

!!!!!! ATTENTION !!!!!

Interdiction Formelle de reproduire

- Ce document est un support du cours que je donne et non pas un cours en lui-même!

(Désolé , je n'ai pas eu le temps de mettre la bibliographie utilisée!!)

Introduction Générale:

Classification des éléments
dans le tableau de Mendeleïev

QUESTIONS?

- Quel est l'élément le plus abondant sur terre?
- Est-ce les éléments les plus légers ou les plus lourds?
- Depuis quand utilise-t-on les matériaux ?
(types , pourquoi? exemple en construction)
- Quels sont les classes des matériaux
- Depuis quand utilise-t-on les métaux ?
 - Quel est le métal le plus utilisé?
 - Les métaux « vieillissent-ils » de la même façon dans l'air ambiant ?
 - Les métaux ont-ils le même comportement face à un aimant ?

Qu'est-ce que c'est un matériau cristal liquide ? (Exemple d'utilisation quotidienne?)

- Qu'est-ce que c'est un matériaux:
 - ✓ **Métallique?**
 - ✓ **Organique?**
 - ✓ **Naturel?**
 - ✓ **Synthétique?**
 - ✓ **Minéral?**
 - ✓ **Composite?**
 - ✓ **Biomatériau?**
 - ✓ **Amorphe?**
 - ✓ **Polymère?**
 - ✓ **Céramique?**
 - ✓ **Avec Défauts (est-ce mieux ou mauvais?)**
 - ✓ **....etc**

- Différence entre propriétés et performances?
- Peut-on-améliorer les propriétés?
- Peut-on-améliorer les performances? Comment?

Un peu d'histoire!

Les quelques dates rappelées ci-dessous montrent que l'évolution des techniques est étroitement liée à la découverte et à la production de masse de nouveaux matériaux :

- le rail de chemin de fer est produit en masse par le convertisseur Bessemer,
- les circuits intégrés font appel aux monocristaux,
- le béton que nous connaissons aujourd'hui n'existerait pas sans le ciment Portland, etc.

Toutes les familles de matériaux sont concernées par une concurrence de plus en plus vive (qu'on pense à la concurrence entre béton, bois, verre et métal dans le bâtiment) et une diversification croissante .

-8000 Briques en boue et argile ; apparition de la poterie : vaisselle en céramique

-8000 Martelage du cuivre natif en Asie : débuts de la métallurgie

-5000 Mortier pour joints de briques en bitume ; travail de la laine (textile)

-4000 Bronze fondu (Orient) (vers -3500 en Egypte et -1800 en Europe)

-3500 Premières utilisations du plomb (conduites)

-3000 Objets en verre (-2500 : perfectionnement par les Egyptiens)

-2500 Débuts de la sidérurgie (Orient) (>1100°C)

-1700 Première apparition de l'acier (Hittites)

-1000 Mortier de chaux et chaux hydraulique

-300 Aciers dits « de Damas » obtenus par fusion

-250 Parchemin (Pergame)

-100 Papier (Chine) ; soufflage du verre (Phéniciens) ; béton (Romains)

5e s. Transformation du fer en acier (Celtes)

7e s. Premières porcelaines en Chine (cuisson : 1200 à 1300°C)

14e s.	Haut-fourneau et première fonte liquide
15e s.	« Cristallo » : verre très transparent (Venise)
1590	Verre flint au plomb, pour optique (microscopes, télescopes)
18e s.	Premières porcelaines dures en Europe (gisements de kaolin)
1709	Première coulée de fonte au coke (Darby)
1738	Production du zinc métallique par distillation
1784	Four de puddlage (Cort) : décarburation de la fonte par brassage
1824	Ciment Portland (J. Aspin)
1839	Vulcanisation du caoutchouc (C. Goodyear)
1848	Béton armé (première poutre en 1867 par Monier)
1855	Conversion de la fonte en acier par procédé Bessemer : production en masse de l'acier
1856	Premier colorant de synthèse : l'aniline (Perkin)
1870	Première matière plastique artificielle : le celluloïd (Hyatt)
1883	Première cellule solaire au sélénium (C. Fritts)
1886	Commercialisation de l'aluminium par le procédé Héroult/Hall
1899	Première matière plastique de synthèse : la galalithe (W. Krische et A. Spitteler)
1905	Aciers inoxydables : début de la production industrielle et de la classification
1909	Métallurgie des poudres
1909	Bakélite : premier thermodurcissable de synthèse (L. Baekeland)
1911	Découverte de la supraconductivité dans le mercure à 4K (H.K. Onnes)
1916	Monocristaux de métaux (J. Czochralski)
1924	Pyrex (Corning)
1927	Plexiglas (O. Röhm)

1929	Béton précontraint
1931	Caoutchouc synthétique (néoprène) (J. Nieuwland)
1937	Nylon (W. Carothers) et PVC
1947	Fonte à graphite sphéroïdal
1947	Invention du transistor au germanium (Bell : J. Bardeen, W.H. Brattain, W.B. Shockley)
1947	Céramiques piézoélectriques : aiguilles de phonographe en titanate de baryum
v. 1950	Multiplication des polymères synthétiques, composites
1951	La microscopie à champ ionique montre des atomes pour la première fois
1952	Verre flotté (Pilkington) : production de vitrages en continu
1953	Polyéthylène à haute densité (catalyse Ziegler)
1954	Première vitrocéramique (découverte accidentelle, Stookey)
1958	Premier circuit intégré (Texas instruments : J.S. Kilby)
v. 1960	Début des fibres optiques
1968	Affichage par cristaux liquides (RCA)
v. 1980	Béton hautes performances (exemple : ponts à très grande portée)
1985	Fullerènes (C60)
1991	Nanostructures
2000	Béton ultra-hautes performances

Petite histoire des matériaux...

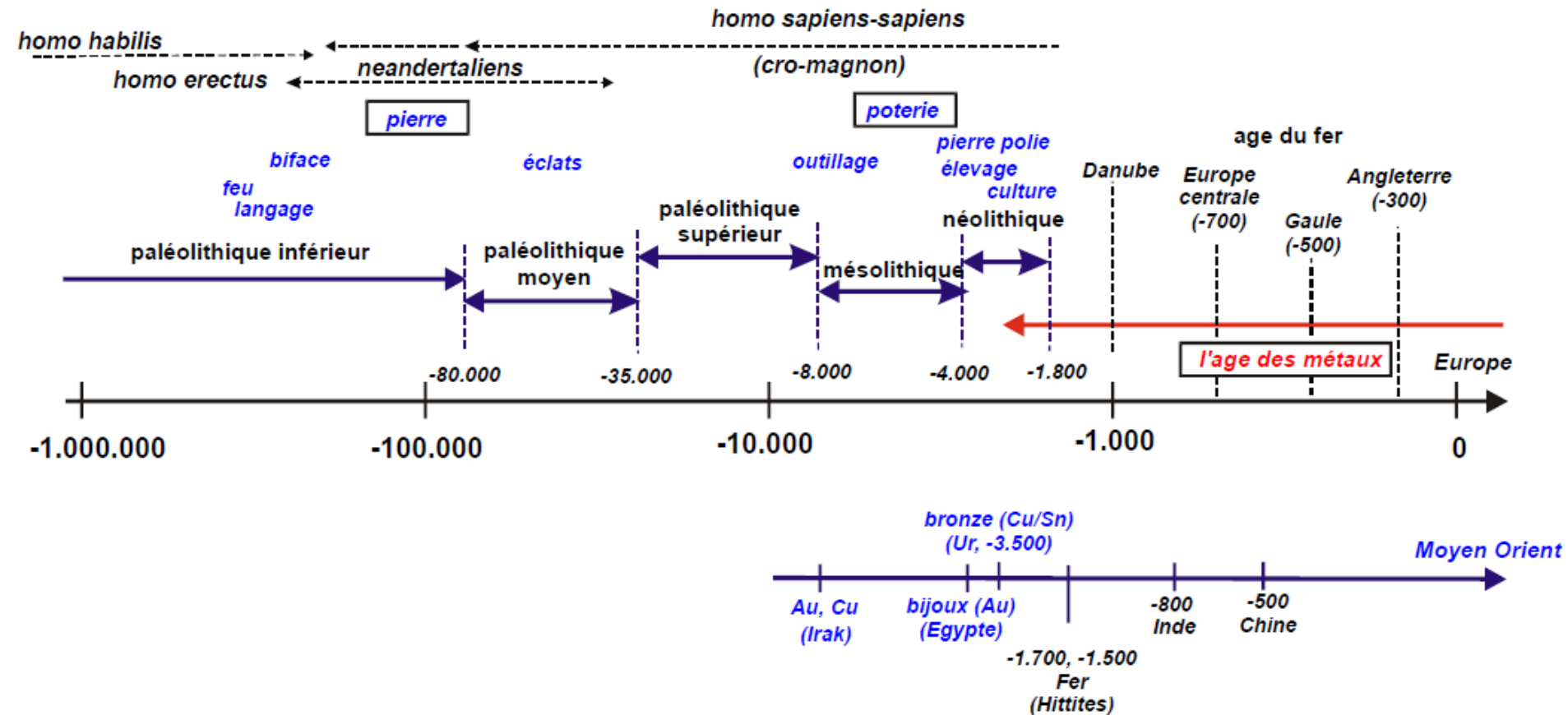
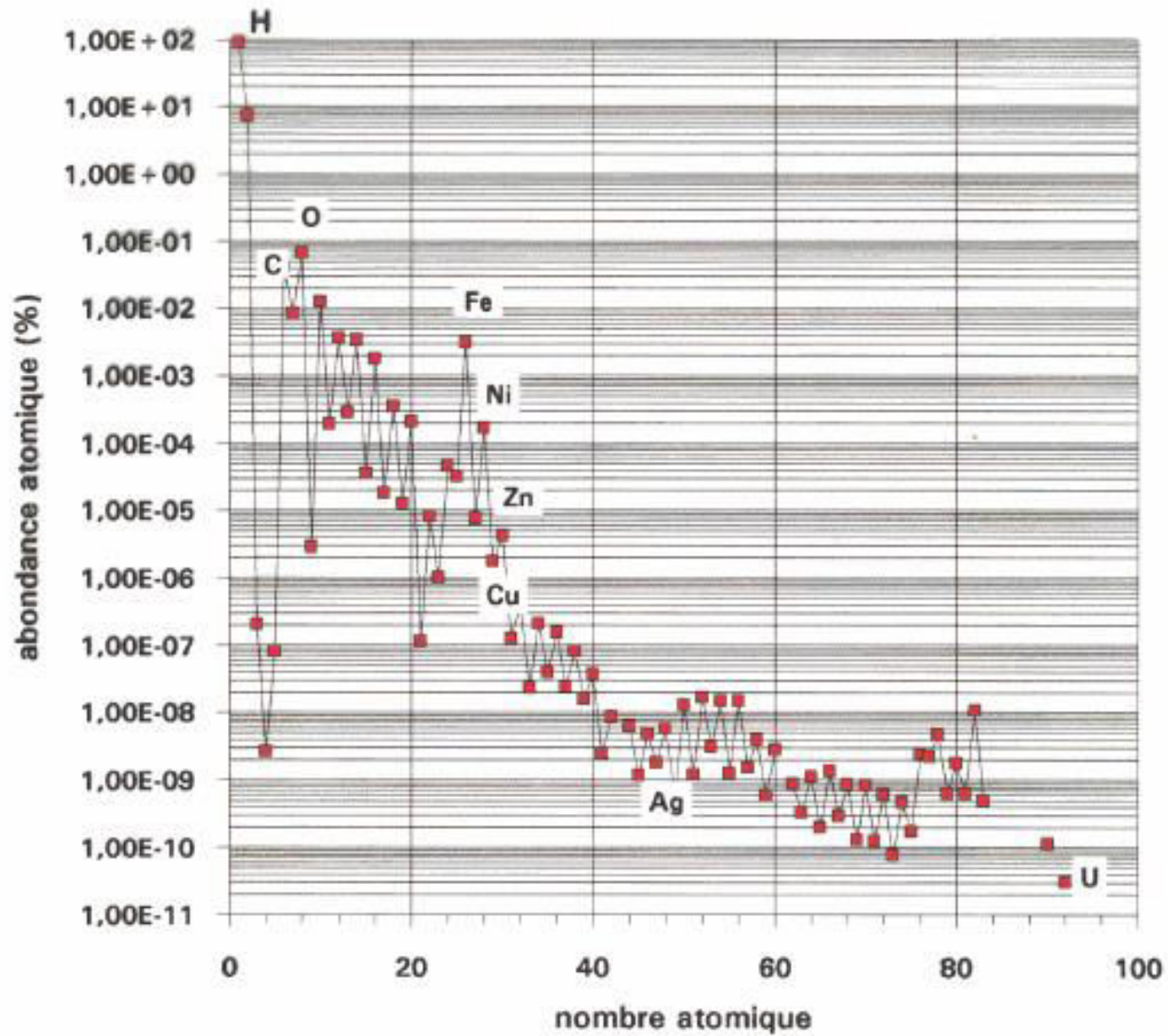


Table 3. PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

1 IA	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 VIIA
1 H												IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	-----	VIII	-----	IB	IIB	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra																

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lw

Abundance



Origine des gisements métalliques terrestres

en 5 étapes...

