

Cours 2 choix des matériaux

M2 génie des matériaux

1. Démarche de sélection de matériau

1.1. Conception d'un produit et sélection matériaux /procédés

1.1.1. Définitions

- **Produit** : un produit est souvent un assemblage de sous-produits/ composants.
- **Composant** : un composant est réalisé à partir d'un seul ou plusieurs matériaux, qui sont mises en forme avec des procédés répondants aux fonctions prévues.
- **Matériaux** : matières premières mises en œuvre (fabrication, mises en forme et traitement potentiels).
- **La fonction** : elle est assurée par un triplet **matériau, procédé** et **forme**. Le matériau considéré répond à une fonction attendue, mais la forme participe aussi à la fonction et le procédé de mise en forme induit des propriétés ou modification de celles-ci.
- **La forme et le matériau** choisis limitent les procédés de mise en œuvre et inversement.

Conclusion :

Dans le domaine de la sélection de matériau, on prendre en considération trois points : **quel matériau à utiliser ? Quelle est la forme alliée à ce matériau pour répondre à cette fonction ? Aussi le procédé de mise en œuvre va –t- il contribuer à cette fonction ?**

1.1.2. Problématique 1

- ✚ Nombreux matériaux, nombreuses nuances et variation des propriétés par effet de procédés (mise en œuvre, assemblage, traitement).

Exemple :

- Al 800-200 ; Al cuivre ($\neq\%$).
- Acier.

- ✚ Grand nombre de procédés de fabrication.

- ✚ Possibilité d'intégrer des fonctions de la pièce dans le matériau.

Exemple :

- Matériau non conducteur le rendre conducteur.
- Fibre de verre + résine époxy, rajoute des particules métalliques ou grillage métallique pour ajouter une fonction de conduction d'électricité.

- ✚ Développement de nouveaux matériaux et procédés.

Donc la nécessité d'utiliser des bases de données mises à jour sur l'ensemble des propriétés et procédés.

1.1.3. Problématique 2

- ✚ On a des matériaux à sélectionner, des procédés à sélectionner → quel est le critère de choix pour un meilleur choix.

- ✚ Trouver le critère de choix pertinent pour sélectionner les meilleurs candidats matériaux et procédés.
- ✚ Tenir compte de l'interaction matériaux / procédés/ forme.
 - Incompatibilité de certains matériaux entre eux (exemple : corrosion par effet de piles anode et cathode)
- ✚ Restriction des formes et matériaux selon le procédé utilisé.
- ✚ Le procédé peut changer les propriétés des matériaux (exemple : soudure à l'état liquide).

Donc nécessité d'optimiser le choix matériaux /procédés en tenant compte de leurs interactions (formes, matériaux et procédés). Un outil de croisement de données est nécessaire.

1.1.4. Méthodologie générale pour les choix des matériaux

1.1.4.1. La conception

Se déroule en imaginant des concepts pour remplir chaque sous fonctions où chacun reposant sur un principe de fonctionnement. A ce stade toutes les options sont ouvertes, le concepteur prend en compte toutes les alternatives pour les sous fonctions de la façon de les combiner ou de les séparer. Trois types de conception sont à considérer.

- **La conception originale :**

Implique une idée nouvelle ou un principe nouveau de fonctionnement (comme le stylo à bille ou le disque compact). Dans cette démarche de conception, toute solution est à considérer rationnellement. Le choix des matériaux est a priori très large, y compris les nouveaux matériaux qui peuvent rendre possibles des conceptions originales (un nouveau matériau peut donner l'idée d'un nouveau produit, et réciproquement le nouveau produit peut exiger le développement de nouveaux matériaux)

- **La conception adaptative**

Part d'un concept déjà existant et cherche à l'améliorer en affinant le principe de fonctionnement. Ce type de conception est, lui aussi, rendu possible par le développement des matériaux (les polymères ont remplacé les métaux dans les objets électroménagers, la fibre de carbone le bois dans les objets pour le sport).

- **La conception de variation**

Concerne un changement de taille, d'échelle ou une amélioration de détail sans que la fonction ou son principe de réalisation soit modifié. Par exemple, la conception de réservoirs de plus grande taille impose le choix de nouveaux matériaux. Les bateaux de petite taille sont réalisés en fibre de verre, alors que les bateaux de taille importante sont en acier.

