



# Sommaire

1. <u>Notions de tribologie et frottements</u>	3
2. <u>Les principaux matériaux et leurs caractéristiques</u>	3
3. <u>Alliages métalliques</u>	5
4. <u>Structure des métaux</u>	6
4.1. Définition	6
4.2. Structure cristalline	6
5. <u>Typologie des fontes</u>	7
6. <u>Typologie des aciers</u>	8
7. <u>Typologie des alliages d'aluminium</u>	10
8. <u>Typologie des alliages de cuivre</u>	11
9. <u>Typologie des matières plastiques</u>	12
10. <u>Comment choisir un matériau</u>	13
11. <u>Matériaux recommandés en construction mécanique</u>	15



Les matériaux (désignations, propriétés, choix PMP)

1. Notions de TRIBOLOGIE et frottements

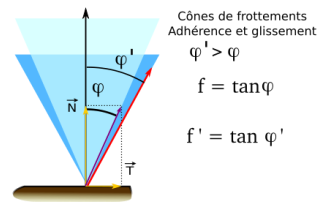
La tribologie est donc la science qui étudie les phénomènes susceptibles de se produire entre deux systèmes matériels **en contact**, immobiles ou animés de mouvements relatifs. Ce terme recouvre, entre autres, tous les domaines du **frottement**, de **l'usure** et de **la lubrification**.

Un matériau ne peut être caractérisé à lui seul par un **coefficient de frottement**, seul un **COUPLE** permet de le mettre en évidence. Il faut ensuite **différencier le glissement du frottement**.

- *Glissement* = résistance au déplacement durant une phase de mouvement établi
- *Adhérence* = analyse de l'effort nécessaire à la mise en mouvement à partir position statique

Le coefficient de frottement dépend :

- *Couple de matériaux en contact*
- *Lubrification*
- *Etat de surface*
- *Température*



Matériaux	Matériaux	Contact	Coefficient de frottement
Acier	Acier	-	0,1
Acier	Acier	graisse	0,05
Acier trempé	Acier trempé	huile	0,1 / 0,07
Acier trempé	Acier trempé	huile sous pression	0,05
Acier	XC35	eau	0,25
XC35	XC35	huile	0,09
Acier 16NC6	Acier	eau	0,065
Acier cimenté	fonte trempée	-	0,15
Acier cimenté	fonte trempée	lubrifié	0,08
Acier	fonte	lubrifié	0,08 / 0,05
Acier	fonte	-	0,1
Acier Z30C13	Fonte grise alliée	huile	0,23
Acier 16NC6	AU4G	eau	0,45
Acier 16NC6	AU4G	vaseline	0,075
Acier trempé	Bronze trempé	-	0,25 / 0,15
Acier trempé	Bronze trempé	lubrifié	0,12
Acier trempé	Bronze trempé	huile sous pression	0,05

Acier inoxydable chromé	Aluminium	-	0,4
Acier inoxydable chromé	Aluminium	lubrifié	0,1
Acier	Cuivre étamé	-	0,12
Acier	Cuivre étamé	lubrifié	0,09
Acier	Métal Fritté	-	0,1/0,12
Acier	Métal Fritté	lubrifié	0,03/0,06
Acier	Ferodo	-	0,25/0,35
Acier	Graphite	lubrifié	0,09
Acier graphité	Téflon	-	0,1

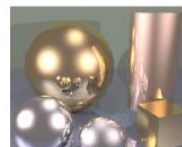
2. Les principaux matériaux et leurs caractéristiques

En construction mécanique et donc en conception de produits industriels, nous retiendront **5 familles essentielles**.

a. Les métaux purs

Ils sont rarement utilisés à l'état pur en construction.

- Fer
- Or
- Argent
- Cuivre
- Aluminium





# Les matériaux (désignations, propriétés, choix PMP)

## b. Les alliages

Un alliage est le composé d'un métal de base + d'autres constituants.

### Métal de base :

- Fer
- Cuivre
- Zinc
- Magnésium
- Aluminium

### Autres constituants :

- |                |                    |
|----------------|--------------------|
| 1) Métalliques | 2) Non métalliques |
| - Nickel       | - Carbone          |
| - Chrome       | - Silicium         |
| - Plomb        | - Phosphore        |
| - Etain...     | - Soufre           |



## c. Les matières plastiques

### Les thermoplastiques :

- Ramolissent en chauffant
- Peu de liaisons entre macromolécules
- Caractéristiques mécaniques limitées
- Recyclables

### Les thermodurcissables :

- Ne ramolissent pas, liés définitivement
- Caractéristiques mécaniques élevées
- Non recyclables



## d. Les matériaux composites

Ils sont issus de la composition de plusieurs éléments. Le plus simple des composites = béton armé. L'armature métallique renforce le béton.

### Constitution :

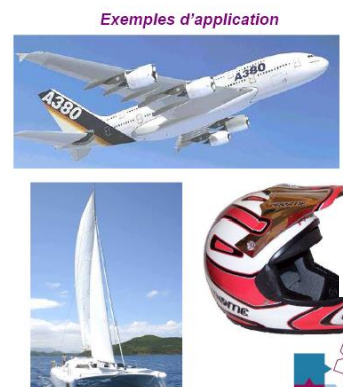
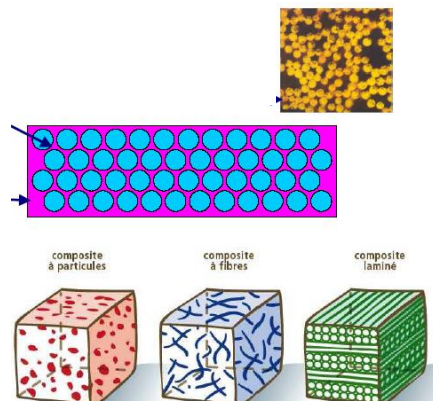
- Réseau de fibres à haute limite élastique
- Fibres maintenues par un liant (matrice)
- La structure est hétérogène