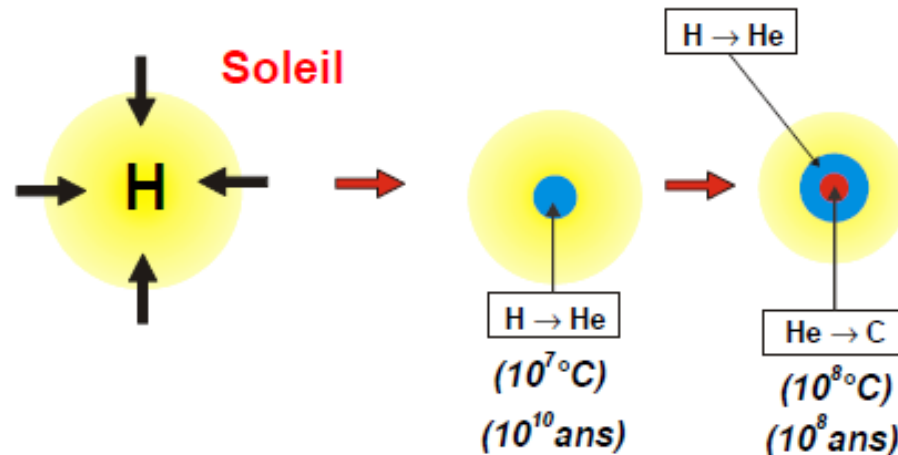
1

1ère étape : le « big-bang » : -13,8 milliards d'années (environ...)

nucléosynthèse primordiale (1 à 10.000 secondes) :
formation du H^1 , D^2 , He^3 , He^4 et Li^7

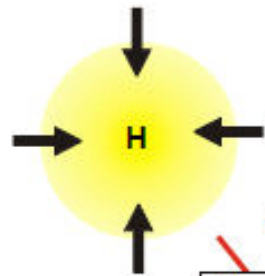
2

2ème étape : évolution stellaire (-10 milliards d'années)



étoiles de taille moyenne (<1,5 Ms)

étoile de grande taille ($M > 1,5 M_{\odot}$)



étoiles massives ($> 1,5 M$)

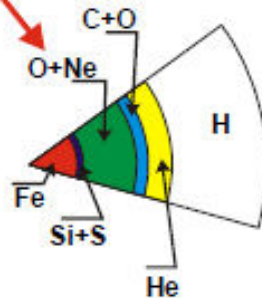
exemple : $M = 25$

$H \rightarrow He$ $7 \cdot 10^8$ ans

$He \rightarrow C$ 500 000 ans

$C \rightarrow Ne, O, Si, Na, Mg, Al, P, S \dots$ 600 ans

$Si \rightarrow Fe$ 1 jour ($5 \cdot 10^9$ °C)



structure en "pelure d'oignon"

super-novae

formation des éléments lourds par capture de neutrons

nuages interstellaires

systèmes stellaires

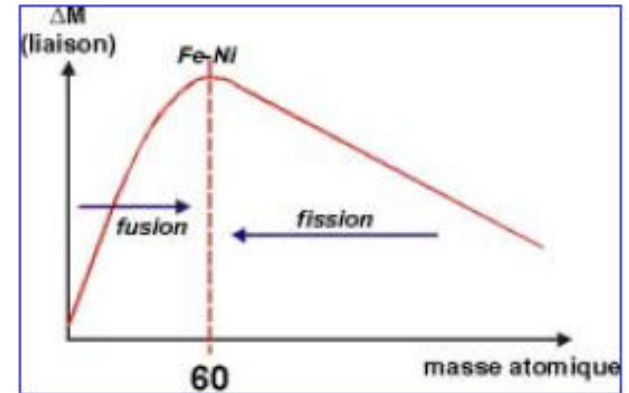
$M < 6 M_{\odot}$

naine blanche

$M > 8 M_{\odot}$

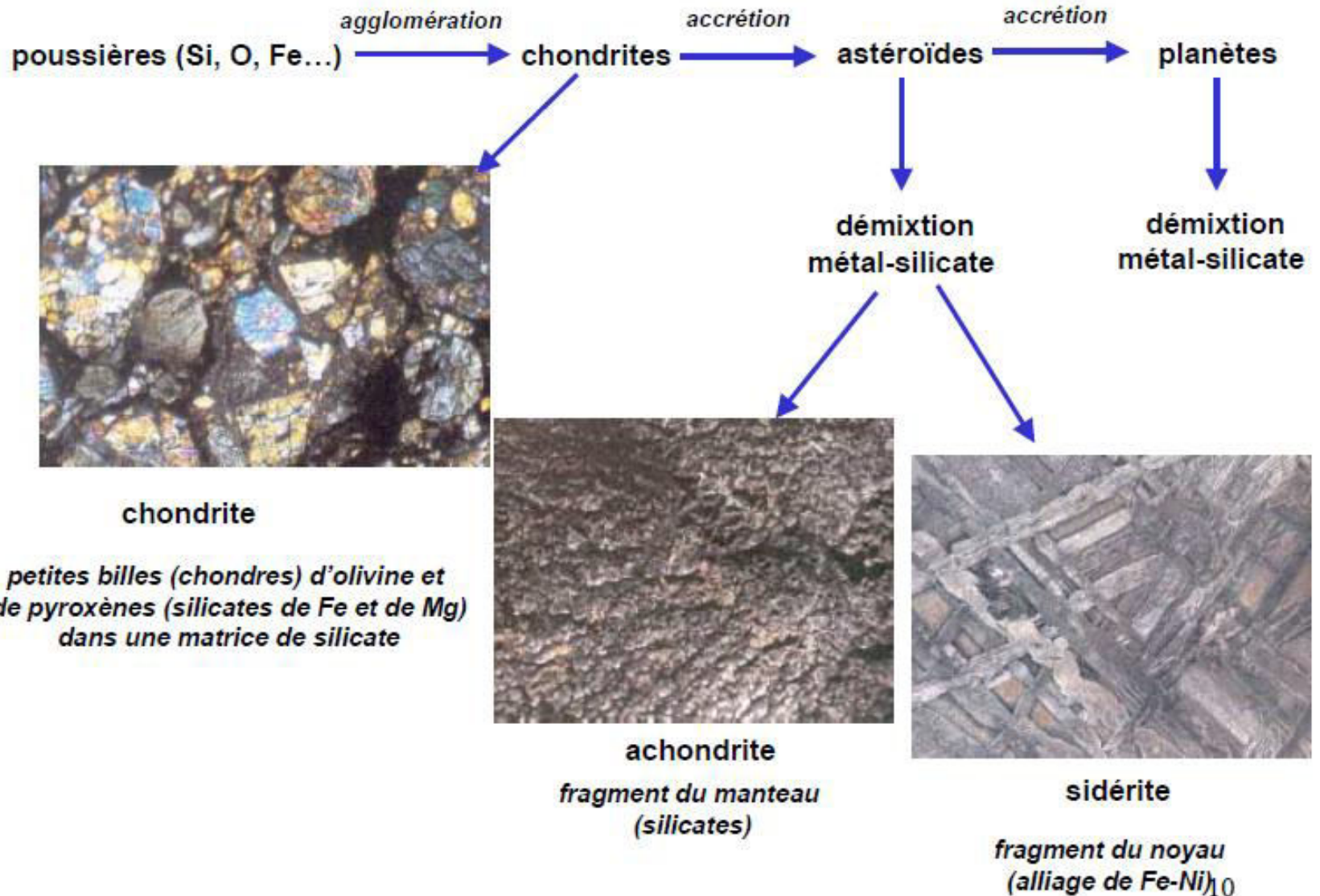
étoile à neutrons

trou noir

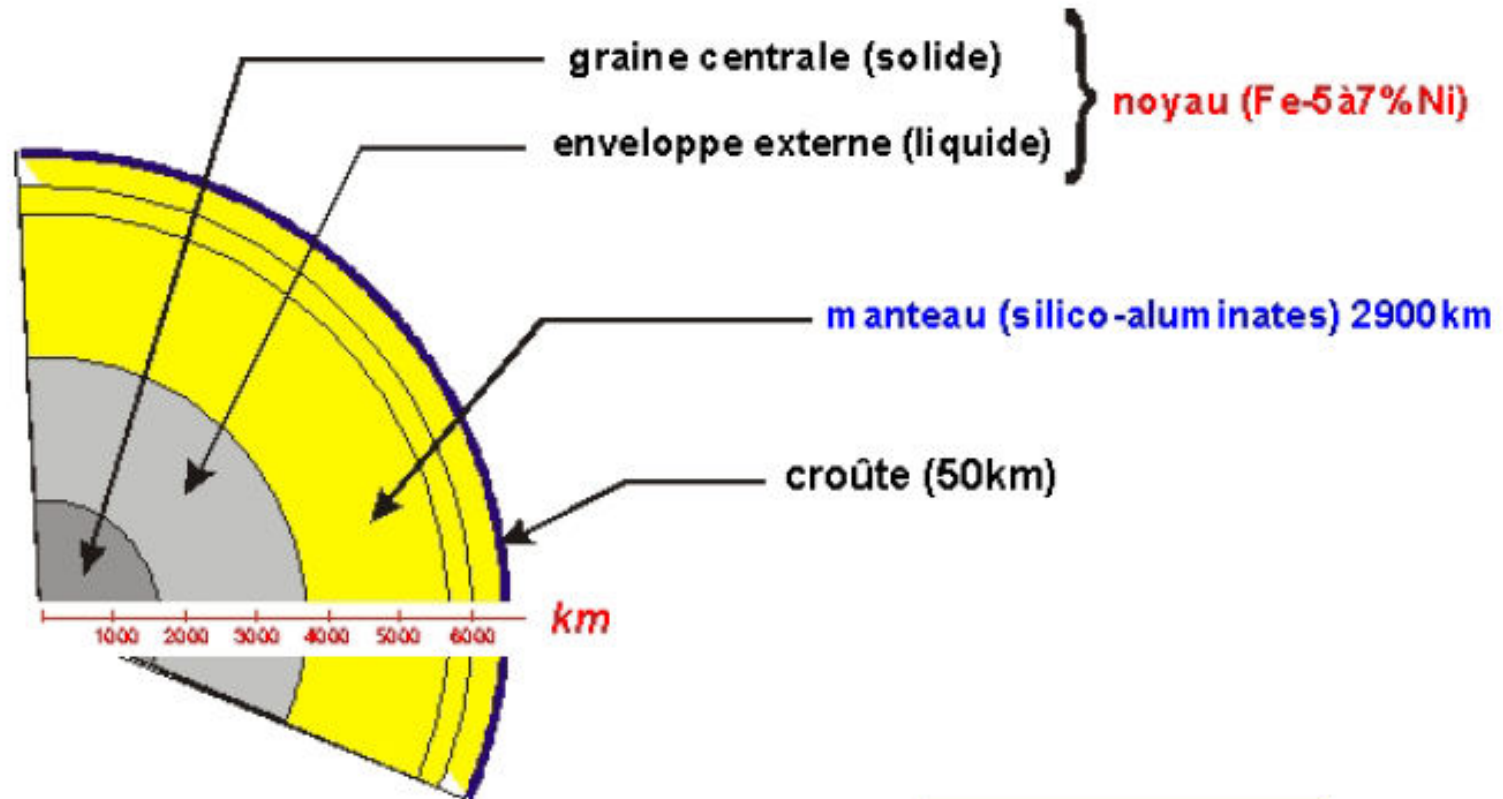


3

3ème étape : formation de la terre par accrétion (100 millions d'années)

