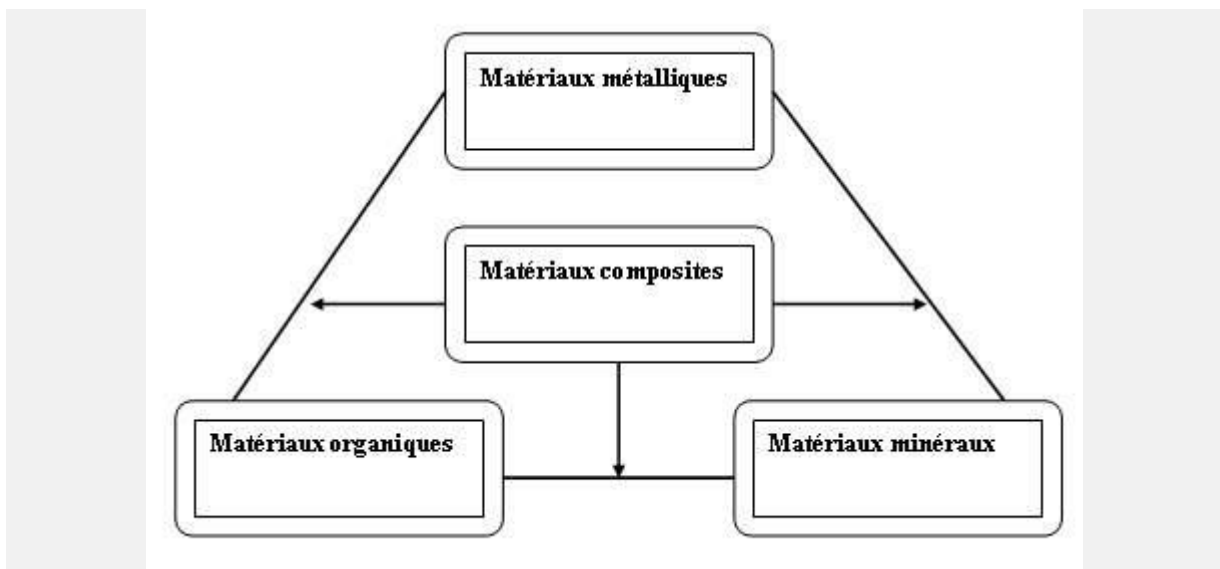


Introduction

Un **matériau** est une matière d'origine naturelle ou artificielle que l'homme façonne pour en faire des objets. C'est donc une matière de base sélectionnée en raison de propriétés particulières et mise en œuvre en vue d'un usage spécifique. La nature chimique, la forme physique (phases en présence, granulométrie et forme des particules, par exemple), l'état de surface, des différentes matières premières qui sont à la base des matériaux confère à ceux-ci des propriétés particulières. On distingue ainsi quatre grandes familles de matériaux :



Les grandes classes de matériaux. Les matériaux minéraux sont des roches, des céramiques ou des verres. Les matériaux métalliques sont des métaux ou des alliages de métaux.

Exemples

Voici quelques exemples de matériaux :

- Bois
- Papiers et cartons
- Chaux
- Céramiques, verres
- Matière plastique, silicones
- Métaux et alliages métalliques
- Matériau composite comme les bétons

- Pierre
- Plâtre
- Pigment
- Sable
- Polystyrène
- Colle

Caractéristiques des matériaux

Un matériau peut être caractérisé selon de nombreux paramètres :
caractérisation des matériaux

- Sa contrainte (souvent notée en sigma, son unité est le Pascal. Voir Tenseur des contraintes).
- Sa déformation (voir Tenseur des déformations).

La contrainte est proportionnelle à la déformation, le facteur de proportionnalité est noté E et appelé module d'élasticité (ou module de Young).

- $\text{contrainte} = (\text{Module d'élasticité}) \times (\text{déformation})$

Propriétés physiques

- Masse volumique.

Les matériaux à masse volumique importante sont utilisés à la fabrication de contre-poids (équilibrage), volants d'inertie, etc. Ceux à faible masse volumique sont utilisés dans l'aéronautique par exemple.

- Coefficient de dilatation.

Entre en jeu, par exemple pour des matériaux soumis à des écarts de température importants.

- Chaleur massique.

Utilisés dans les accumulateurs thermiques des habitations.

- Température de fusion.

Matériaux appelés à fondre (fusibles)

- Module de Young
- Coefficient de Poisson
- Aspect du produit
- Surface.
- Couleur.
- Conductivité thermique, conductivité électrique
- Porosité, perméabilité

Voici quelques caractéristiques physiques des matériaux : solidité, dureté, couleur, poids, rigidité et forme.

Coût

En général, pour une application donnée, plusieurs matériaux ou combinaisons de matériaux sont susceptibles de répondre au cahier des charges. Le concepteur, l'ingénieur et l'architecte sont donc amenés à rechercher le meilleur rapport coût/fonctions remplies.