1.1.4.2. La concrétisation

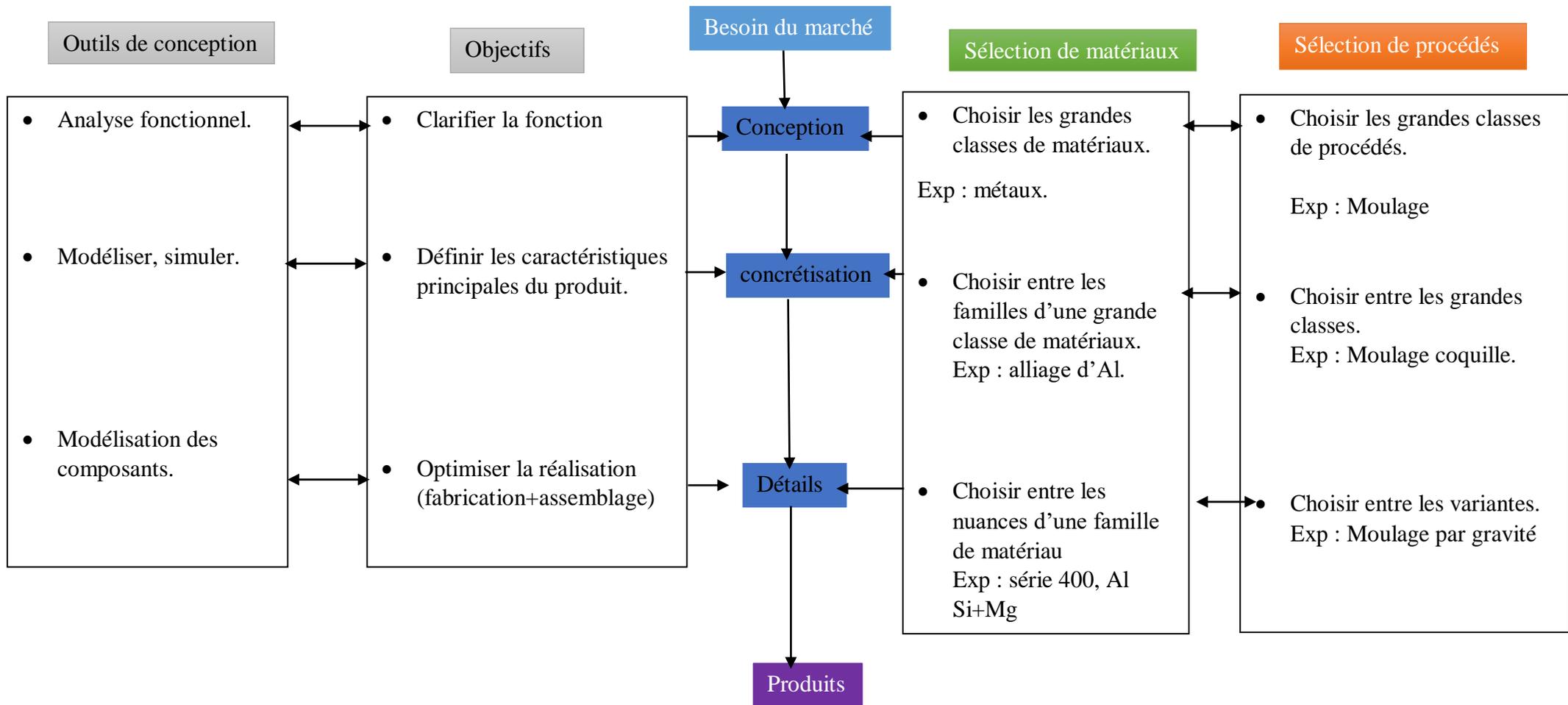
- S'intéressé aux concepts les plus prometteurs.
- Evaluer leurs fonctionnements.
- Redimensionner les composants.
- Choisir les matériaux pouvant opérer dans les intervalles de contraintes, thermiques.
- Evaluer les implications en terme de performance et le coût.

A la fin de cette opération, on aboutit à une configuration valable, qui va alors être détaillée.

1.1.4.3. *Détails*

- Analyse en détails des composants.
- Application des méthodes d'optimisation et groupe de composants afin de maximiser les performances.
- Choix de la géométrie finale est arrêté.
- Processus de fabrication est détaillé.
- Conception chiffrée.

Enfin un cahier de charge complet du produit est prêt.



1.1.5. Propriétés des matériaux

La famille de matériaux dépend du secteur où on travaille.