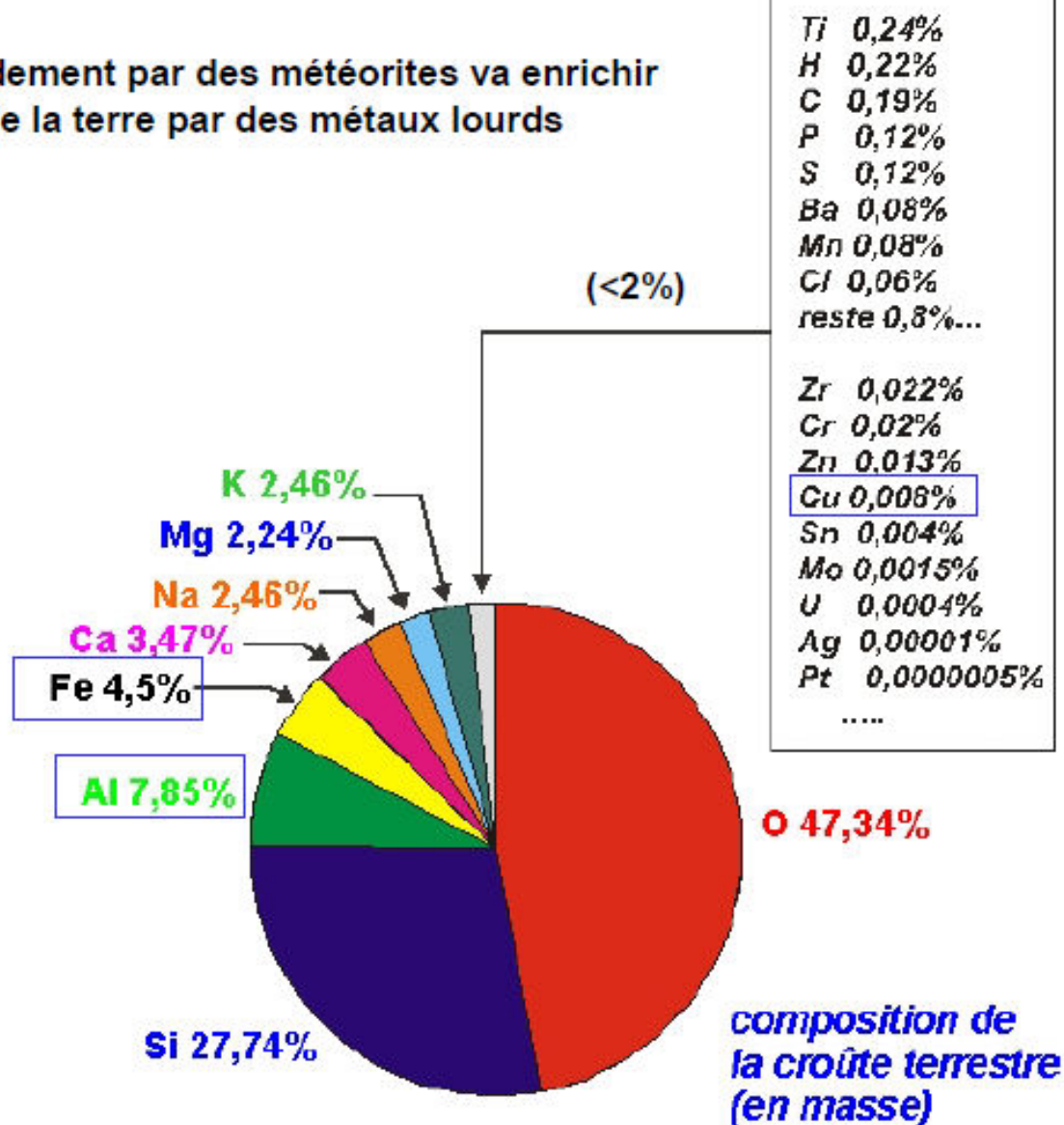


Les métaux lourds se rassemblent au centre, les éléments légers vers la surface...



structure de la Terre

Le bombardement par des météorites va enrichir la surface de la terre par des métaux lourds



5ème étape : formation de gisements métallifères (*des millions d'années*)

dissolution (eau) $\Rightarrow$ transport $\Rightarrow$ précipitation $\Rightarrow$ filons et gisements métallifères

Ressources métallifères

État natif : Au, Cu(5%) Ag Pt (métaux nobles, peu oxydables)

sidéral (météorites) : Fe, Fe-Ni (rares)

Minerais :

- Oxydes

Fe₂O₃ (hématite) Fe₃O₄ (magnétite)

AlO-OH (bauxite)

Cu₂O (cuprite) CuCO₃(OH₃) (malachite)(15%)

FeCr₂O₄ (chromite)

- Sulfures

Cu₂S (chalcocite) CuFeS₂ (chalcopyrite)(80%)

ZnS (blende)

Fe₂S (pyrite)

PbS (galène) HgS (cinabre)...

Origine des Matériaux?

- Naturels ou synthétiques
- Organiques ou minérales

Exemple:

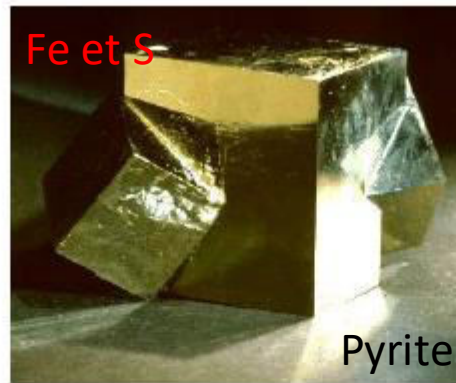
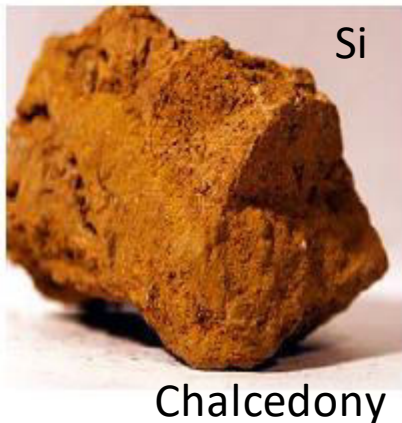


Figure 1: Examples of mineral luster, clockwise from top left: Metallic (galena); Metallic (pyrite); Vitreous (quartz); Waxy (chalcedony); Pearly (talc); and Earthy (goethite).



Effet de l'impureté



Figure 2: Quartz varies widely in color, due to minor (parts per billion) impurities and even defects in its crystalline structure. Pure quartz has no color, as shown at left. Colored varieties of quartz, above from left to right, include: amethyst (purple); smoky (brown to black); citrine (yellow); rose (pink); rock crystal (clear).

ou

Polycristallin



Monocristallin



Sulfures

- [acanthite](#) Ag_2S
- [argentite](#) Ag_2S cubique
- [bornite](#) ([érubescite](#)) Cu_5FeS_4
- [chalcopyrite](#) CuFeS_2
- [chalcocite](#) Cu_2S
- [cinabre](#) HgS trigonal
- [cobaltite](#) CoAsS cubique
- [covellite](#) CuS
- [cubanite](#) CuFe_2S_3
- [énargite](#) Cu_3AsS_4
- [djurleite](#) $\text{Cu}_{31}\text{S}_{16}$
- [freibergite](#) $(\text{Ag}, \text{Cu}, \text{Fe})_{12}(\text{Sb}, \text{As})_4\text{S}_{13}$
- [galène](#) PbS cubique
- [marcassite](#) (FeS_2)
- [orpiment](#) As_2S_3
- [pyrite](#) FeS_2 cubique
- [pyrrhotite](#) Fe_{1-x}S
- [réalgar](#) AsS monoclinique
- [semseyite](#) $\text{Pb}_9\text{Sb}_8\text{S}_{21}$
- [sphalérite](#) ZnS cubique

Sulfates

- [anglésite](#) PbSO_4
- [anhydrite](#) CaSO_4
- [barite](#) BaSO_4 orthorhombique
- [célestine](#) SrSO_4
- [chalcantite](#) $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$
- [gypse](#) $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$
- [linarite](#) $\text{PbCuSO}_4(\text{OH})_2$

Chromates

- [crocoïte](#) PbCrO_4 monoclinique

Molybdates

- [powellite](#) CaMoO_4
- [wulfénite](#) PbMoO_4

Tungstates

- [wolframite](#) $(\text{Mn}, \text{Fe})\text{WO}_4$
- [scheelite](#) CaWO_4

Oxydes

- [anatase](#) TiO_2 quadratique
- [brookite](#) TiO_2 orthorhombique
- [cassitérite](#) SnO_2 quadratique
- [chrysobéryl](#) Al_2BeO_4 orthorhombique
- [corindon](#) Al_2O_3 trigonal à réseau
- [hématite](#) Fe_2O_3 trigonal à réseau
- [goethite](#) HFeO_2 orthorhombique
- [ilménite](#) FeTiO_3 trigonal à réseau
- [manganite](#) $\text{MnO}(\text{OH})$ monoclinique
- [niobite](#) $(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6$
- [périclase](#) MgO cubique
- [rutile](#) TiO_2 quadratique
- [chromite](#) $\text{Cr}_2\text{O}_3\text{FeO}$ cubique
- [magnétite](#) Fe_3O_4 cubique
- [spinelle](#) Al_2MgO_4 cubique
- [tantalite](#) $(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_6$

Hydroxydes

- [gibbsite](#) $\text{Al}(\text{OH})_3$ monoclinique

Carbonates

- [ankérite](#) $\text{Ca}(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})(\text{CO}_3)_2$
- [aragonite](#) CaCO_3 orthorhombique
- [aurichalcite](#) $(\text{Zn}, \text{Cu})_5(\text{OH})_6(\text{CO}_3)_2$
- [azurite](#) $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ monoclinique
- [calcite](#) CaCO_3 trigonal à réseau
- [cérusite](#) PbCO_3 orthorhombique
- [dolomite](#) $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ trigonal à réseau
- [kutnohorite](#) $\text{Ca}(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})(\text{CO}_3)_2$
- [malachite](#) $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ monoclinique
- [magnésite](#) MgCO_3 trigonal à réseau
- [phosgénite](#) $\text{Pb}_2\text{Cl}_2\text{CO}_3$ quadratique
- [rhodochrosite](#) MnCO_3 trigonal à réseau
- [sidérite](#) FeCO_3 trigonal à réseau
- [smithsonite](#) ZnCO_3 trigonal à réseau

Les minéraux organiques et non-organiques

• silicates

• feldspath :

- [celsiane](#) $\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_8\text{Ba}$ triclinique
- [orthose](#) $\text{Si}_3\text{AlO}_8\text{K}$ monoclinique
- [albite](#) $\text{Si}_3\text{AlO}_8\text{Na}$ triclinique
- [anorthite](#) $\text{Si}_2\text{Al}_2\text{O}_8\text{Ca}$ triclinique
- [scapolite](#) quadratique
- [marialite](#) $(\text{AlSi}_3\text{O}_8)\text{Na}_8(\text{Cl}_2, \text{SO}_4, \text{C})$
- [méionite](#) $(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8)\text{Ca}_8(\text{Cl}_2, \text{SO}_4, \text{C})$

- [quartz](#) SiO_2 trigonal à réseau hexagonal

- [opale](#) $\text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ amorphe

- [scolécite](#) $\text{CaAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ monoclinique

• feldspathoïde :

- [haüyne](#) $\text{Na-Ca}_{4-8}(\text{SO}_4)_{1-2}(\text{SiAlO}_4)_6$ cubique
- [leucite](#) KAlSi_2O_6 quadratique
- [néphéline](#) $\text{Na}_3\text{KAlSi}_4\text{O}_{10}$ hexagonale
- [noséane](#) $\text{Na}_2\text{SO}_4(\text{SiAlO}_4)_6$ cubique
- [sodalite](#) $\text{Na}_8(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})\text{Cl}_2$ cubique
- [zéolite](#) $\text{X}_2[(\text{Al}, \text{Si})\text{O}_2]_x \cdot n \text{H}_2\text{O}$

Minéraux organiques

- [abelsonite](#) $\text{NiC}_{32}\text{H}_{36}\text{N}_4$
- [ambre](#)
- [caoxite](#) $\text{Ca}(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$
- [copal](#)
- [corail rouge](#)
- [jais](#)
- [kaori](#)
- [mellite](#) $\text{Al}_2\text{C}_6(\text{COO})_6 \cdot 16 \text{H}_2\text{O}$
- [urée](#)
- [weddellite](#) $\text{Ca}(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$
- [whewellite](#) $\text{Ca}(\text{C}_2\text{O}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$

Matériaux?

Sur quelle base *sélectionner* un matériau?