Matériaux et Ingénierie technique

La place du matériau en ingénierie technique

L'ingénierie technique a pour objet de transformer un produit brut en un produit possédant une fonction souhaitée par l'utilisateur. Cette transformation, ici la conception mécanique, est sujette à 4 interactions fondamentales :

- La fonction
- Le matériau
- La géométrie
- Le procédé

La "fonction de service" est modélisée sous la forme d'un "système technique" qui représente chaque petite partie d'un mécanisme. Elle est issue d'un cahier des charges. On fait ensuite appel à une "analyse de la valeur" de chacune des parties afin d'évaluer les objectifs d'optimisation.

L'ingénierie des matériaux s'intéresse aux propriétés mécaniques (résistance des matériaux), à leur comportement sous l'action de forces et contraintes extérieures. Pour cela, on dispose d'un grand nombre de lois de la physique que l'on appelle Lois de comportement (de la statique, de la dynamique...). En résistance des matériaux, la géométrie intervient toujours dans ces lois de comportement. L'ingénierie des matériaux s'intéresse maintenant de façon courante aux autres caractéristiques : physiques, thermiques, électriques, environnementales, sécuritaires et économiques.

Enfin, comme il faut transformer le matériau, la prise en compte du procédé est incontournable. La difficulté à ce stade est qu'il en existe de nombreux et dont les caractéristiques sont très différentes : mouler, extruder, souffler ; usiner à la fraise, au fil, à l'eau, au laser, à l'acide ; meuler, polir, éroder, électroformer ; forger, couler, fritter ; découper, emboutir...

Dans chacune de ces étapes, le matériau est central, car il est, in fine, l'objet ou le support d'un service.

Le classement des matériaux en conception

On recense environ 80 000 matériaux utilisés en constructions diverses et, pour mieux se repérer, les matériaux sont souvent regroupés en six à huit familles (selon les références) :

- Céramiques (SiC, AlO, ZrO, diamant, ciment, béton...)
- Métaux ferreux (aciers fortement et faiblement alliés, fontes)
- Métaux non-ferreux (alliages d'aluminium, de cuivre, de nickel, de titane, de zinc...)
- Polymères thermoplastiques
- Polymères thermodurcissables
- Élastomères et mousses (silicone, EPDM, gomme de nitrile (en), polyuréthane...)
- Verres
- Composites et naturels (bois, stratifié...)

Pour des besoins de distinction des propriétés spécifiques et/ou d'une garantie sur ces propriétés, certaines références distinguent les céramiques poreuses (béton, briques), les polymères techniques (PMMA)..., ou même la destination de leur usage (normes américaines AISI, ASTM, internationales ISO, européennes EN...), ou encore la performance qu'apporte le matériau à la fonction souhaitée.

Pour éviter une distinction en classes et en sous-classes moyennement fructueuse (car redondantes entre les systèmes), des outils de sélection des matériaux (CES3 de Cambridge, FuzzyMat de Grenoble...) ont été élaborés. Ils permettent d'intégrer aisément les nouvelles avancées de la recherche en nanomatériaux et d'intégrer leurs propriétés physiques (microscopiques) tout à fait particulières ainsi que leur condition de transformation. Ils permettent d'intégrer la contrainte (ou fonction) environnementale d'une manière dynamique plutôt que réglementaire.

Le classement des matériaux pour le calcul

En général, on différencie les matériaux ductiles et les matériaux fragiles et un grand nombre de lois bien connues de la mécanique s'appliquent. Le cas des polymères est un cas à part, car à température ambiante, on peut avoir différents états de la matière et donc différentes lois applicables selon la nature du polymère. En effet, à température ambiante ou à quelques dizaines de degrés Celsius, on peut rencontrer l'état fondu, caoutchoutique, vitreux ou semi-cristallin. Ce n'est pas le cas des métaux qui sont plutôt stables à quelques centaines de degrés près. Pour étudier avec suffisamment de certitude la bonne utilisation d'un polymère, on considère tout d'abord les 2 grandes catégories, où les élastomères sont inclus :

- Thermodurcissables (noté TD) : obtenus par réaction de polymérisation, en général irréversible, donc non-recyclables (insolubles et infusibles)
- Thermoplastiques (noté TP) : classés en **4 catégories** (du moins cher au plus cher) :
 - Polymères de grande diffusion : polyéthylène PE, polypropylène PP, polychlorure de vinyl PVC, polystyrène PS, poly-éthylène-théréphtalate PET
 - Polymères intermédiaires : acrylonitrile, butadiène, styrène, ABS, PMMA, acétate de cellulose
 - Polymères techniques : polyamide PA, polycarbonate PC, polyoxyde de diphenylène PPO
 - Polymères de spécialité :
 - polysulfurés : polysulfone PSU
 - polyfluorés : polyvinylidène PVDF, téflon PTFE;
 - silicones