### Fibres :

- de verre
- de carbone
- kevlar

### Matrice :

- Polymère
- Métallique
- Céramique

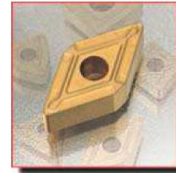


Les matériaux (désignations, propriétés, choix PMP)

e. Les céramiques

Composition :

- Agglomérat de grains (poudres)
- Grains métalliques et non métalliques
- Grains soudés par frittage



Pointes carbure pour usinage



Outils de coupe :

- Carbure de silicium (SiC)
- Carbure de tungstène (WC)

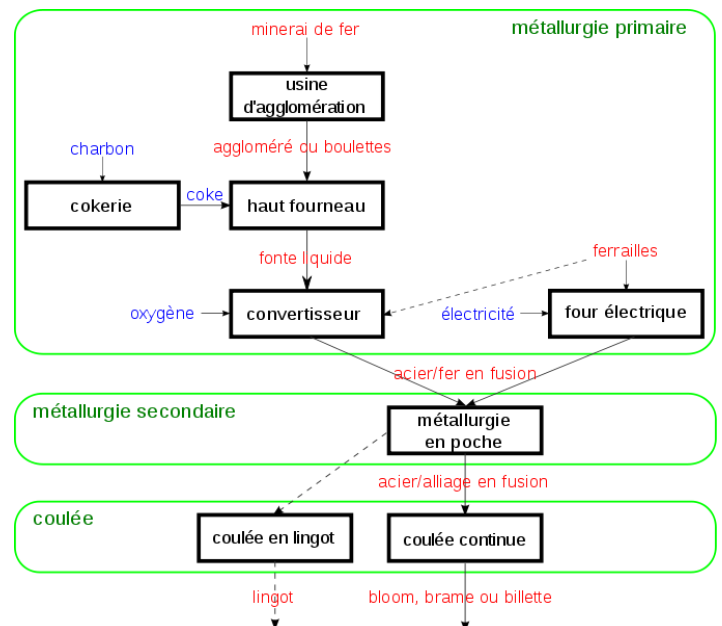
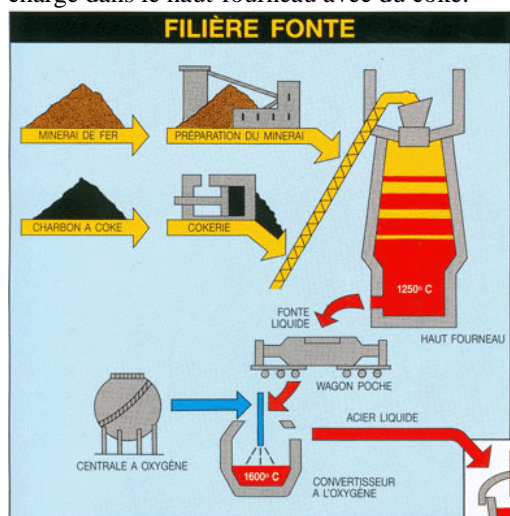
Abrasifs : oxyde d'aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

3. Les alliages métalliques

Nom	Métal de base	Masse volumique	T° fusion
Aciers et fontes	Fer	7800 kg/m <sup>3</sup>	1530°C
Alliages légers	Aluminium	2700 kg/m <sup>3</sup>	660°C
Bronzes et laitons	Cuivre	8900 kg/m <sup>3</sup>	1080°C

Comment fabrique t-on un acier ou une fonte ?

On fabrique la **fonte** en mettant en fusion dans le **haut fourneau** du **minerai de fer** et du **coke** (qui fournit le carbone). Les minerais sont préparés par broyage et calibration en grains qui s'agglomèrent entre eux. Le mélange obtenu est cuit sous une hotte à **1 300 °C**. L'aggloméré obtenu est ensuite concassé et calibré puis chargé dans le haut-fourneau avec du coke.



La fonte est ensuite recuite à **1600°** dans un four convertisseur, qui **diminue le % de carbone**, on obtient de l'**acier**.

ACIER = FER + 0.008 à 1.7 % CARBONE + autres  
 FONTES = FER + 1.7 à 5% CARBONE



Les matériaux (désignations, propriétés, choix PMP)