-pour une *application* bien déterminée

-rechercher une ou des *propriétés*

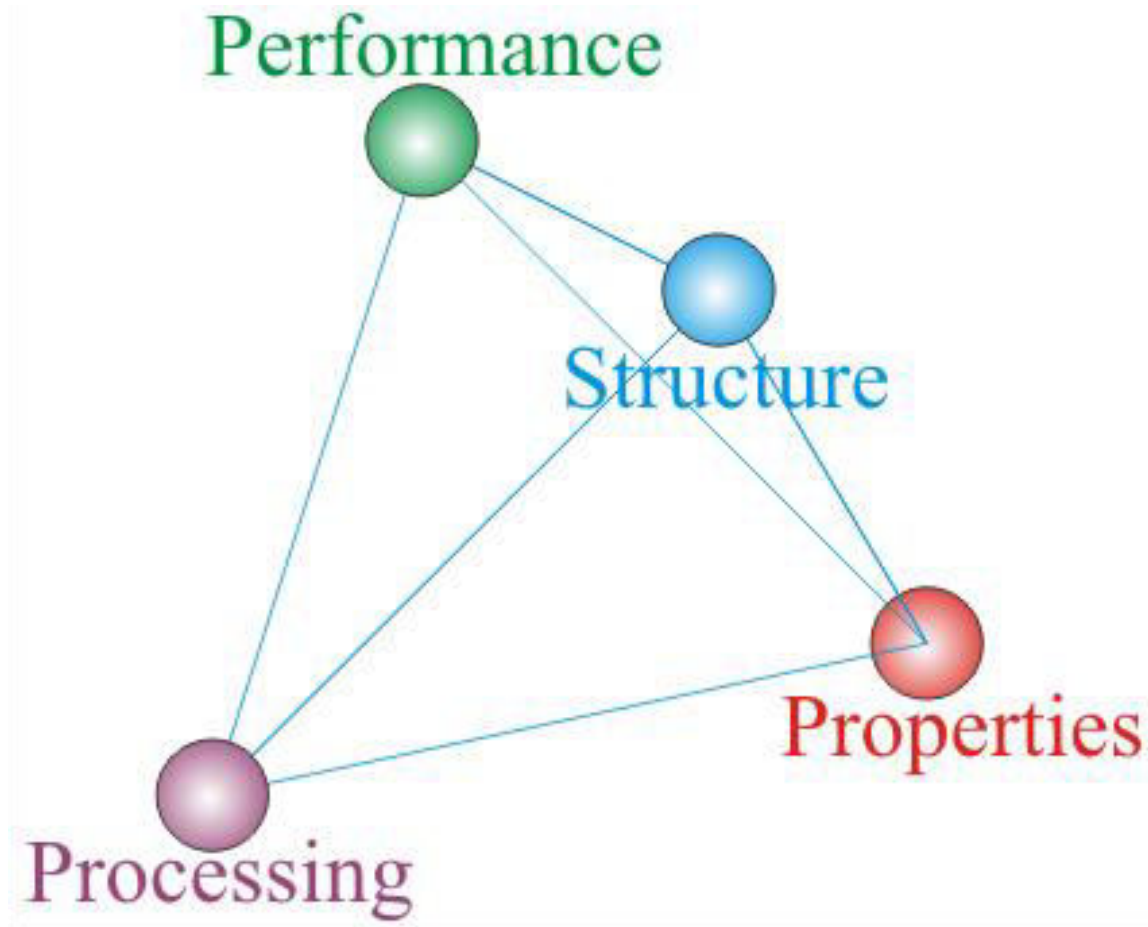
-attente d'une *performance*

(Propriété: attribut d'un matériau indépendamment à la taille et à la forme, par exemple la couleur ou la dureté)

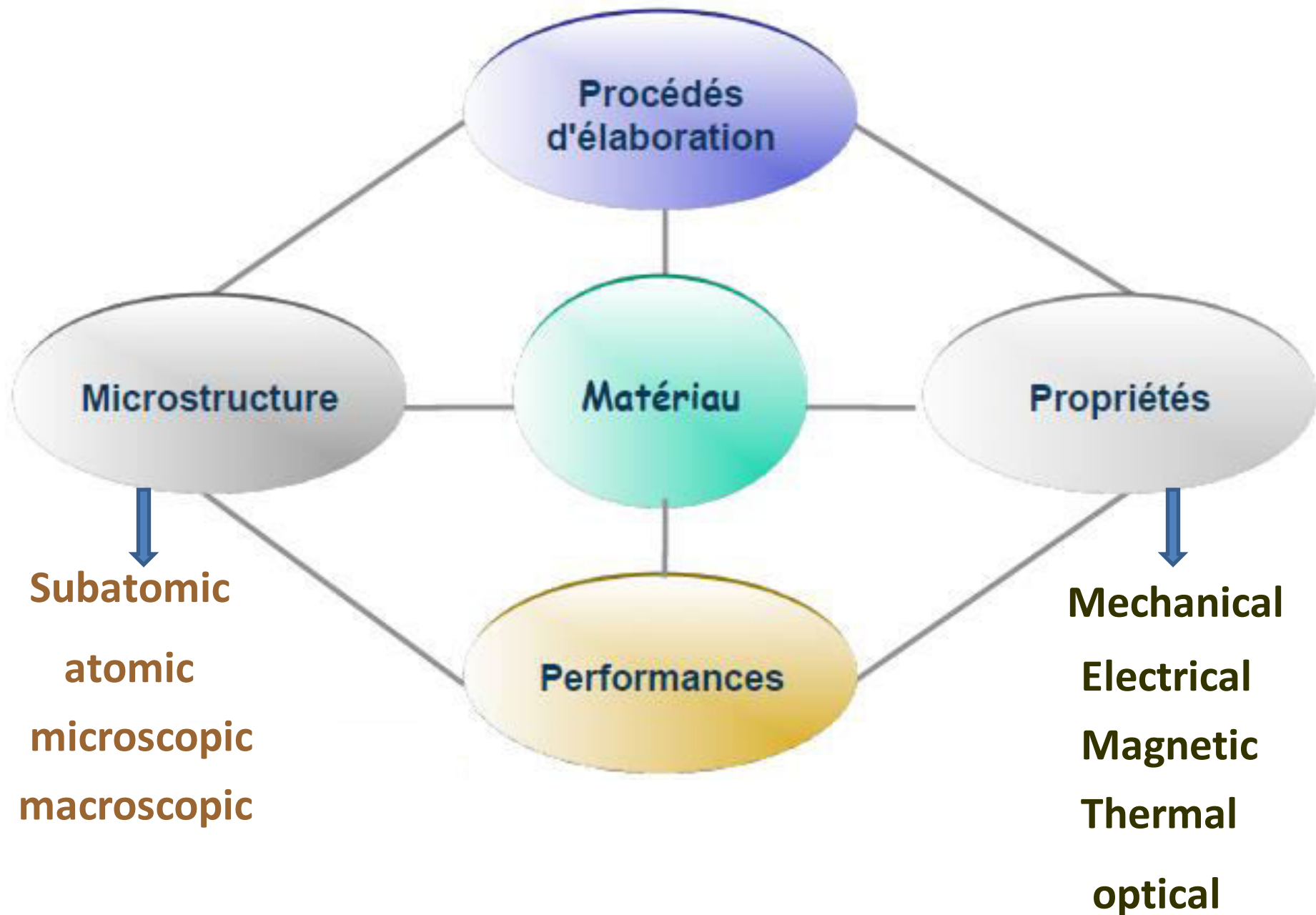
Exemple: l'isolation

Procédé ➡ Structure ➡ Propriétés ➡ Performance

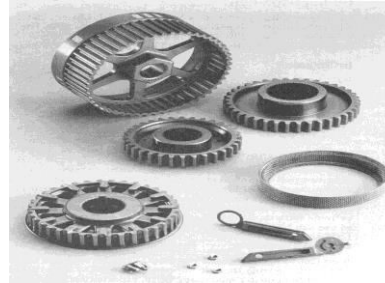
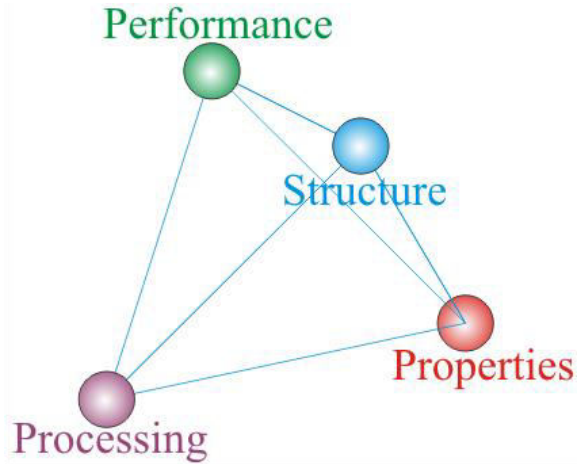
The Materials Tetrahedron



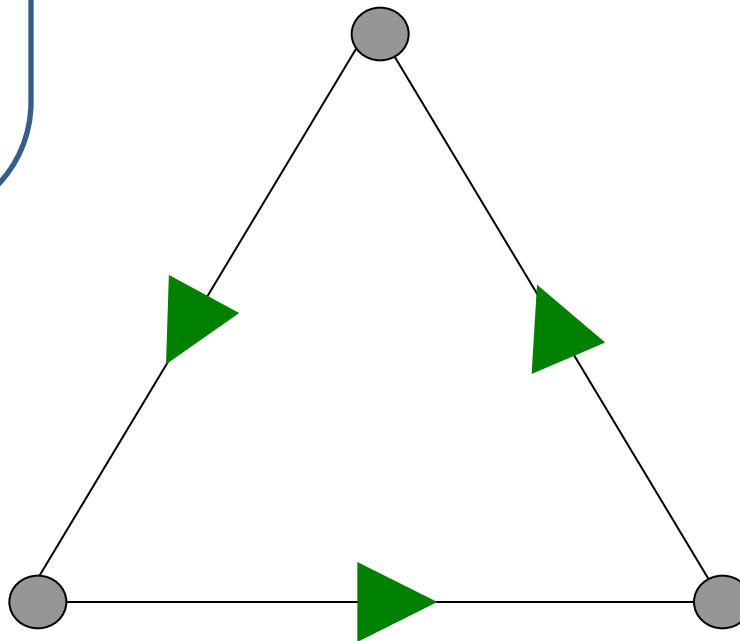
Processing → Structure → Properties → Performance



The Materials Tetrahedron

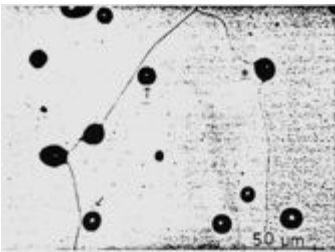


Processing



Microstructure

Properties



*Mechanical
properties*



Structure des Matériaux?

- **Composition chimique**
- **Microstructure** (organisation des atomes constitutifs).

La caractéristique la plus évidente de la matière non vivante qui nous entoure est son - **Etat physique?** solide, liquide ou gazeux.

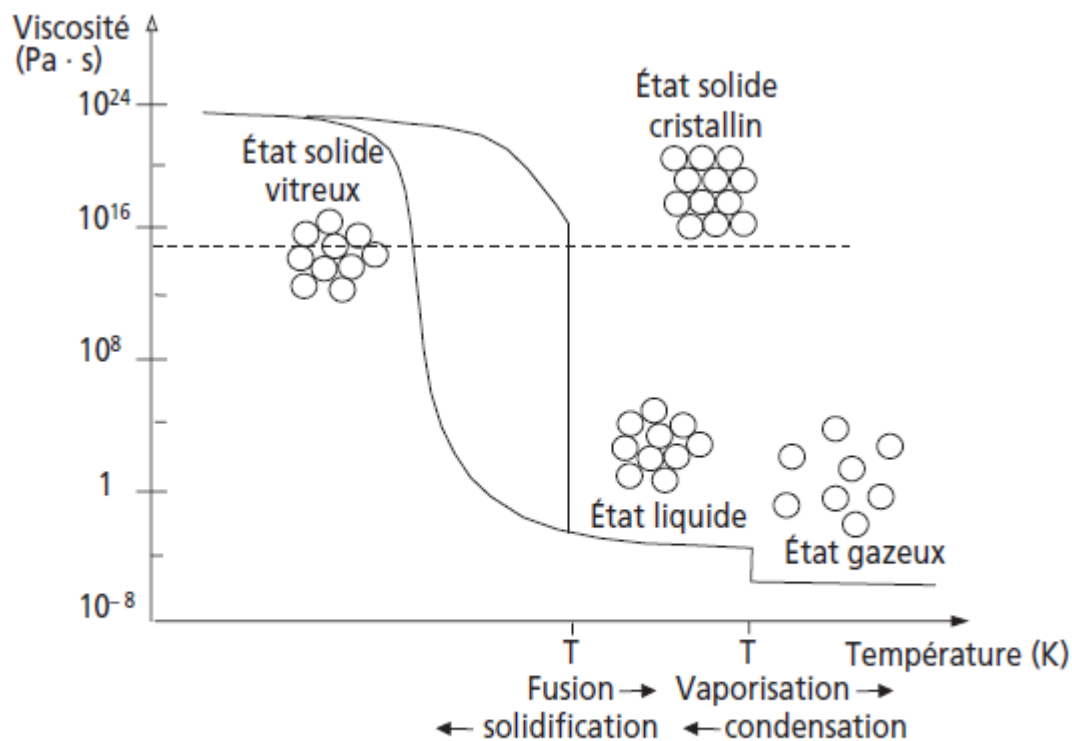


Figure 1.2 Changements d'état de la matière en fonction de la température.

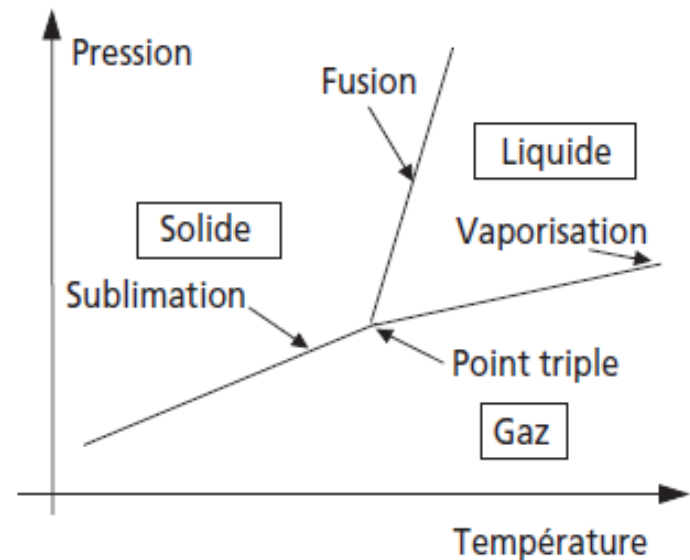


Figure 1.3 Variation des états physiques fonction de la pression et de la température.