Pour une utilisation technique (calcul et caractéristiques physiques), on classe les polymères selon les caractéristiques de leurs monomères (molécule primaire du poly-mère avant réticulation) :

- Semi-cristallins (50 % de la production) : polyoléfines (PE, PP), polyesters et polyamides (PEST, PA); polyuréthanes (PU), polymères fluorés (PTFE, PCTFE, PVDF);
- Amorphes : polymères chlorés (PVC), cellulosiques (acétate, acéto-butyrates), silicones (SAN), polyacryliques (PMMA, PAN), styréniques (SAN,SB,ABS), polycarbonates (PC);

- Elastomères : polyisobutylène, caoutchouc butyle, butadiène styrène (SBR), butadiène acrylonitrile (NBR), néoprène polychloroprène, éthylène propylène (EPR), silicone, polyphosphazènes;
- Thermo-durs (utilisation en dessous de la température de transition vitreuse): phénoplastes, aminoplastes, polyesters insaturés, polyépoxydes (EP), polyuréthanes (PU), polyimides (PI), silicones.

Cette classification peut paraître indigeste, mais les distinctions à l'échelle microscopiques sont les suivantes :

- Amorphe (ou fondu) : les chaînes de polymère reposent les unes sur les autres et leur distribution est statistique (gaussienne);
- Elastomère (ou gel) : les chaînes possèdent des points de réticulation (liaisons fortes)
- Thermo-durs : les chaînes sont constituées de molécules tri- ou tétra-fonctionnelles (liaisons fortes sur 3 axes);
- Semi-cristallins : des morceaux de chaînes sont cristallisées et d'autres morceaux sont amorphes de façon alternée.

Rôle du matériau[modifier | modifier le wikicode]

Le matériau est une des manières de réaliser certaines fonctions techniques. En particulier, il intervient « quasiment seul » (presque indépendamment de la forme du produit) dans les fonctions de service de type :

- assurer une fonction principale : conduire la chaleur ou l'électricité, laisser passer la lumière ou la bloquer ;
- assurer une fonction contrainte : être rigide, être sûr, ...
- être compatible avec la santé ;
- résister à l'environnement :
 - résistance à l'abrasion, à l'usure,
 - résistance chimique (corrosion),
 - stabilité thermique.

Il intervient en synergie avec la forme de la pièce dans des fonctions de service du type :

- transmettre un effort ;
- résister à une charge ;

(résistance intrinsèque du matériau et dimension de la pièce). Enfin, il intervient dans des fonctions techniques :

- réaliser une forme : méthode de mise en œuvre du matériau permettant de réaliser la pièce (moulage, usinage, pliage).

Il faut aussi prendre en compte :

- le coût de fabrication : coût matière première, usinage, traitement, transport ;
- les délais : délais d'approvisionnement, durée de la fabrication (certains matériaux se travaillent plus facilement que d'autres), possibilité de le remplacer en cas de pénurie (substitutivité) ;
- impact environnemental : dépenses de ressources naturelles, rejet liés à la fabrication, réparabilité, recyclabilité (faciliter à le récupérer, à le réutiliser, à le valoriser).

Dans le cas de la bouteille de boisson, le problème principal est celui de la forme — fonction « verser dans un verre » (FP1) — et de l'étanchéité — « conserver la boisson » (FC3). Les premiers matériaux furent la terre cuite (amphore, cruche), le bois (bambou ou calebasse, la forme de la plante est déjà adapté à l'usage), et le cuir (outre), puis plus tard le verre. On utilise maintenant le plastique qui présente une meilleure résistance mécanique — fonction « résister au transport » (FC5) —, mais on continue à utiliser le verre pour des bouteilles « de prestige » (vin, bière, limonade voulant se donner un caractère « authentique », et caractère recyclable du verre), pour des raisons de conservation (bonification des vins de garde), les fonctions « être esthétique » et « respecter l'environnement » (non listées ici) priment alors sur la solidité (FC5).

On voit également qu'il ne suffit pas de faire une analyse des besoins. En effet, les contraintes de fabrication imposent d'utiliser certains matériaux (fonctions techniques, de contrainte).

Il ne faut pas oublier que ce qui importe, ce sont les propriétés du *dispositif*. Celles-ci découlent des *pièces*, qui elles-mêmes découlent des propriétés des matériaux, mais aussi de la forme des pièces, de la manière dont elles sont assemblées. Cela rend le choix complexe : le matériau conditionne la forme que l'on peut donner à la pièce, tous les

matériaux ne se travaillent de la même manière. Par exemple, pour résister à la flexion, on peut avoir un matériau rigide et dur, ce qui permet d'utiliser peu de matière ; mais on peut aussi utiliser un matériau plus mou mais facilement formable, qui permet d'obtenir des formes complexes qui donnent une grande rigidité à *la pièce* (cas des profilés d'aluminium).