4. Structure des métaux

4.1. Définitions

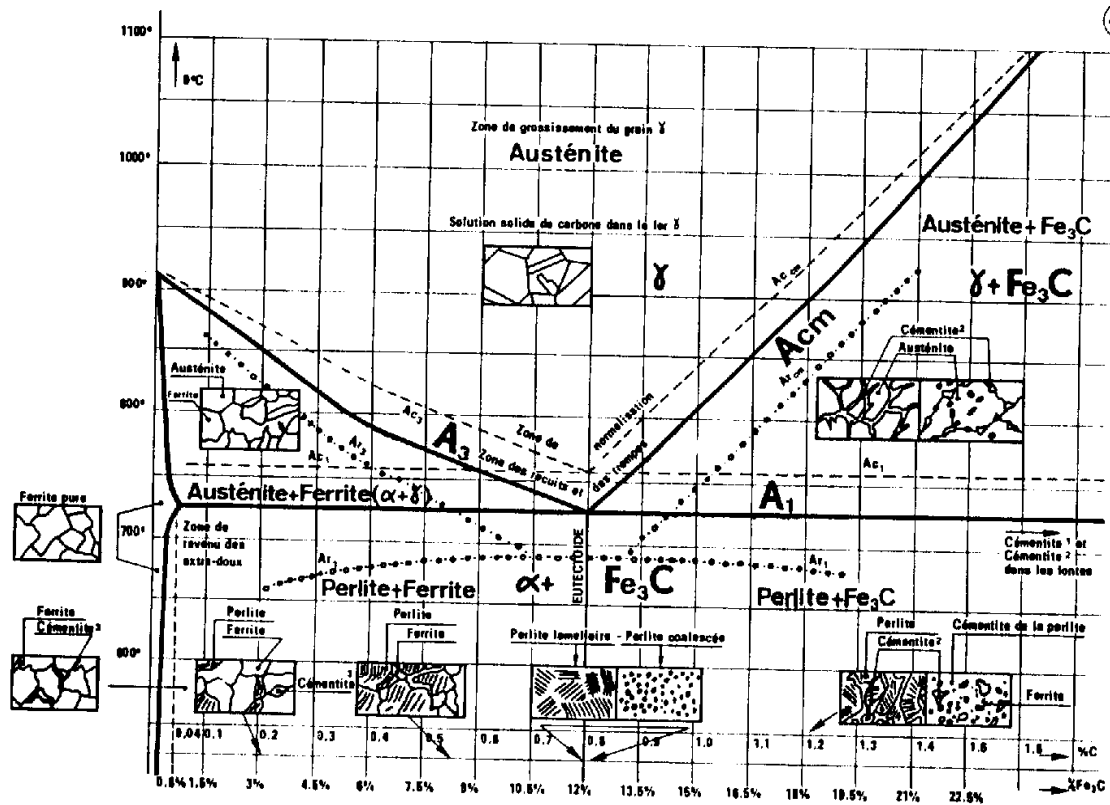
- **Grain:** Les alliages étant constitués de divers cristaux métalliques : lorsqu'on effectue une coupe d'un échantillon métallique, on fait apparaître des sections de cristaux que l'on appelle grains et la zone de raccordement de 2 cristaux voisins est appelé joint de grain.

- **Maille:** Un cristal se distingue d'un matériau amorphe en ce que les atomes qui le constituent sont disposés suivant des arrangements géométriques réguliers.

4.2. Structure cristalline du fer

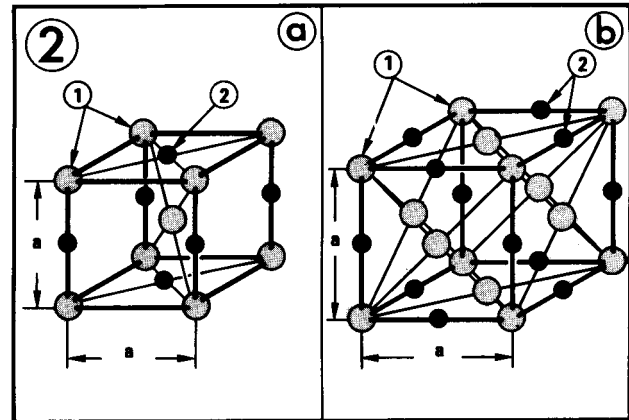
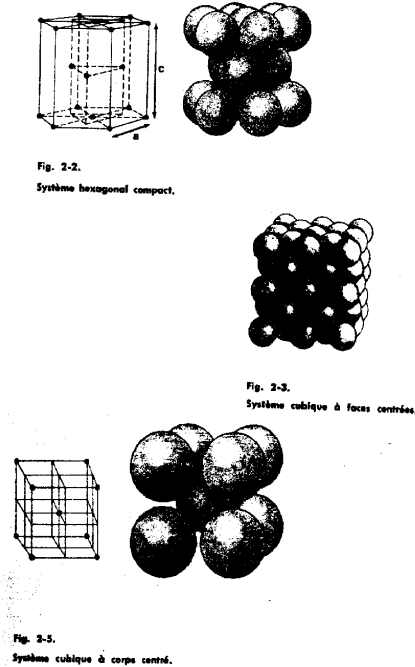
Le fer peut se cristalliser en plusieurs systèmes.

D'une masse en fusion, il se cristallise en réseau cubique à corps centré (**fer  $\delta$** ), puis à 1390°C, il se recristallise en réseau cubique à faces centrées (**fer  $\gamma$** ) et à 898°C, il se retransforme en réseau cubique à corps centré (**fer  $\alpha$**  et  **$\beta$** ).



Les matériaux (désignations, propriétés, choix PMP)

En réglant le contenu de ces modifications au moyen d'opérations appropriées (traitement thermique), on fait évoluer les propriétés mécaniques.



**SYSTÈMES CRISTALLINS DU FER PUR**

9.11.2. ● a) Fer  $\alpha$ . Réseau cubique centré deux-atomes. (1) Atomes de fer; (2) Atomes de carbone dans leur site interstitiel possible. ● b) Fer  $\gamma$ . Réseau cubique à faces centrées - quatre atomes. (1) Atomes de fer; (2) Atomes de carbone dans leur site interstitiel possible.

5. Typologie des fontes

Fonte à graphite lamellaire :  
EN-GJL 350-22 : 350 MPa de Rm et 22% Allongement

Fonte à graphite sphéroïdal :  
EN-GJS 350-22

Fonte malléable à cœur blanc (White) :  
EN-GJMW 350-22

Fonte malléable à cœur noir (Black) :  
EN-GJMB 350-22



Propriétés des fontes :

Résistance thermique, conductibilité électrique, soudabilité, bonne usinabilité, coulabilité, déformation à chaud/froid  
*Attention : peu résistant aux chocs*

Masse volumique : entre 6800 et 7400 kg/m<sup>3</sup>

Température de fusion : entre 1100 et 1300°

Prix au kilo (2011) : 0.25 euro



Les matériaux (désignations, propriétés, choix PMP)

6. Typologie des aciers

- **Non alliés** : uniquement fer + carbone.
- **Alliés** :
  - **Faiblement alliés** : aucun élément d'addition n'atteint 5 %.
  - **Fortement alliés** : au moins un élément d'addition atteint 5 %.
- **Éléments d'addition** :