Approche :

Physique

- Conducteurs
- Semi-conducteurs
- Isolants

Chimique

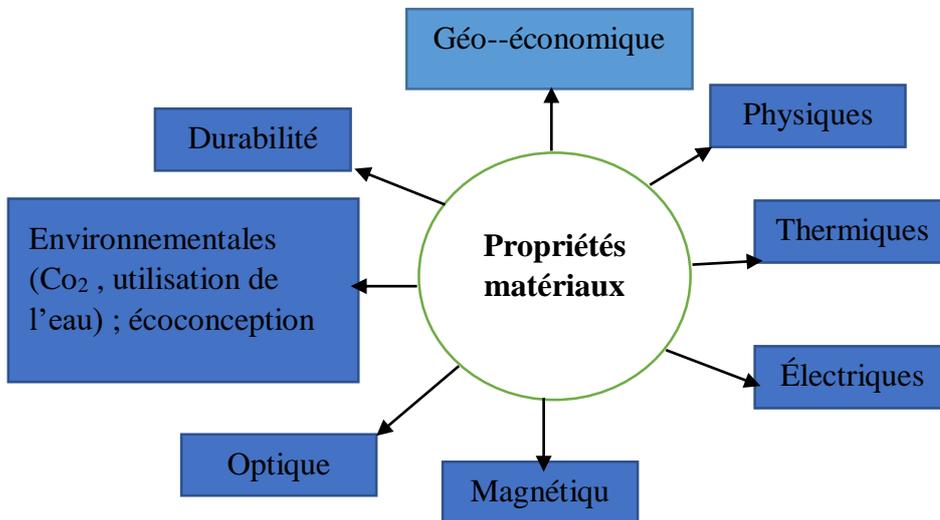
- Métallique
- Ionique
- Covalent
- Molécules

Mécanique

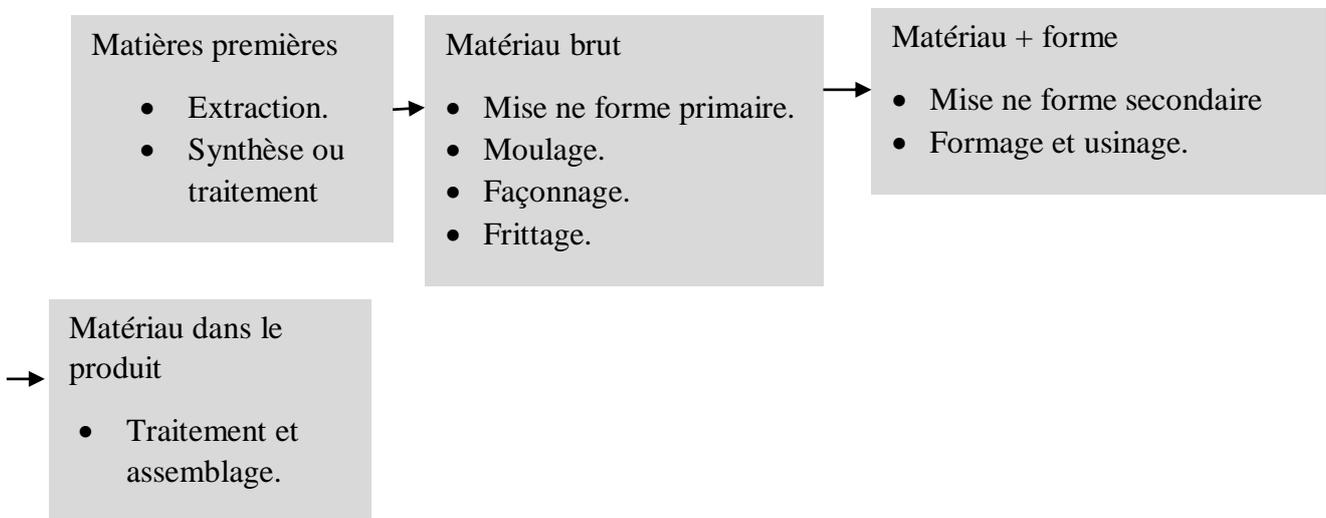
- Métaux
- Céramiques
- Polymères
- Composites

