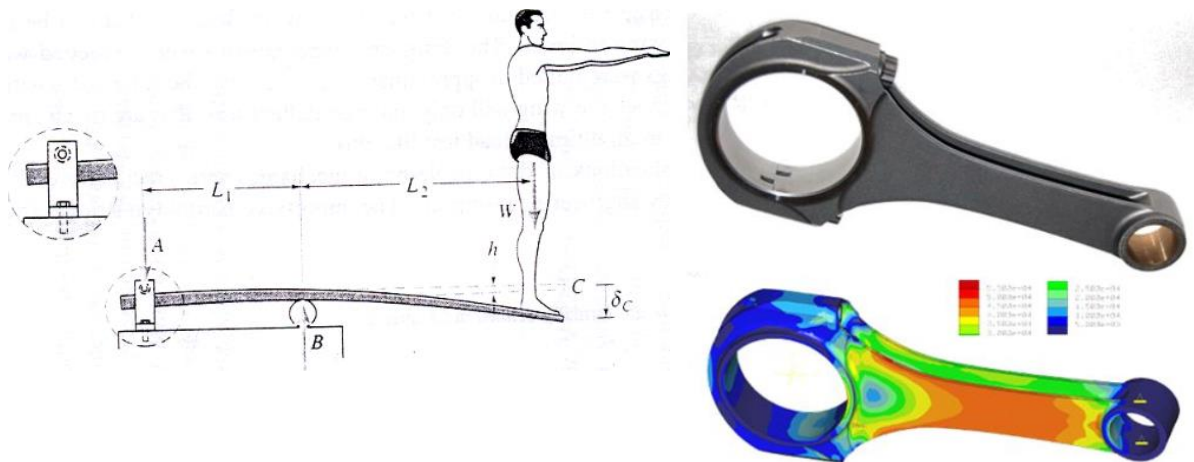


3 – Rigidité

Cette caractéristique représente la capacité de déformation de la matière sous une contrainte. La déformation étant réversible, ce qui est le cas le plus répandu de l'utilisation des objets qui nous entourent.

Cela ne représente pas la capacité de déformation de l'objet, car sa géométrie, la présence de renforts, etc... interviennent également (cf les formules de résistance des matériaux).

Je recommande de choisir la rigidité en flexion exprimée en MPa et/ou GPa



4 - La résistance mécanique.

Pas certain qu'à ce stade nous en ayons besoin.

Ceci dit, il devrait être possible de s'inspirer de la façon dont les robots ont été éduqués, programmés, pour faire la différence en termes de préhension, entre une boule en acier et un œuf.

5 - Les autres propriétés

Les propriétés physiques

Au-delà de la densité, de la dureté et de la rigidité, ces autres propriétés, on n'en parlera pas dès le début, mais il faudra probablement décider plus tard. On pourrait les classer de la façon suivante :

- Mécanique : élasticité et résistance à la rupture
- Thermique :
 - Plage d'utilisation/résistance, par exemple : -60°C +100°C pour le HDPE.
 - Conductibilité thermique : conducteur ? alors métal ; isolant ? alors plastiques
 - Résistance au feu, à la flamme, en évitant les normes. Par ex : bois : 0 à 1 ; acier : 5
 - Dilatation thermique linéaire
- Optique : faire simple : transparence, plutôt qu'indice de réfraction
- Electrique : Conductibilité électrique (éviter la constante diélectrique...). Ex : idem thermique
- Résistance aux intempéries :
 - En général, la lumière, la présence d'eau et la chaleur sont des facteurs favorisant le vieillissement des matériaux conduisant à leur ruine. On l'observe par le changement de coloris et une perte des propriétés mécaniques. La durée est à définir suivant l'usage.
 - Humidité : reprise d'humidité
 - Lumière
 - Chaleur
 - On pourrait résumer ceci par : « usage intérieur » ou « usage extérieur » de l'habitat
- Acoustique : isole ou transmet. Très lié à la densité.
- A compléter...

Les propriétés sensorielles

La Sensorialité est basée sur nos 5 sens et provient principalement de la surface de l'objet.

