

Composants de la MicroTechnique / Mécanique

Cours de Construction Mécanique
Deuxième Semestre - Première Année
Sections MicroTechnique et Génie Mécanique

4. Matériaux & Procédés de Fabrication

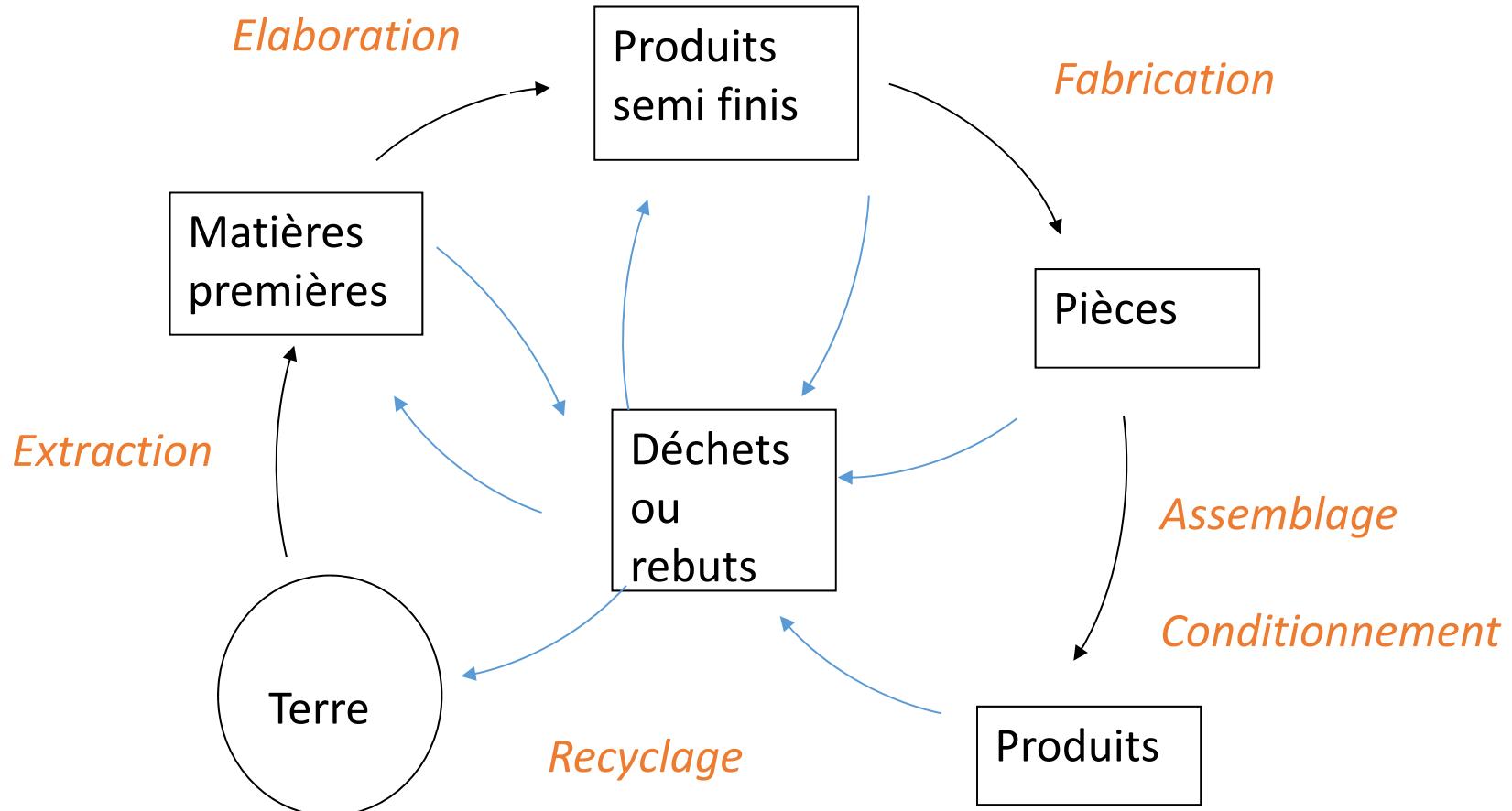
1. Généralités
2. Critères de Choix d'un Matériau
3. Rappel sur la Traction et le Cisaillement
4. Métaux Ferreux: Aciers et Fontes
5. Métaux Non Ferreux
6. Traitements de Surface des Métaux
7. Matières Plastiques
8. Céramiques

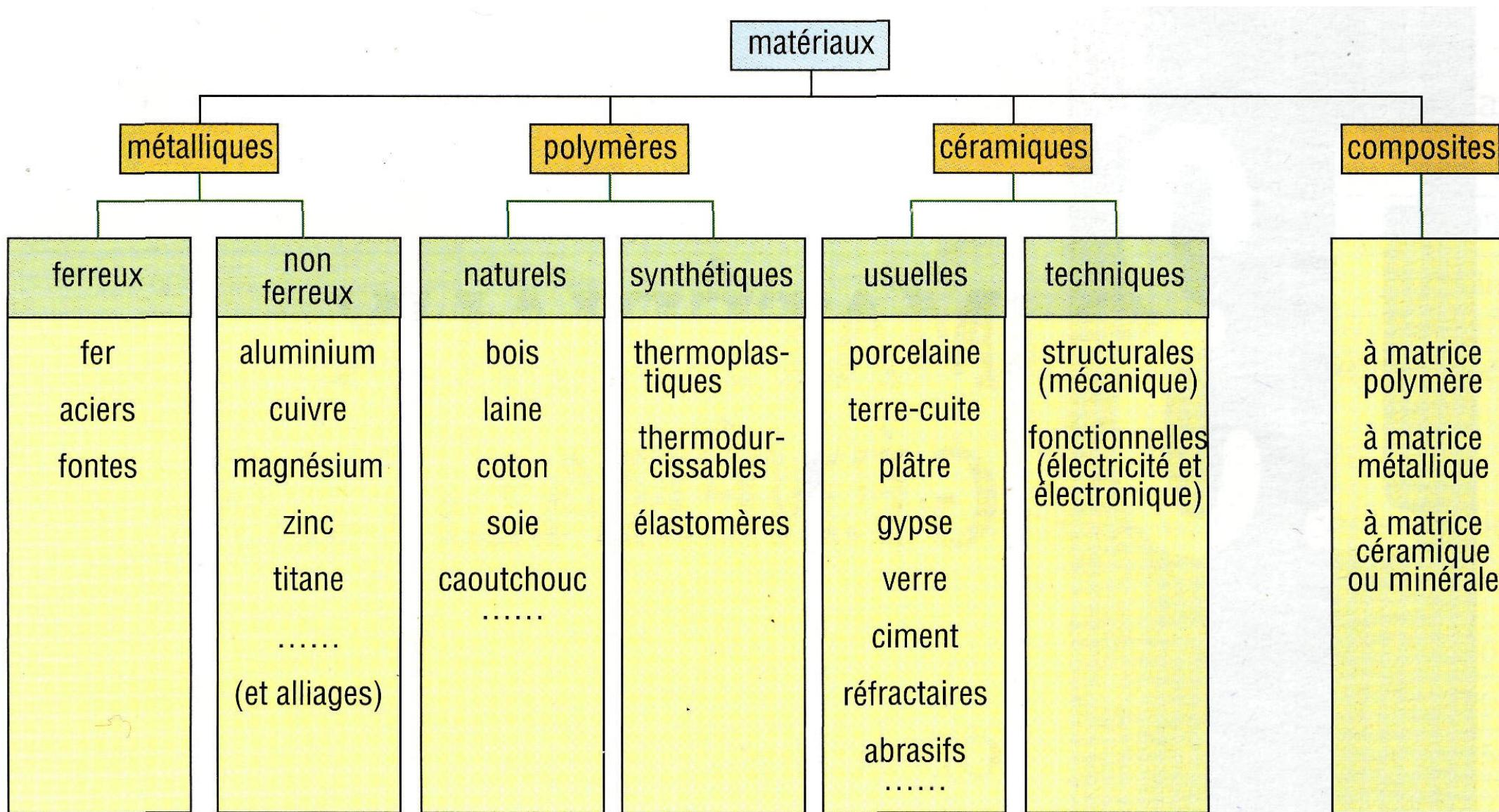


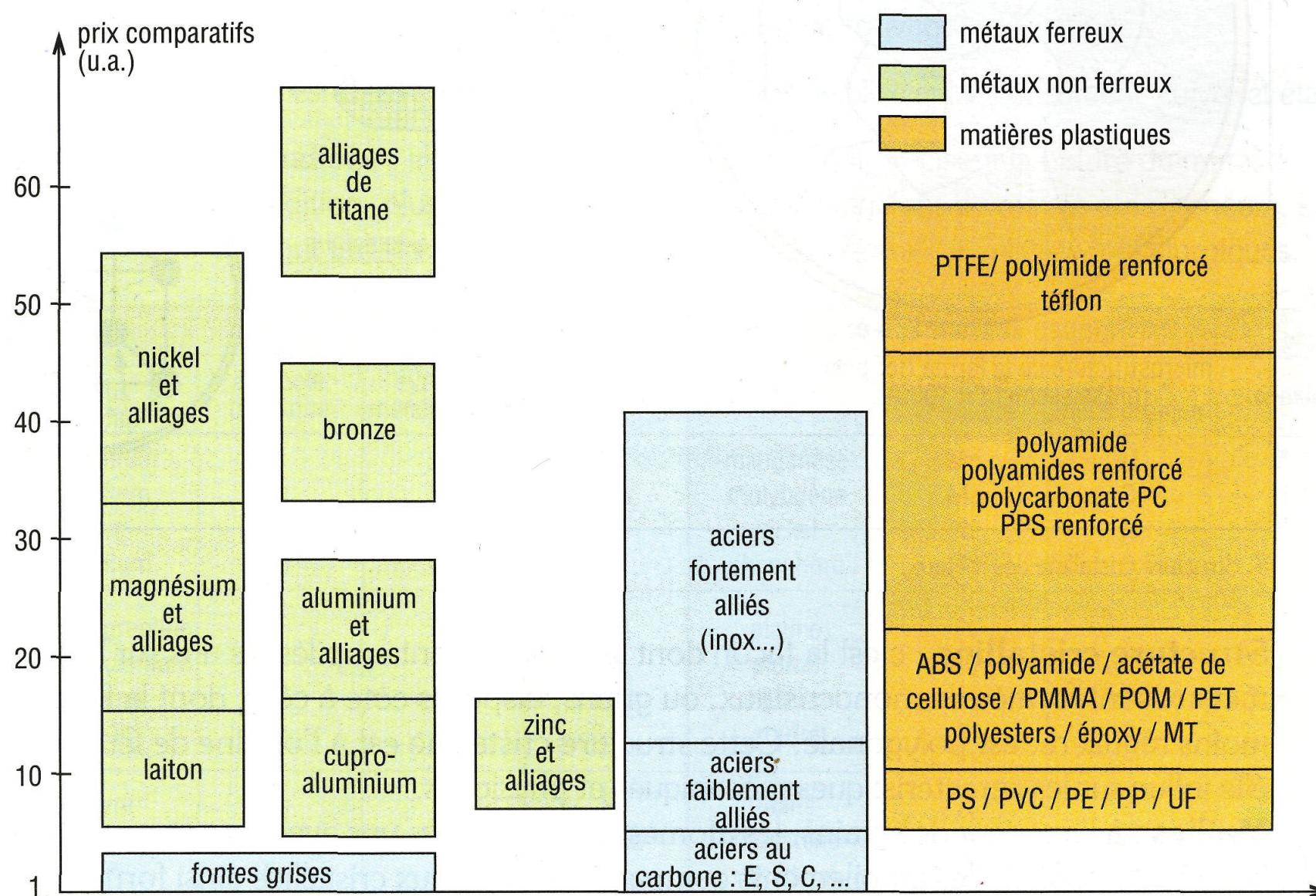
Masse $\sim 6 \cdot 10^{24}$ kg:

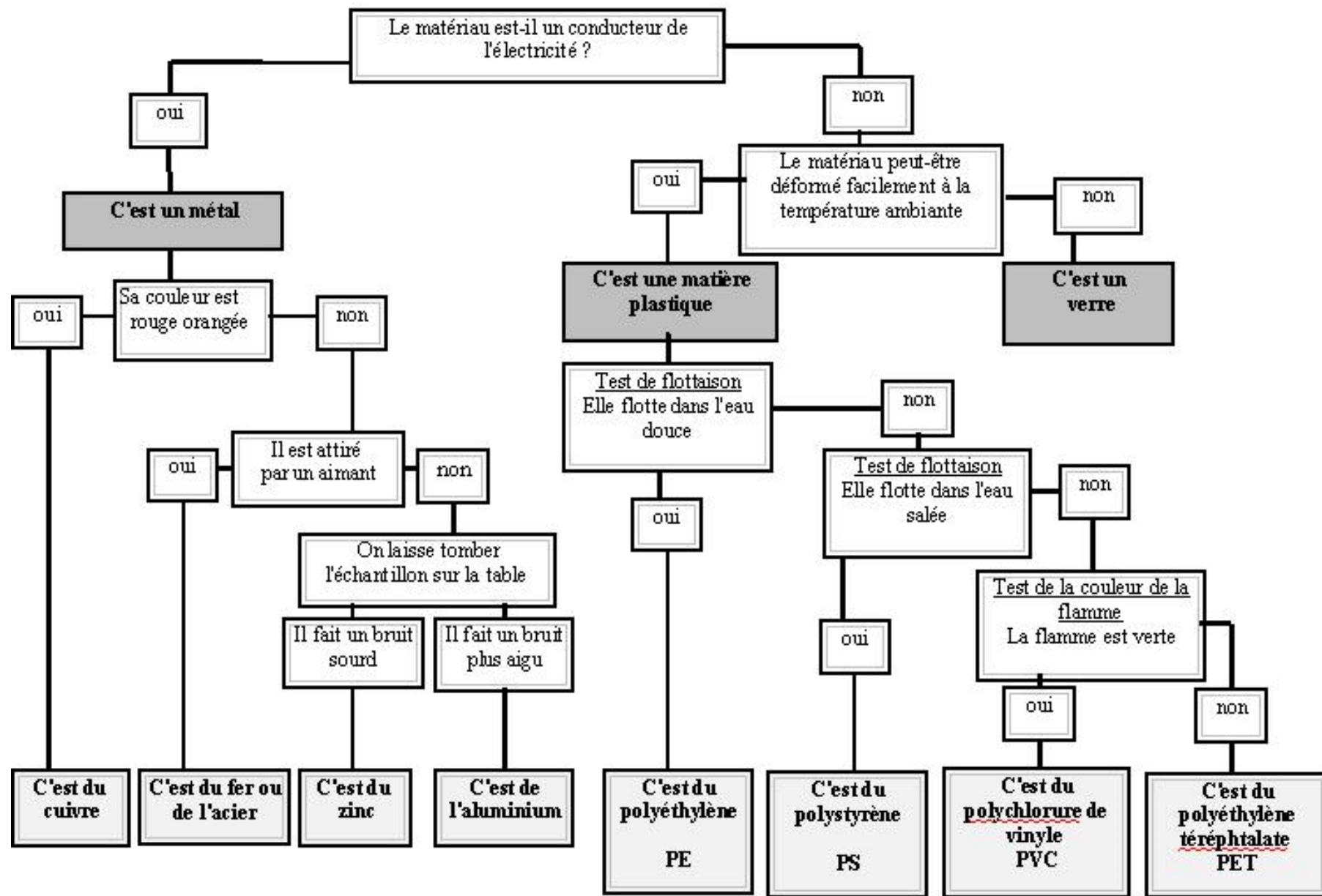
- 32.1% Fer (noyau: 88.8% Fe, 5.8% Ni, 4.5% S, 1% autres)
- 30.1% Oxygène
- 15.1% Silicium
- 13.9% Magnésium
- 2.9% Soufre
- 1.8% Nickel
- 1.5% Calcium
- 1.4% Aluminium
- 1.2% autres éléments

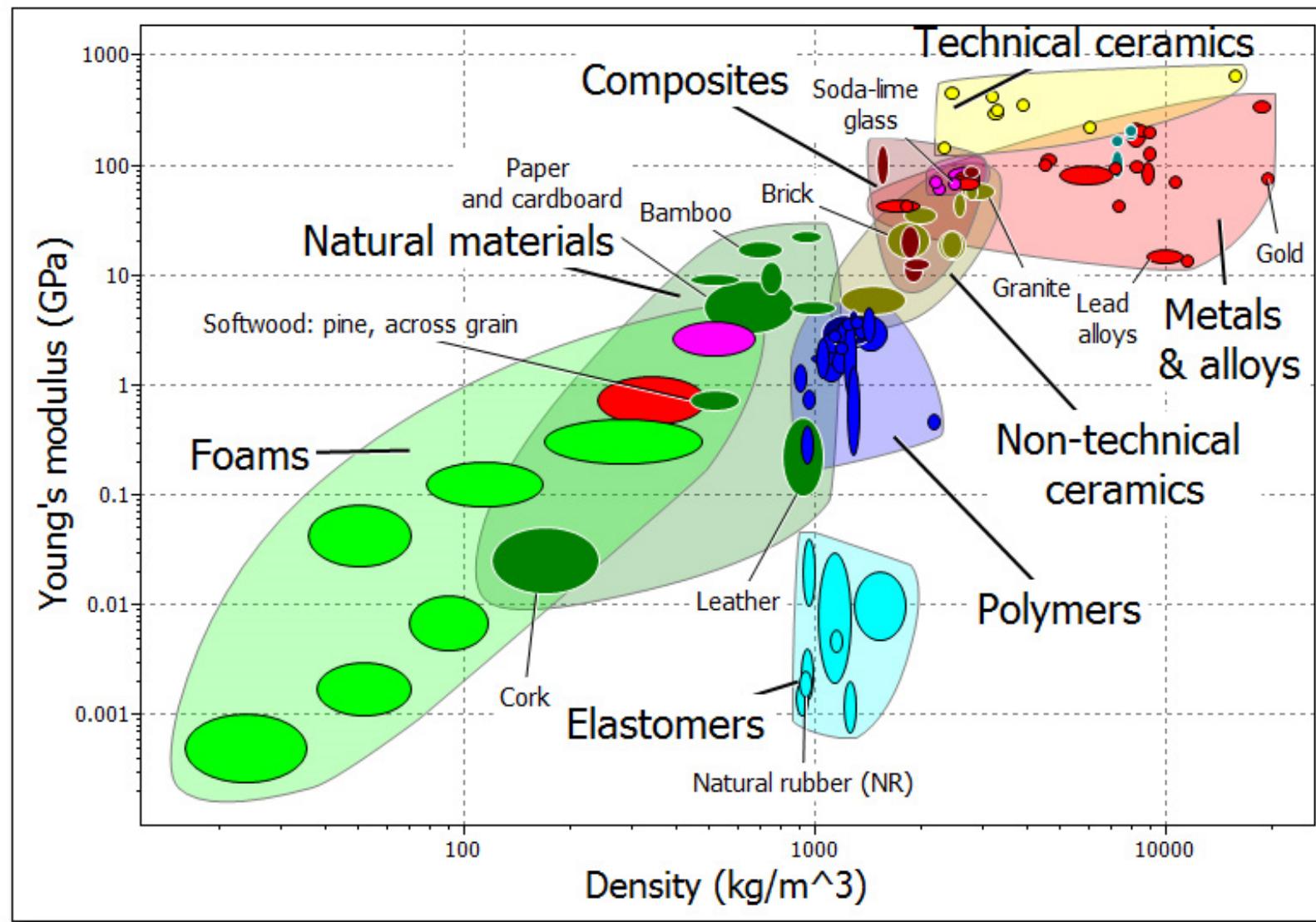
Ecorce continentale Masse : 10^{18} tonnes		Océans Masse : 10^{17} tonnes		Atmosphère Masse : 10^{16} tonnes	
O ₂	47	O ₂	85	N ₂	79
Si	27	H ₂	10	O ₂	19
Al	8	Cl	2	Ar	2
Fe	5	Na	1		
Ca	4				
Na	3				
K	3				
Mg	2				
Ti	0,4				