Propriétés, structure, processus et conception des matériaux

Propriété d'un Matériau:

attribut d'un matériau qui est indépendant de sa taille et de sa forme.

Exemples: La Dureté ou la Couleur

6 categories de propriétés des Matériaux

- Propriétés *Mécaniques*
- Propriétés Thermiques
- Propriétés Détérioratives
- Propriétés Electriques
- Propriétés Magnétiques
- Propriétés Optiques

Propriétés Mécaniques

Rigidité 'Stiffness' (module
d'élasticité : E)



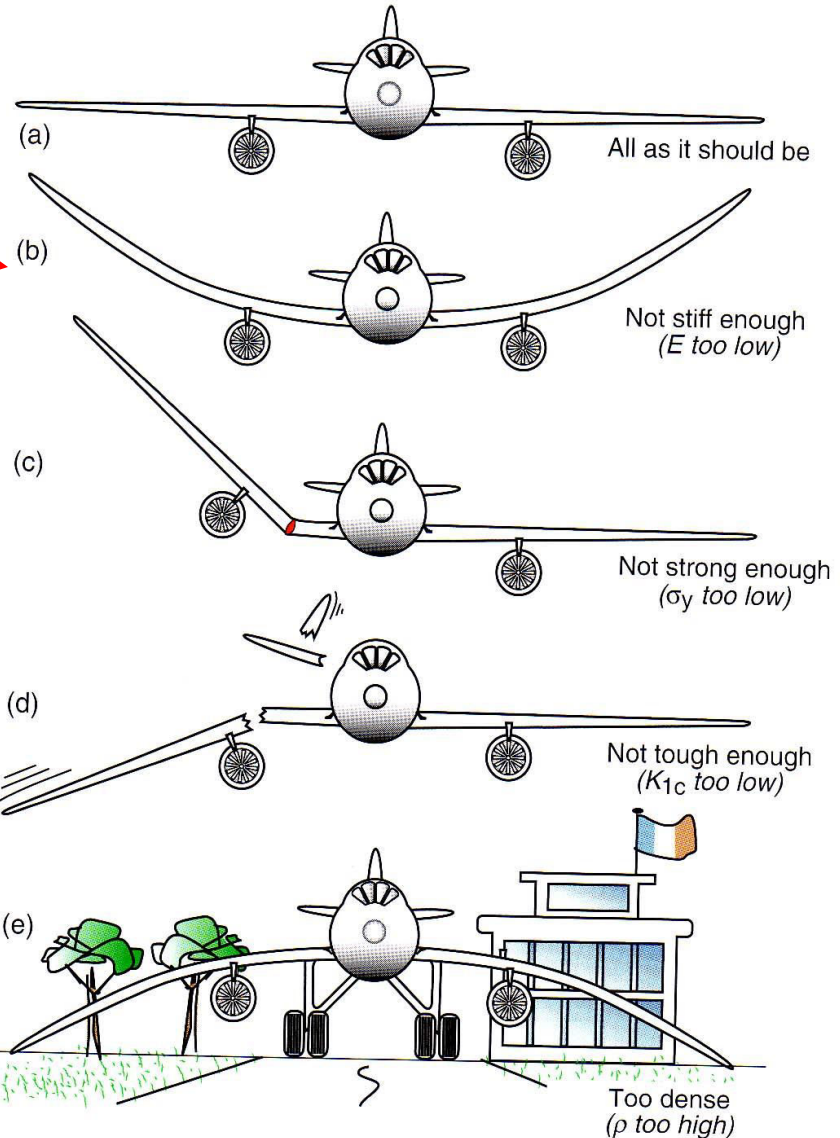
Contrainte de rupture 'Yield
strength' (σ_y)



Résistance à la propagation des
fissures 'Fracture toughness'
(K_{Ic})



Densité (ρ)



La chose importante à propos de toute propriété matérielle est qu'elle est quantifiable!!

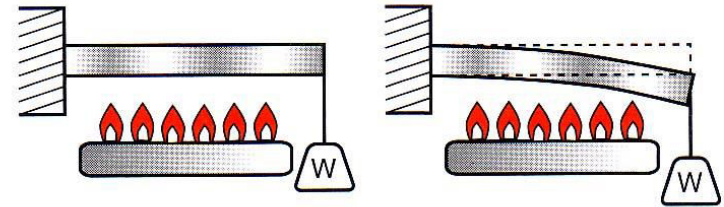
Exemple:

- Le module d'élasticité de l'acier est:
 30×10^6 psi.
- Le module d'élasticité de l'aluminium est:
 10×10^6 psi

Lequel de ceux-ci ferait un meilleur ressort ?

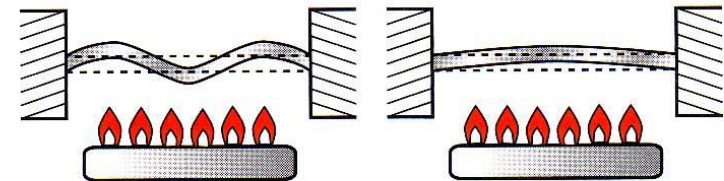
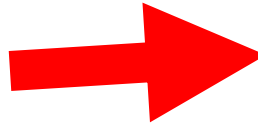
Propriétés Thermiques

- *Température d'utilisation*



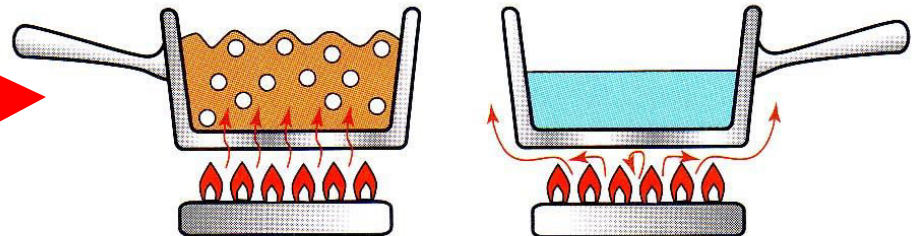
(a) High service temperature $T_{\max}$ Low service temperature $T_{\max}$

- *Coefficient de dilatation thermique*



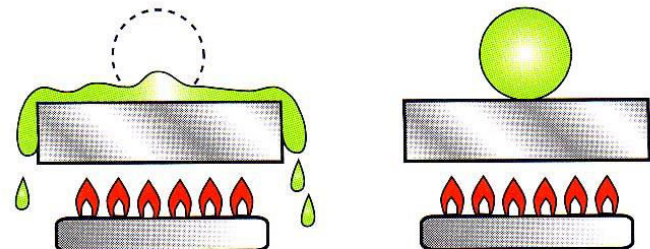
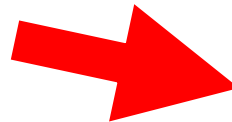
(b) High expansion coefficient α Low expansion coefficient α

- *Conductivité thermique*



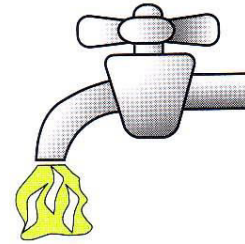
(c) High conductivity λ Low conductivity λ

- *Diffusion thermique*



(d) High T-diffusivity a Low T-diffusivity a

Propriétés Détérioratives



Fresh water



Salt water

- *Corrosion*

- *Oxidation*

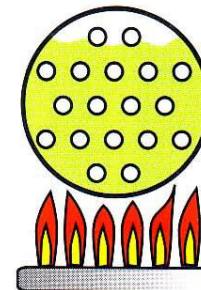
- *Weathering*



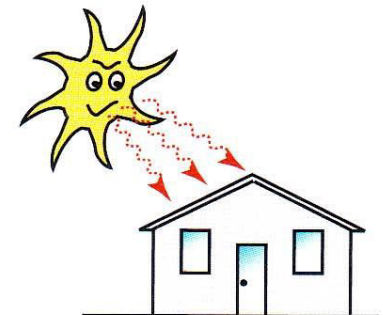
Acids and alkalis



Organic solvents



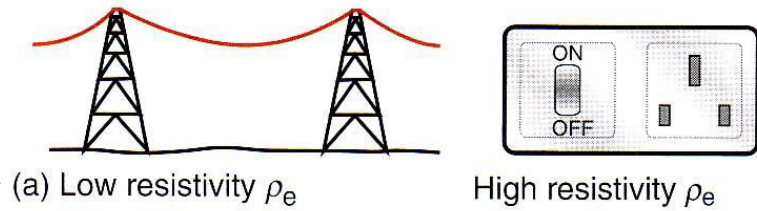
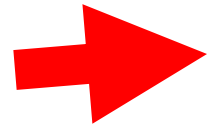
Oxidation



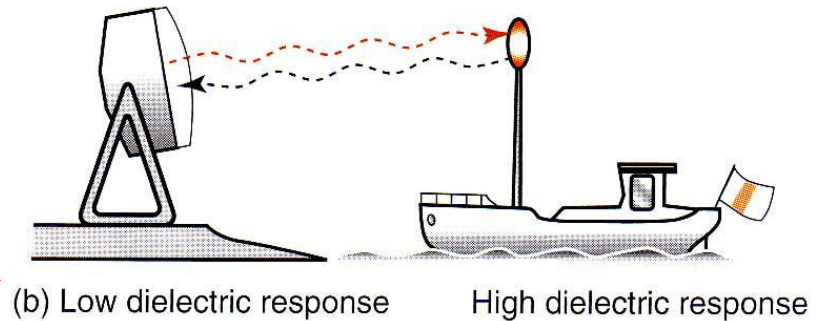
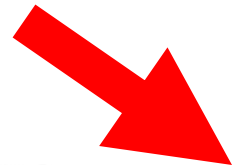
UV radiation