- Le toucher. Perçue à la surface de l'objet, cette perception peut caractériser l'aspect.

Le toucher combine 3 paramètres selon moi :

- **La rugosité** : lisse, sec, gras, mat, satiné, granité, piquant. Pour la sentir il faut faire glisser le doigt sur la surface.
- **La consistance** : dur, mou, moelleux, souple. Elle est perçue en appliquant une pression, ce qui pour moi reflète la combinaison de la dureté et de la rigidité. Voir Annexe 6.
- **La conductibilité thermique** : toucher froid (minéral - pierre et métal), tiède ou chaud (organique – bois, plastique).
- La vue, soit l'interaction avec la lumière. Voir Annexe 5
 - La couleur, en référence Pantone ou coordonnées L,a,b. Inclure les couleurs métalliques et moirées : la couleur changeant avec l'angle d'observation (multicouches).
 - La réflexion, de transparent à opaque en passant par translucide. Effets d'optique
- L'odorat : le parfum que diffuse l'objet : odeur du bois par exemple.
- L'ouïe : le son
- Le goût : si c'est possible, surtout si ça se mange

6 – Et la matière dans tout ça...

Il me semble important de choisir ce paramètre en tout premier lieu, dès que l'on veut « donner corps » à l'objet, car la matière ou le matériau, va conditionner nombre de propriétés fonctionnelles.

Je me suis demandé si les fonctions d'un objets pouvaient être liées à un type d'usage. Puisqu'il est possible de déduire des fonctionnalités, un certain nombre de propriétés. Le choix de matériaux, ou d'association de matériaux semble par conséquent limité.

Il reste à hiérarchiser ces propriétés suivant l'usage. Par exemple, pour un verre à boisson, on mettra en avant le fait qu'il ne casse pas ou qu'il soit transparent, ce qui est clivant en termes de sélection de matériaux. Ici : verre ou polycarbonate ?

Quant à la forme liée à un type d'usage, je n'y connais rien, mais préfère croire que le lien n'est pas univoque.

De façon générique, et en première approche, les matériaux pourraient être rassemblés dans les catégories suivantes : voir ci-dessous.

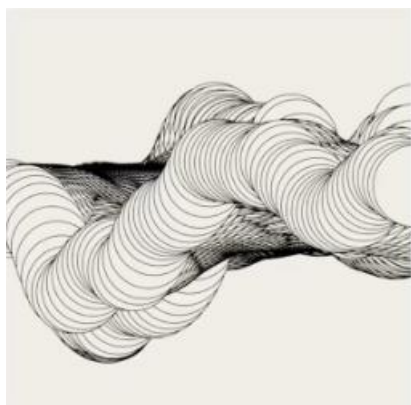
En résumé, on pourrait les rassembler en 4 catégories :

Organiques ou minéraux avec un traitement thermique ou pas.

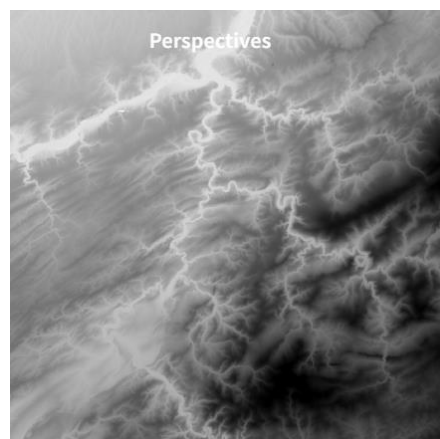
S'il y a un traitement thermique, la dureté, la densité, la résistance mécanique sont généralement d'un bon niveau (même si ça ne veut pas dire grand-chose).