Aluminium	<b>Al (A)</b>	Béryllium	<b>Be (Be)</b>	Chrome	<b>Cr (C)</b>	Cobalt	<b>Co (K)</b>
Cuivre	<b>Cu (U)</b>	Etain	<b>Sn (E)</b>	Magnésium	<b>Mg (G)</b>	Manganèse	<b>Mn (M)</b>
Molybdène	<b>Mo (D)</b>	Nickel	<b>Ni (N)</b>	Phosphore	<b>Ph (P)</b>	Plomb	<b>Pb (Pb)</b>
Silicium	<b>Si (S)</b>	Soufre	<b>S (F)</b>	Titane	<b>Ti (T)</b>	Tungstène	<b>W (W)</b>
Vanadium	<b>V (V)</b>	Zinc	<b>Zn (Z)</b>	<i>Remarque : C K M N S</i>			



Désignations des aciers non alliés:

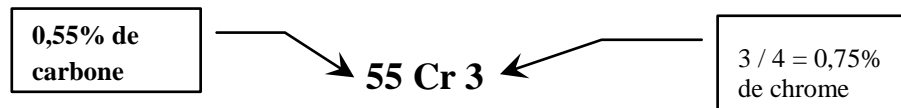
S235 : acier d'usage courant (type S) avec Re=235 MPa  
 E335 : acier de construction mécanique (type E) avec Re=335 MPa

Désignations des aciers pour traitements thermiques:

C50 : acier pour traitement thermique à 0.5% de carbone

Désignations des aciers faiblement alliés:

La teneur de chaque élément est inférieure à 5%.

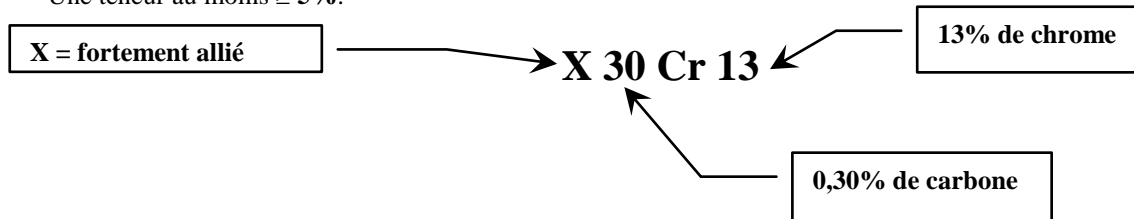


Remarque:

Element	facteur	Element	facteur
Cr,Co,Mn,Ni,Si,W	4	Ce,N,P,S	100
Al,Be,Cu,Mo,Pb,Ta,Ti,V,Zr	10	B	1000

Désignations des aciers fortement alliés:

Une teneur au moins  $\geq 5\%$ .







## Les matériaux (désignations, propriétés, choix PMP)

### Exemples de désignation des aciers non alliés :

- S 355** : Acier d'usage courant (type S),
  - **Re** (limite élastique) = **355 MPa** (N/mm<sup>2</sup>).
- E 335** : Acier de construction mécanique (type E),
  - **Re** (limite élastique) = **335 MPa** (N/mm<sup>2</sup>).
- C 60** : Acier spécial pour traitement thermique,
  - **60** = pourcentage de carbone  $\times 100 \Rightarrow$  **0,60 %** de carbone.



### Exemples de désignation des aciers faiblement alliés :

- 100 Cr 6** : (100 C 6),
  - **1 %** de carbone,
  - 6/4 = **1,5 %** de **chrome** (dureté et inoxydabilité),
  - Acier pour roulement.
- 30 Ni Cr 11** : (30 NC 11),
  - **0,30 %** de carbone,
  - 11/4 = **2,75 %** de **nickel**,
  - Moins de **1 %** de **chrome**,
  - Acier résistant aux chocs.
- 45 Si 8** : (45 S 8),
  - **0,45 %** de carbone,
  - 8/4 = **2 %** de **silicium** (élasticité),
  - Acier pour ressort.
- 40 Cr Al Mo 6 12** : (40 CAD 6 12),
  - **0,40 %** de carbone,
  - 6/4 = **1,5 %** de **chrome**,
  - 12/10 = **1,2 %** d'**aluminium**,
  - Moins de **1 %** de **molybdène**,
  - Acier pour nitruration (pièce d'usure).
  - Acier pour nitruration (pièce d'usure).



### Exemple de désignation des aciers fortement alliés :

- X 12 Cr Ni Mo 18 10** : (Z 12 CND 18 10),
  - **0,12 %** de carbone,
  - **18 %** de **chrome**,
  - **10 %** de **nickel**,
  - Moins de **1 %** de **molybdène**,
  - Acier inoxydable.



### Propriétés des aciers :

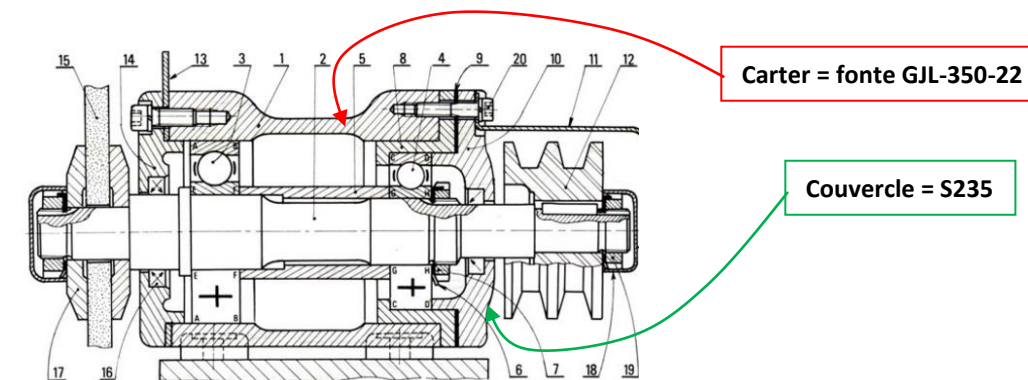
Bonnes caractéristiques mécaniques (dépendant des éléments d'addition + traitements thermiques), usinabilité, coulabilité, déformation à chaud et à froid,