Propriétés Electriques, Magnétiques et Optiques

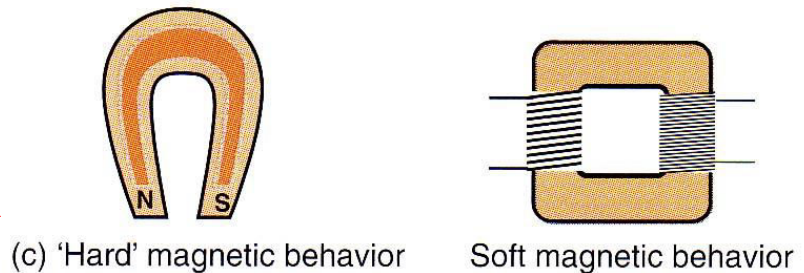
Résistivité électrique



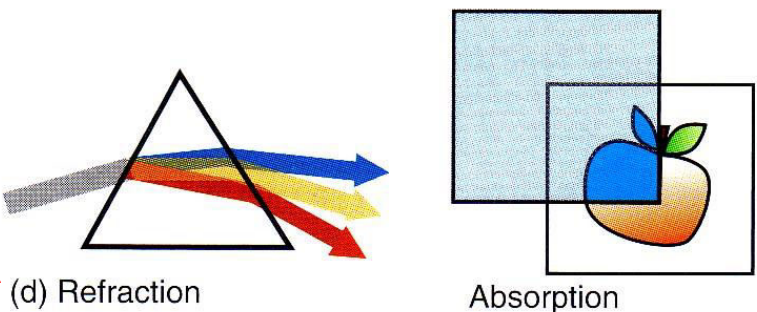
Réponse diélectrique

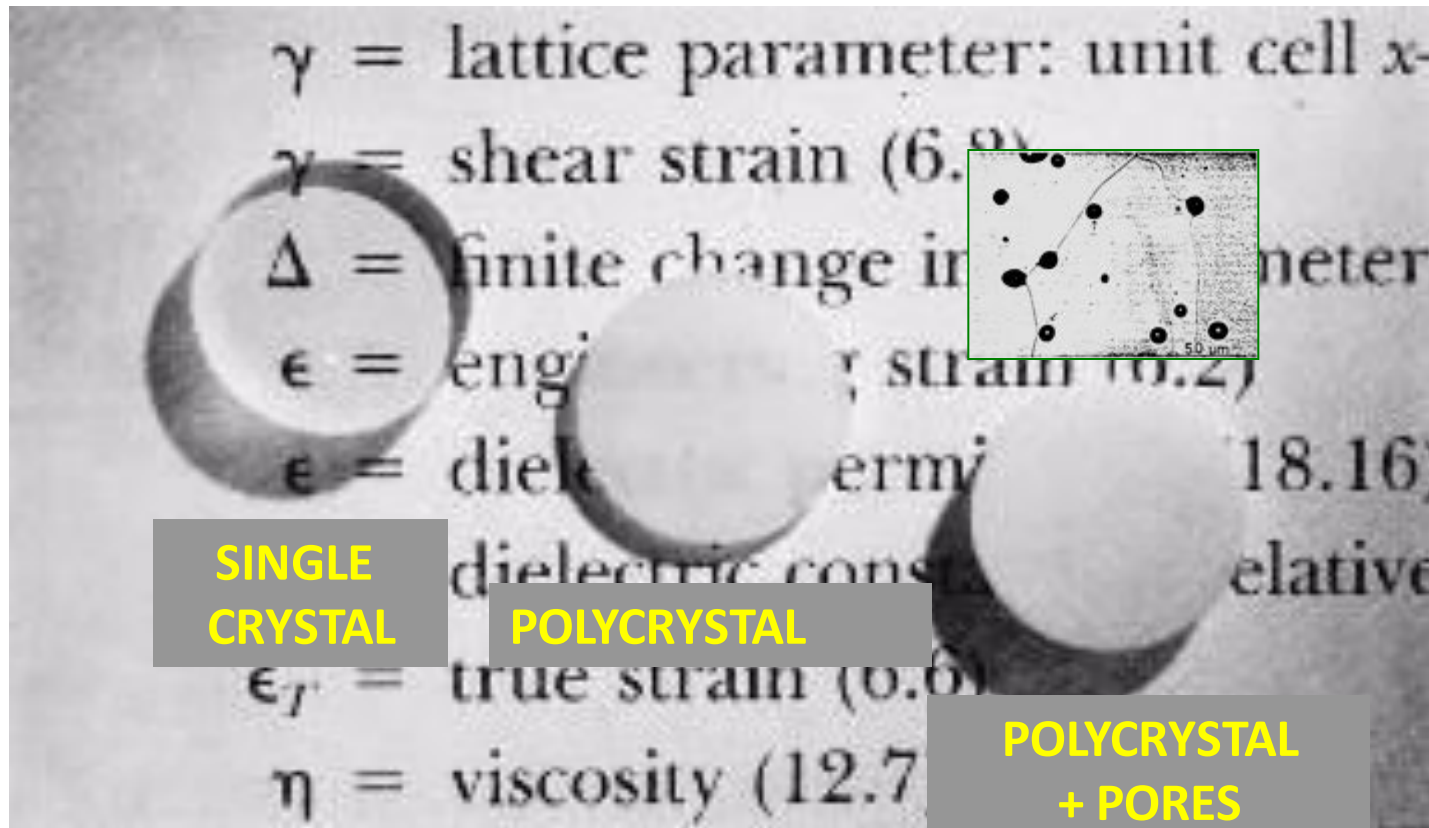


Comportement magnétique



Réfraction, absorption d'un OEM..





– Alumina (Al_2O_3) – single crystal and polycrystal

PROPRIÉTÉS RECHERCHÉES DES MATÉRIAUX ?

Physiques

masse spécifique, conductibilité électrique, thermique, ionique, énergie de surface, chaleurs latentes de transformation, coefficients de dilatation thermique, indice de réfraction, etc.

Chimiques

résistance à l'oxydation, à la corrosion, stabilité, réactivité, diagrammes d'équilibre, etc.

Mécaniques

élasticité, plasticité, résistance à la rupture, ténacité, dureté, résistance à l'usure, tenue à la fatigue, au fluage etc.

PERFORMANCES RECHERCHÉES DES MATÉRIAUX ?

Reproductibilité, fiabilité, durabilité, efficacité, coût, absence de nocivité, capacité de recyclage ...etc.

Propriétés objectives

(intrinsèques au matériau)

Mécaniques statiques :

- constantes d'élasticité,
- dureté,
- contraintes limites...

Mécaniques dynamiques :

- viscosité,
- fluage, fatigue,
- ténacité,
- amortissement...

Structurales :

- structure amorphe ou cristalline, variétés allotropiques,
- températures de changement d'état,
- homogénéité...

Physiques :

- masse volumique,
- propriétés électriques, thermiques, magnétiques, optiques, radioactives...

Chimiques :

- réactivité,
- toxicité,
- tenue à la corrosion...

Tenue au vieillissement

Stabilité physique

Tribologiques :

- friction,
- usure...

Propriétés attribuées

(dépendant du contexte)

Disponibilité :

- ressources,
- réserves,
- fournisseurs,
- niveaux de qualité...

Coût :

- matière première,
- élaboration,
- mise en oeuvre...

Degré de familiarité :

- connaissance du matériau, expérience à court et long terme,
- savoir-faire acquis sur le matériau...

Aptitudes à la mise en oeuvre :

- ductilité,
- coulabilité,
- usinabilité...

Aptitudes à l'assemblage :

- soudabilité,
- collabilité...

Désignation :

- chimique,
- normalisée,
- commerciale...

Impact environnemental :

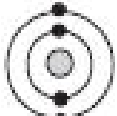
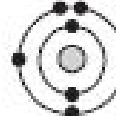
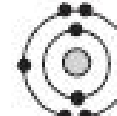
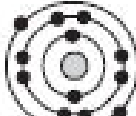
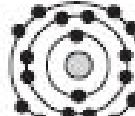
- contenu en énergie,
- dégradabilité,
- recyclabilité...

Caractéristiques organoleptiques :

- aspect, texture, couleur..

Table 3. PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

1 IA	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 VIIA
1 H	IIA											IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	-----	VIII	-----	IB	IIB	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra																
		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	
		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lw	

	Groupe I	Groupe II	Groupe III	Groupe IV	Groupe V	Groupe VI	Groupe VII	Groupe VIII
1 ^{re} Période (bande K)	$Z = 1 \quad A = 1$  Hydrogène H							$Z = 2 \quad A = 4$  Hélium He
2 ^{re} Période (bandes K et L)	$Z = 3 \quad A = 7$  Lithium Li	$Z = 4 \quad A = 9$  Béryllium Be	$Z = 5 \quad A = 11$  Bore B	$Z = 6 \quad A = 12$  Carbone C	$Z = 7 \quad A = 14$  Azote N	$Z = 8 \quad A = 16$  Oxygène O	$Z = 9 \quad A = 19$  Fluor F	$Z = 10 \quad A = 20$  Néon Ne
3 ^{re} Période (bandes K, L et M)	$Z = 11 \quad A = 23$  Sodium Na	$Z = 12 \quad A = 24$  Magnésium Mg	$Z = 13 \quad A = 27$  Aluminium Al	$Z = 14 \quad A = 28$  Silicium Si	$Z = 15 \quad A = 31$  Phosphore P	$Z = 16 \quad A = 32$  Soufre S	$Z = 17 \quad A = 35$  Chlore Cl	$Z = 18 \quad A = 40$  Argon Ar
4 ^{re} Période (bandes K, L, M et N)	$Z = 19 \quad A = 39$  Potassium K	$Z = 20 \quad A = 40$  Calcium Ca	...					
5 ^{re} Période...	:							

At. No.	Element	Sym	Electronic Configuration																	
			1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	7s
1	Hydrogen	H	1																	
2	Helium	He	2																	
3	Lithium	Li		1																
4	Beryllium	Be		2																
5	Boron	B		2	1															
6	Carbon	C		2	2															
7	Nitrogen	N		2	3															
8	Oxygen	O		2	4															
9	Fluorine	F		2	5															
10	Neon	Ne		2	6															
11	Sodium	Na				1														
12	Magnesium	Mg				2														
13	Aluminum	Al				2	1													
14	Silicon	Si				2	2													
15	Phosphorus	P				2	3													
16	Sulfur	S				2	4													
17	Chlorine	Cl				2	5													
18	Argon	Ar				2	6													
19	Potassium	K							1											
20	Calcium	Ca							2											
21	Scandium	Sc						1	2											
22	Titanium	Ti						2	2											
23	Vanadium	V						3	2											
24	Chromium	Cr						5	1											
25	Manganese	Mn						5	2											
26	Iron	Fe						6	2											
27	Cobalt	Co						7	2											
28	Nickel	Ni						8	2											
29	Copper	Cu						10	1											
30	Zinc	Zn						10	2											
31	Gallium	Ga						10	2	1										
32	Germanium	Ge						10	2	2										
33	Arsenic	As						10	2	3										
34	Selenium	Se						10	2	4										
35	Bromine	Br						10	2	5										
36	Krypton	Kr						10	2	6										
37	Rubidium	Rb											1							
38	Strontium	Sr											2							
39	Yttrium	Y									1		2							
40	Zirconium	Zr									2		2							
41	Niobium	Nb									4		1							
42	Molybdenum	Mo									5		1							
43	Technetium	Tc									6		1							
44	Ruthenium	Ru									7		1							
45	Rhodium	Rh									8		1							
46	Palladium	Pd									10									
47	Silver	Ag									10		1							
48	Cadmium	Cd									10		2							
49	Indium	In									10		2	1						
50	Tin	Sn									10		2	2						
51	Antimony	Sb									10		2	3						
52	Tellurium	Te									10		2	5						
53	Iodine	I									10		2	5						

Cours Nou

At. No.	Element	Sym	Electronic Configuration																	
			1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	7s
55	Cesium	Ce	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
56	Barium	Ba	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
57	Lantium	La	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	2	-	-
58	Cerium	Ce	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	2	-	-
59	Praseodymium	Pr	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
60	Neodymium	Nd	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
61	Promethium	Pm	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
62	Samarium	Sm	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
63	Europium	Eu	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
64	Gadolinium	Gd	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	1	-	-	-	2	-	-
65	Terbium	Tb	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
66	Dysprosium	Dy	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
67	Holmium	Ho	-	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
68	Erbium	Er	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
69	Thulium	Tm	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
70	Ytterbium	Yb	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-
71	Lutetium	Lu	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	1	-	-	-	2	-	-
72	Hafnium	Hf	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	2	-	-	-	2	-	-
73	Tantalum	Ta	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	3	-	-	-	2	-	-
74	Tungsten	W	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	4	-	-	-	2	-	-
75	Rhenium	Re	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	5	-	-	-	2	-	-
76	Osmium	Os	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	6	-	-	-	2	-	-
77	Iridium	Ir	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-
78	Platinum	Pt	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	9	-	-	1	-	-	-
79	Gold	Au	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	10	-	-	1	-	-	-
80	Mercury	Hg	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	10	-	-	2	-	-	-
81	Thallium	Tl	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	10	-	-	2	1	-	-
82	Lead	Pb	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	10	-	-	2	2	-	-
83	Bismuth	Bi	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	10	-	-	2	3	-	-
84	Polonium	Po	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	10	-	-	2	4	-	-
85	Asatine	At	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	10	-	-	2	5	-	-
86	Radon	Rn	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	10	-	-	2	6	-	-
87	Francium	Fr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
88	Radium	Ra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-
89	Actinium	Ac	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-
90	Thorium	Th	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	-
91	Protoactinium	Pa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	1	2	-
92	Uranium	U	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	1	2	-
93	Neptunium	Np	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	-	1	2	-
94	Plutonium	Pu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	2	-
95	Americium	Am	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	2	-
96	Curium	Cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	1	2	-
97	Berkelium	Bk	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	2	-
98	Californium	Cf	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	2	-
99	Einsteinium	Es	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	-	-	-	2	-
100	Fermium	Fm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	-	-	2	-
101	Mendelevium	Md	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13	-	-	-	2	-
102	Nobelium	No	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-	2	-
103	Lawrencium	Lw	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-

La majorité des éléments sont des **METAUX**

																		Metal			
																		Nonmetal			
																		Intermediate			

QU'EST-CE QU'UN METAL ?

C'est un élément qui possède :

- un éclat particulier « **l'éclat métallique** »  *structure électronique*
- une bonne conductibilité thermique et électrique

le **diamant** conduit bien la chaleur mais pas l'électricité

Le **graphite** est un bon conducteur électrique mais pas de la chaleur

la **pyrite de fer** a un éclat métallique...

mais ce ne sont pas des métaux !