- Organiques :
 - Naturels et exigeant peu de traitement : bois
 - Nécessairement extraits d'une matière naturelle mais peu de traitement : papier, carton
 - Résultat d'un raffinage : fibres naturelles, cuir...
 - Nécessitant un traitement à haute température : polymères
- Minéraux :
 - Naturels exigeant et exigeant peu de traitement : pierre : marbre
 - Nécessairement extraits d'une gangue et raffinés puis formulés : métaux : fer, acier, cuivre...
 - Nécessitant une cuisson à haute température et formulation :
 - Verre, faïence porcelaine et céramique.
 - Ciments et bétons
 - Briques

7 – Pour aller un peu plus loin



Je ne peux m'empêcher de citer Quentin Hocdé, visual artist bruxellois, qui est artiste et programmeur. Voir l'exemple ci-joint d'une image d'une animation en 3D qu'il a créé.



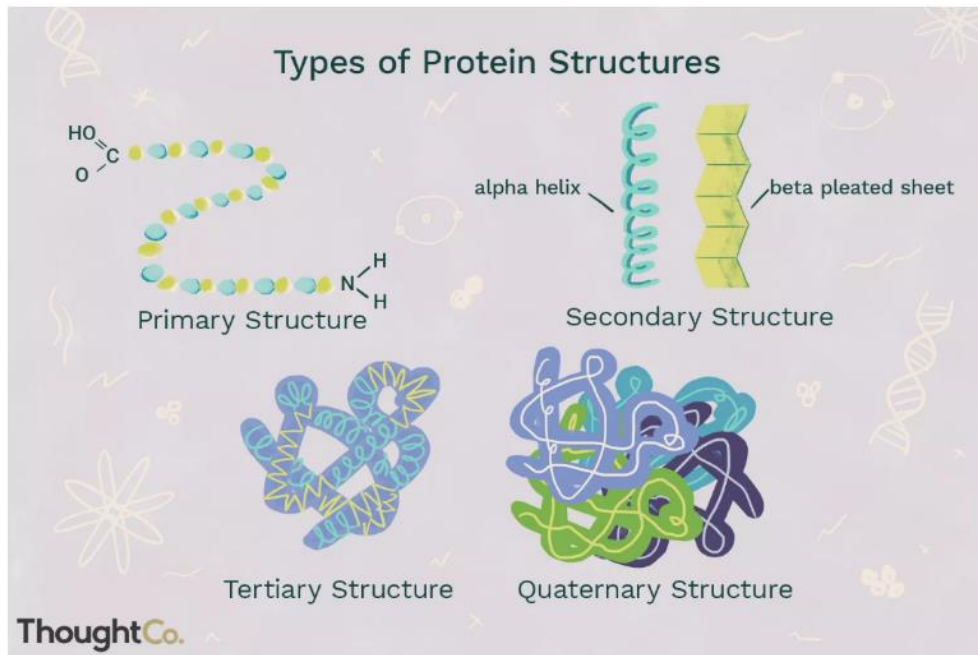
L'IGN a mis au point un logiciel, [TopoMapViewer](#), qui permet de rendre la topographie du terrain à l'aide de relevés. On arrive ici à modéliser des formes non géométriques, franchement naturelles. Ceci dit, il existe beaucoup de freeware qui génèrent des formes géographiques. C'est pas si loin des logiciels de 3D, mais avec la complexité des formes en plus.

ANNEXE 1

Les Formes des Protéines

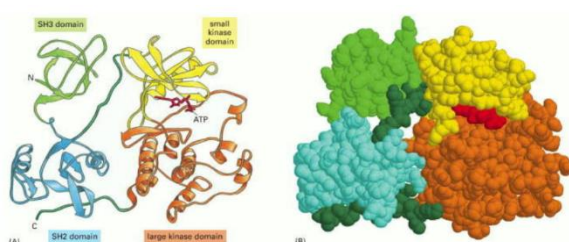
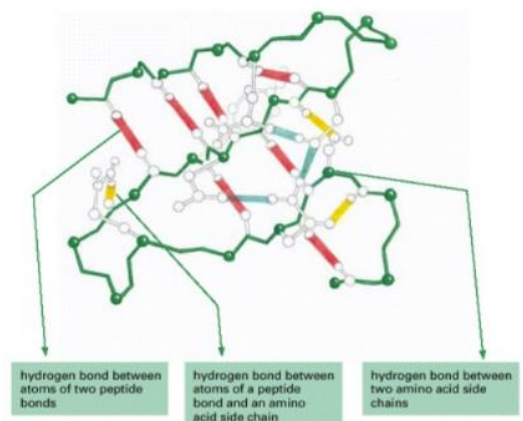
4 formes de primaire à quaternaire suivant :