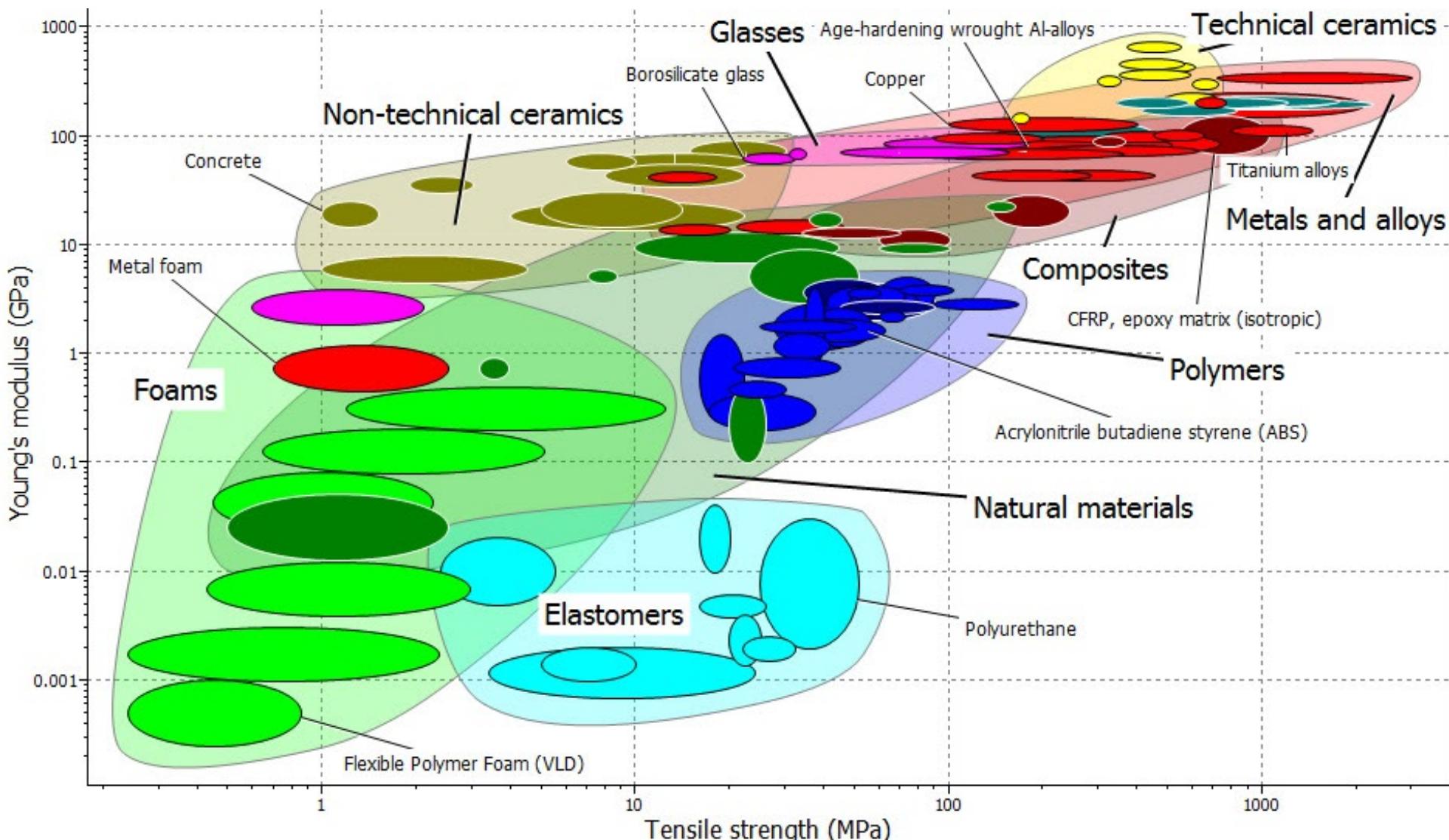


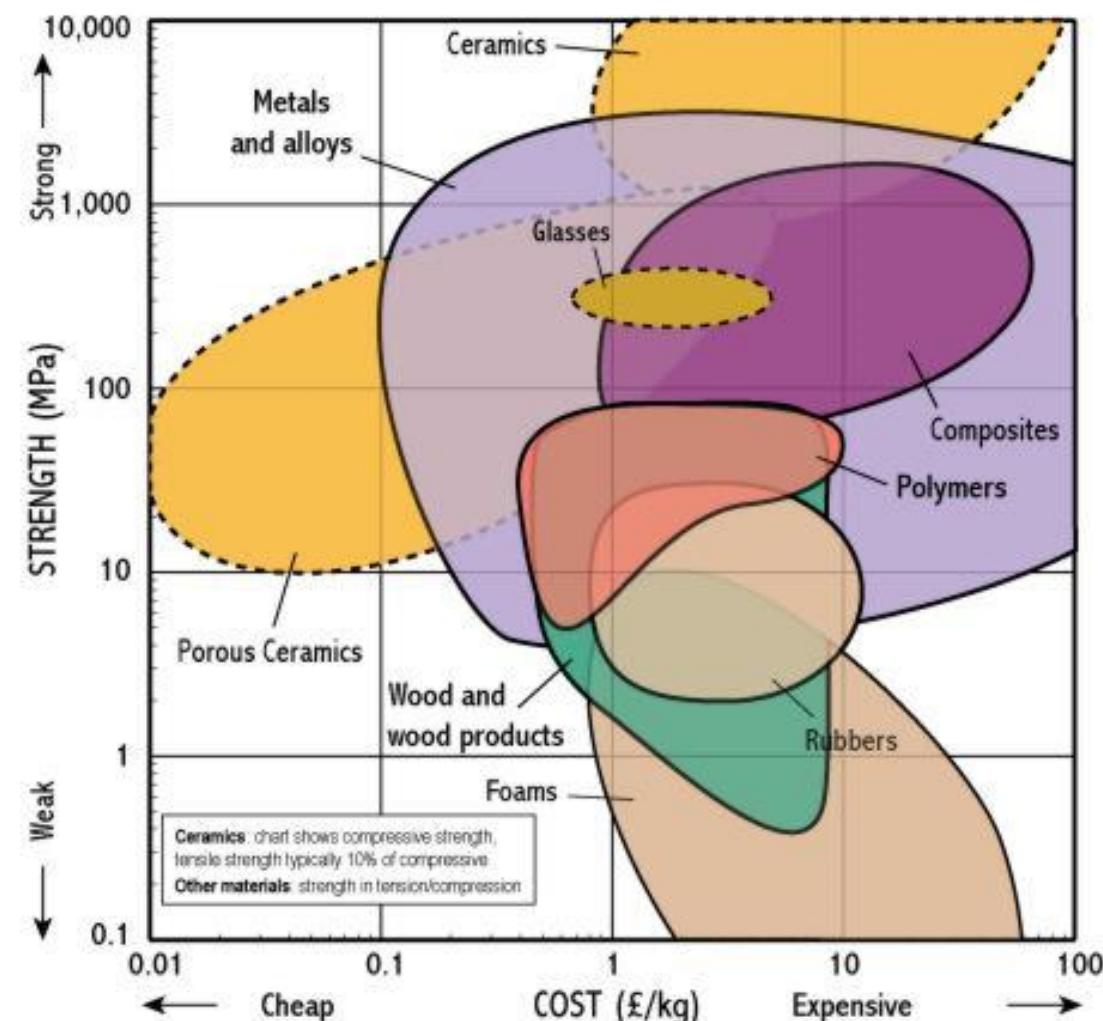
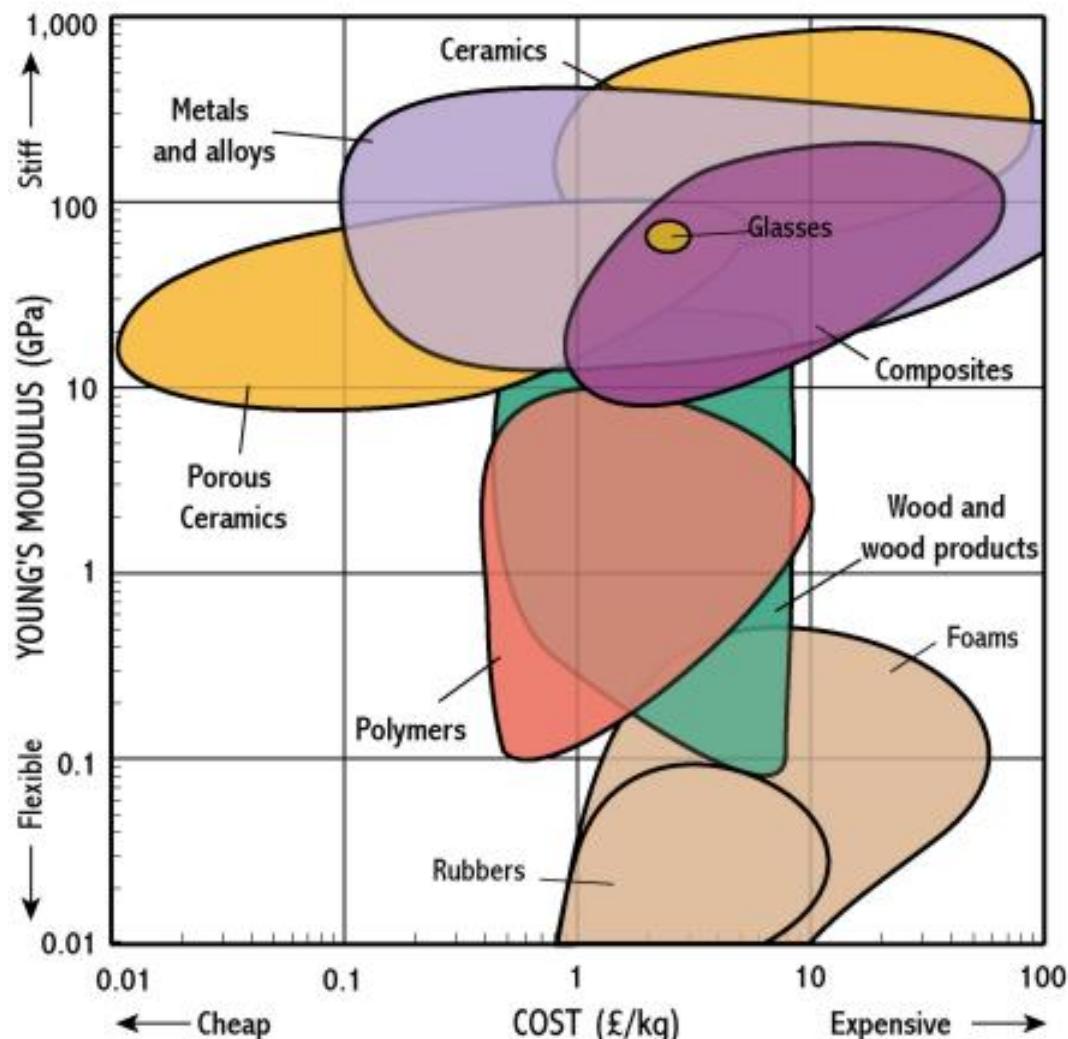


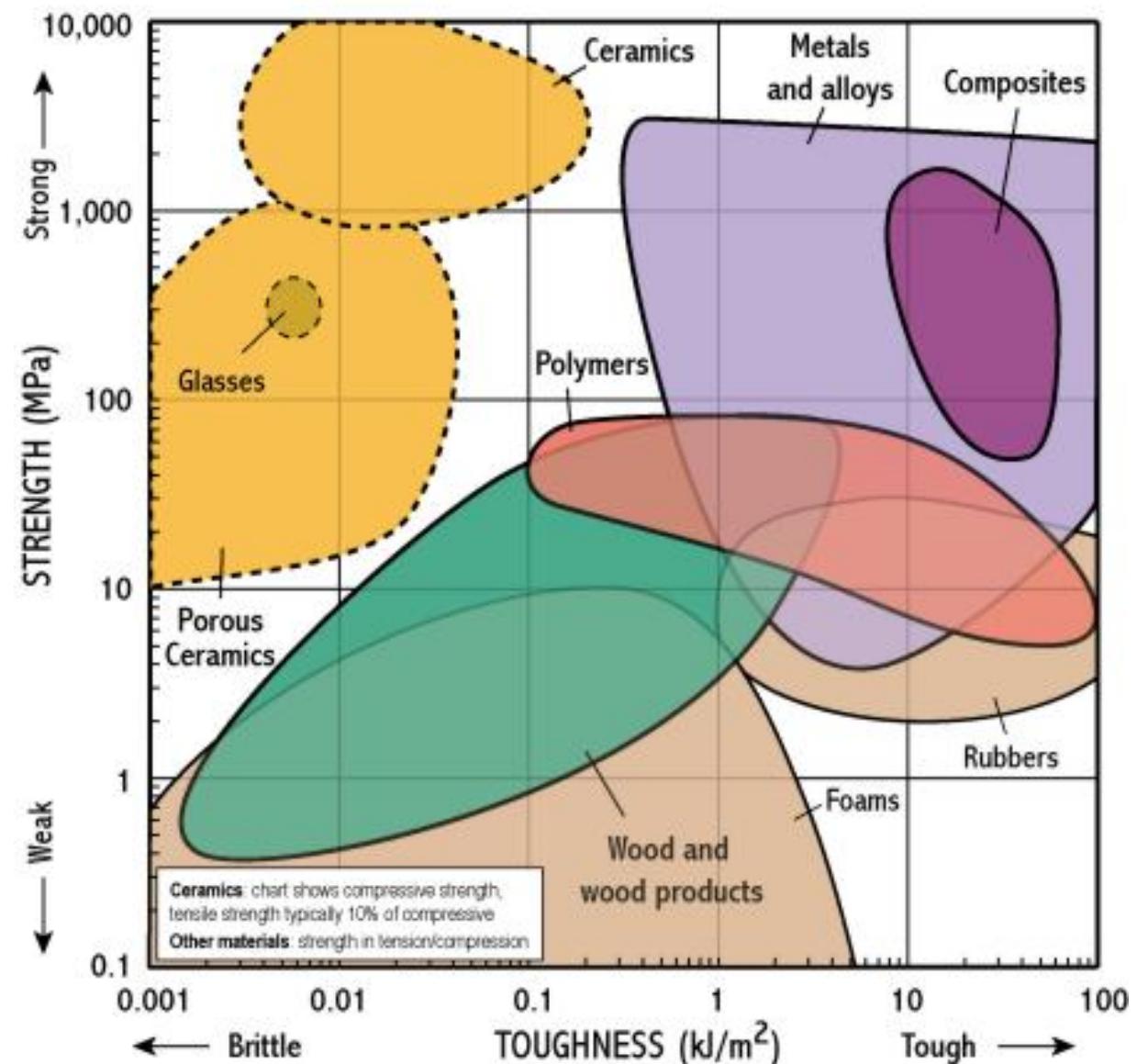
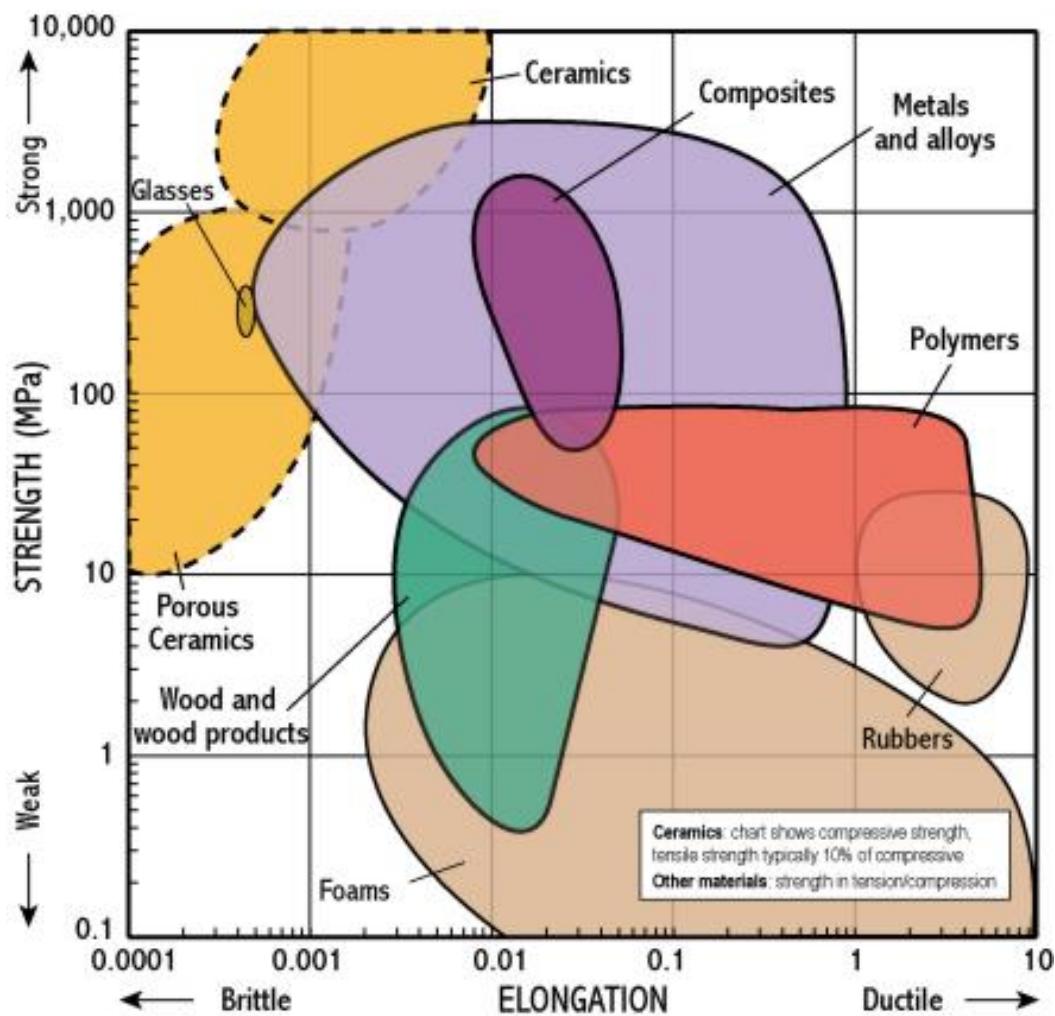












Symboles chimiques et métallurgiques, densité des métaux usuels							
corps	symbole chimique	symbole métallurgique	densité	corps	symbole chimique	symbole métallurgique	densité
aluminium	Al	A	2,7	manganèse	Mn	M	7,2
béryllium	Be	Be	1,85	molybdène	Mo	D	10,2
bore	B	B	2,35	nickel	Ni	N	8,9
cadmium	Cd	Cd	8	phosphore	P	P	1,88
carbone graphite	C	–	2,24	platine	Pt	–	21,5
carbone diamant	C	–	3,5	plomb	Pb	Pb	11,34
chrome	Cr	C	7,1	silicium	Si	S	2,4
cobalt	Co	K	8,9	soufre	S	F	2,1
cuivre	Cu	U	9	titane	Ti	T	4,5
étain	Sn	E	6 à 7,5	tungstène	W	W	19,3
fer	Fe	Fe	7,8	vanadium	V	V	5,9
lithium	Li	L	0,534	zinc	Zn	Z	7,15
magnésium	Mg	G	1,75	zirconium	Zr	Zr	6,5

- Métaux: 91 des 112 éléments chimiques connus

- Conduction électrique
- Ductilité
- Conduction thermique
- Réflexion de la lumière

Tableau périodique des éléments

The periodic table displays elements from Hydrogen (H) to Helium (He). Key features include:

- Properties:** Each element card includes its name, symbol, atomic number, atomic mass, and element type (e.g., metal, non-metal).
- Classification:** Elements are color-coded by group: Alkaline Earth Metals (light red), Alkaline Metals (pink), Lanthanides (purple), Actinides (dark purple), Transition Metals (grey), Poor Metals (light grey), Metalloids (yellow-green), Non-metals (green), Halogens (blue), Noble Gases (cyan), and others.
- Periodic Trends:** Trends such as increasing atomic radius and ionization energy across a period, and decreasing reactivity down a group are visible.
- Notable Features:** A pink bracket highlights the lanthanide and actinide series, which are often grouped together due to their similar chemical properties.

Matériaux ductiles: matériau se déformant plastiquement sans rompre

Matériaux fragiles: matériau cassant dans le domaine élastique sous faible énergie

Matériaux tenaces: matériau cassant dans le domaine élastique sous énergie importante

Alliage: combinaison d'un élément métallique avec d'autres éléments chimiques

Acier: Fer + Carbone (entre 0.02% et 2% en masse)

Fonte: Fer + Carbone (entre 2.1% et 6.67% en masse)

Acier Inoxydable: Acier + Chrome (10.5% minimum, moins de 1.2% de Carbone en masse)

Bronze: 60% Cuivre + Etain (Aluminium, Plomb, Béryllium, Manganèse, Tungstène,
Silicium, Phosphore) - Pas de Zinc

Laiton: Cuivre + Zinc (Plomb, Etain, Nickel, Chrome, Magnésium)

Critères liés à la Fonction du Composant:

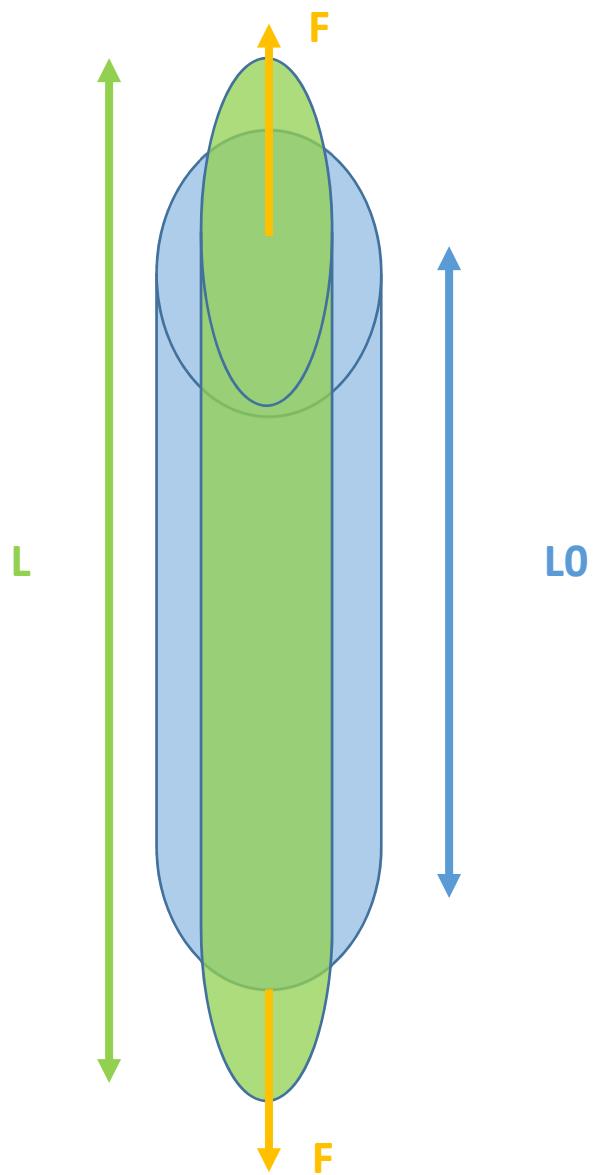
- Masse, inertie
- Volume disponible
- Raideur (lié au module d'élasticité E)
- Résistance mécanique (limite élastique, limite à la rupture)
- Dureté, résistance à la rayure
- Frottement, diffusion, résistance à l'usure
- Conduction thermique, électrique, magnétique
- Résistance à l'environnement (eau, acide, hydrocarbure, lubrifiant, rayonnement, gaz, ...)
- Considérations environnementales (pollution, interactions, ...)
- Aspect (état de surface, brillance, vieillissement)
- Durée de vie (d'une utilisation à plusieurs millions)
- Normes (alimentaires, médicales, résistance à la combustion, forme de la cassure, environnement, sécurité, ...)