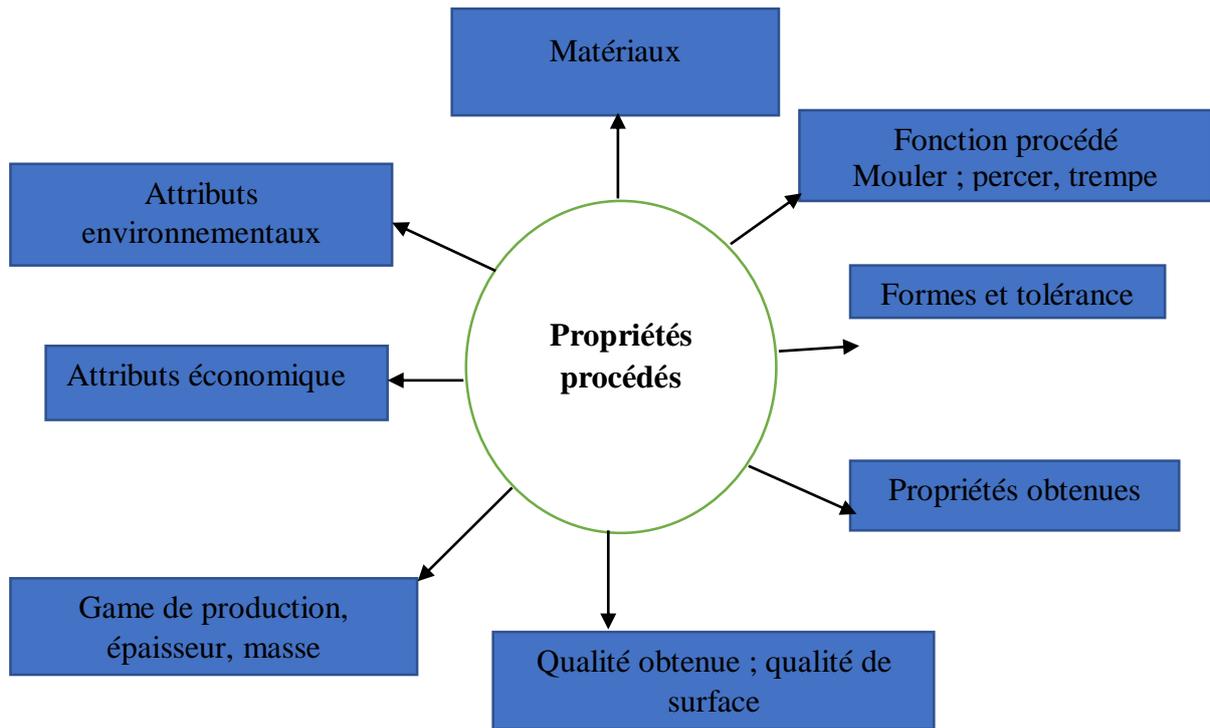
Les propriétés matériaux :

- Quantification, chiffrées, mesurables : E , σ_e , H_v ...etc.
- Qualitatives : descriptives, non mesurables, booléens (bon, moyen, mauvais, recyclable, oui, non...etc.

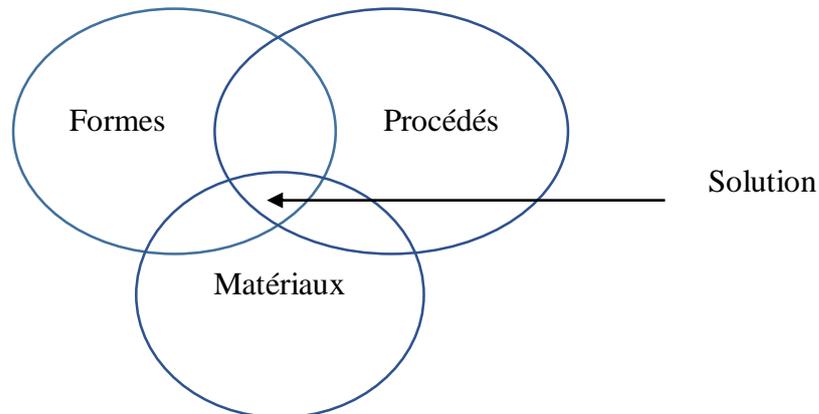


1.1.6. Propriétés des matériaux





Conclusion



1.1.6.1. Les matériaux et leurs propriétés

D'une façon générale, les propriétés d'un matériau peuvent être ...