- Linéaire ou plane
- 3D plus ou moins compact



Ce qui est intéressant à remarquer c'est que l'on peut passer de la forme primaire (linéaire) à la quaternaire simplement en créant des adhérences (liens chimiques ou pont hydrogène) entre ces genres de « cordes », faisant passer la forme de la dimension 1 à 2 puis 3.

Computational Methods: “A computational technique called threading can be used to fit an amino acid sequence to a particular protein fold.”



ANNEXE 2

Les Familles de Formes 3D et leurs formules

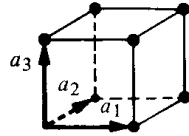
Systèmes cristallins

Réseaux de Bravais

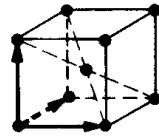
Cubique

$$a_1 = a_2 = a_3$$

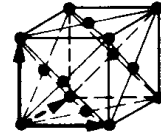
$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 90^\circ$$



Cubique simple (CS)



Cubique centré (CC)



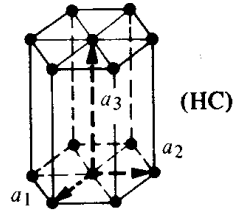
Cubique à faces centrées (CFC)

Hexagonal

$$a_1 = a_2 \neq a_3$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 90^\circ$$

$$\alpha_3 = 120^\circ$$

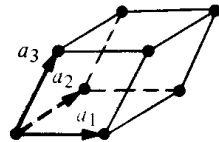


(HC)

Rhomboédrique

$$a_1 = a_2 = a_3$$

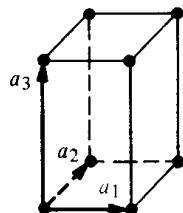
$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 \neq 90^\circ$$



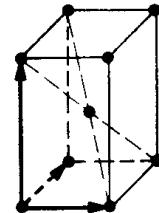
Tétragonal ou
quadratique

$$a_1 = a_2 \neq a_3$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 90^\circ$$



Tétragonal simple

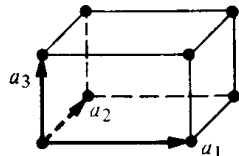


Tétragonal centré

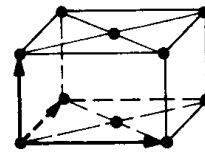
Orthorhombique

$$a_1 \neq a_2 \neq a_3$$

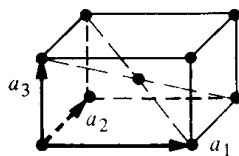
$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 90^\circ$$



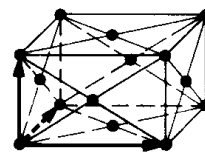
Orthorhombique simple



Orthorhombique à bases centrées



Orthorhombique centré

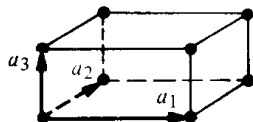


Orthorhombique à faces centrées

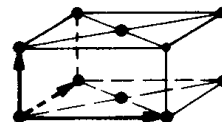
Monoclinique

$$a_1 \neq a_2 \neq a_3$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 90^\circ \neq \alpha_3$$