Critères liés à la Production du Composant:

- Forme de la pièce
- Tolérances dimensionnelles (forme, position)
- Etat de surface
- Possibilité de liaison et d'assemblage (collage, soudage, ...)
- Série (nombre d'éléments produits, usure des machines, ...)
- Approvisionnement (sécurité, fournisseur, ...)
- Prix (1Fr/kg pour certains aciers à >10000Fr/kg pour métaux précieux)

Coût total: inclure outillage, fabrication, assemblage, réglage, maintenance, recyclage

Coût du Cycle de Vie du Produit



$$\sigma = \frac{F}{S}$$

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

σ = Contrainte (MPa=N/mm²)

F = Charge (N)

S = Surface de charge (mm²)

E = Module d'élasticité longitudinal
ou Module d'Young (MPa=N/mm²)

ε = Déformation (adimensionnel)

L_0 = Longueur sans charge (mm)

L = Longueur sous charge(mm)

$\Delta L = L - L_0$ = Allongement (mm)



Matériaux ductiles
(alliages d'aluminium)

Matériaux fragiles
(fonte)



Acier:

http://www.youtube.com/watch?v=JGI0Cle0T14&list=PLFz3BEEdNbtV8ZM2IYAE4pMUfqvNc_fRa

http://www.youtube.com/watch?v=P6ZoSGb0lcg&list=PLFz3BEEdNbtV8ZM2IYAE4pMUfqvNc_fRa

<http://www.youtube.com/watch?v=5Kke0w7NolU>

Plastique:

<http://www.youtube.com/watch?v=4juB5NepHHU&list=PL31FCD145417127EC>

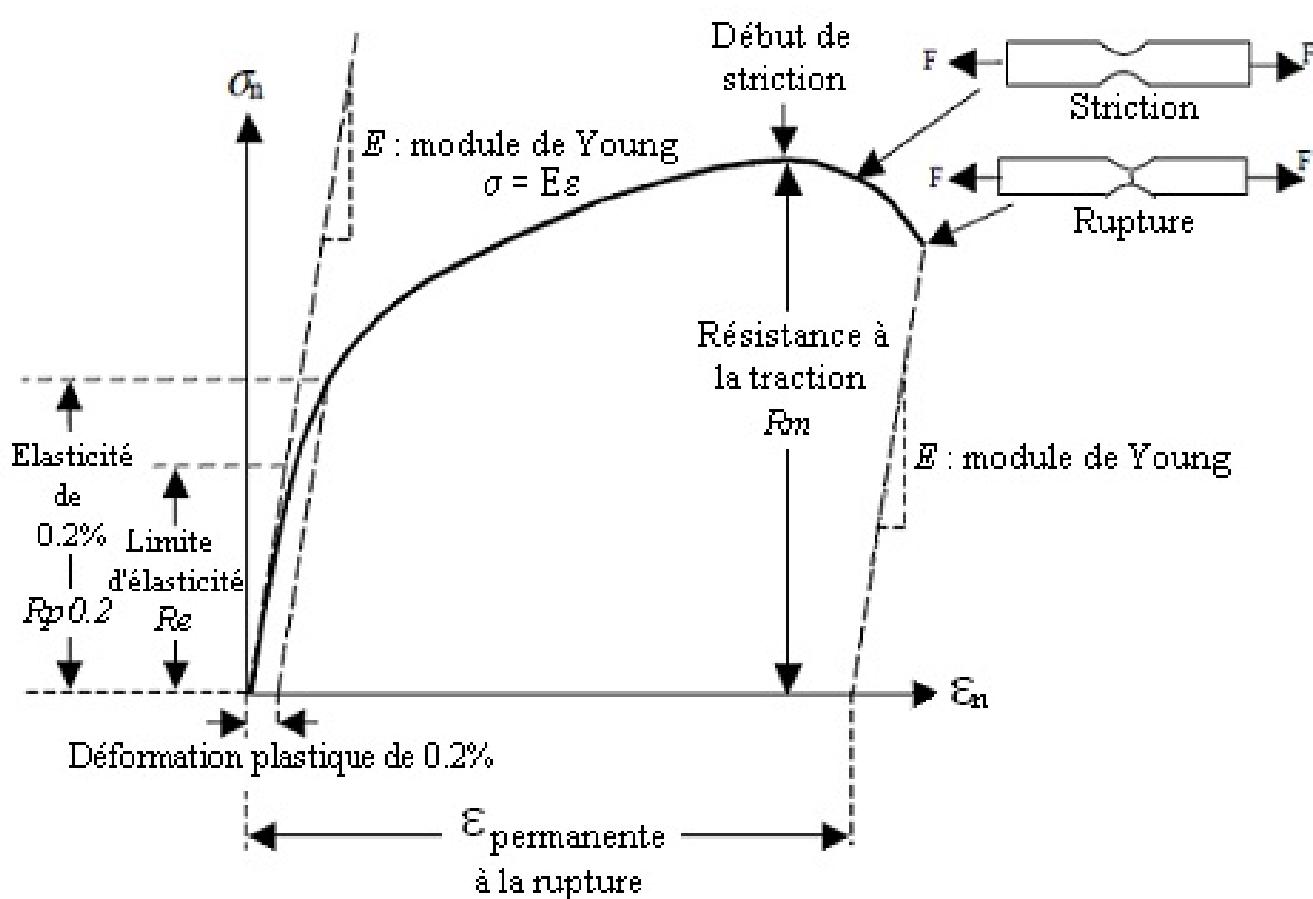
<http://www.youtube.com/watch?v=CkSsRLUeRQI>

Composite:

<http://www.youtube.com/watch?v=j6sOz1OYYqA&list=PLD08515BBDDFE091E&index=13>

<http://www.youtube.com/watch?v=Ij3lg7jv6pg&list=PLD08515BBDDFE091E&index=12>

4.3. Rappel sur la Traction



σ = Contrainte (MPa=N/mm²)

E = Module d'élasticité longitudinal

ou Module d'Young (MPa=N/mm²)

ε = Déformation (adimensionnel)

F = Charge (N)

S = Surface de charge (mm²)

$\Delta L = L - L_0$ = Allongement (mm)

R_m ou R_r = Résistance à la rupture (MPa)

R_e = Limite élastique (MPa)

R_{p0.2} ou R_{e0.2} = Limite élastique à déformation plastique de 0.2% (MPa)

$$\sigma = \frac{F}{S} = E \times \varepsilon$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

σ = Contrainte (MPa=N/mm²)

E = Module d'élasticité longitudinal

ou Module d'Young (MPa=N/mm²)

ε = Déformation (adimensionnel)

F = Charge (N)

S = Surface de charge (mm²)

ΔL = L – L₀ = Allongement (mm)

$$\tau = \frac{F}{A} = G \times \theta$$

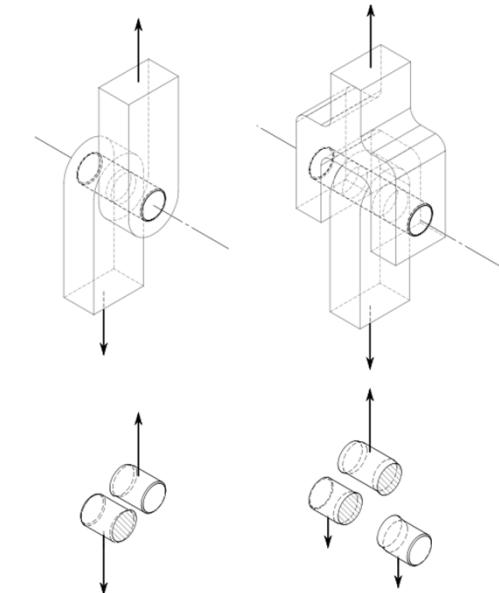
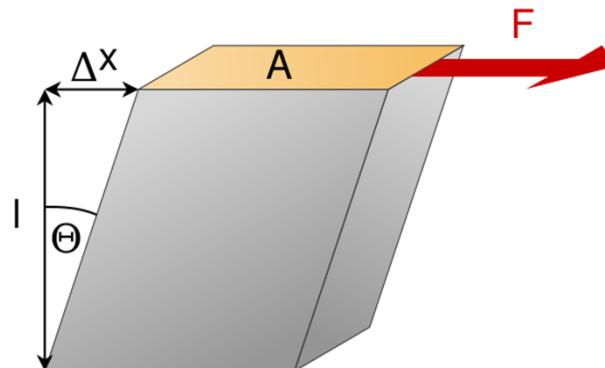
$$\theta = \frac{\Delta x}{l}$$

G = Module d'élasticité transversal ou de cisaillement
(MPa=N/mm²)

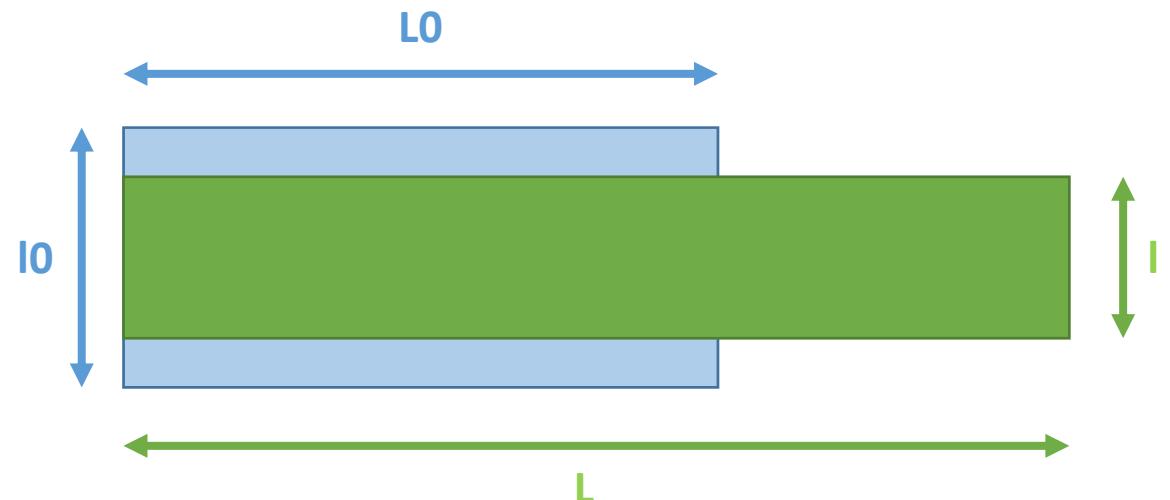
Θ = Variation de l'angle droit (rad)

F = Charge (N)

A = Surface de charge (mm²)



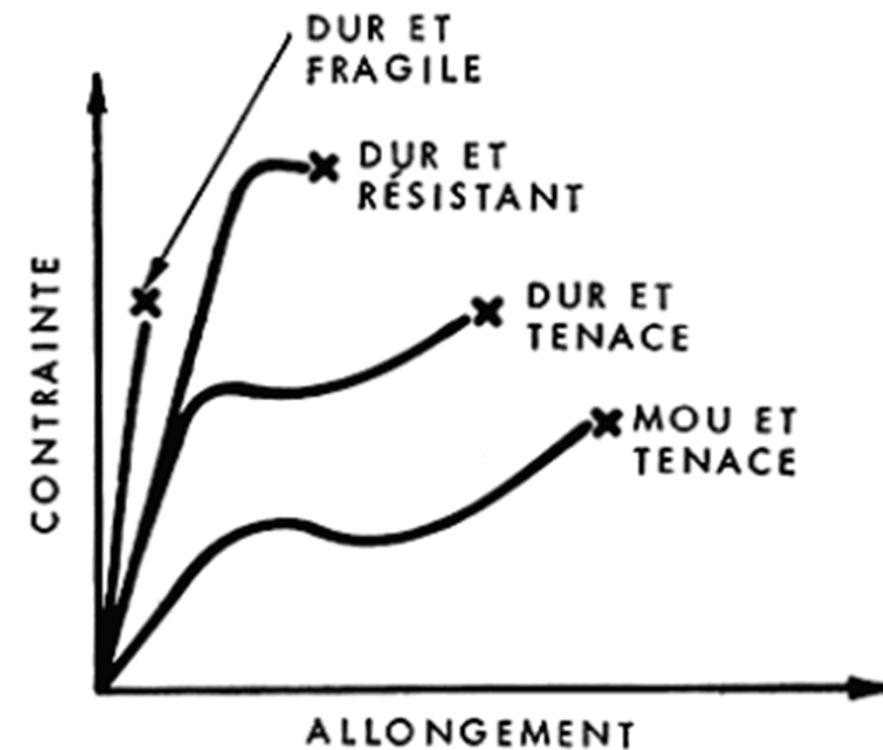
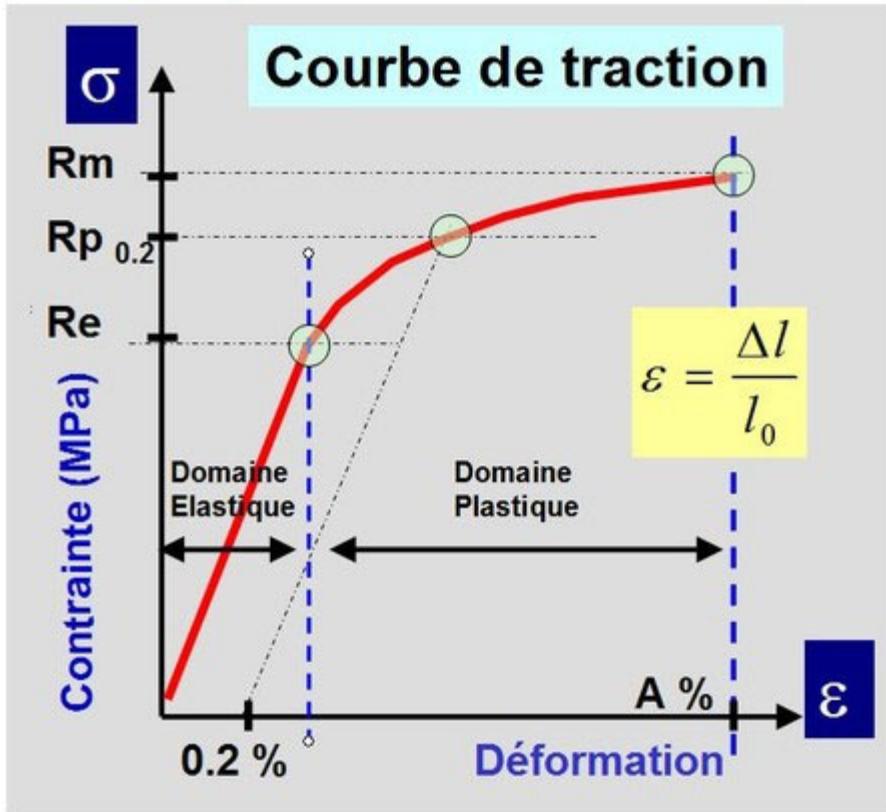
$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$



E = Module d'élasticité longitudinal
ou Module d'Young ($\text{MPa}=\text{N}/\text{mm}^2$)
 G = Module d'élasticité transversale
ou de cisaillement, de glissement ($\text{MPa}=\text{N}/\text{mm}^2$)
 ν = Coefficient de Poisson (adimensionnel)
=0.3-0.31 pour acier inox

$$\nu = -\frac{(l - l_0)/l_0}{(L - L_0)/L_0}$$

Contraction transversale
= *Allongement axial*



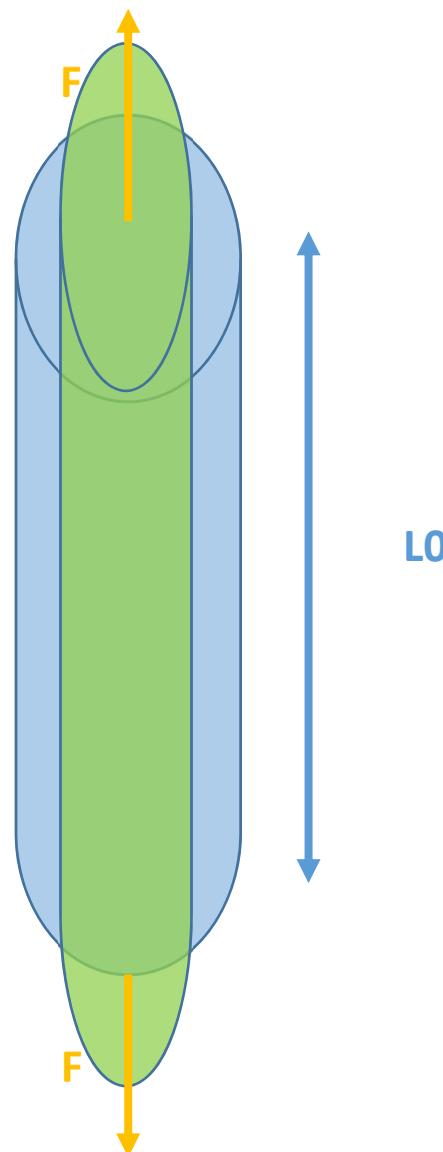
Similitude avec le ressort:

$$\sigma = \frac{F}{S} = E \times \varepsilon$$

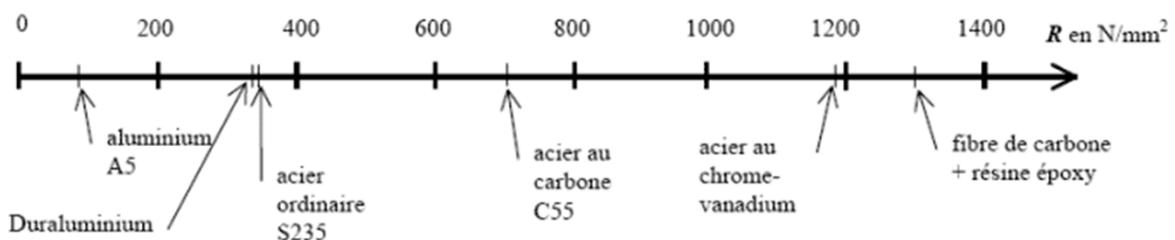
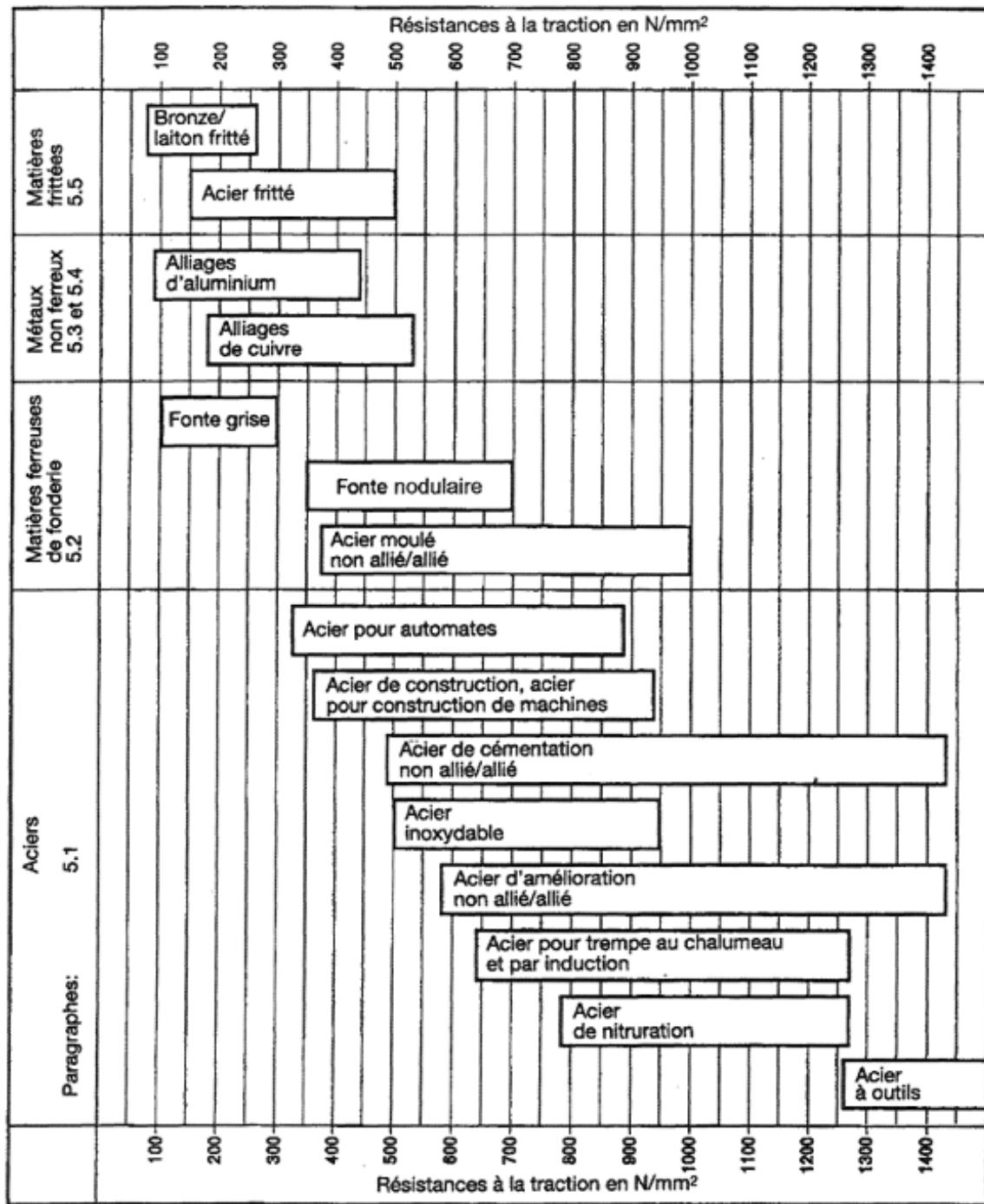
$$F = E \times \varepsilon \times S = E \frac{\Delta L}{L_0} S = K \Delta L$$

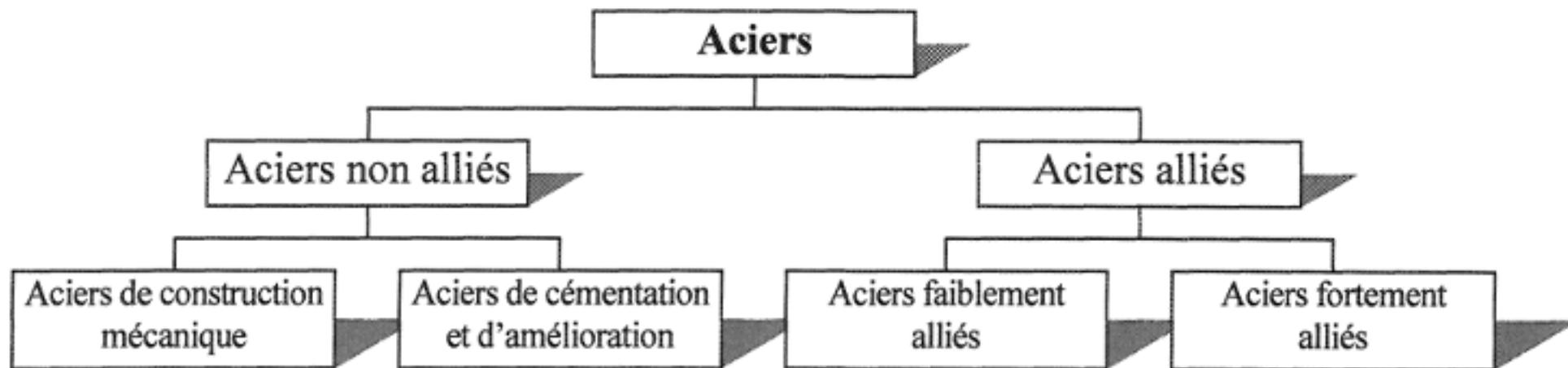
$$K = \frac{ES}{L_0}$$

Raideur d'un ressort idéal



4.3. Résistance à la Traction





E 235
Résistance élastique
à la traction
 235 N/mm^2

C45
Teneur en C :
0.45%

42CrMo4
Composition :
0.42% C
1% Cr

X5CrNi 18-9
Préfixe X
caractéristique
0.05% C
18% Cr
9% Ni

E : Ac. de construction mécanique

S : Ac. de construction

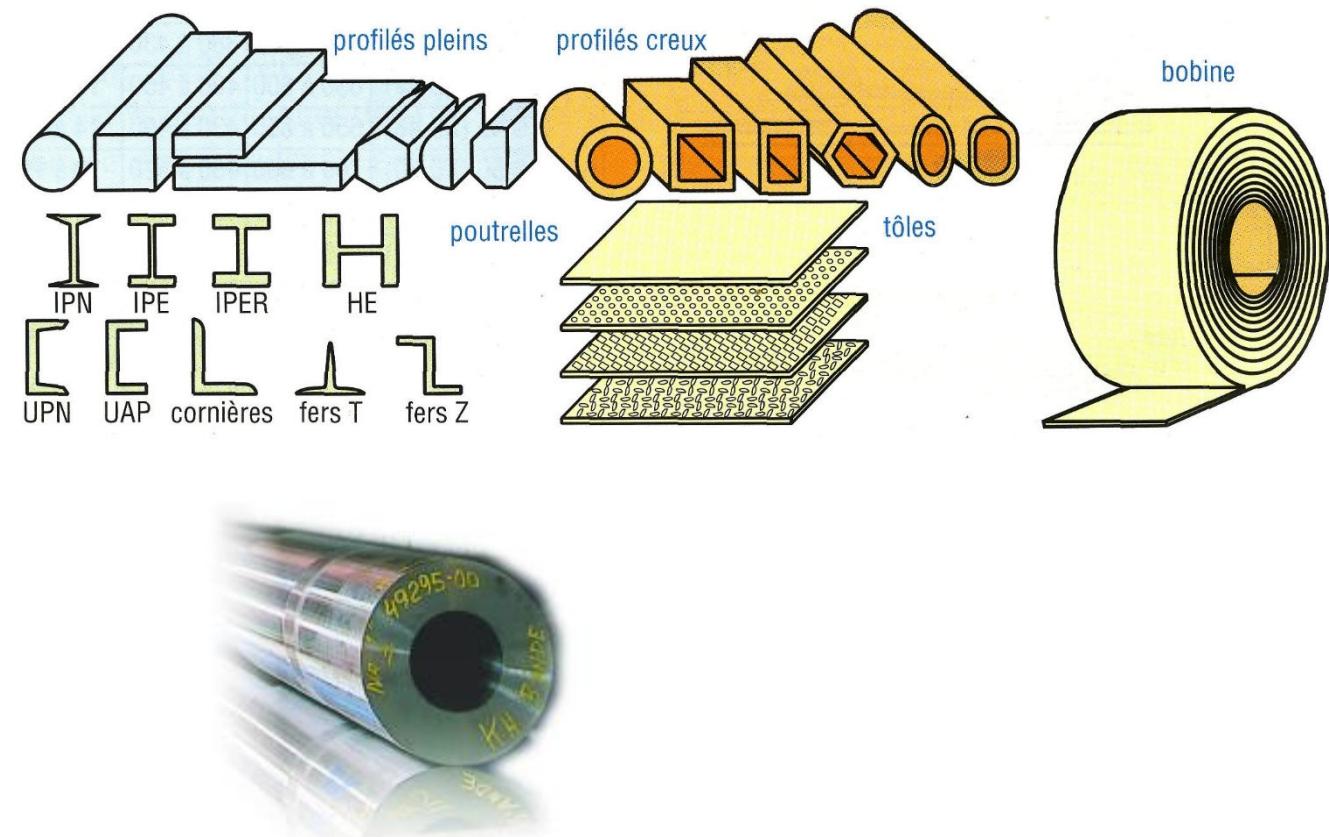
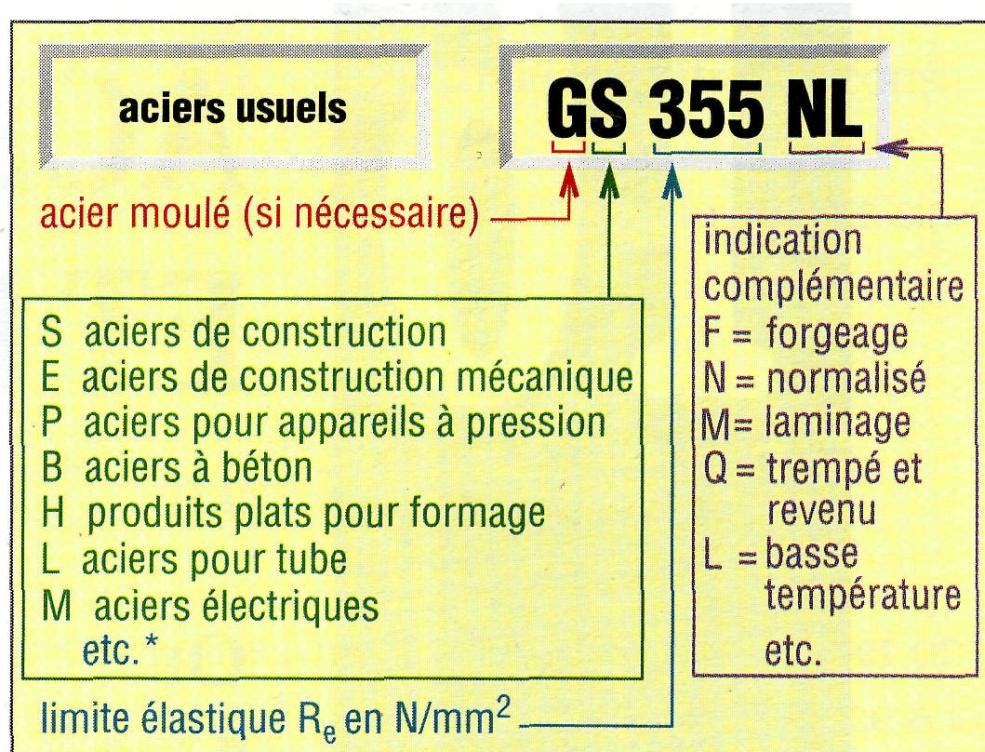
E 235 : Re = 235 N/mm^2