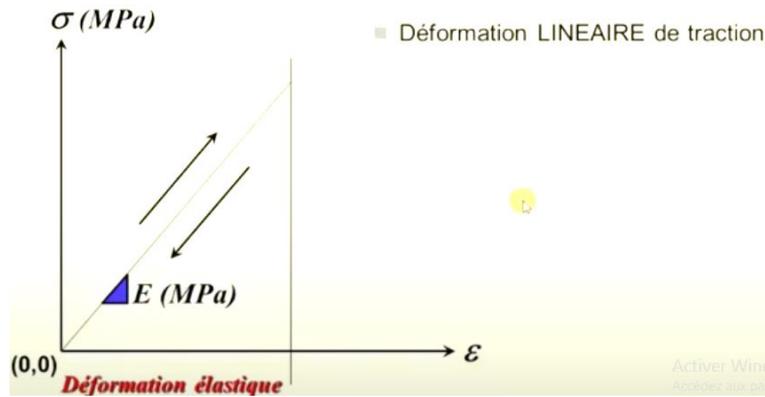
- **Intrinsèques** : propres à chaque matériau, mesurables de manière objective et reproductibles quel que soit l'environnement
Exemple : sa masse volumique.
- **Interactives** : propres à un couple de deux matériaux ou à un couple matériau-environnement
Exemple : le coefficient de frottement
- **Attribuées** : la valeur dépend du contexte technique ou économique, voire socio-culturel

Exemple : le coût massique

a) Propriétés mécaniques

✓ Les modules d'élasticité : Symboles : E, G, K unité : GPa

1- Le module d'Young E : décrit le comportement en traction et en compression.



La loi de Hook

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

ε : Déformation uni axiale ou Taux unitaire d'allongement (sans unités).

Δl : allongement (mm).

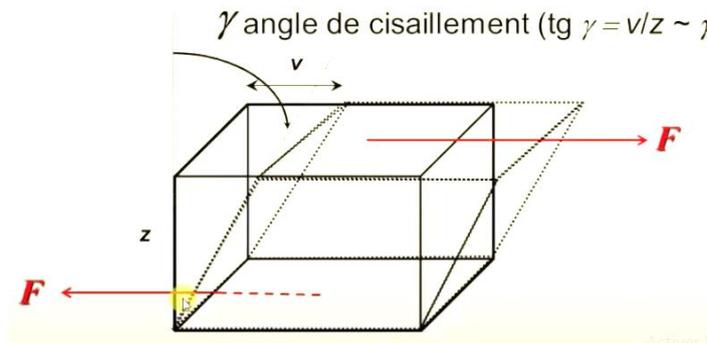
l : la longueur (mm).

E : module de Young (MPa).

$E_{\text{Fer}} : 195 \text{ GPa}$.

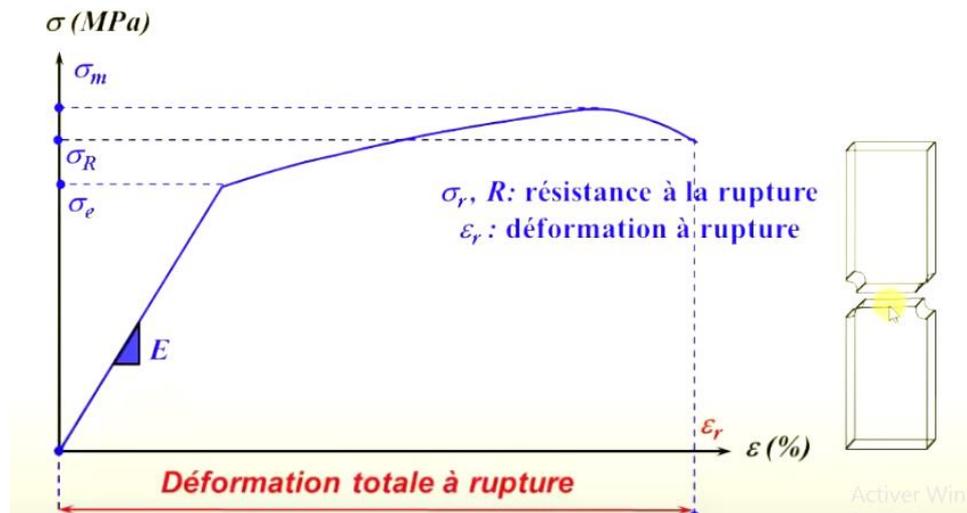
$E_{\text{acier}} : \sim 210 \text{ GPa} (10^9 \text{ Pa} / 10^3 \text{ MPa})$.