Masse volumique : entre 7500 et 9000 kg/m<sup>3</sup>

Température de fusion : entre 1390 et 1530°

Prix au kilo (2011) : 0.47 euro

### Exemple :





Les matériaux (désignations, propriétés, choix PMP)

7. Typologie des alliages d'aluminium

L'aluminium est le **métal** le plus abondant de l'**écorce terrestre** et le troisième élément le plus abondant après l'oxygène et le silicium ; il représente en moyenne 8 % de la masse des matériaux de la surface solide de notre planète.

Les alliages d'aluminium sont souvent mis en forme par **CORROYAGE**, c'est-à-dire par **déformation plastique** (*laminage, forgeage, filage...*).

La désignation des alliages d'aluminium utilisée en Europe et définie par la norme EN 573-3 précise : A (aluminium) et W (wrought : mot anglais signifiant corroyage), exemple : AW 7075. Cette **notation à quatre chiffres** est très usitée internationalement et a dans la pratique remplacé les anciennes appellations nationales.

Les alliages d'aluminium les plus utilisés :

**EN AW-2017** : **AlCu4MgSi** = alliage d'aluminium avec 4% de cuivre et des traces de magnésium et silicium

**EN AW-4047** : **AlSi13** = alliage d'aluminium avec 12% de silicium (bonne coulabilité = **fonderie**)

Influence des éléments d'addition :

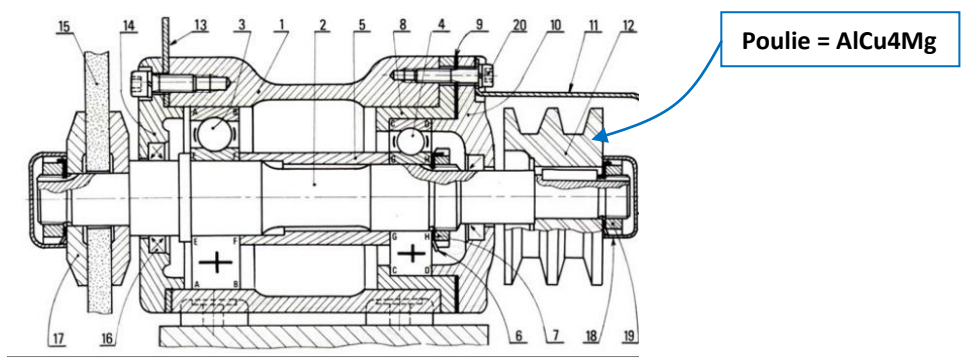
	Augmente	Réduit
Cuivre	Caractéristiques mécaniques Tenue à chaud et au fluage Usinabilité	Tenue à la corrosion Soudabilité
Manganèse	Aptitude à la déformation Tenue à la corrosion Aptitude au brasage	
Silicium	Coulabilité	Usinabilité (usure des outils) Coefficient de dilatation
Magnésium	Caractéristiques mécaniques Tenue à la corrosion Soudabilité	Déformabilité à chaud
Silicium + Magnésium	Caractéristiques mécaniques Déformabilité à chaud	
Zinc + Magnésium	Caractéristiques mécaniques Usinabilité	Tenue à la corrosion Soudabilité



Propriétés des aluminiums :  
 Assez bonnes caractéristiques mécaniques (dépendant des éléments d'addition), usinabilité, coulabilité, déformation à chaud et à froid,

Masse volumique : entre 2700 kg/m<sup>3</sup>  
Température de fusion : environ 660°  
Prix au kilo (2011) : 2.53 euros

Exemple :





## Les matériaux (désignations, propriétés, choix PMP)

### 8. Typologie des alliages de cuivre

Les **alliages de cuivre** désignent un ensemble d'alliages où le cuivre est majoritaire. Ils ont en général une bonne résistance à la corrosion.

Pour info, la pièce de 1 euro (l'Arbre Étoilé dessiné par Joaquin Jimenez pour les euros frappés en France) est constituée d'un centre "blanc" en cupronickel (75%Cu 25% Ni) sur âme de nickel et d'une couronne "jaune" en maillechort (75%Cu 20%Zn 5%Ni). Les alliages (centre et couronne) sont inversés pour la pièce de 2 euros.