Monoclinique simple

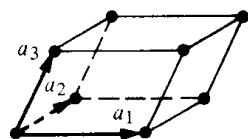


Monoclinique à bases centrées

Triclinique

$$a_1 \neq a_2 \neq a_3$$

$$\alpha \neq \alpha_2 \neq \alpha_3$$

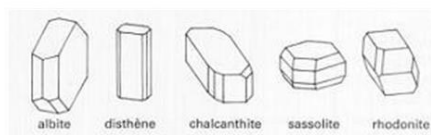


ANNEXE 3

Les Principales Formes Cristallines des Minéraux

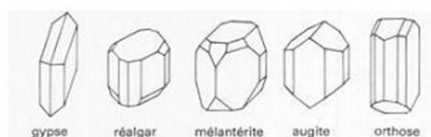
Les 7 systèmes cristallins

Triclinique



Albite

Monoclinique



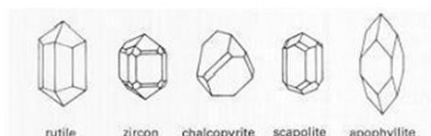
Gypse

Orthorhombique



Soufre

Quadratique



Rutile

Hexagonal

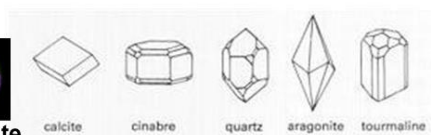


Béryl

Rhomboédrique

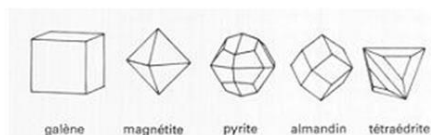


Améthyste



Quartz