2- Le module de cisaillement G : décrit le comportement en cisaillement.



- L'effort de cisaillement est $\sigma_c = \tau = \frac{F}{A}$ en N.m^{-2}
- La déformation due au cisaillement $\varepsilon_c = \frac{v}{z} = \text{tg } \gamma$ (pas de dimension).
- Le module de cisaillement (module de coulomb) $G = \frac{\tau}{\varepsilon_c}$ en N.m^{-2} .

✓ Les limites d'élasticité



- σ_e ; R_e : limite d'élasticité ou d'écoulement.
- σ_m ; R_m : Résistance en traction.
- σ_r ; R_r : Résistance à la rupture.

Pour **les matériaux ductiles** : c'est la contrainte nominale pour laquelle s'amorce la rupture. Elle est supérieure à la limite d'élasticité d'un facteur compris entre 1,1 et 1,3 du fait de l'écroutissage pour **les matériaux fragiles** : elle se confond avec la limite d'élasticité.

✓ Les propriétés mécaniques des matériaux

1- La ténacité : KIC: $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$

La ténacité exprime la résistance du matériau à la propagation brutale d'une fissure.

1.1.7. Outils de sélection

Bases de données sur les matériaux :

- Généralités : Matweb, matdata
- Spécialisés :
 - Matériaux type platine : PGM Database.
 - Polymère : polyinfo ; omnexus, campus plastique.
 - Semi-conducteur : NSM archive
 - Acier : construire acier.

Les logiciels matériaux/ procédés

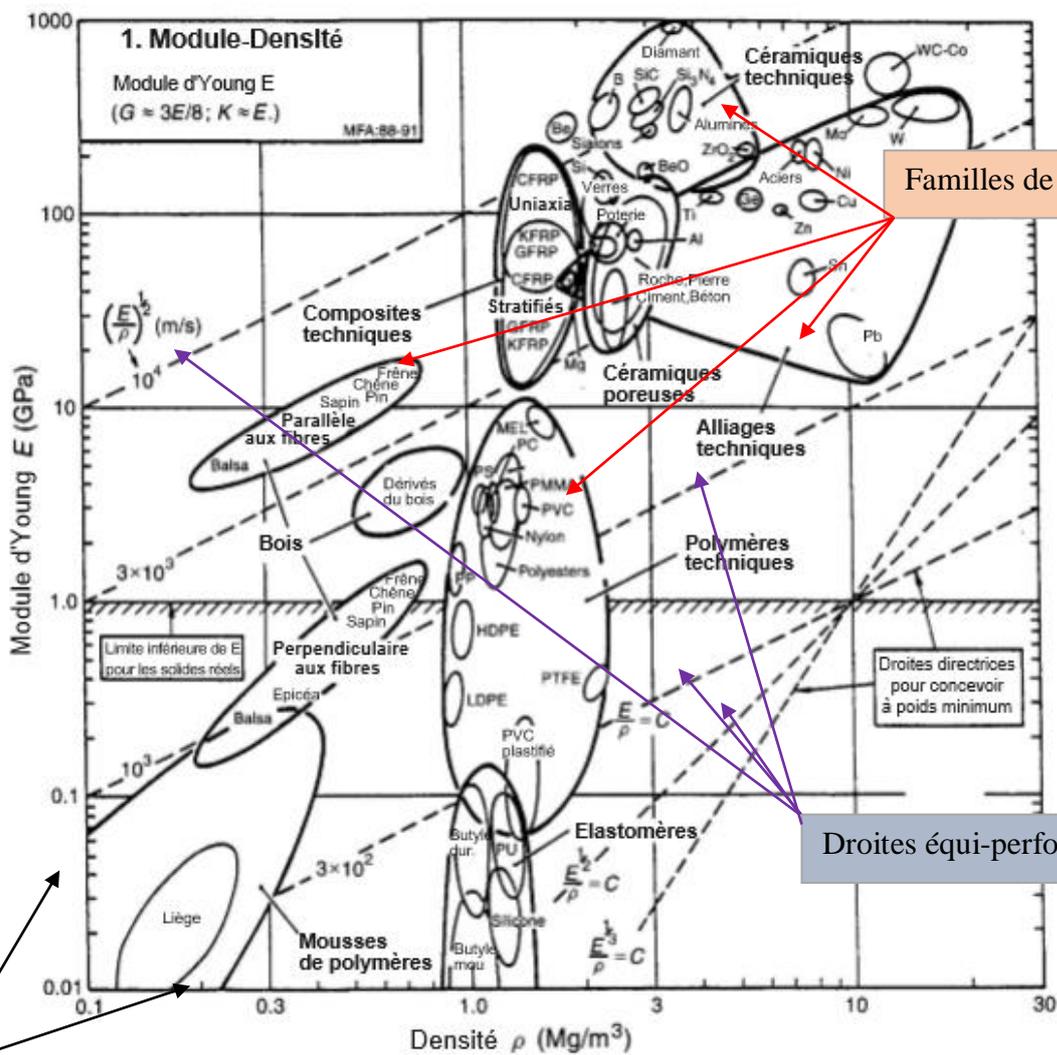
- CES edupack, CES selector.
- Total materia.
- Fuzzy mat