G : Pour l'acier coulé, la lettre G précède la désignation symbolique

X : Acier fortement allié, teneur moyenne d'un des éléments d'alliage d'au moins 5%

Aciers non alliés: aucun élément d'alliage > 0.6% sauf Mn

Aciers non alliés d'usage général:



Principaux aciers non alliés (1 Mpa = 1 N/mm ²)				
nuances normalisées	R _r MPa	R _e MPa	A %	KV (J) mini
acières de construction				
S 185 (A 33)	290 à 540	175 à 185	8 à 18	
S 235 (E 24)	320 à 510	175 à 235	15 à 26	23 à 27
S 275 (E 28)	380 à 580	205 à 275	12 à 22	23 à 27
S 355 (E 36)	450 à 680	275 à 355	12 à 22	23 à 40
acières de construction mécanique				
E 295 (A 50)	440 à 660	225 à 295	10 à 20	27 à 39
E 335 (A 60)	540 à 770	255 à 335	6 à 16	27 à 39
E 360 (A 70)	640 à 900	285 à 360	3 à 11	27 à 39
pour cémentation				
C 20C (XC 18)	470 à 650	290 à 340	20 à 22	50
pour trempe + revenu et pour forgeage				
C 25 (XC 25)	500 à 700	320 à 370	19 à 21	45
C 30 (XC 30)	550 à 750	350 à 400	18 à 20	40
C 35 (XC 38)	600 à 780	380 à 430	17 à 19	35
C 40 (XC 42)	630 à 800	400 à 460	16 à 18	30
C 45 (XC 48)	650 à 850	430 à 490	14 à 16	25
C 50 (XC 50)	700 à 900	460 à 520	13 à 15	—
C 55 (XC 55)	750 à 950	490 à 550	12 à 14	—
C 60 (XC 60)	800 à 990	520 à 580	11 à 13	—
pour trempe superficielle				
C 40 (XC 42 TS)	dureté de la couche trempée ≈ 55 HR _c			

Aciers non alliés spéciaux (Type C) :

Destinés aux traitements thermiques (trempe, revenu, cémentation)

Composition plus précise

Plus grande pureté

Eléments d'alliage en plus faible quantité

Faible teneur en carbone (<0.3%)

Teneur moyenne en carbone (0.3% à 0.5%)

Haute teneur en carbone (>0.3%)

Applications: pièces forgées, ressorts, lames, forets, ...

Exemple: GC35 = G acier moulé, type C, 0.35% de carbone

Aciers faiblement alliés: aucun élément d'alliage >5% ($Mn \geq 1\%$)

Aciers haute résistance, en l'état, avec traitement

aciers faiblement alliés			
G 35 NiCr Mo 16 ..			
acier moulé (si nécessaire)			
% de carbone multiplié par 100			
principaux éléments d'addition (dans l'ordre)			
teneur en % des éléments d'addition (même ordre)			
X4	X10	X100	X1000
Cr, Co Mn, Ni Si, W	Al, Be, Cu Mo, Nb, Pb Ta, Ti, V, Zr	Ce, N P, S	B

Aciers de cémentation <0.2% Carbone

Aciers pour trempe dans la masse

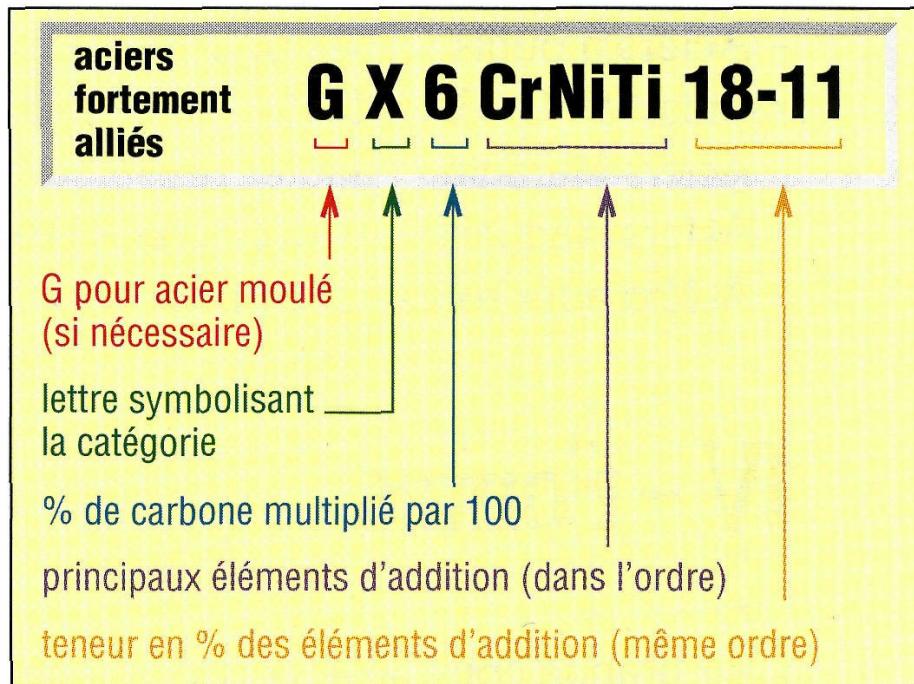
G35 NiCr Mo 16 : Moulé, 0.35% Carbone,
 $16/4 = 4\%$ Nickel, traces < 1% de Chrome et
Molybdène



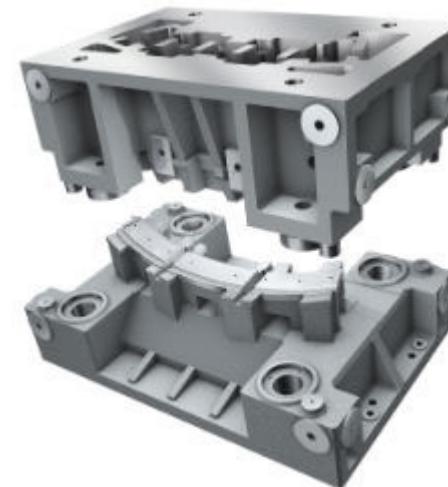
Aciers fortement alliés:

Aciers à usages particuliers (résistance à la corrosion, mécanique, ...)

Au moins un élément >5% en masse



$\text{GX6CrNiTi18-11} = \text{G moulé}, \frac{6}{100}=0.06\% \text{ Carbone}, 18\% \text{ Chrome}, 11\% \text{ Nickel}, \text{Titane} < 1\%$



Aciers inoxydables austénitiques [Cr+Ni]:

les plus utilisés, les plus résistants à la corrosion ($\text{Ni} \geq 7\%$).

Tenue aux températures élevées, à l'écaillage ; ductilité; résilience ; faciles à forger et à souder ; usinabilité médiocre. Durcis par corroyage (écrouissage), pas par trempe. Dilatation élevée. Conductibilité thermique assez basse. Nombreuses nuances.

Applications: (chimie, alimentaire, transports, nucléaire...): pièces embouties, chaudronnées, cuves, réservoirs, armatures, conduites, vannes, visserie,...

Aciers inoxydables ferritiques [au Cr]:

Ductiles, ne durcissent pas par trempe ($\text{C} < 0,08\%$) ni écrouissage ; faciles à étirer, former, plier, forger, rouler ($\text{Ni} < 1\%$) ; les moins résistants à la corrosion. Les plus économiques, usinabilité médiocre, soudabilité moyenne ; peu résilients et faible résistance à la rupture sous températures élevées.

Applications : équipements ménagers, décoration intérieure, automobiles, mobilier...

Aciers inoxydables martensitiques ($0,08 \leq C \leq 1\%$):

Résistance aux chocs, durcissent par trempe, soudables à chaud, faciles à forger, bonne usinabilité, bonnes caractéristiques mécaniques à température élevée (Ni < 7 %), résistent moins à la corrosion

Aciers inoxydables à durcissement par précipitation:

comme les martensitiques, plus résistants à la corrosion et mécaniquement (après trempe)

Grande coulabilité pour mouler des formes complexes

2 à 4% de carbone : fragile, faible ductilité (déformation plastique possible mais faible)

EN-GJS-400-18	
prefixe	↑
fonte	↑
L : lamellaire	↑
S : sphéroïdale	↑
MW : malléable à cœur blanc	A%
MB : malléable à cœur noir	
V : vermiculaire	
N : sans graphite	
Y : structure spéciale	

Principales fontes					
désignation normalisée	R _e (daN/mm ²)	R _r (daN/mm ²)	E (GPa)	HBW dureté	A%
fontes à graphite lamellaire					
EN-GJL 150	10	15	80	160	0,8
EN-GJL 200	13	20	100	190	à
EN-GJL 250	17	25	110	210	0,3
EN-GJL 300	20	30	120	230	↓
EN-GJL 350	23	35	130	260	
EN-GJL 400	26	40	140	290	↓
fontes à graphite sphéroïdal					
EN-GJS 400-15	25	40	165	170	15
EN-GJS 500-7	32	50	↑	210	7
EN-GJS 600-3	37	60	168	230	3
EN-GJS 700-2	42	70	↓	260	2
EN-GJS 800-2	48	80	↓	300	2
EN-GJS 900-2	60	90	170	330	2
cœur blanc EN-					
GJMW 360-12	19	38	↑	200	12
GJMW 400-15	22	40	↑	220	5
GJMW 450-7	26	45	↑	220	7
cœur noir EN-					
GJMB 350-10	20	35	↑	150	10
GJMB 450-6	27	45	170	180	6
GJMB 550-4	34	55	↑	210	4
GJMB 650-2	43	65	↓	240	2
GJMB 800-1	60	80	↓	300	1

et soudabilité

Economiques, plus courantes, bonnes coulabilité, usinabilité ; résistance en compression et capacités d'amortissement des vibrations.

Bâts machine, supports, carters, blocs moteur

Ductilité, résilience et usinabilité.

Vilebrequins, arbres transmission, pièces de voirie, tuyauterie

Propriétés mécaniques voisines de l'acier.
Moulables en faibles épaisseurs, usinabilité.

Fonte blanche: dures, fragiles, résistances aux frottements et températures élevées

Pièces résistantes à l'usure par abrasion.

Fonte alliées: tous types + éléments d'addition

Fontes alliées					
	éléments d'addition	matrice	HB	A%	propriétés caractéristiques
GJL ou GJS	Ni - Mo (Cr)	bainite	250 350	1-2	résistance mécanique
	Ni - Cr (Mo)	martensite	350 500	< 1	résistance à l'usure capacité d'amortissement
	Ni-Si ou Ni-Si (Cr)	austénite	120 250	12-25	résilience résistance aux hautes et basses températures
	Si ou Si - Mo	ferrite	180 340	1-10	résistance à l'oxydation et déformations à T °C ↗
GJN («FB»)	Ni - Cr ou Cr (11 à 28 %)	carbures martensite austénite	450 800	-	résistance à l'abrasion et à l'oxydation
	Cr (28 à 34 %)	ferrite	200 500	-	résistance aux températures élevées et à la corrosion

4.4. Influence des Eléments d'Alliage

Eléments d'alliages	Influence
Soufre [S] Msp: $2.3 \cdot 10^3 \text{kg/m}^3$ Pf: 1410°C	Facilite l'usinage Augmente la fragilité à chaud Diminue la fluidité
Plomb [Ph]	Facilite l'usinage (Ac. pour automates)
Phosphore[P]	Augmente la résistance à la corrosion Augmente la résistance à chaud Augmente la fluidité Augmente la fragilité à froid Diminue la résistance aux chocs
Silicium [Si] Msp: $7.2 \cdot 10^3 \text{kg/m}^3$ Pf: 1241°C	Augmente la résistance (R_e, R_m) Augmente la trempabilité Diminue la soudabilité
Manganèse [Mn] Msp: $8.9 \cdot 10^3 \text{kg/m}^3$ Pf: 1453°C	Augmente la résistance au chocs Augmente la résistance à l'usure Augmente la résistance R_m Augmente la trempabilité Diminue l'usinabilité
Nickel [Ni] Msp: $8.9 \cdot 10^3 \text{kg/m}^3$ Pf: 1900°C	Augmente la résistance à la fatigue Augmente la résilience Augmente la résistance à la corrosion Augmente la trempabilité
Chrome [Cr] Msp: $7.1 \cdot 10^3 \text{kg/m}^3$	Augmente la résistance R_m Augmente la résistance à l'usure Augmente la résistance à la corrosion Augmente la capacité de coupe Augmente la pénétration de trempe Diminue la déformation à la trempe

Molybdène [Mo] Msp: $10.2 \cdot 10^3 \text{kg/m}^3$ Pf: 2622°C	Augmente la résistance R_m Augmente la résistance à la fatigue Augmente la résistance au revenu Augmente l'insensibilité à la surchauffe Augmente la dureté Augmente la trempabilité Diminue la forgeabilité
Tungstène [W] Msp: $19.3 \cdot 10^3 \text{kg/m}^3$ Pf: 3380°C	Augmente la résistance à l'usure Augmente la résistance au revenu Augmente la dureté Augmente la capacité de coupe Augmente l'insensibilité à la surchauffe Augmente les qualités magnétiques
Vanadium [V] Msp: $5,96 \cdot 10^3 \text{kg/m}^3$ Pf: 1730°C	Augmente la résistance à chaud Augmente la résistance à la fatigue Augmente la résistance à l'usure Augmente la résistance aux chocs Augmente la limite élastique R_e Augmente la trempabilité Augmente la capacité de coupe Diminue la forgeabilité
Cobalt [Co] Msp: $8,9 \cdot 10^3 \text{kg/m}^3$ Pf: 1492°C	Augmente la perméabilité magnétique

Acier classique: Fer + Carbone diphasique à température ambiante

But des traitements: Dissoudre carbone dans matrice pour obtenir l'acier voulu

Revenu: Chauffage de 150C à 600C, refroidissement + ou - lent
Diminue fragilité, résistances à la rupture, élastique, dureté

Trempe: Chauffage à 800-900C, refroidissement brusque
Acier très dur, résistant à l'usure mais fragile

Amélioration: Trempe et revenu

Recuit de

Normalisation: Structure d'un matériau forgé ou matricé

Recuit doux: Chauffage à 700C, refroidissement lent au four (25-30C/h)

Elimine tensions internes en déformation: évite fissures

Cémentation: Avant trempe et rectification, carburation de surface (0.05-1mm)

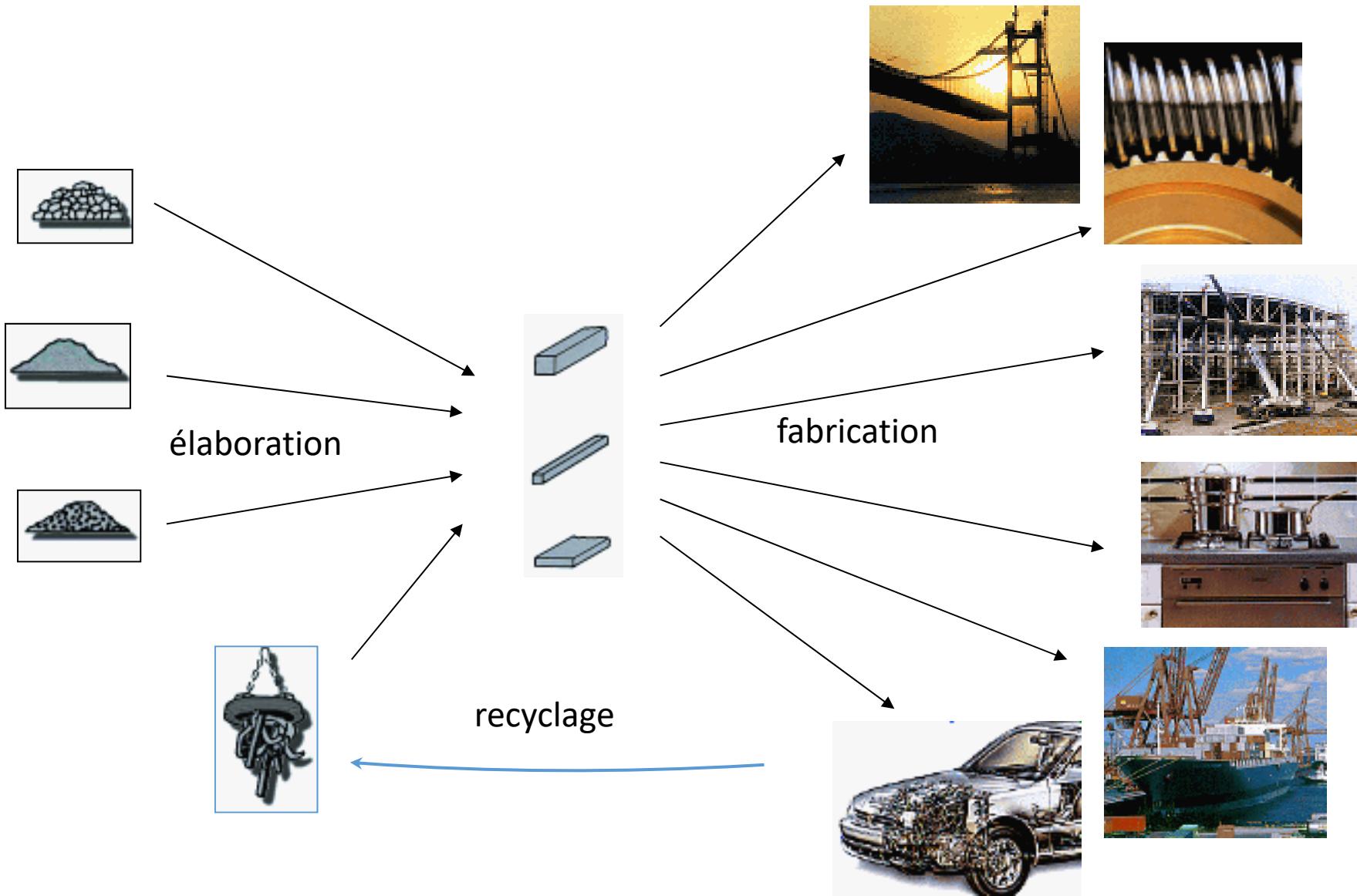
Grande ténacité (moins fragile), dureté superficielle 700HV

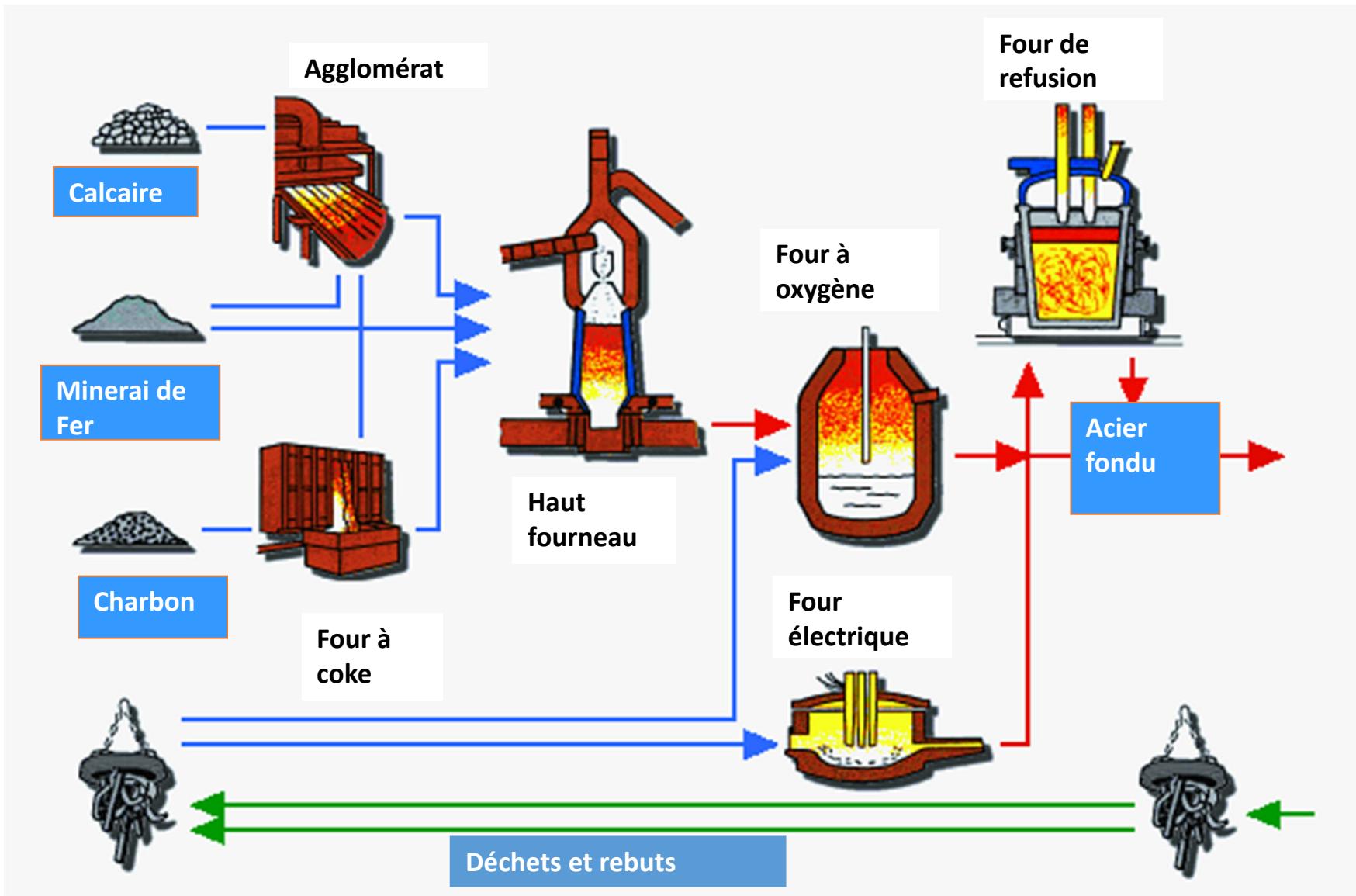
Nitruration: Apres trempe, absorption d'azote à 550C avant rectification