- de bonnes propriétés mécaniques :
 - dureté
 - ténacité (résistance au déchirement)
 - malléabilité
 - ductilité (étirable)

-éléments électropositifs, formant avec l'oxygène un ou plusieurs **oxydes basiques** (difficulté d'obtenir des métaux purs à l'état naturel)

Les différentes classes de métaux

- 1) les métaux « nobles » (Au, Ag, Pt)
peu réactifs (non-oxydables) se rencontrent à l'état « natif » (pur) dans la nature.
- 2) les métaux alcalins (Na, K,...) et alcalino-terreux (Mg, Ca..)
très réactifs (en particulier avec les gaz halogènes) remplissage des niveaux s.
- 3) les métaux de transitions (Ti, Fe, Ni...)
remplissage des bandes d et chevauchement avec sp
- 4) Terres rares (lanthanides)(La, Ce...) et actinides (Th, U, Pu,...)
remplissages des couches f

Diagram illustrating the periodic table with labels for various groups and elements:

Labels:

- S** (s-block)
- d** (d-block)
- p** (p-block)
- f** (f-block)
- non-métaux** (non-metals)
- gaz halogènes** (halogen gases)
- gaz rares** (noble gases)
- métaux alcalins** (alkali metals)
- métaux alcalino-terreux** (alkaline earth metals)
- métaux de transition** (transition metals)
- métaux** (metals)
- terres rares (lanthanides)** (rare earth elements)
- actinides**

Periodic Table Data:

Row	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H 1.007																	2 He 4.002
2	3 Li 6.94	4 Be 9.012											5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.00	8 O 15.99	9 F 18.99	10 Ne 20.17
3	11 Na 22.98	12 Mg 24.30											13 Al 26.98	14 Si 28.08	15 P 30.97	16 S 32.06	17 Cl 35.45	18 Ar 39.94
4	19 K 39.09	20 Ca 40.08	21 Sc 44.95	22 Ti 47.90	23 V 50.94	24 Cr 51.99	25 Mn 54.93	26 Fe 55.84	27 Co 58.93	28 Ni 58.71	29 Cu 63.54	30 Zn 65.38	31 Ga 69.72	32 Ge 72.59	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.90	36 Kr 83.80
5	37 Rb 85.46	38 Sr 87.62	39 Y 88.90	40 Zr 91.22	41 Nb 92.90	42 Mo 95.94	43 Tc 98.90	44 Ru 101.0	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.8	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.6	51 Sb 121.7	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3
6	55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57 La 138.9	58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm (145)	62 Sm 150.4	63 Eu 151.9	64 Gd 157.2	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.2	69 Tm 168.9	70 Yb 173.0	71 Lu 174.9	
7	87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 Ac (227)	90 Th (232)	91 Pa (231)	92 U (238)	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (254)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (260)	

Additional Labels:

- métaux alcalins** (pointing to Group 1)
- métaux alcalino-terreux** (pointing to Group 2)
- métaux de transition** (pointing to Groups 3-10)
- métaux** (pointing to Groups 11-10)
- terres rares (lanthanides)** (pointing to the f-block)
- actinides** (pointing to the f-block)

les métaux sont majoritaires

Table 4. PERIODIC TABLE OF ELEMENTS IN METALLIC MATERIALS

1 IA	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 VIIA
	IIA											IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	
3 Li	4 Be											5 B					
11 Na	12 Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	-----	VIII	-----	IB	IIB	13 Al					
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga					
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb			
55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi			
87 Fr	88 Ra																

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lw

Les métaux et leurs alliages



Table 5. PERIODIC TABLE OF ELEMENTS IN CERAMIC MATERIALS

1 IA	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 VIIA
	IIA											IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O		
11 Na	12 Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	-----	VIII	-----	IB	IIB	13 Al	14 Si	15 P	16 S		
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge				
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb			
55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi			
87 Fr	88 Ra																

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lw

Les céramiques

Les céramiques techniques: isolation électrique et résistance aux attaques chimiques (paillasse de chimie)



Les biocéramiques
(prothèses dentaires ou esthétiques...)



Table 6. PERIODIC TABLE OF ELEMENTS IN POLYMERIC MATERIALS

1 IA	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 VIIA
1 H	IIA											IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	
													6 C	7 N	8 O	9 F	
		IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	-----	VIII	-----	IB	IIB		14 Si				

Pouvez-vous nommer la matière polymère?



Bakelite



PVC



PS



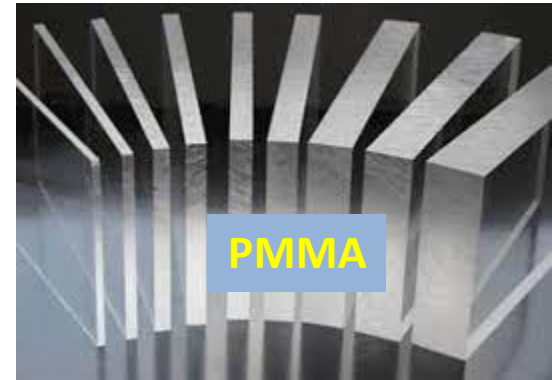
PMMA



EN 1220



PEHD



PMMA



PTFE(Teflon)



LDPE



PTFE



LDPE

Table 7. PERIODIC TABLE OF ELEMENTS IN SEMICONDUCTING MATERIALS

1 IA	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 VIIA
	IIA											IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	
															8 O		
		IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	-----	VIII	-----	IB	IIB	13 Al	14 Si	15 P	16 S		
											30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se		
											48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te		
											80 Hg						

[illegible]

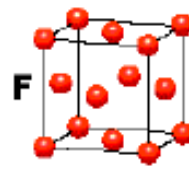
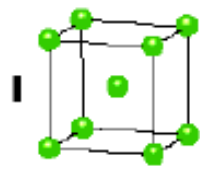
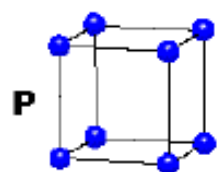
System	Axial Lengths and Angles	Unit Cell Geometry
Cubic	$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Tetragonal	$a = b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Orthorhombic	$a \neq b \neq c, \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Rhombohedral	$a = b = c, \alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	
Hexagonal	$a = b \neq c, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	
Monoclinic	$a \neq b \neq c, \alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	
Triclinic	$a \neq b \neq c, \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$	
Source: James F. Shackelford, <i>Introduction to Materials Science for Engineers, 4th ed.</i> , Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 1996.		

Structures cristallographiques

Cubique

$$a = b = c$$

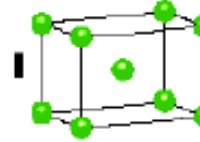
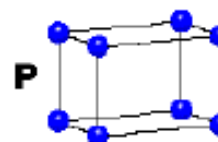
$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



Quadratique

$$a = b \neq c$$

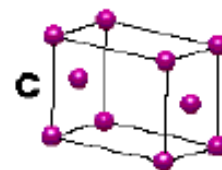
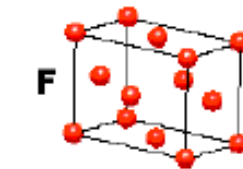
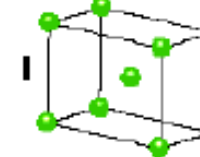
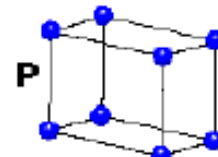
$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



Orthorhombique

$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

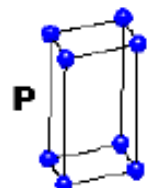


Hexagonal

$$a = b \neq c$$

$$\alpha = \beta = 90^\circ$$

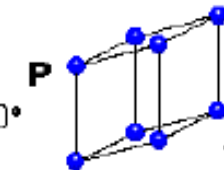
$$\gamma = 120^\circ$$



Trigonal

$$a = b = c$$

$$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$$



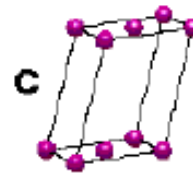
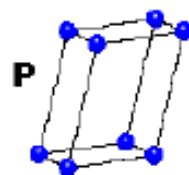
4 types de réseau