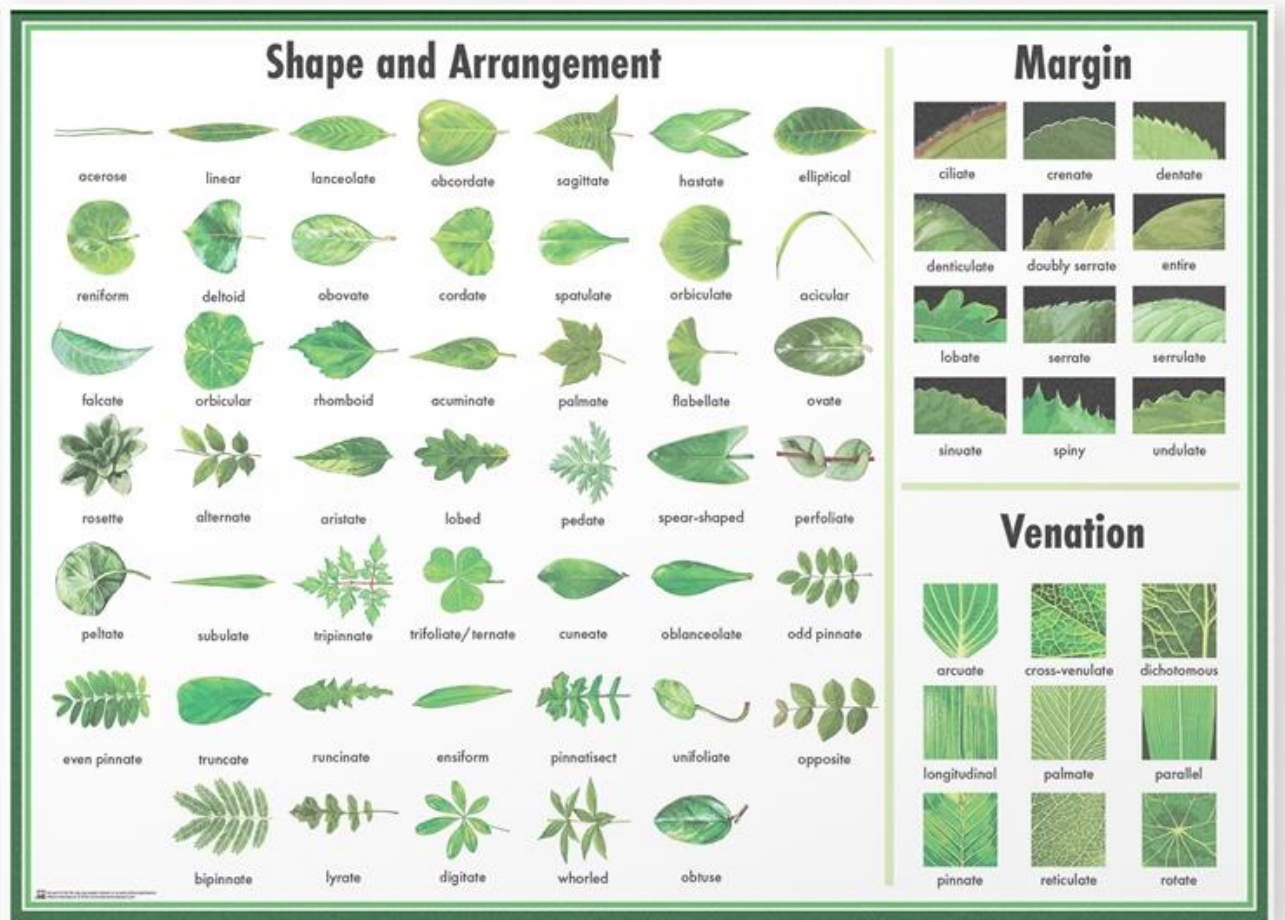
Cubique



Galène

ANNEXE 4

Les Principales Formes de Feuilles en Botanique



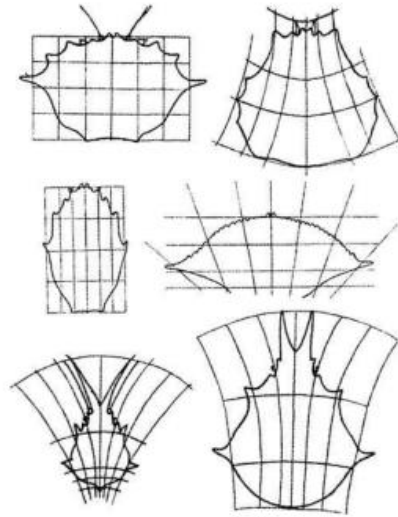
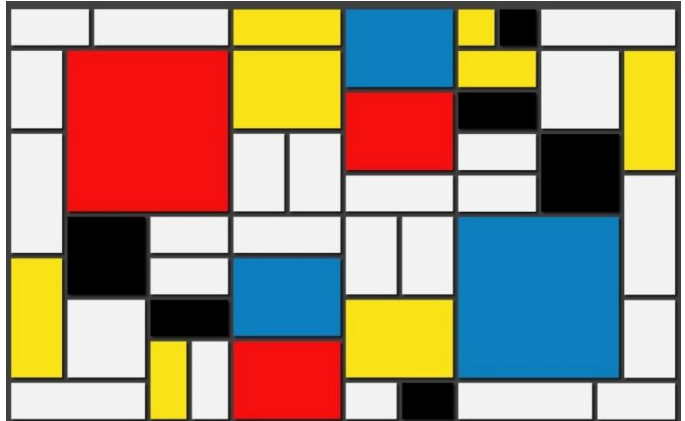
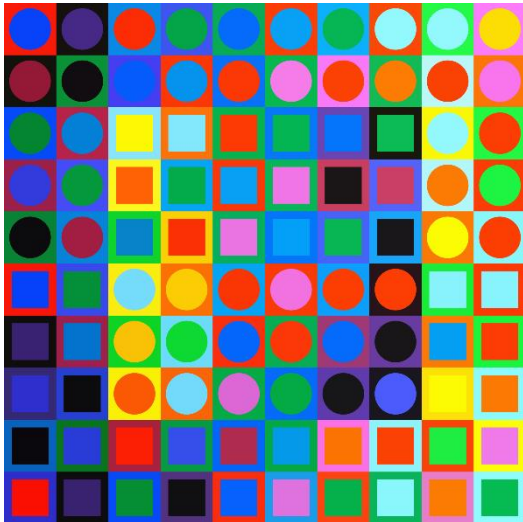


FIGURE 2 – *La grille et ses déformations sont au centre de l'analyse des changements chez d'Arcy THOMPSON (1952). D'Arcy Thomson analyse la diversité de certaines formes par leur unité et les déformations de la grille.*

Annexe 5

Quelques œuvres, Vasarely, Mondrian, Matisse...
et des références BAUHAUS et Art Nouveau



Glaucus atlanticus

Annexe 5 suite



BAUHAUS



Annexe 6