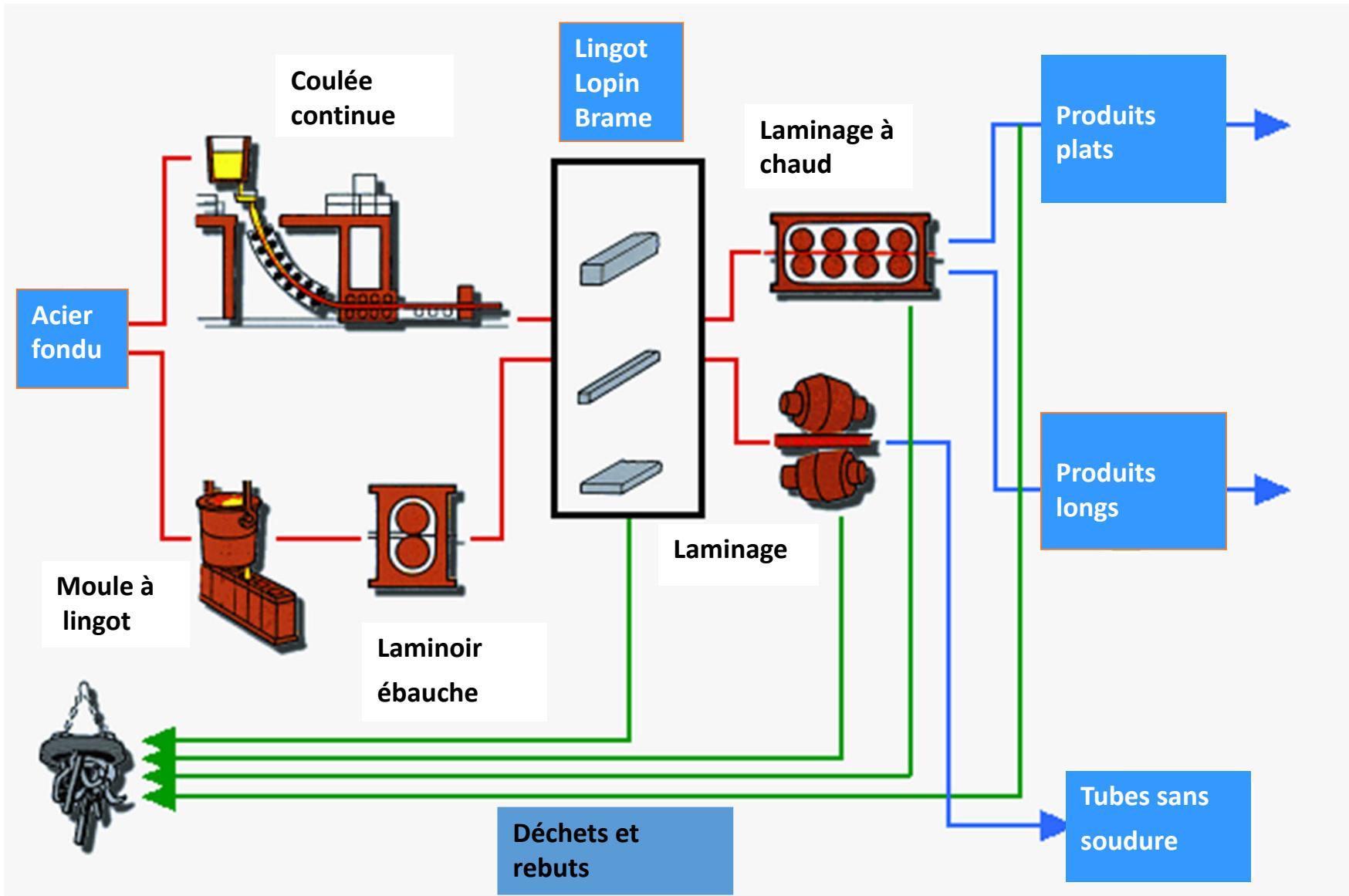
Nitruration de fer de surface (0.2-0.8mm)

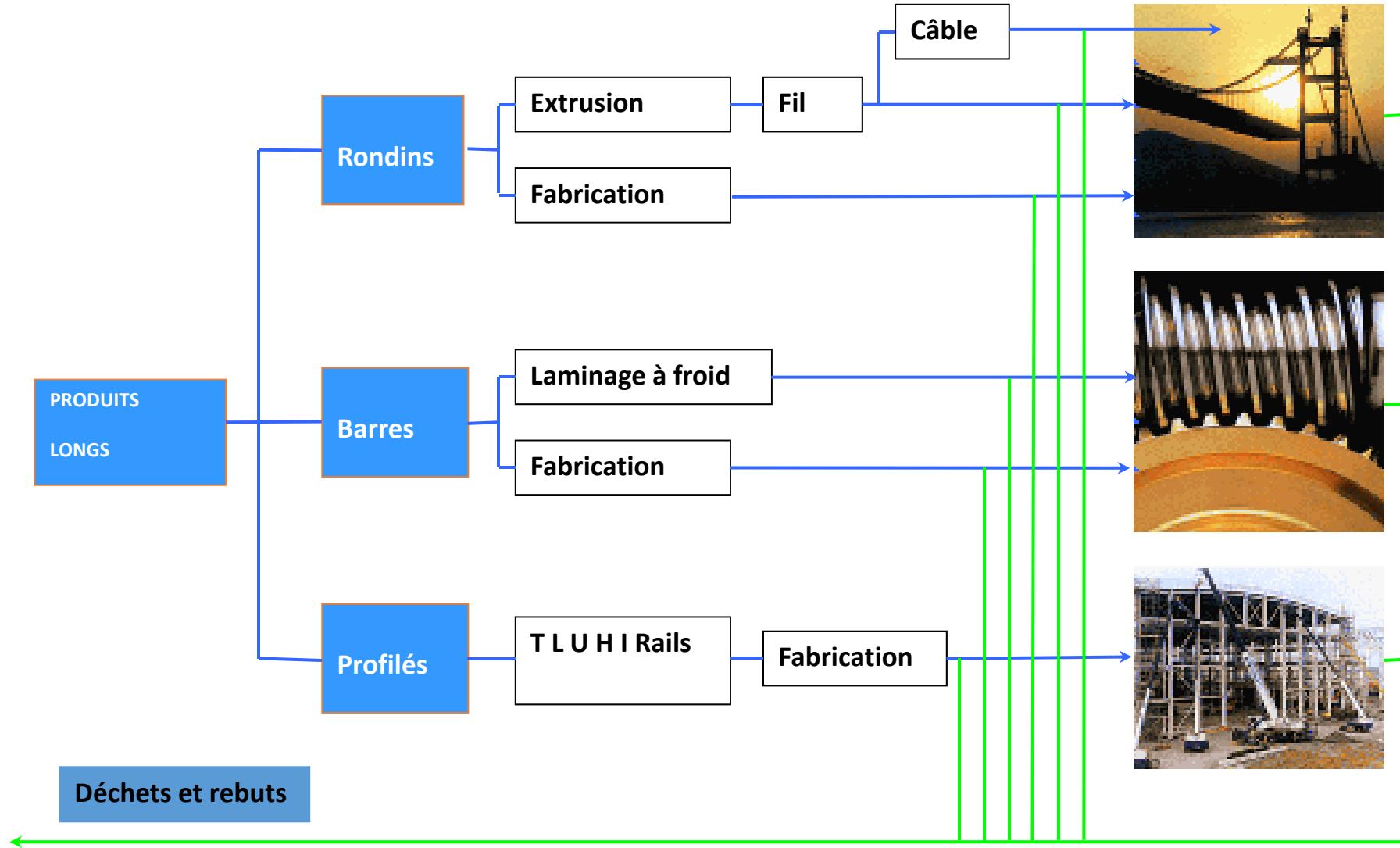
Dureté > 1200HV, résistance fatigue et corrosion inoxydables (Mo, Al)

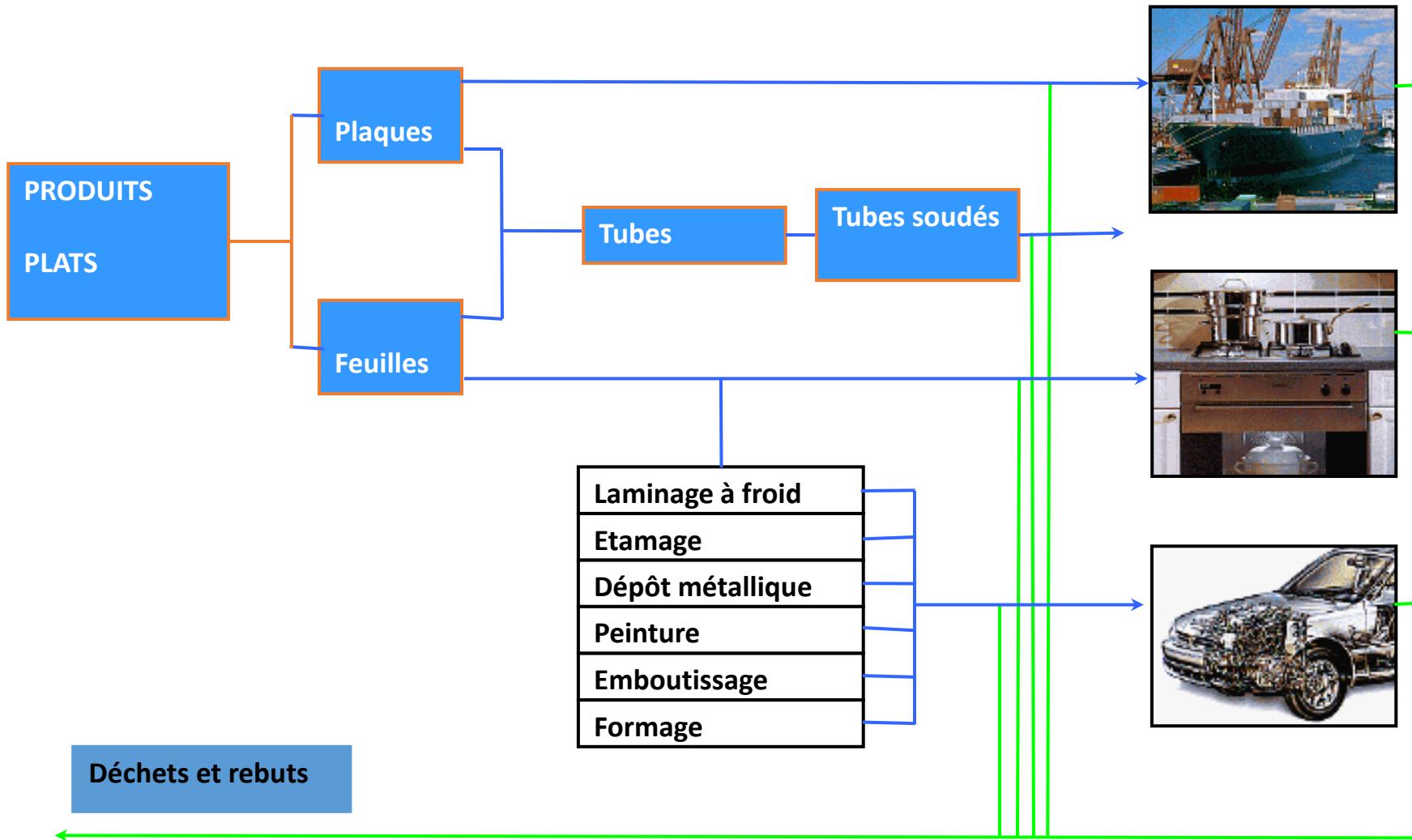
Trempe superficielle: Augmentation dureté superficielle par trempe au chalumeau, immersion, induction



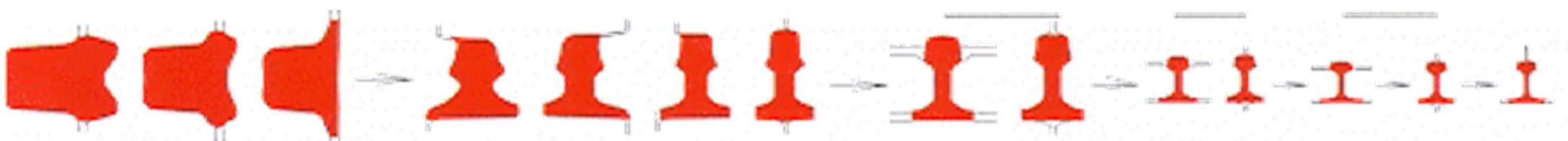
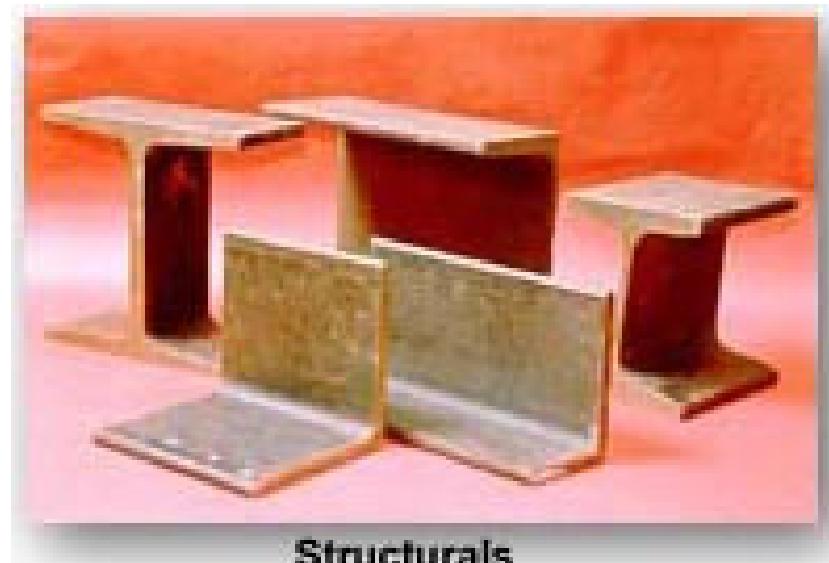
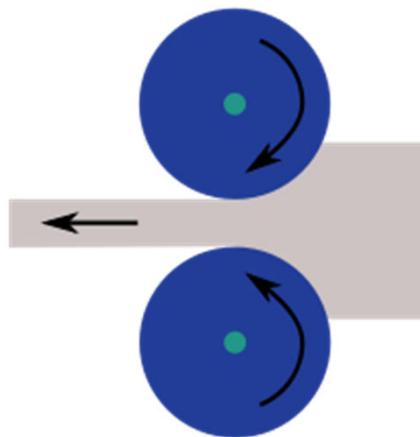
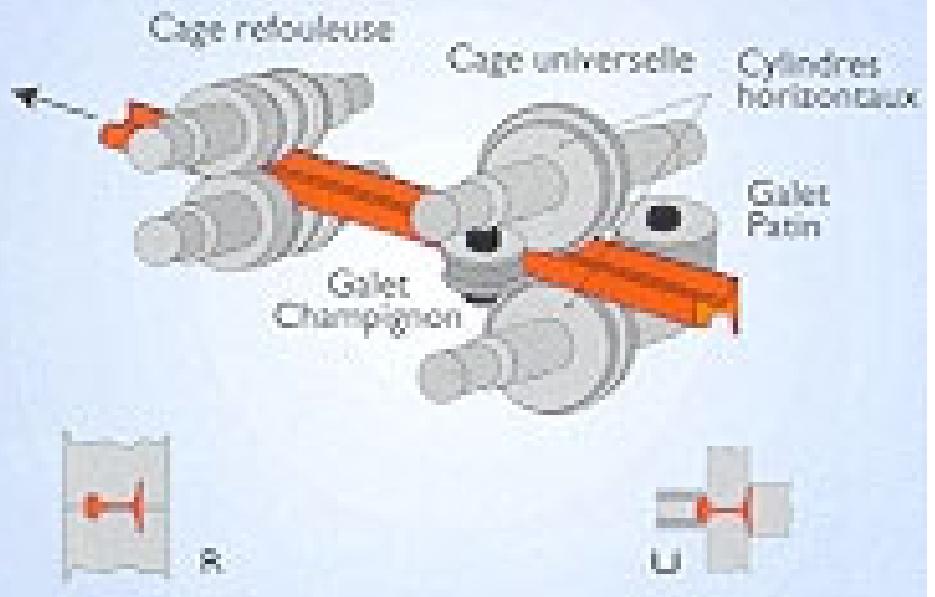






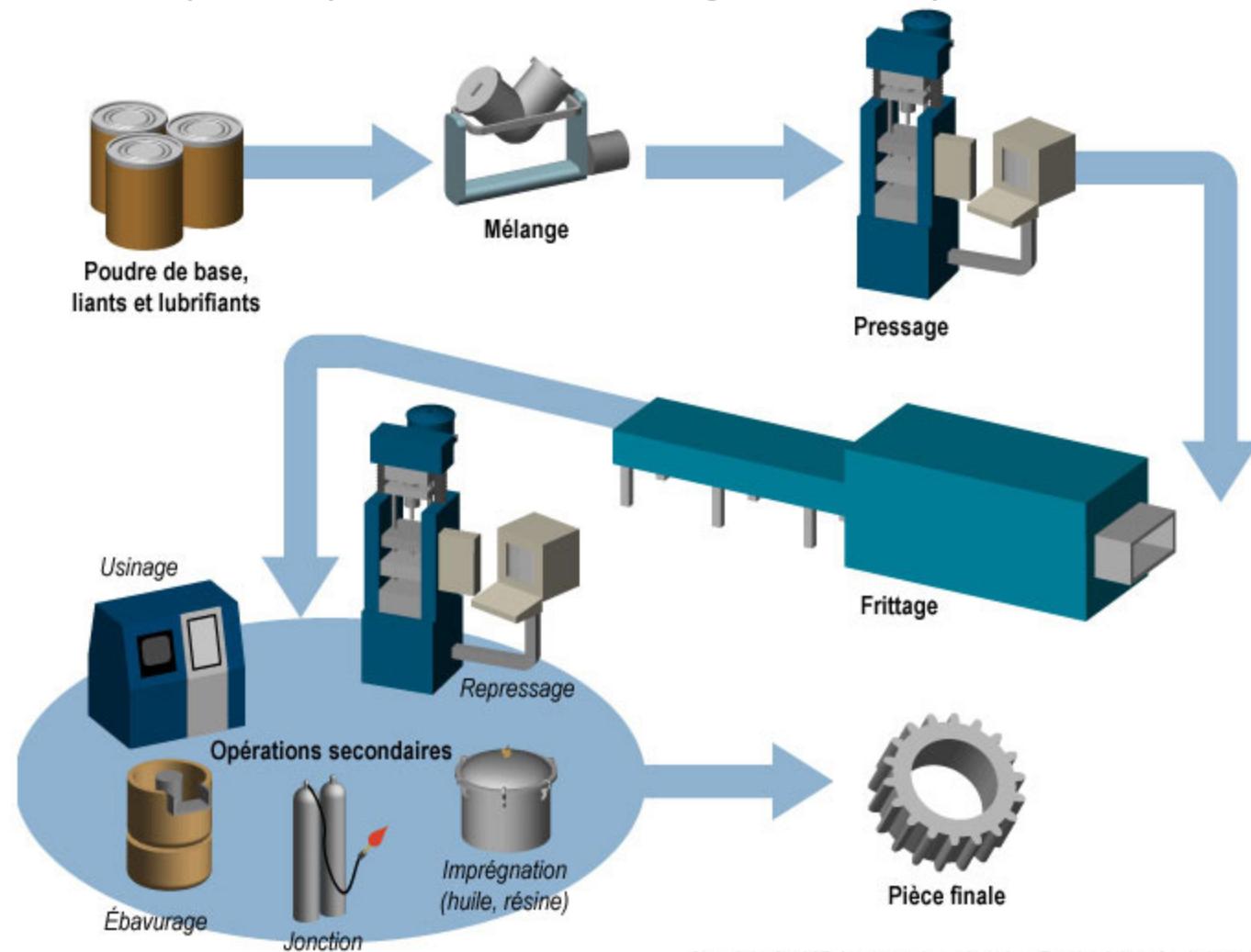


Principe du laminage universel



<https://www.youtube.com/watch?v=v6Y4Ce5aeXQ>

Frittage = procédé de fabrication de pièces par chauffage de poudre sans fusion.
Cohésion de la pièce par soudure de grains de poudre entre eux



<http://www.youtube.com/watch?v=SufKCjYRqh4>

6 grandes familles d'alliages:

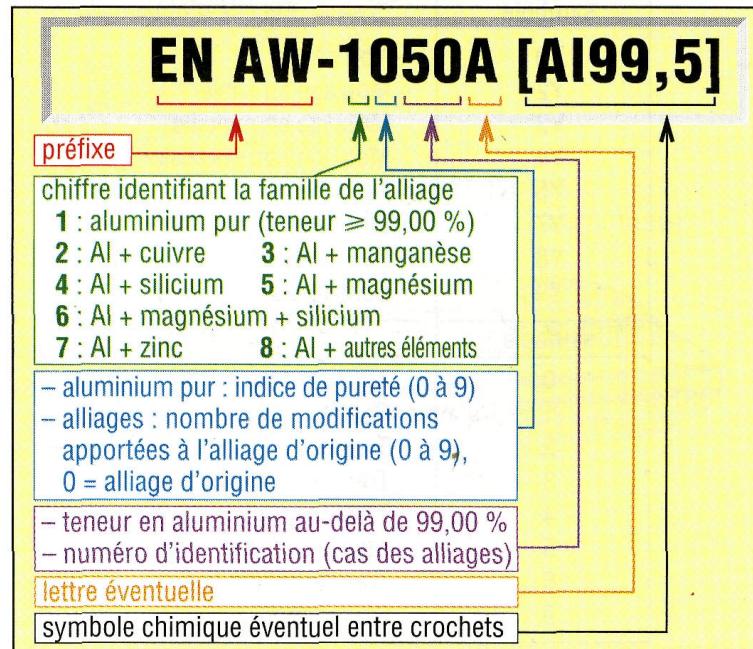
- Aluminium
- Cuivre
- Magnésium
- Zinc
- Titane
- Nickel

Caractéristiques:

- Bas point de fusion ($\sim 658^\circ\text{C}$)
- Ductilité élevée
- Léger : (2700kg/m^3)
- Bonnes conductibilités électrique, thermique
- Coefficient de dilatation thermique 1.5x aciers
- Réfléchissant
- Bon rapport résistance/poids (aéronautique, transports,...)
- Résistant à la corrosion (oxyde protectrice en surface)
- Inconvénients: faibles résistances à l'usure et fatigue

Alliages d'aluminium corroyés:

- Déformés à chaud (corroyage) par forgeage, laminage, filage
- Barres, profilés, tôles, ...