1. diagramme pour les choix des matériaux

On peut présenter une propriété par une liste ordonnée ou par un histogramme, mais il est rare que les performances d'un composant dépendent d'une seule propriété, il est presque toujours nécessaire de prendre en compte une combinaison de propriétés, $\frac{\sigma}{\rho}$; $\frac{E}{\rho}$, utile pour la conception de produits, donc on présente une propriété en fonction de l'autre, ainsi on obtient des diagrammes.

3.1. diagrammes de propriétés

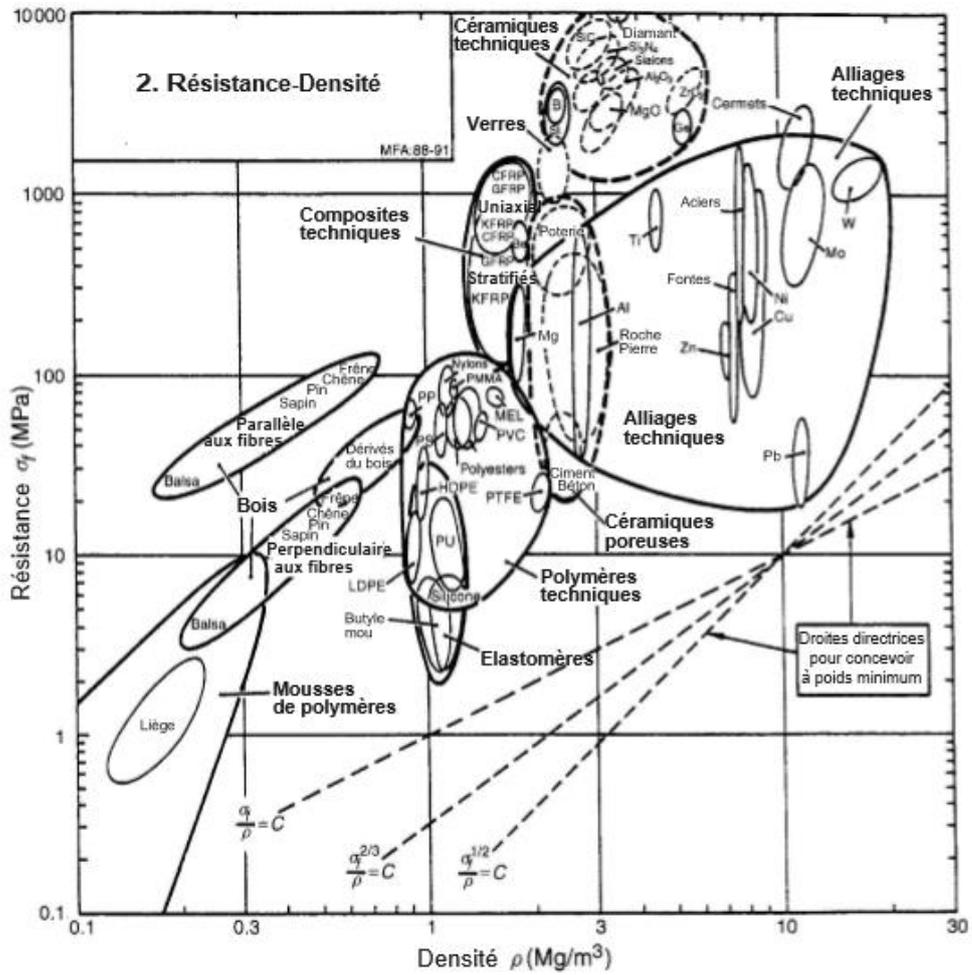
a) Module de Young (E) –densité(ρ)