#### Désignations :

**Bronzes:** *Cu Sn12 (CW 460K)*  
alliage : Cuivre + 12% Etain

**Laitons:** *Cu Zn 15 (CW612 N)*  
alliage : Cuivre + 15% Zinc

**Cupro-Aluminium:** *Cu Al 10 Ni 5 Fe 5*  
alliage : Cuivre + 10% Aluminium + 5% Nickel + 5% Fer

**Maillechort:** *Cu Ni 10 Zn 27*  
alliage : Cuivre(56%) + Zinc(27%) + 10% Nickel



#### Propriétés des cuivres :

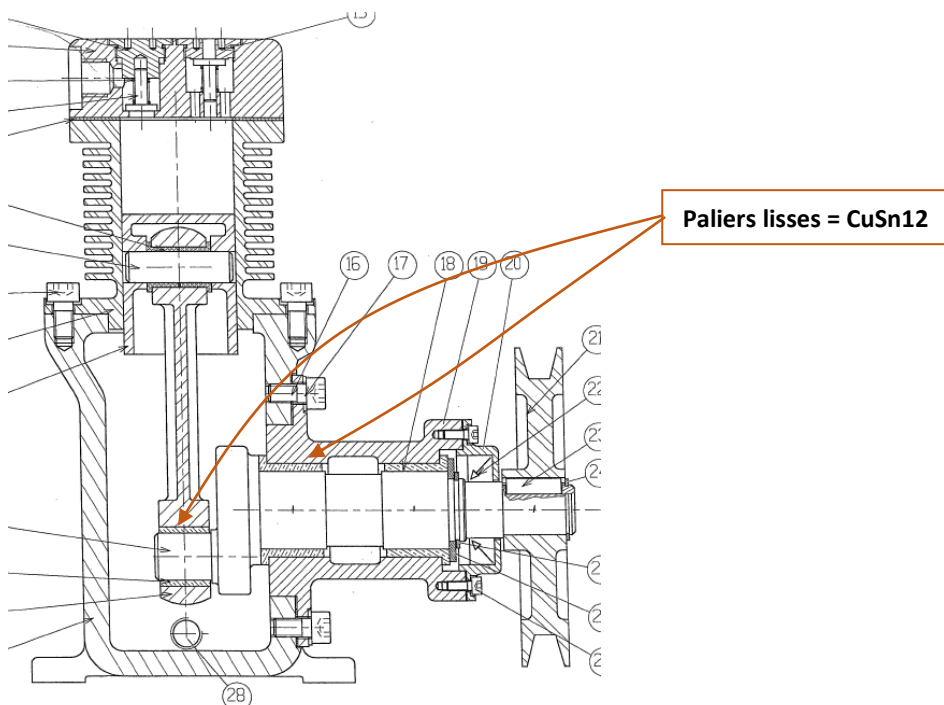
Assez bonnes caractéristiques mécaniques (dépendant des éléments d'addition), usinabilité, coulabilité, déformation à chaud et à froid, résistance à la corrosion, très bon coefficient de frottement...

Masse volumique : entre 8900 kg/m<sup>3</sup>

Température de fusion : environ 1080°

Prix au kilo (2011) : 6.1 euros

#### Exemple :



Les matériaux (désignations, propriétés, choix PMP)

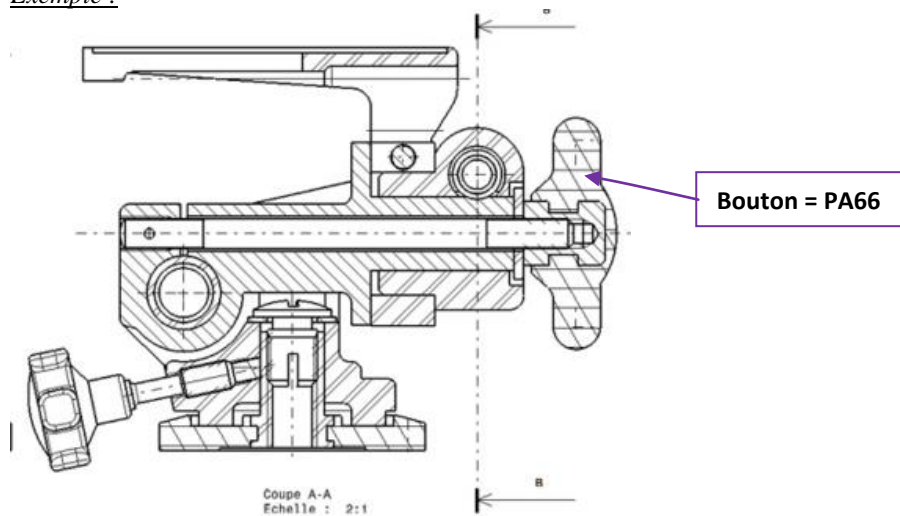
9. Typologie des matières plastiques

Les plastiques sont soit thermoplastiques, soit thermodurcisables. Ils se composent de polymères et d'adjuvants (colorants, plastifiants, anti-oxydants...).

- Polycarbonate (PC) : visière de casque,
- Polyméthacrylate (PMMA) : vitres de sécurité (Plexiglas Altuglas),
- Polytétrafluoroéthylène (PTFE) : joints, pièces de frottement (Téflon), moules de cuisine,
- Polychlorure de vinyle (PVC) : souple ou rigide pour gainage de fils ou tuyaux, menuiserie plastique,
- Polyamide (PA) : petits carters, toiles de parachute (nylon), pièces mécaniques (automobile),
- Polyéthylène (PE) : sachets plastiques, emballages,
- Acrylonitrile butadiène styrène (ABS) : appareils électroménagers, carters d'aspirateur, corps de cafetières, jouets LEGO, pare-chocs,
- Polypropylène (PP) : mobilier de jardin, pare-chocs, tableaux de bord et habillage intérieur des voitures, pièces mécaniques moulées,
- Polyester (PET) : films plastiques, vêtements,
- Polyuréthane (PU) : sièges, appuie-têtes, accoudoirs, volants, toits ou tableaux de bord dans l'industrie automobile (mousses pour isolation bâtiment, mousses flexibles), bande de roulement pour petite roue,
- Phénoplaste (PF) : cylindres moulés de disques de frein, manches de poêles, prises et interrupteurs de courant, pièces de fer à repasser électriques (bakélite),
- Polystyrène expansé (PS) : boîtiers CD, couverts en plastique, verres en plastique, emballages alimentaires (pots de yaourt),
- Néoprène : combinaisons de plongée (caoutchouc synthétique)...