Exemple: EN AW-5086 [Al Mg 4] = alliage d'aluminium A, corroyé W, 4% magnésium

nuances			état métallurgique	caractéristiques mécaniques				résistance à la corrosion	aptitude à l'anodisation	soudabilité à l'arc	soudabilité aux gaz + brasage	usinabilité	aptitude au travail à froid	exemples d'emploi
				R _r mini (daN/mm ²)	R _e mini (daN/mm ²)	A% maxi	E (daN/mm ²)							
sans traitements thermiques (sans durcissement structural)	aluminium pur	EN AW-1050A[Al 99,5] (1050A)	0	6,5	2	35	6 700	++	+++	+++	+++	-	+++	① ③ ⑤ ⑨
			H14	10,5	8,5	6						à	+	
			H18	14	12	2						+		
	Al + Mn	EN AW-1070A[Al 99,7] EN AW-1080A[Al 99,8] (1070A et 1080A)	0	6	1,5	35		++	+++	+++	+++	-	+++	① ⑤ ⑨
			H14	10	7	7						à	+	
			H18	12,5	10,5	2						+		
	Al + magnésium	EN AW-1100[Al 99,0Cu] EN AW-1200[Al 99,0] (1100 et 1200)	0	7,5	2,5	33		++	+++	+++	+++	-	+++	① ⑫
			H14	11,5	9,5	6						à	+	
			H18	15	13	2						+		
avec traitements thermiques (avec durcissement structural)	Al + cuivre	EN AW-2014[AlCu4SiMg] (2014)	0	22	14	16	7 400							② ⑦ ⑧
			T4	40	25	14						-	+	
			T6	44	39	7								
	Al + Si + Mg	EN AW-2017A[AlCu4MgSi] (2017)	0	22	14	13						-	++	② ④ ⑦ ⑧
			T4	39	25	15						+	++	
			T6	43	28	14						-	+	
	Al + zinc	EN AW-2024[AlCu4Mg1] (2024)	0	22	14	13						-	++	② ④ ⑧
			T4	43	28	14						+	++	
			T6	29	24	10								
avec traitements thermiques (avec durcissement structural)	Al + Si + Mg	EN AW-6061[AlMg1SiCu] (6061)	0	15	8,5	19	7 000							⑤ ⑦ ⑩ ⑪
			T4	21	11	18						++	+++	
			T6	29	24	10						+++	+++	
	Al + zinc	EN AW-6082[AlSi1MgMn] (6082)	0	15	8,5	19						+	++	⑤ ⑦ ⑩ ⑪
			T4	20,5	11	15						++	+++	
			T6	31	26	10						+	++	
	Al + zinc	EN AW-7020[AlZn4,5Mg1] (7020)	T4	32	21	14						++	++	② ⑥ ⑦
			T6	35	28	10						++	++	
			T6	54	46	8						+	++	
avec traitements thermiques (avec durcissement structural)	Al + zinc	EN AW-7075[AlZn5,5MgCu] (7075)	0	28	15	10						+	++	② ④ ⑧
			T6	54	46	8						+	++	
			T6	54	46	8						+	++	

(entre parenthèses : ancienne désignation) — R_r, R_e et A% varient avec la forme et l'épaisseur des profilés.

+++ : excellente

++ : bonne

+ : moyenne

- : faible

① : chaudronnerie, emboutissage

② : pièces forgées

③ : pièces filées : boîtes, aérosols ...

④ : boulonnnerie

⑤ : chimie, alimentaire

⑥ : bâtiment

⑦ : mécanique, transport

⑧ : aéronautique

⑨ : décoration

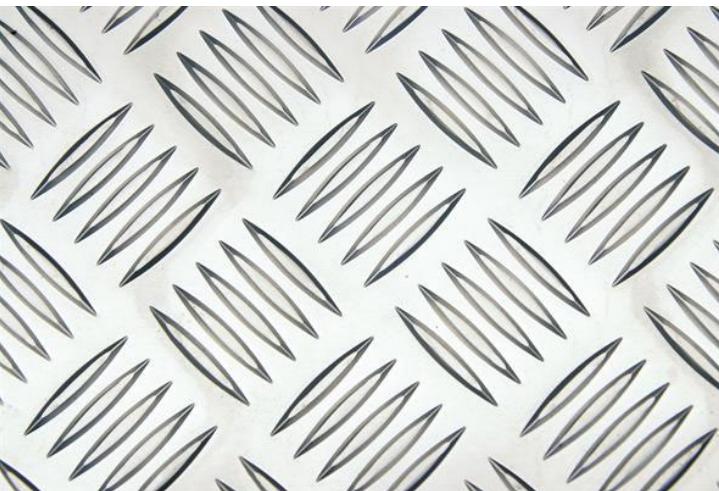
⑩ : marine

⑪ : emballage

⑫ : ustensiles de cuisine ...

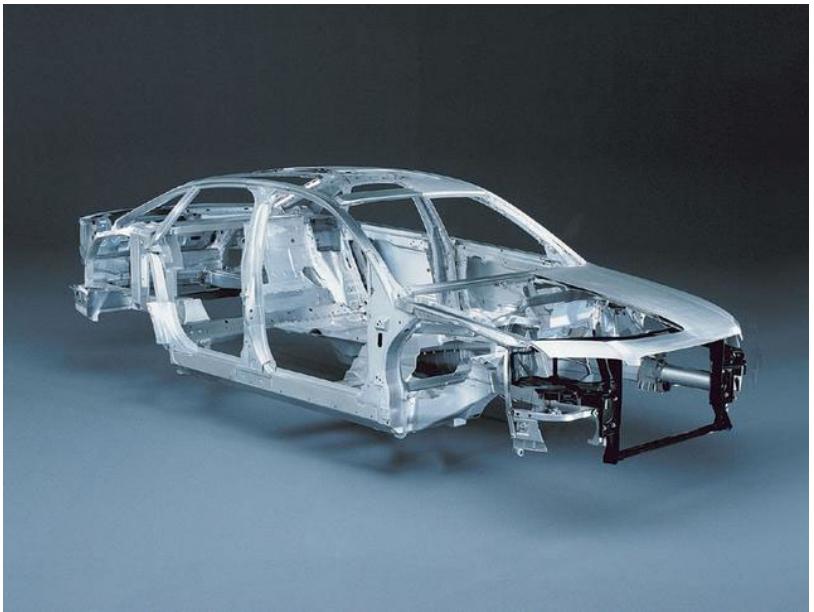


<http://www.meltech.co.uk/aluminium-material-future/>

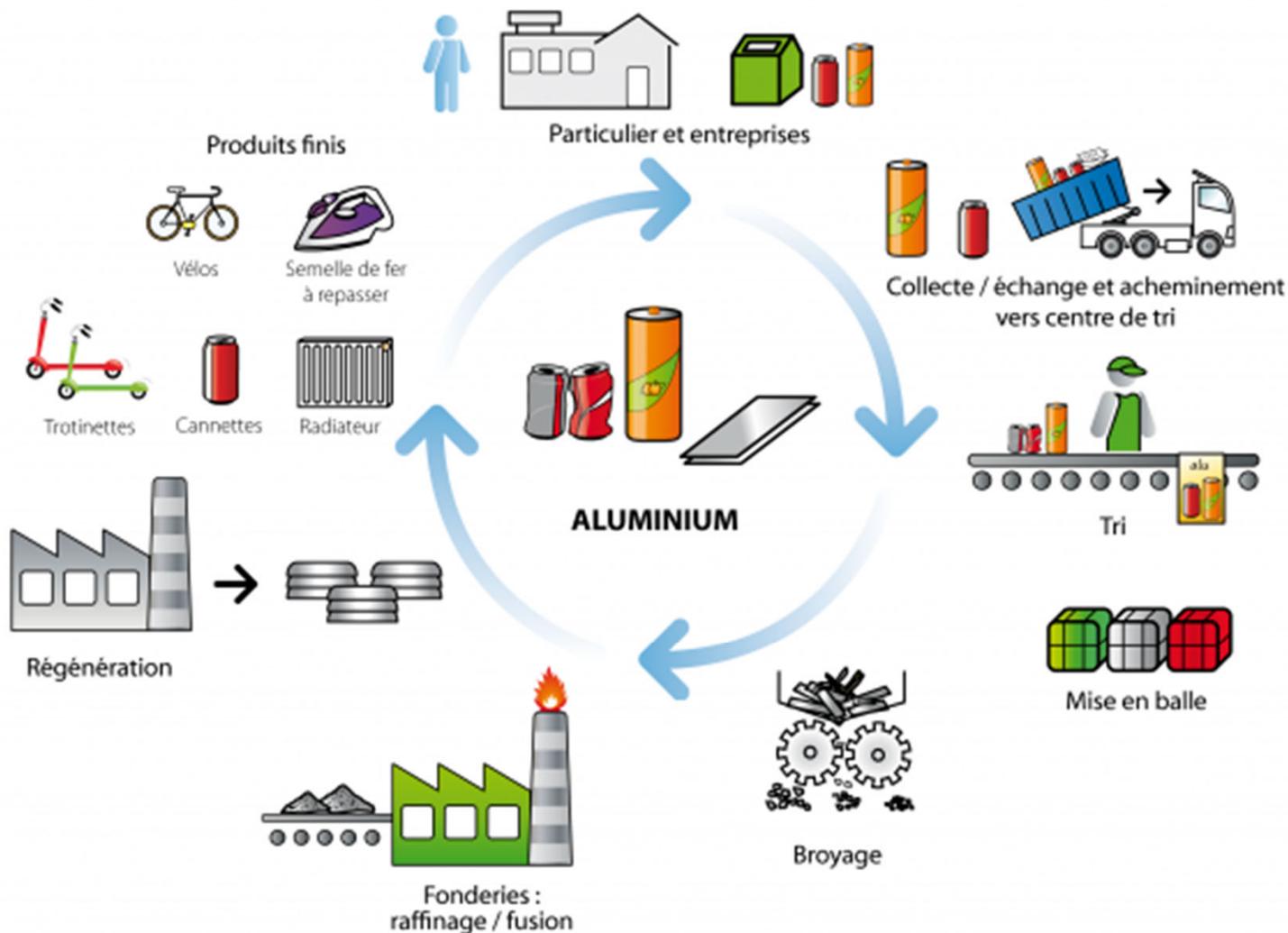


3004 avec Mn





Aéronautique:
60-75% alliages d'aluminium
5-10% alliages de titane
10-20% composites
7-15% aciers
Autres
Ex: EN AW 2024 avec Cu bonne ténacité et résistance à la propagation de fissures



Familles principales:

- Laiton (Cu+Zn)
- Bronzes (Cu+Sn)
- Cupronickels (Cu+Ni)
- Cupro-aluminums (Cu+Al)
- Maillechorts (Cu+Ni+Zn)



Maillechort

Caractéristiques:

Point de fusion ($\sim 1083^\circ\text{C}$)

Plus lourd que l'acier : (8900kg/m³)

Grandes conductibilités électrique, thermique

Bonne usinabilité

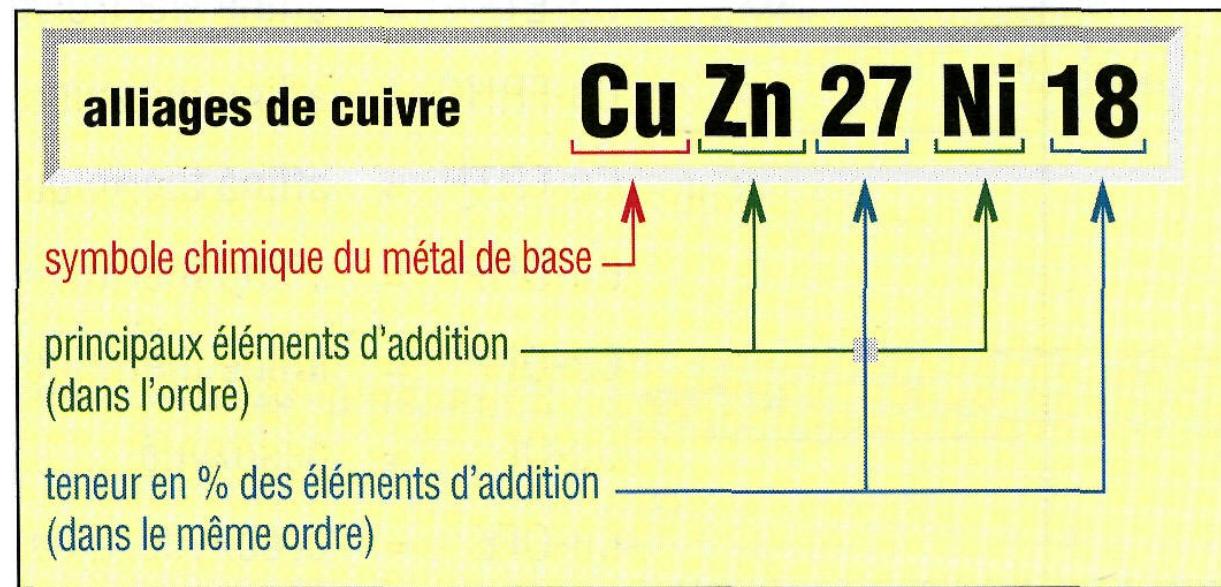
Ductilité élevée

Rouge ou jaune avec Zn

Grande résistance à la corrosion



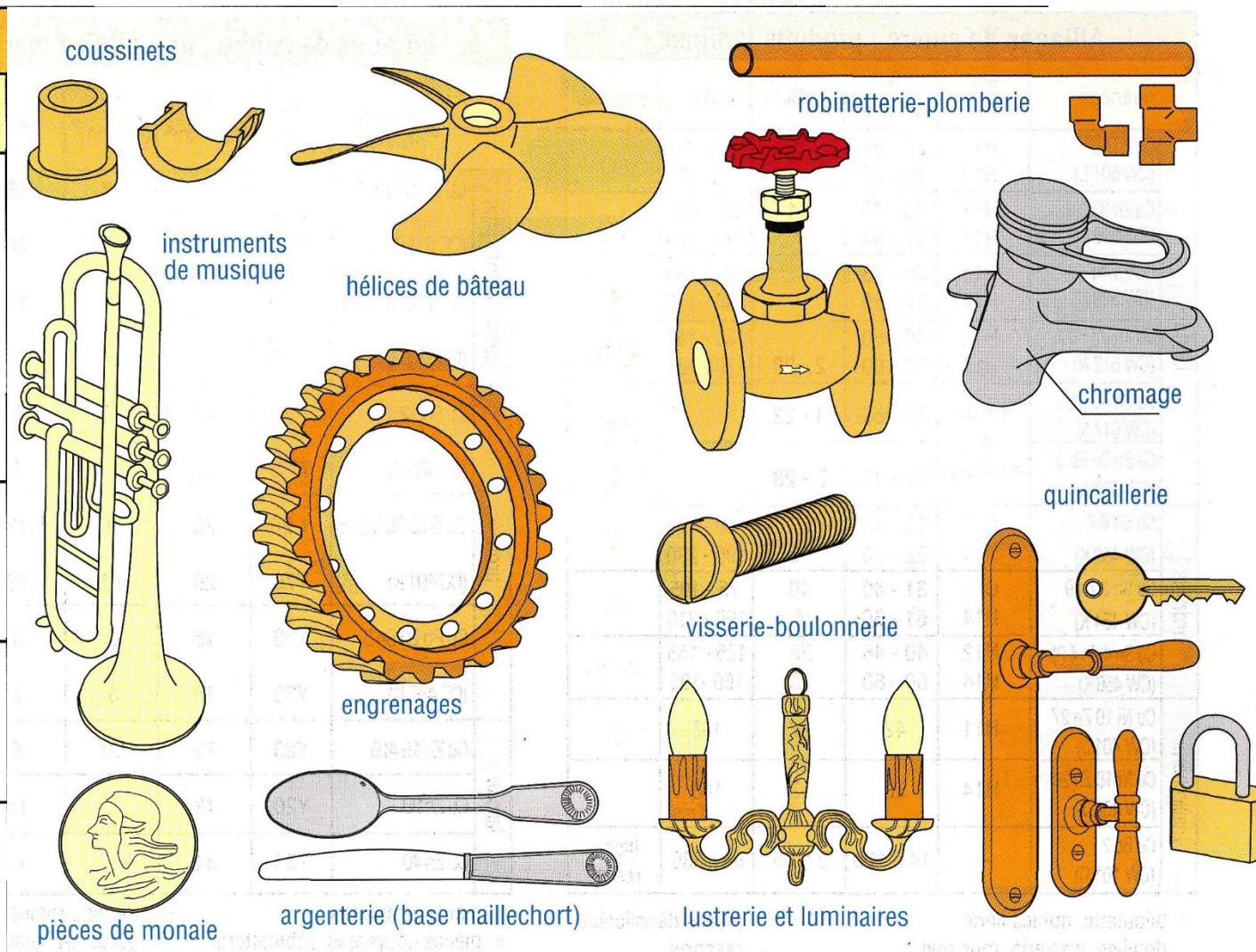
Cupronickel



Exemple: Cu Zn 27 Ni 18: Maillechorts ($\text{Cu}+\text{Ni}+\text{Zn}$), 27% zinc, 18% nickel

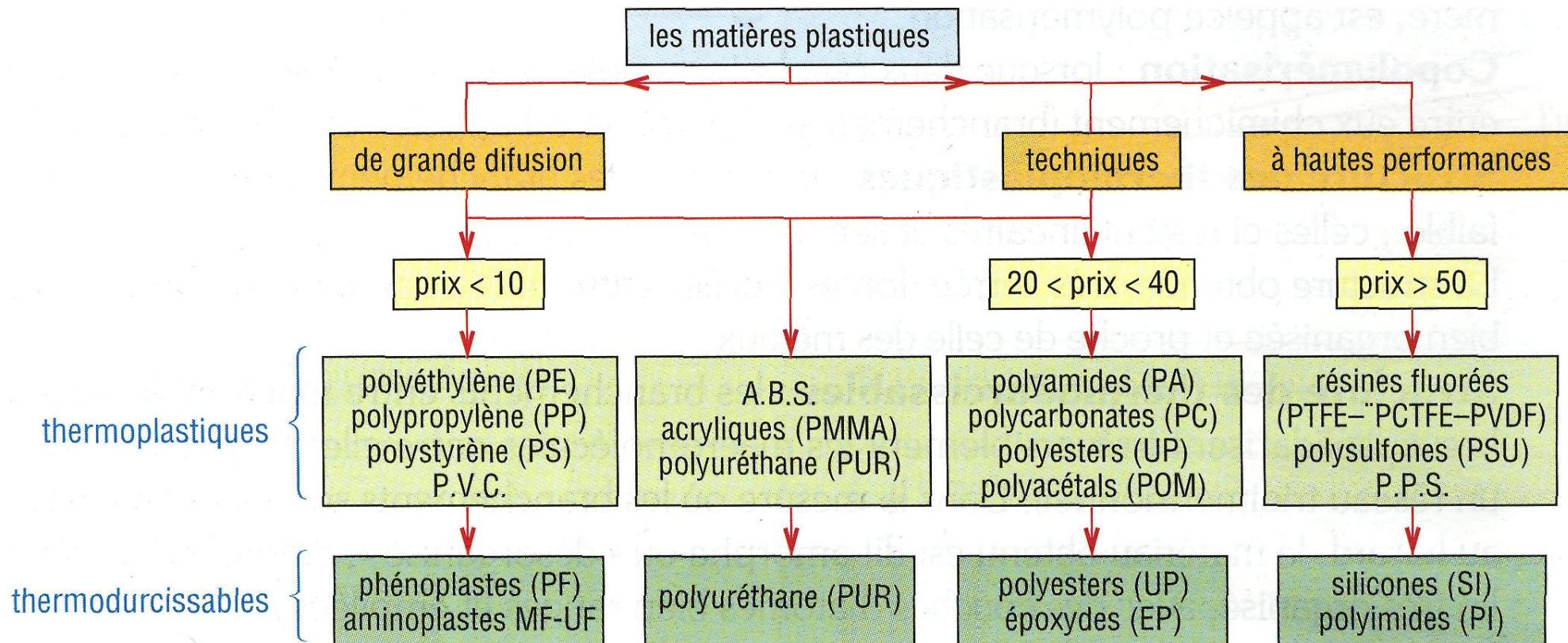
Cuivre pur: usages électriques, thermiques, chaudronnerie

Principales caractéristiques	
familles	propriétés
Bronzes (Cu + Sn)	<ul style="list-style-type: none"> - résistance à la corrosion - qualités frottantes - aptitude au moulage (meilleurs que les laitons) - se travaillent moins bien que les laitons : usinage, emboutissage...
Cuproaluminiums (Cu + Al)	<ul style="list-style-type: none"> - caractéristiques mécaniques - résistance à la corrosion
Cupronickels (Cu + Ni)	<ul style="list-style-type: none"> - très malléables - résistance à la corrosion
Maillechort (Cu + Ni + Zn)	plus résistants que les laitons à la corrosion et mécaniquement



Opération modifiant l'aspect ou la fonction de la surface des matériaux afin de l'adapter à des conditions d'utilisation données:

- Traitements anti-usure (PTFE, carbures)
- Traitements anti-oxydation
- Oxydation anodique (anodisation ou eloxage)
- Peinture
- Emaillage

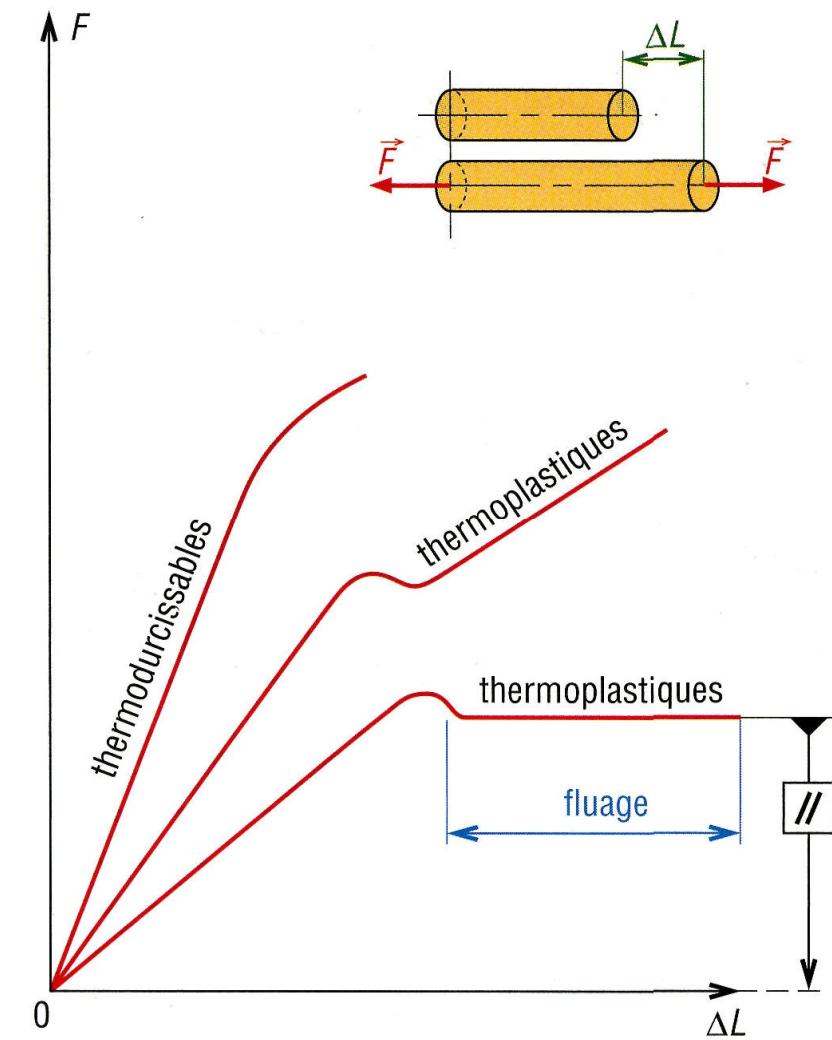


Thermoplastiques:

- 90% des plastiques
- Fondent à température
- Moins fragiles
- Plus faciles à fabriquer
- Rigide ou souple, compact ou en faible épaisseur
- Fluage élevé
- Coefficient de dilatation linéaire élevée
- Combustible, sensible aux UV, électrostatiques
- Ex: Nylon, acrylique, polyéthylène, , PET, polystyrène, Téflon PVC (vinyl)

Thermodurcissables:

- Ramollissent puis durcissent à température, non recyclables
- Résistance aux températures >200°C, aux attaques chimiques
- Moins de fluage, bonne rigidité
- Moins pratiques à former, pas de moulage par injection
- Ex: polyester, polyuréthane (PU), bakélite, mélamine, époxy



			Principales matières plastiques																			
thermoplastiques		symbole	(1) aspect	densité	températures limites (°C)	caractéristiques mécaniques			résistance chimique		A%	choix 1200 entaillés	acides	bases	alcalis	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	exemples d'emploi
						R _r	E	A%	forts	faibles												
						(daN/mm ²)	(daN/mm ²)		forts	faibles												
polyéthylène	basse densité	PE-LD	TRL-OQ	0,92	100	0,5-3	20-40	200-600	ne casse pas	F	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	①②	
	haute densité	PE-HP	TRL-OQ	0,96	120	2-4	80-180	20-80	F	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	③④	
polypropylène		PP	TRP-OQ	0,91	130	3-5	140-200	250-600	7-25	F	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	①③ ⑥	
polychlorure de vinyle	rigide	PVC	TRP-OQ	1,38	70	4-6	150-350	5-80	2-100	B	B	B	B	S	B	B	B	B	B	B	①③	
	ouple		TRP-OQ	1,20	70	1-3	1-4	150-450														①
polystyrène		PS	TRL-OQ	1,05	80	3-5	200-320	5-75	3-20	F	B	B	B	S	B	F	B	①② ③⑤				
ABS*		ABS	TRL-OQ	1,10	110	1,7-6	200	10-50	10-50	F	B	B	B	S	B	B	F	①② ③				
poly (méthacrylate de méthyle)		PMMA	TRP-OQ	1,20	85	5-8	220-320	4-10	2-3	F	B	S	F	F	B	B	S	②③ ⑤⑥				
acétate de cellulose		CA	TRP-OQ	1,30	90	3-6	80-250	20-50	6-45	S	F	F	F		B	B	B	①② ③⑤				
polyamide		PA	TRP-OQ	1,15	160	5-10	90-280	15-300	3-50	S	B	B	B	B	B	B	B	①③ ④				
polycarbonate		PC	TRP-OQ	1,20	130	5-7	240	80-120	65-100	F	B	S	F	F	B	B	B	①② ⑤				
polyoxyméthylène		POM	TRL-OQ	1,40	90	6-7	300	35-75	5-15	S	B	F	F	B	B	B	B	①③ ④				
polytétrafluoroéthylène		PTFE	OQ	2,20	+260 -200	2-4	35-80	250-500	16	B	B	B	B	B	B	B	B	-	④⑥			
thermodurcissables	phénoplastes**		PF	TRP-OQ	1,3	190	3-6	270-480	750		S	F	S	S	S	B	B	B	①②			
	polyesters		UP	TRP-OQ	1,2	190	5-15	280-400	250-1500	8-100	S	F	S	F	F		F	B	②③			
	polyépoxydes		EP	TRL-OQ	1,5	280	2-12		250	2-50	F	B	F	B	B	B	B	B	②③ ⑤			
	polyimides		PI		1,6	250	2-4		750		B	B	B	B	B	B	B	B	①⑦			
	silicones		SI	OQ	1-2	230	1			F	B	F	F	F	F	F	B		⑦			

(1) TRL : translucide
 TRP : transparent
 OQ : opaque

(2) B : bon
 F : faible à moyen
 S : mauvais (soluble)

(3) ① : pièces mécaniques (engrenages, cames, rotors)
 ② : petits carters, boîtiers, jouets, petit outillage
 ③ : grands bâts, cuves, containers, réservoirs, coques
 ④ : pièces de frottement (coussinets, paliers, glissières)
 ⑤ : pièces pour l'optique (vitres, luminaires, diffuseurs)
 ⑥ : applications chimiques, thermiques
 ⑦ : enrobage, étanchéité, isolant

* acrylonitrile styrène acrylate
 ** résine phénol formaldéhyde

Grande diffusion: 70 à 80 % du total des plastiques

Technique

Haute Performance

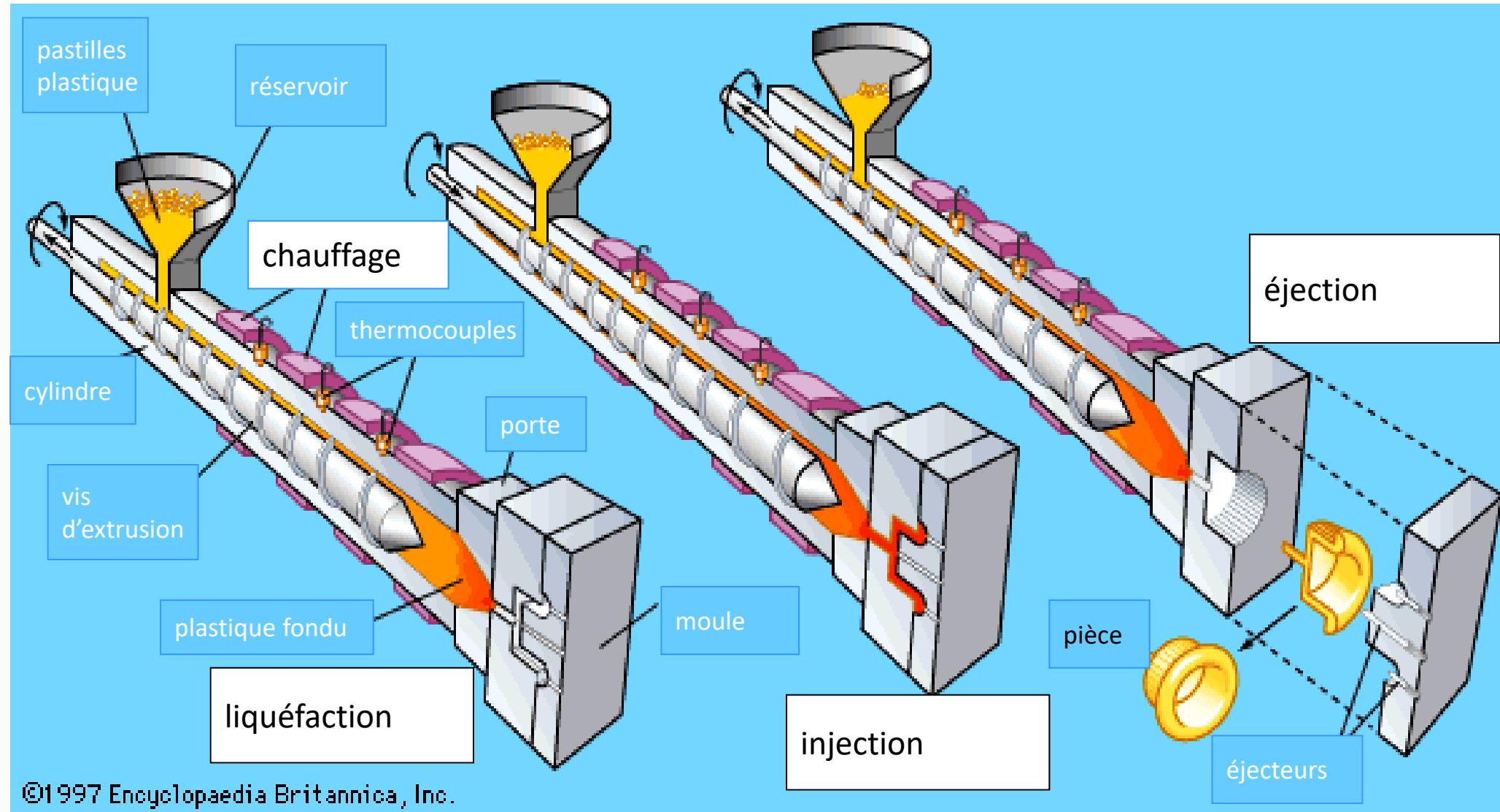
Grande diffusion

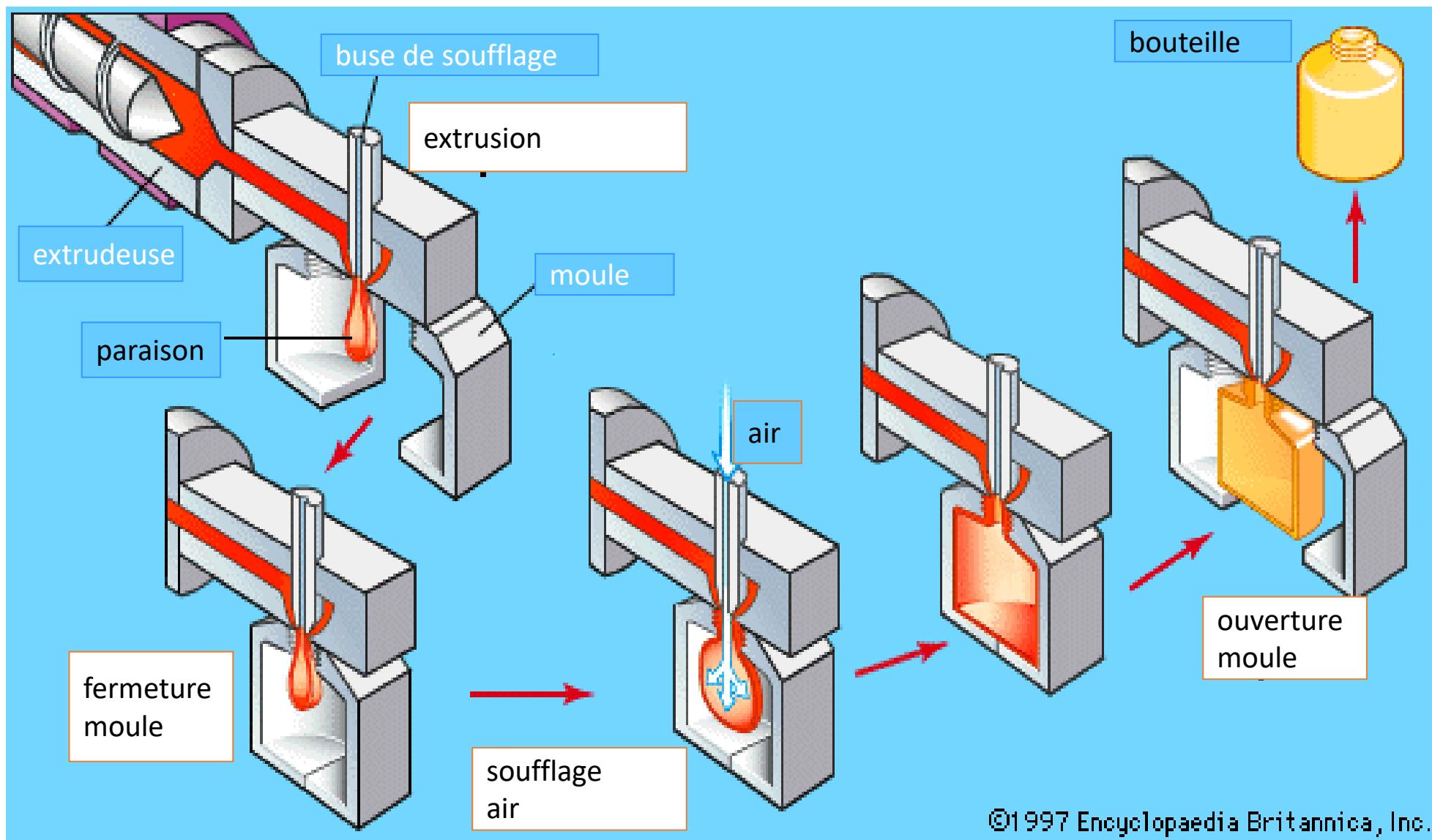
Technique

Haute Performance

Principaux élastomères vulcanisés						
	caoutchouc naturel NR	butadiène styrène SBR	acrylonitrile butadiène NBR	butyl IIR	chloroprène (néoprène) CR	éthylène propylène EPM-EPDM
propriétés mécaniques	traction	+++	++	++	0	++
	déchirement	++	+	0	0	+
	abrasion	+++	++	++	+	++
	compression	++	++	+++	+	++
	résilience	+++	++	0	0	++
	flexion	++	++	++	++	0
résistance au vieillissement	ozone-intempéries	+	+	+	++	+++
	chaleur	+	+	+	++	+++
	froid	+++	++	0	+	+++
	flamme	0	0	0	0	0
résistance chimique	huiles	0	0	+++	0	++
	solvants	0	0	+++/0	0/+	0
	eau	++	++	++	++	+++
	imperméabilité aux gaz	+	+	++	+++	+
	acides faibles	++	++	+	+++	++
	acides forts	+	+	0	+++	+

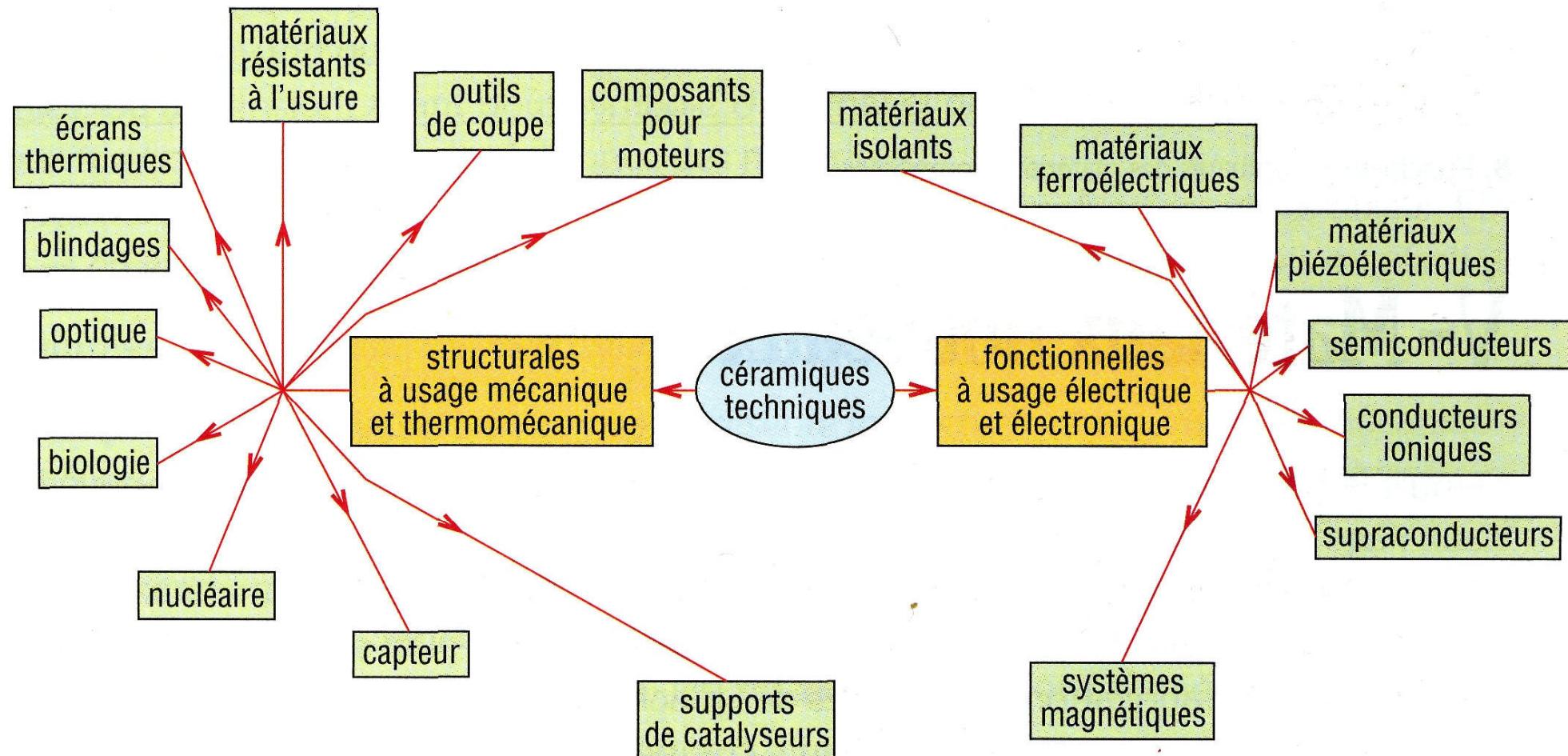
Exemples: pneumatiques, courroies, tapis, tuyaux, amortisseurs, joints d'étanchéité, revêtements divers, pièces mécaniques, chaussures...