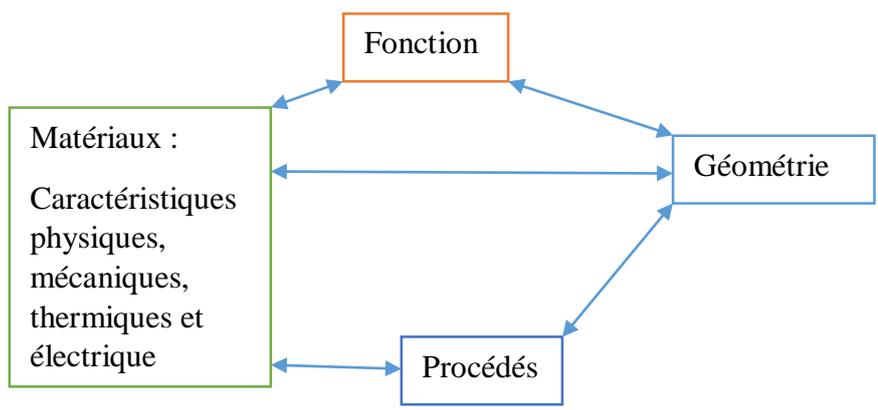
Echelle logarithmique

Nota bene : Ce diagramme est utilisé lorsque on a comme critère de choix la masse minimale et une grande rigidité.

b) Module de résistance(σ) –densité(ρ)



3.2. Choix des matériaux : méthodologie



Un matériau possède des attributs : densité, résistance, son coût, pour conception d'un produit un certain profil de ces attributs est demandé :

Exemple :

- ✚ Densité faible ; résistance élevée et coût modique.
- ✚ Tenue à l'eau de mer.

Le problème est d'identifier un profil d'attributs.

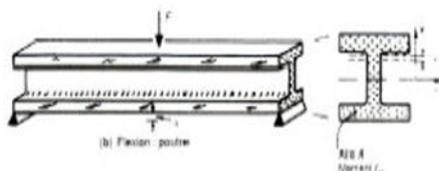
3.3. Procédure de sélection

- Il est important de prendre en compte au départ la totalité des matériaux.
- On peut encore restreindre en classant les matériaux selon leurs capacités à optimiser les performances qui résultent en une combinaison de propriétés (Indice de performance), maximiser la performance revient à maximiser cet indice.

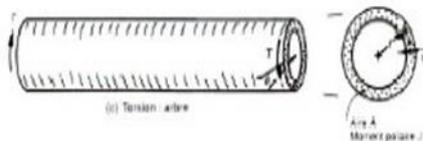
1) **Fonction objet** : à quoi sert-il ? Ex : supporter une charge en traction, en compression, transmettre le courant,



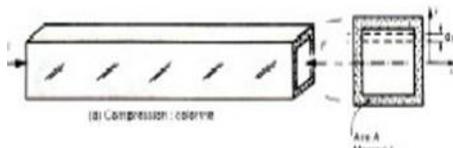
une **barre** supporte une charge en **traction**



une **poutre** supporte un moment de **flexion**



un **arbre** supporte un couple de **torsion**



une **colonne** supporte une charge en **compression**

2) **Objectif** : Que faut-il optimiser ? Ex: maximiser la résistance, minimiser le prix, minimiser le poids.

3) **Contraintes** : Négociables ou non ? Ex : force appliquée, dimensions imposées, Conditions imposées (faible déformation, bon conducteur, pas de rupture, ..

4) **Lois physique régissant le problème** Ex: l'élasticité (la loi de Hook) Résistance $\sigma < R_m$

5) **Expression de l'objectif** : fonction des paramètres fonctionnels, géométriques et du matériau.

3.4. indice de performance et fonction performance

Un indice de performance est une combinaison de propriétés qui caractérise la performance d'un matériau pour une application donnée.

La performance du composant peut être décrite par une équation de la forme :

$$P = \left\{ \left(\begin{array}{l} \text{spécification} \\ \text{fonctionnelle } F \end{array} \right), \left(\begin{array}{l} \text{Paramètres} \\ \text{géométrique } G \end{array} \right), \left(\begin{array}{l} \text{Propriétés de} \\ \text{matériau } M \end{array} \right) \right\}$$

Une conception optimum passe par le choix d'un matériau et d'une géométrie qui maximise la valeur de P