Exemple :





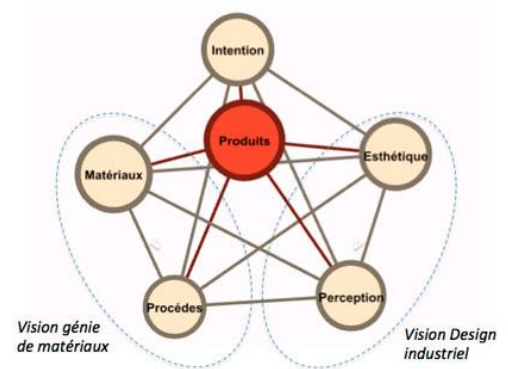
Les matériaux (désignations, propriétés, choix PMP)

10. Comment choisir un matériau ?

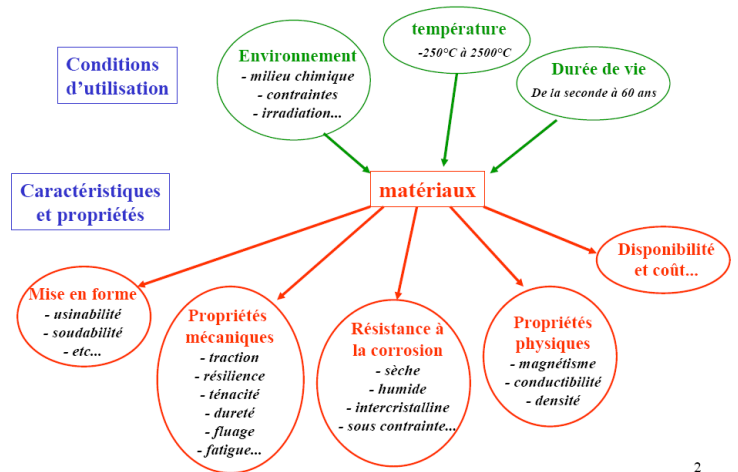
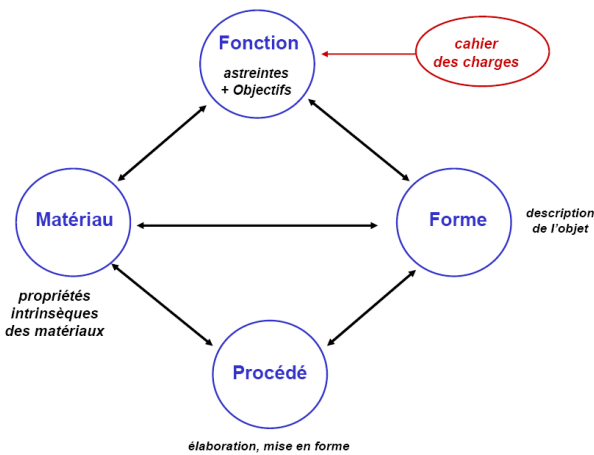
Le choix d'un matériau dépend en première approche de **4 familles de critères** : **technique** (intrinsèque lié au matériau), **économique** (coût matière, VA, outillage), **technologique** (lié au process de transformation) et **d'éco-conception**.

**2 visions industrielles** se présentent : celle de l'ingénierie des matériaux (BE) et celle du designer.

En CPGE PT, on insiste surtout sur la composante d'ingénierie et on parle de **relation PMP : Produit / Matériau / Procédé**



Le choix d'un matériau est issu d'une étude croisée PMP :



Comment concevoir des produits compétitifs ?

Pour satisfaire son utilisateur, un produit doit remplir un certains nombre de fonctions déduites du CDC, offrir une géométrie compatible avec ces fonctions, être fabriqué à moindre coût. Dans cette logique, le **choix du couple MATERIAU/PROCEDE est déterminant pour la compétitivité**.

Quand doit-on choisir le matériau et le procédé de fabrication ?

La démarche de conception d'un produit exige, dans la phase de pré industrialisation, la prise en compte de la réalité de fabrication. Il s'agit d'intégrer les contraintes techniques et économiques en s'appuyant sur des données relatives aux matériaux et aux procédés.

Le **choix définitif du couple matériau/procédé** est effectué après **plusieurs AR conception ↔ industrialisation en équipe projet**.

Comment effectuer le choix du couple matériau / procédé ?