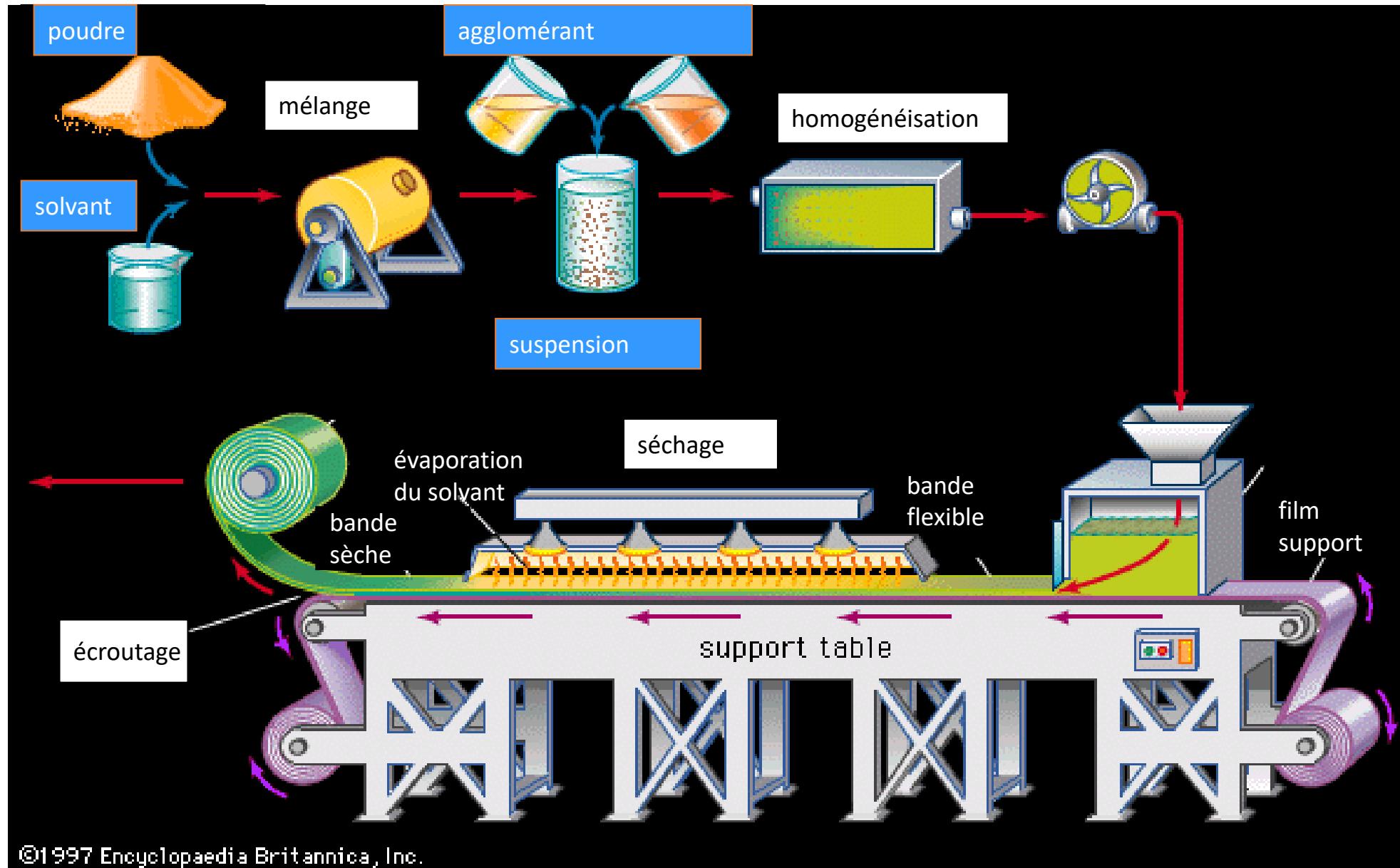


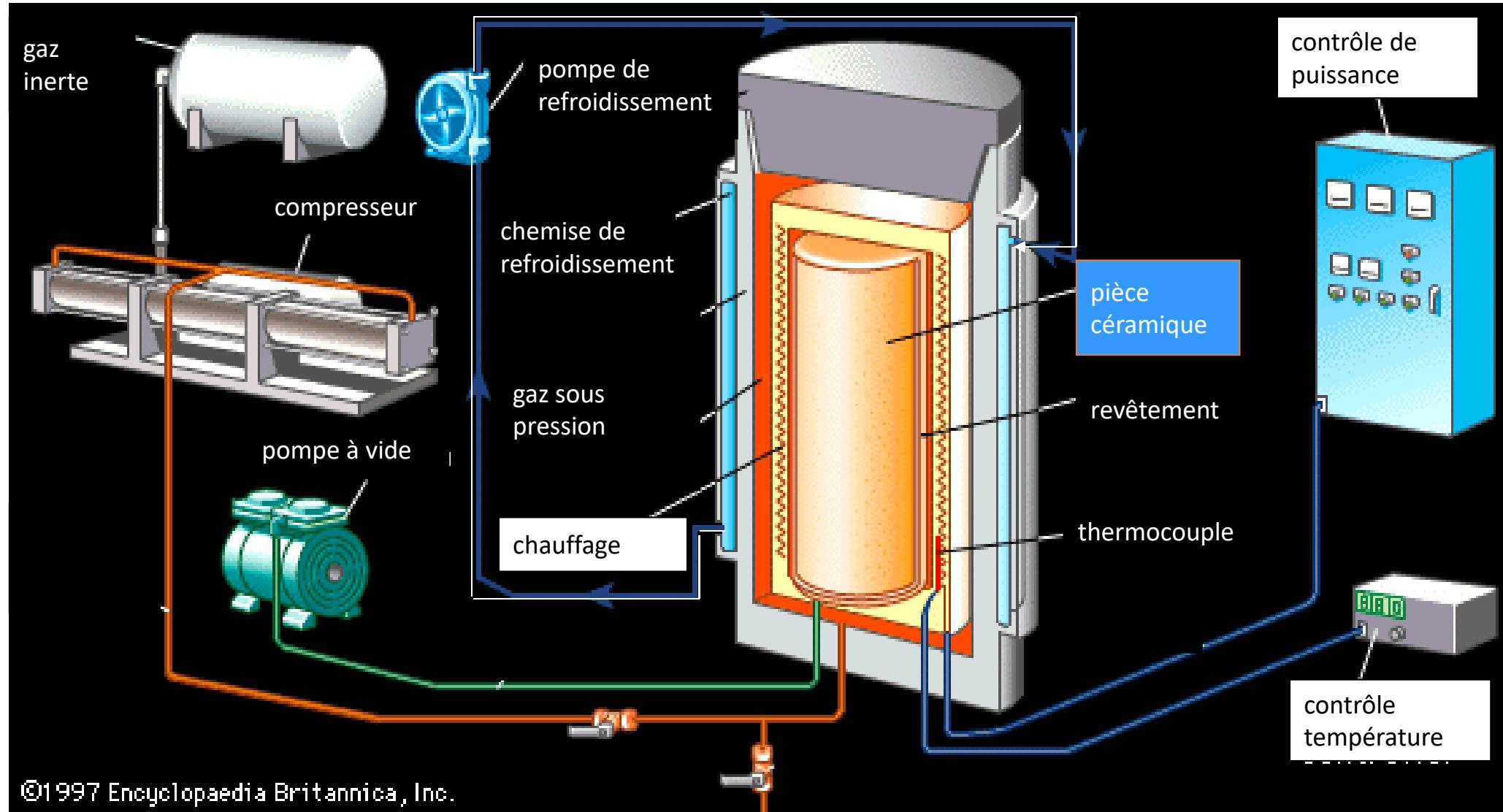


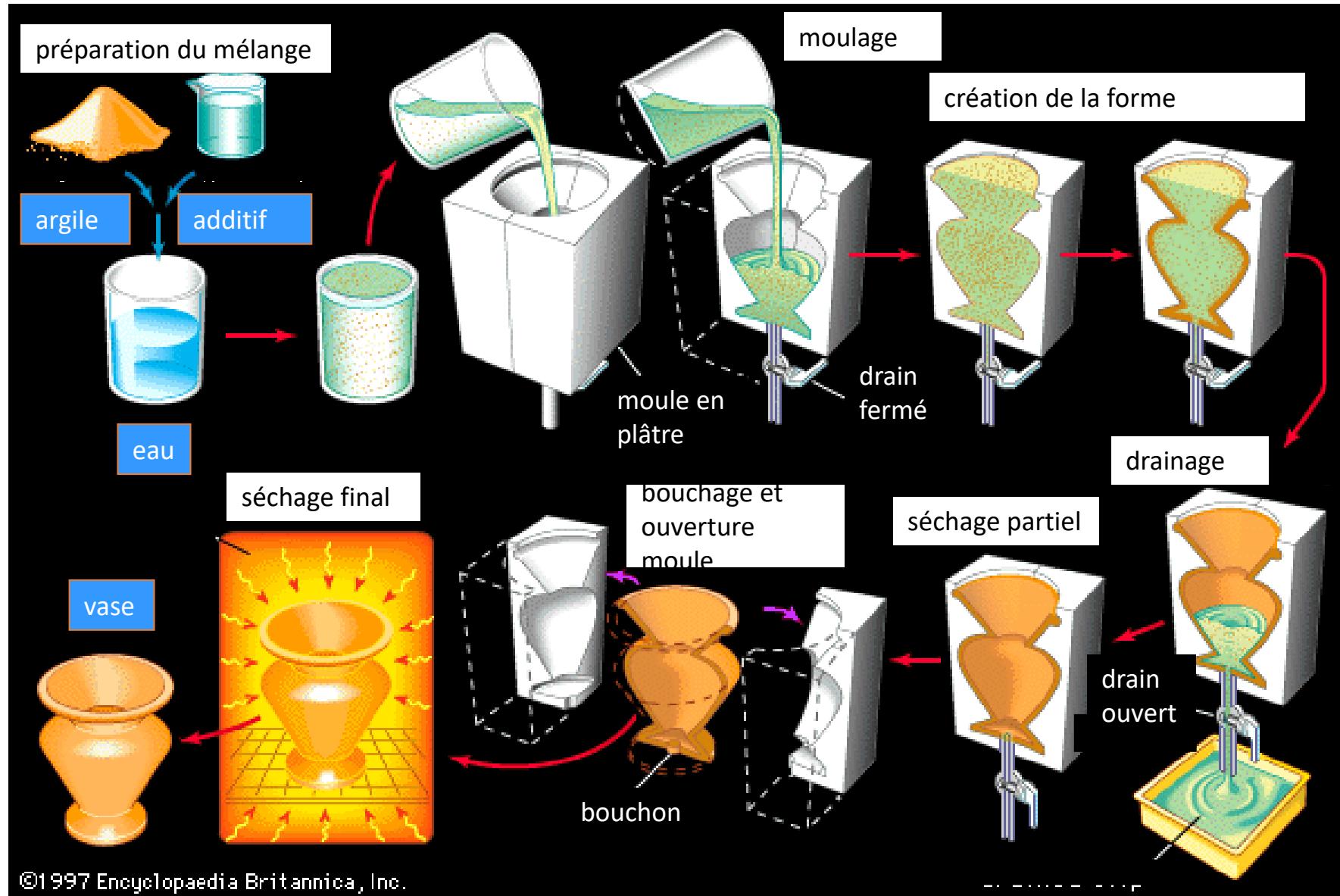
4.8. Céramique

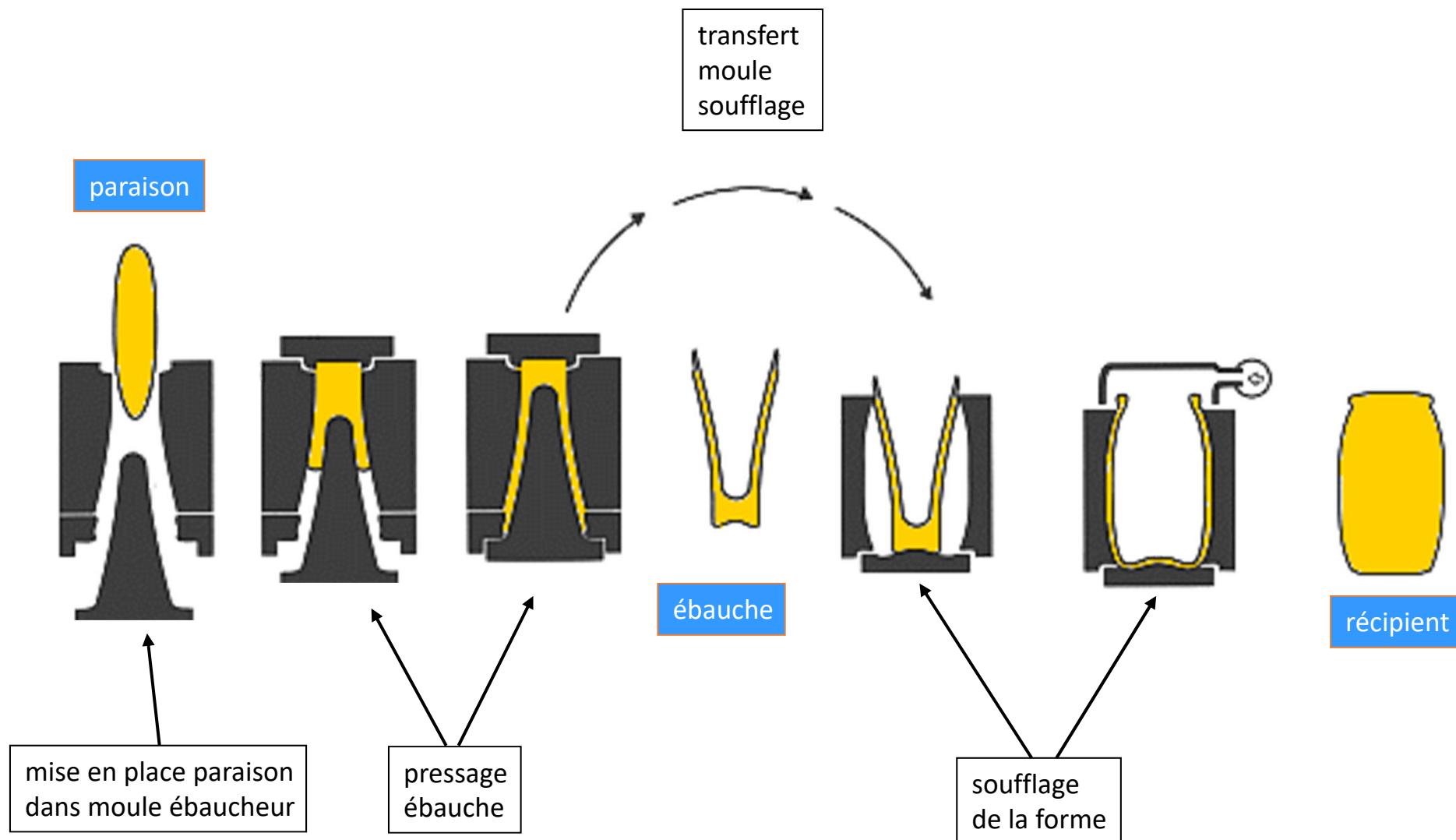
Céramiques traditionnelles				
	nuances	matières premières	exemples d'emploi	
produits poreux	terre-cuite	marnes, argiles	tuiles, briques, horticulture, art	
	faïence	argile, silice, quartz	vaisselle, carrelage (mur), art	
	produits grésés	argile, kaolin, feldspath	carrelage (sol)	
	réfractaires	argile réfactaire, silice, chamotte, alumine, magnésie carbone-graphite...	ciment, béton brique pour four produits frittés	
produits vitrifiés	grès cérame	argile, chamotte, silice	éviers, lavabos, baignoires	
	vitréous	argile, kaolin, feldspath, silice		
	porcelaine	kaolin, argile, feldspath, quartz	vaisselle, art, génie électrique	
verres		silice SiO_2 alumine Al_2O_3 oxydes chaux NA_2O ... magnésie MgO	sodico-calcique crystal (oxyde de plomb) borosilicate aluminosilicate spéciaux	vitres, flacons, ampoules vaisselle, art, optique résistant aux chocs termiques résistance à la chaleur optique, laser, fibre optique
abrasifs		oxydes, carbures, diamant		meules, papiers abrasifs

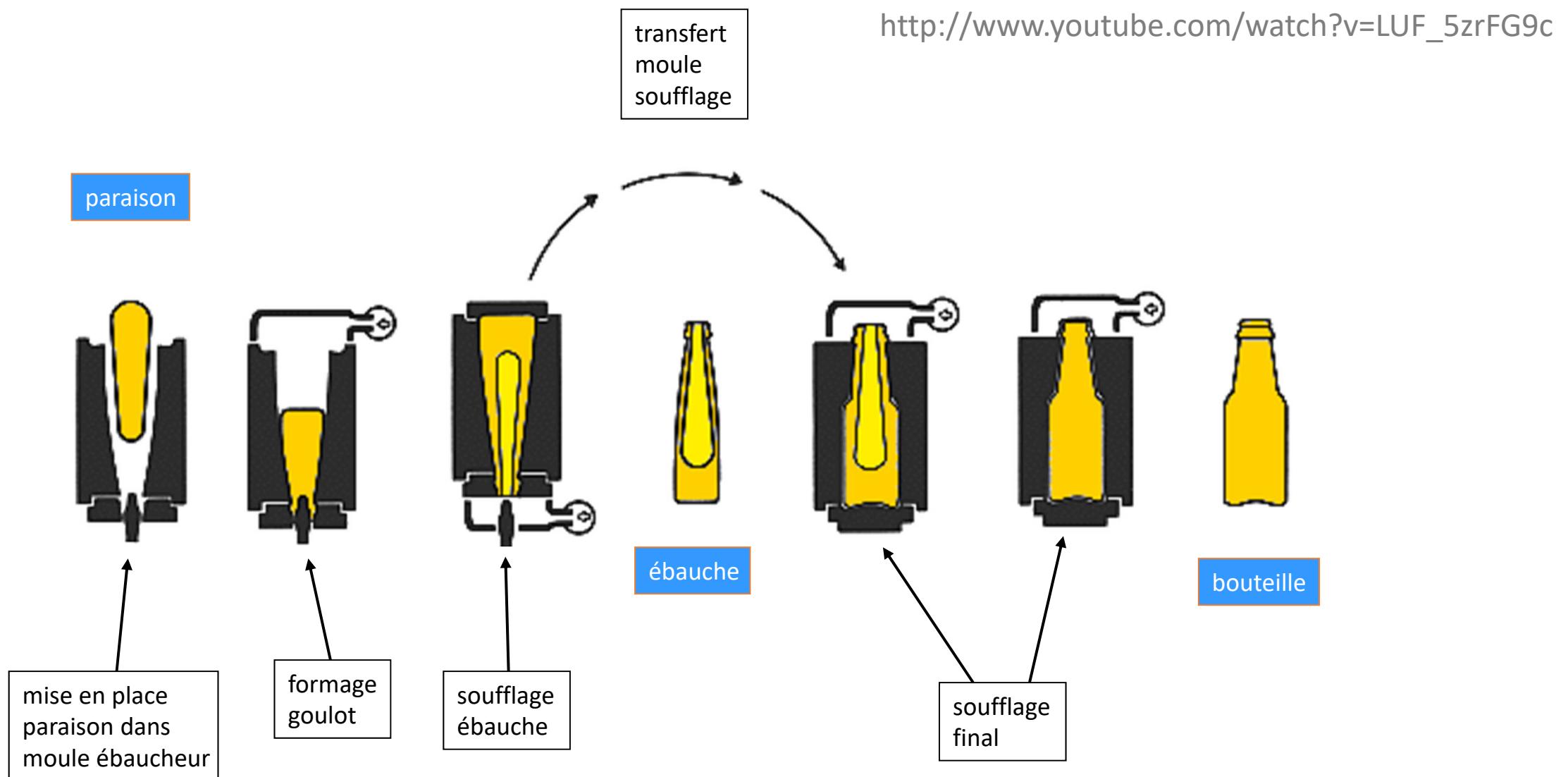


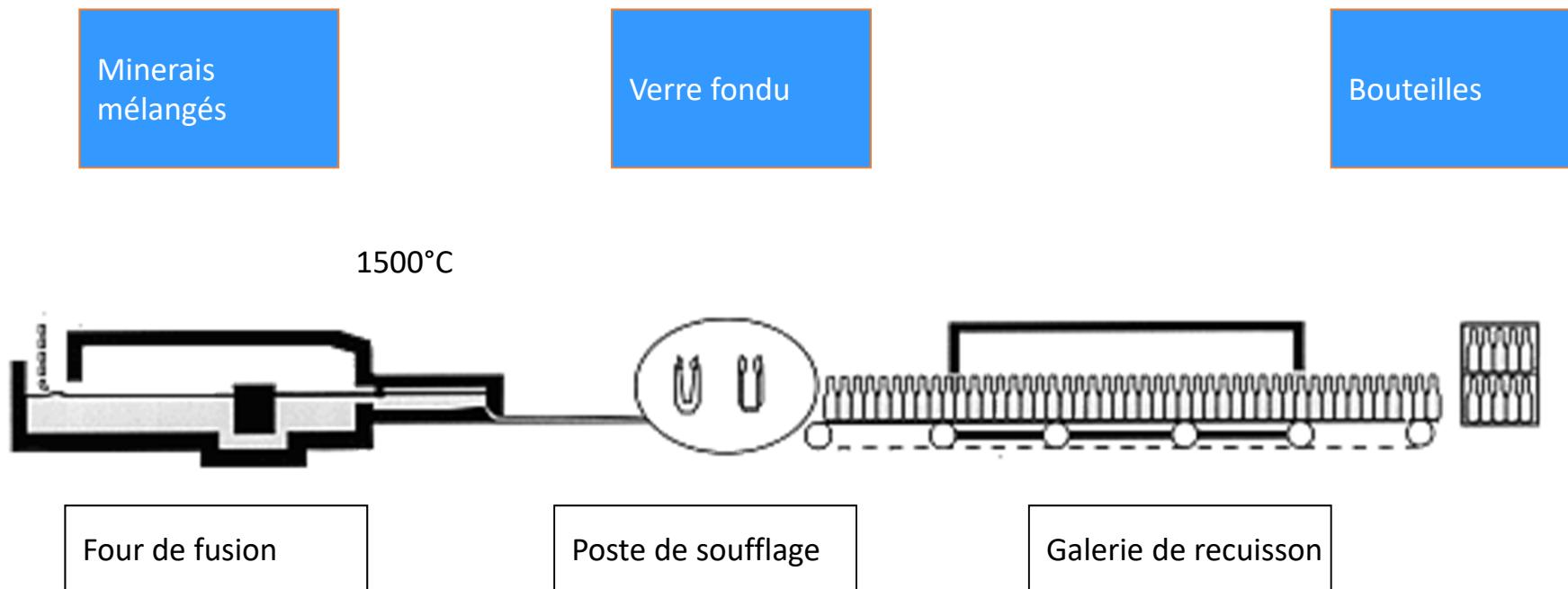


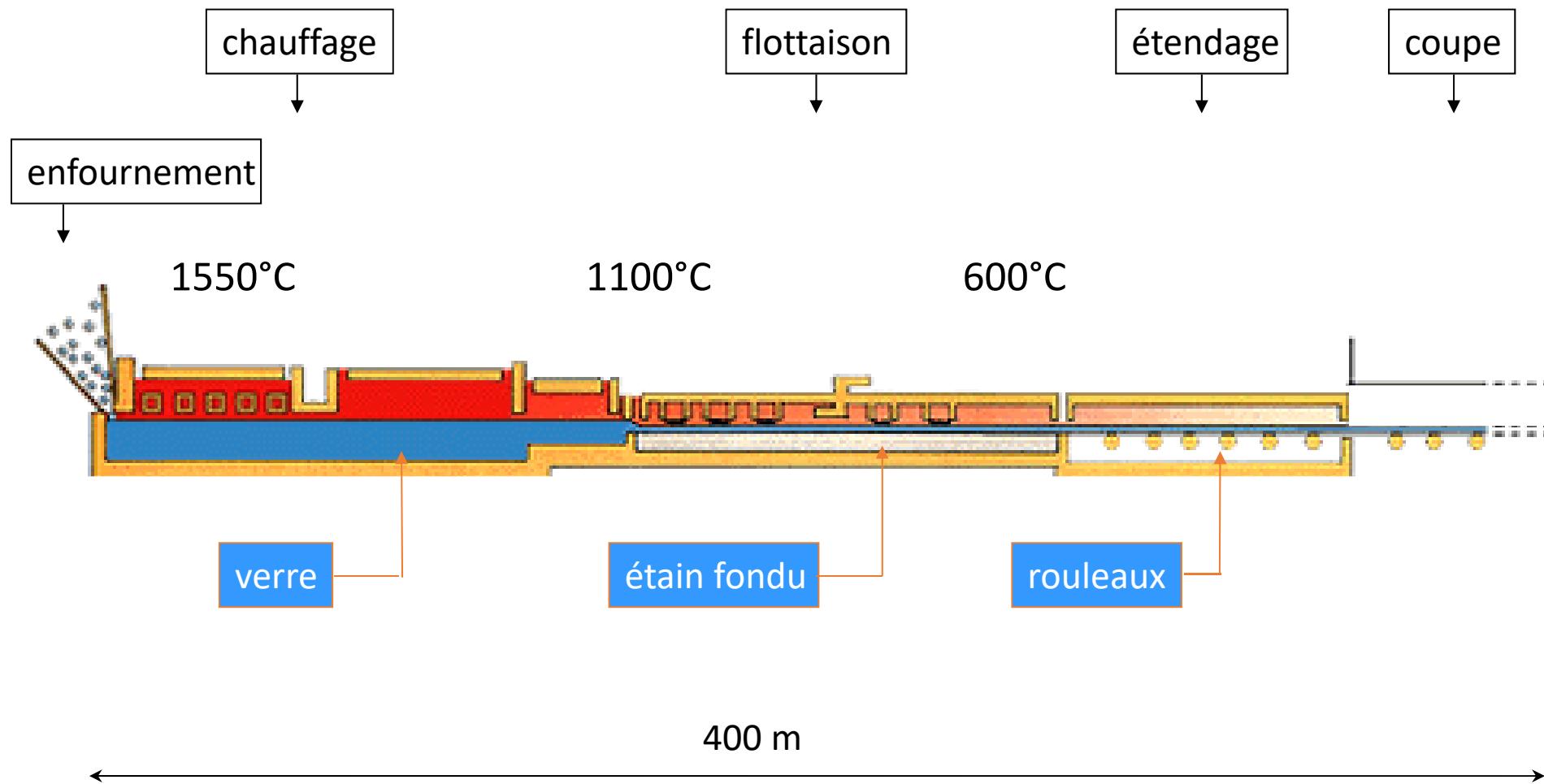


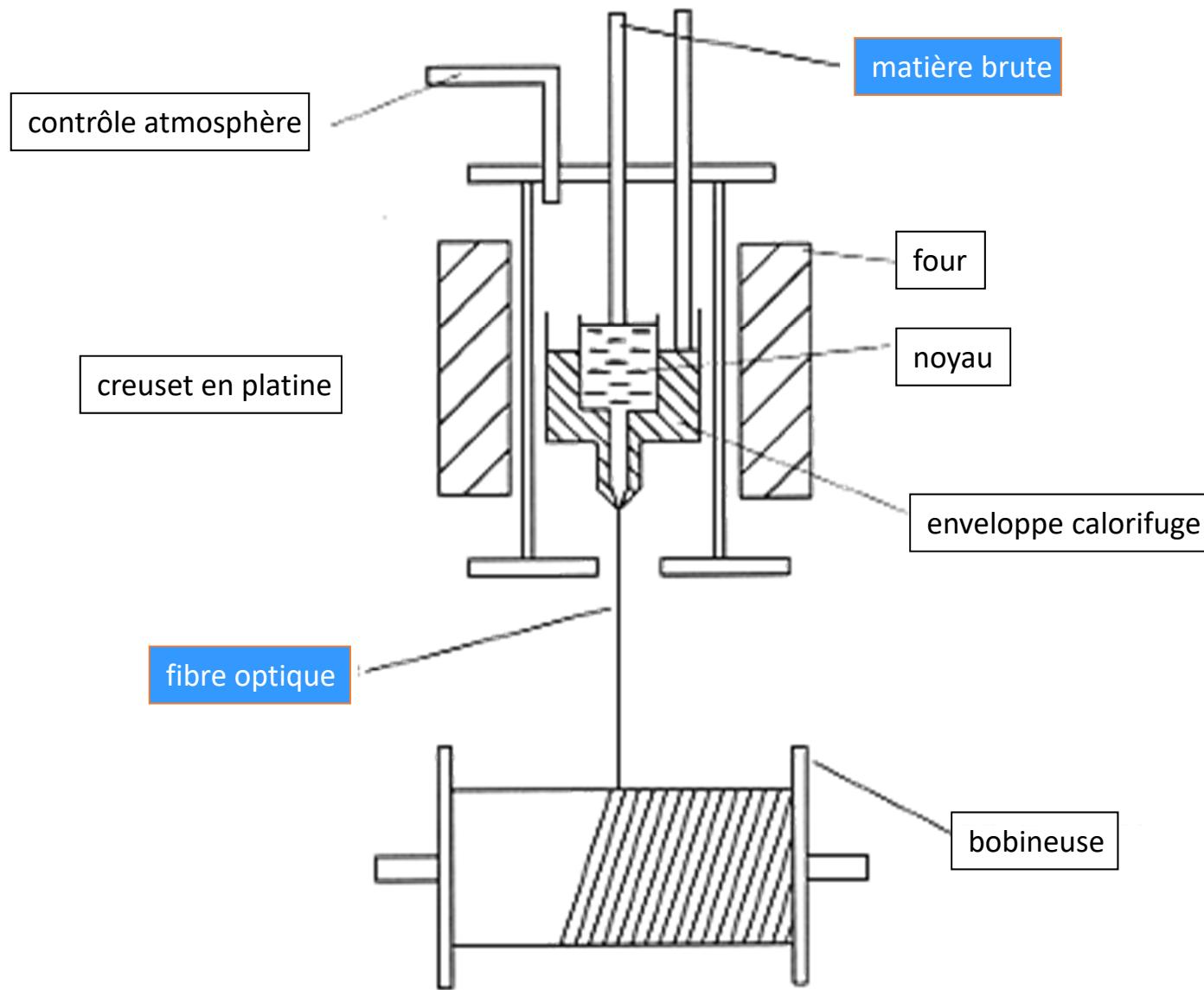














<http://matweb.com/>