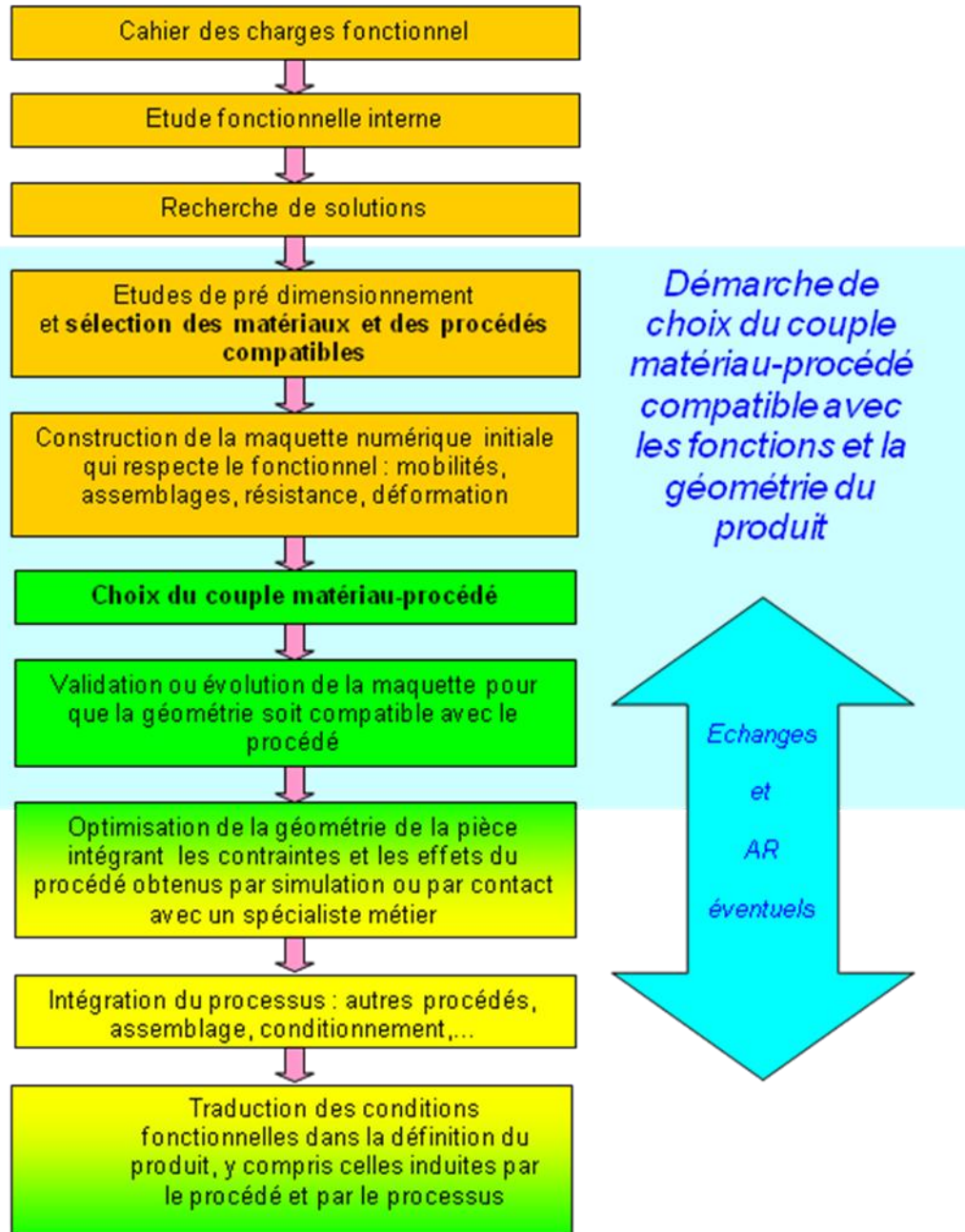
Une pièce est un élément d'un produit qui participe à la **réalisation de fonctions techniques** par ses formes fonctionnelles et son tolérancement. La pièce est le plus souvent réalisée avec le même matériau. Elle est obtenue par transformation de matière première (brut) en 1 ou plusieurs étapes). Le procédé de fabrication retenu pourra influencer sur le choix du matériau.



---

## Les matériaux (désignations, propriétés, choix PMP)

---



- **Les critères techniques:**

Ils peuvent intégrer :

- Re, Rm
- la densité (possibilité d'allègement)
- la tenue au fluage
- la résistance à la fatigue
- la tenue à la corrosion
- la dureté
- ...

- **Les critères économiques:**

Sous le critère économique, on peut intégrer plus généralement la **maîtrise des approvisionnements**, la **disponibilité des sources**, l'état de la concurrence, **l'évolution prévisible des prix**. Il est donc nécessaire de prendre en compte :

- le prix matière du matériau (et son évolution possible)
- la facilité de trouver un fournisseur (sources d'approvisionnement)
- les coûts récurrents (VA process) et coûts non récurrents (outillage) et la durée de vie des outillages



---

## Les matériaux (désignations, propriétés, choix PMP)

---

- **Les critères technologiques:**

Les critères technologiques influent sur la **facilité et la fiabilité de réalisations**. Il est donc nécessaire de prendre en compte les critères suivants :

- *l'assemblage (avec d'autres matériaux)*
- *l'usinabilité ou la possibilité de déformation (assemblage par sertissage par exemple)*
- *la possibilité d'automatisation du process de fabrication*
- *les traitements thermiques*

- **Les critères d'éco-conception :**

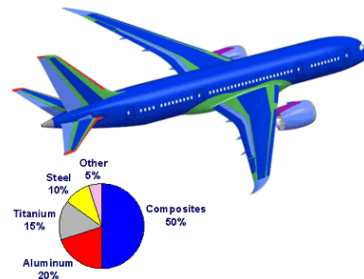
Ces critères sont plus récents (et lié au **développement durable**) et plus difficiles à évaluer de manière pertinente faute de recul.

*Ces critères peuvent intégrer :*

- *L'impact en émission de CO<sub>2</sub> du matériau et du process retenu (en intégrant le transport, ...)*
- *L'impact en terme de facilité de recyclage ou de facilité de démontage en fin de vie du produit*
- *L'épuisement (ou non) de la réserve mondiale de matériau et la possibilité de trouver facilement des matériaux de substitution pour remplir la fonction.*

Le choix du matériau se fera donc en fonction :

- des **sollicitations qu'il va subir (efforts, pressions...)**
- du **poids souhaité**,
- du **mouvement relatif** entre les pièces en contact (rotation, glissement, frottement, adhérence...)
- de l'**environnement** (humidité, poussière, sel, gel...)
- du **procédé** de fabrication / mise en forme / assemblage
- du **prix**



### 11. Matériaux recommandés en construction mécanique (à privilégier aux concours)

- aciers d'usage général: (inaptes au traitement thermique, soudabilité non garantie)

**S235 S245 S245 E295 E335 E360**

- aciers pour traitements thermiques:

<b>C 35</b>	(bielles, arbres, broches, boulonnerie traitée)
<b>55 Si 7</b>	(ressorts et pièces soumises à des sollicitations alternées)
<b>100 Cr 6</b>	(acier pour roulements - résistance au matage élevée)
<b>35 Ni Cr Mo 4</b>	(arbres, vilebrequins, pièces soumises en fatigue)

- aciers inoxydables

**X 8 Cr 17** (sauf air marin ou pollué - enjoliveurs, mobilier)

- Alliages d'aluminium

<b>AlSi13</b>	(TB aptitude au moulage)
<b>AlCu4Mg</b>	(alliage robuste et léger)

- Alliages de cuivre

**CuSn12** (bronze pour paliers lisses et pièces de frottements)