Monoclinique

$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha = \gamma = 90^\circ$$

$$\beta \neq 90^\circ$$



Triclinique

$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$$



4 types de réseau

P Primitif

I centré

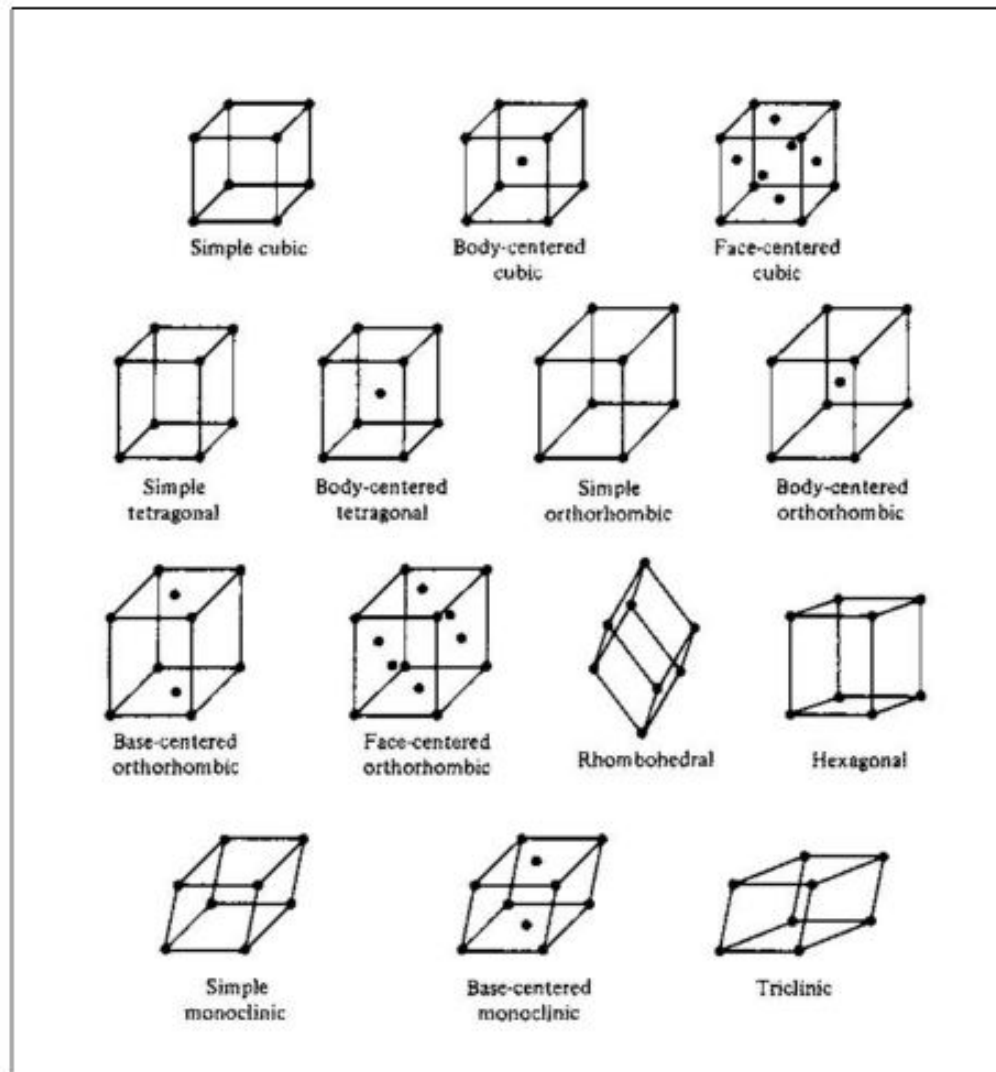
F toutes faces centrées

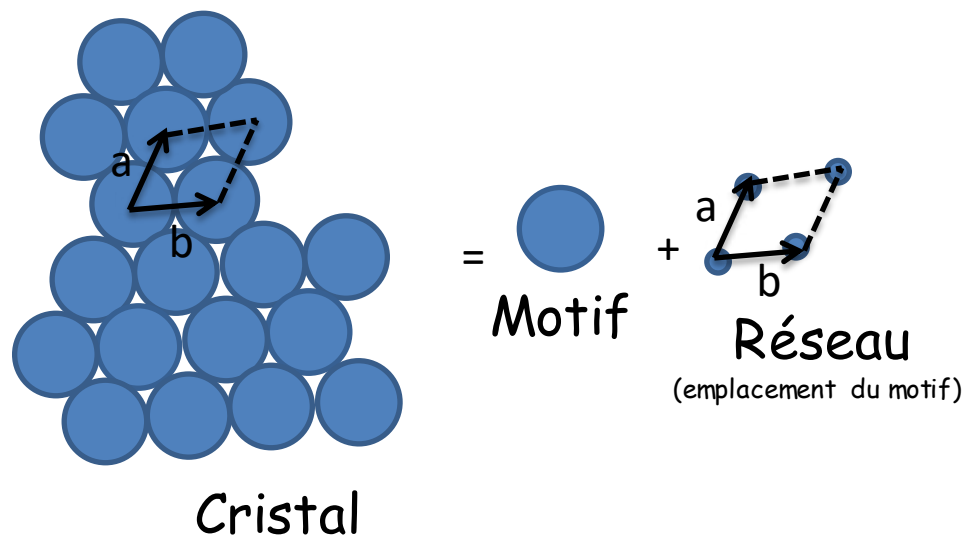
C 1 face centrée

+ 7 systèmes cristallins

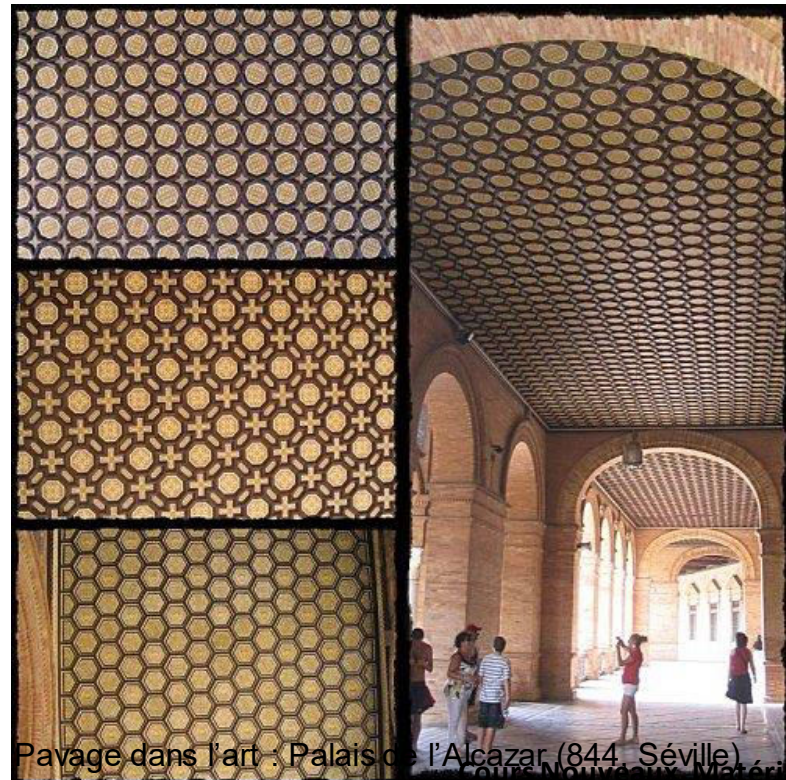
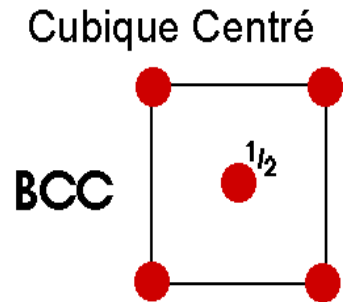
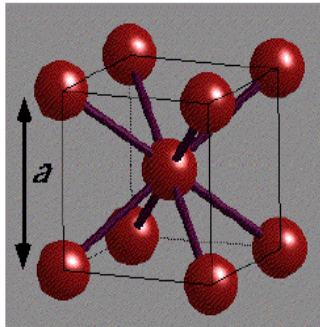
= 14 réseaux de BRAVAIS

Table 17. THE FOURTEEN BRAVAIS LATTICES





Cristal = Motif + réseau



Pavage dans l'art : Palais de l'Alcazar (844, Séville)

Table 18. PERIODIC TABLE OF THE BODY CENTERED CUBIC ELEMENTS

1 IA	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 VIIA
	IIA											IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	
3 Li																	
11 Na		IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	-----	VIII	-----	IB	IIB						
19 K				23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe										
37 Rb				41 Nb	42 Mo												
55 Cs	56 Ba			73 Ta	74 W												
87 Fr	88 Ra																
							63 Eu										

Table 20. PERIODIC TABLE OF THE HEXAGONAL CLOSE PACKED ELEMENTS

1 IA	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 VIIA
	IIA											IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	
	4 Be																
	12 Mg	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	-----	VIII	-----	IB	IIB						
			22 Ti					27 Co			30 Zn						
		39 Y	40 Zr			43 Tc	44 Ru				48 Cd						
			72 Hf			75 Re	76 Os					81 Tl					
								64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm			71 Lu	

57 La		59 Pr	60 Nd	61 Pm										
						95 Am	96 Cm	97 Bk						

H -259																	He -272
Li 181	Be 1 287	Température de Fusion										B 2 075	C 3 500	N -210	O -219	F -219	Ne -249
Na 98	Mg 650											Al 660	Si 1 414	P 44	S 115	Cl -102	Ar -189
K 64	Ca 842	Sc 1 541	Ti 1 668	V 1 910	Cr 1 907	Mn 1 246	Fe 1 538	Co 1 495	Ni 1 455	Cu 1 085	Zn 420	Ga 30	Ge 938	As 817	Se 221	Br -7	Kr -157
Rb 39	Sr 777	Y 1 522	Zr 1 855	Nb 2 477	Mo 2 623	Tc 2 157	Ru 2 333	Rh 1 964	Pd 1 555	Ag 962	Cd 321	In 157	Sn 232	Sb 631	Te 450	I 114	Xe -112
Cs 29	Ba 727	*	Hf 2 233	Ta 3 017	W 3 422	Re 3 185	Os 3 033	Ir 2 446	Pt 1 768	Au 1 064	Hg -39	Tl 304	Pb 327	Bi 271	Po 254	At 302	Rn -71
Fr 27	Ra 696	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo
*	La 920	Ce 799	Pr 931	Nd 1 016	Pm 1 042	Sm 1 072	Eu 822	Gd 1 313	Tb 1 359	Dy 1 412	Ho 1 472	Er 1 529	Tm 1 545	Yb 824	Lu 1 663		
**	Ac 1 050	Th 1 750	Pa 1 572	U 1 135	Np 644	Pu 640	Am 1 176	Cm 1 345	Bk 986	Cf 900	Es 860	Fm 1 527	Md 827	No 827	Lr 1 627		

Conductivité électrique

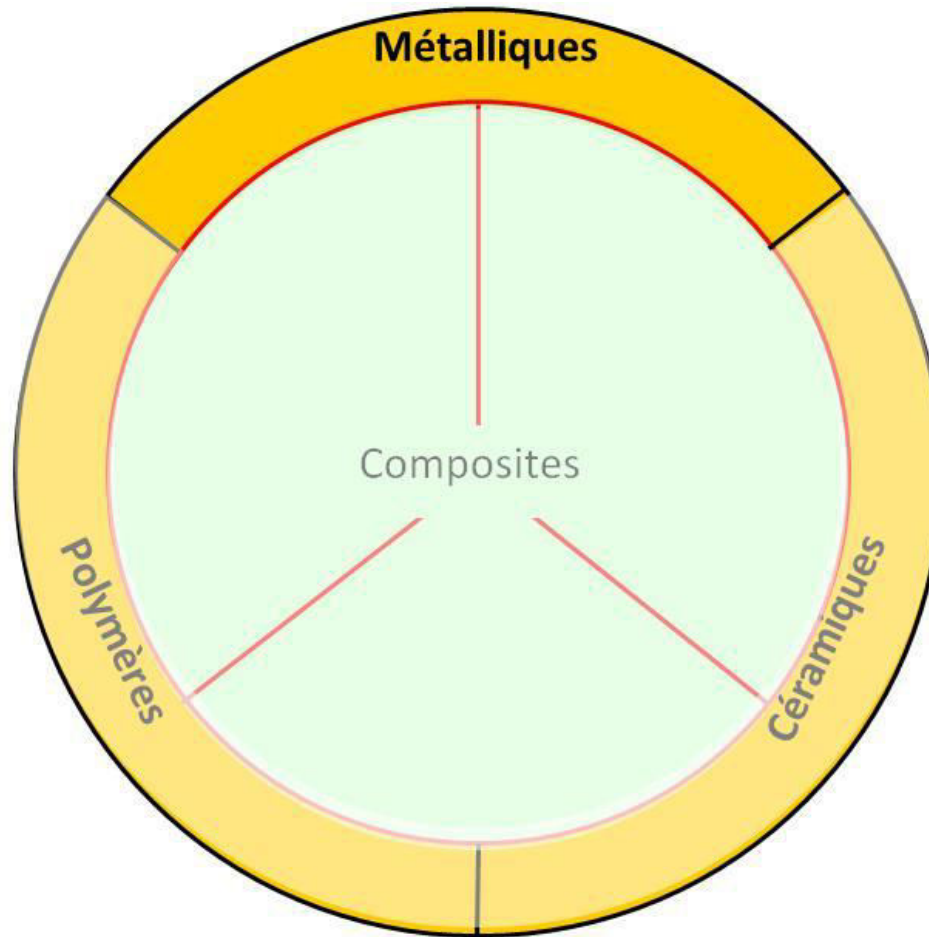
H																	He
Li 9,55	Be 3,76											B	C	N	O	F	Ne
Na 4,93	Mg 4,51											Al 2,733	Si	P	S	Cl	Ar
K 7,47	Ca 3,45	Sc 56,2	Ti 39	V 20,2	Cr 12,7	Mn 144	Fe 9,98	Co 5,6	Ni 7,2	Cu 1,725	Zn 6,06	Ga 13,6	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb 13,3	Sr 13,5	Y 59,6	Zr 43,3	Nb 15,2	Mo 5,52	Tc	Ru 7,1	Rh 4,3	Pd 10,8	Ag 1,629	Cd 6,8	In 8	Sn 11,5	Sb 39	Te	I	Xe
Cs 21	Ba 34,3	*	Hf 34	Ta 13,5	W 5,44	Re 17,2	Os 8,1	Ir 4,7	Pt 10,8	Au 2,271	Hg 96,1	Tl 15	Pb 21,3	Bi 107	Po 40	At	Rn
Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo
*	La 4,7	Ce	Pr 70	Nd 64,3	Pm 75	Sm 94	Eu 90	Gd 131	Tb 115	Dy 92,6	Ho 81,4	Er 86	Tm 67,6	Yb 25	Lu 58,2		
**	Ac	Th 14,7	Pa 17,7	U 28	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

Conductivité thermique des éléments à 27 °C en $W \cdot cm^{-1} \cdot K^{-1}$ ⁸ :

Conductivité thermique

H																	He
Li 0,847	Be 2											B 2,37	C 1,48	N	O	F	Ne
Na 1,41	Mg 1,56											Al 2,37	Si 1,48	P	S	Cl	Ar
K 1,024	Ca 2	Sc 0,158	Ti 0,219	V 0,307	Cr 0,937	Mn 0,0782	Fe 0,802	Co 1	Ni 0,907	Cu 4,01	Zn 1,16	Ga 0,406	Ge 0,599	As 0,5	Se	Br	Kr
Rb 0,582	Sr 0,353	Y 0,172	Zr 0,227	Nb 0,537	Mo 1,38	Tc 0,506	Ru 1,17	Rh 1,5	Pd 0,718	Ag 4,29	Cd 0,968	In 0,816	Sn 0,666	Sb 0,243	Te	I 0,45	Xe
Cs 0,359	Ba 0,184	*	Hf 0,23	Ta 0,575	W 1,74	Re 0,479	Os 0,876	Ir 1,47	Pt 0,716	Au 3,17	Hg 0,0834	Tl 0,461	Pb 0,353	Bi 0,0787	Po 0,2	At	Rn
Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo
*	La 0,134	Ce 0,113	Pr 0,125	Nd 0,165	Pm 0,15	Sm 0,133	Eu 0,139	Gd 0,105	Tb 0,111	Dy 0,107	Ho 0,162	Er 0,145	Tm 0,169	Yb 0,385	Lu 0,164		
**	Ac	Th 0,54	Pa	U 0,276	Np 0,063	Pu 0,0674	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

CLASSIFICATION DES MATÉRIAUX





Les classes de propriétés des matériaux.

Propriétés économiques et environnementales	
Propriétés physiques générales	
Propriétés mécaniques	
Propriétés thermiques	
Propriétés électriques et magnétiques	
Interaction avec l'environnement	
Aptitude à la mise en œuvre	
Propriétés esthétiques	

Les classes de propriétés des matériaux.

Propriétés économiques et environnementales	Coût et disponibilité Recyclabilité Durabilité Empreinte carbone
Propriétés physiques générales	
Propriétés mécaniques	
Propriétés thermiques	
Propriétés électriques et magnétiques	
Interaction avec l'environnement	
Aptitude à la mise en œuvre	
Propriétés esthétiques	

Les classes de propriétés des matériaux.

Propriétés économiques et environnementales	Coût et disponibilité Recyclabilité Durabilité Empreinte carbone
Propriétés physiques générales	Masse volumique
Propriétés mécaniques	
Propriétés thermiques	
Propriétés électriques et magnétiques	
Interaction avec l'environnement	
Aptitude à la mise en œuvre	
Propriétés esthétiques	

Les classes de propriétés des matériaux.

Propriétés économiques et environnementales	Coût et disponibilité Recyclabilité Durabilité Empreinte carbone
Propriétés physiques générales	Masse volumique
Propriétés mécaniques	Module d'élasticité Limite d'élasticité, résistance à la traction Dureté Ténacité Résistance à la fatigue Résistance au fluage Pouvoir amortissant
Propriétés thermiques	
Propriétés électriques et magnétiques	
Interaction avec l'environnement	
Aptitude à la mise en œuvre	
Propriétés esthétiques	

Les classes de propriétés des matériaux.

Propriétés économiques et environnementales	Coût et disponibilité Recyclabilité Durabilité Empreinte carbone
Propriétés physiques générales	Masse volumique
Propriétés mécaniques	Module d'élasticité Limite d'élasticité, résistance à la traction Dureté Ténacité Résistance à la fatigue Résistance au fluage Pouvoir amortissant
Propriétés thermiques	Conductivité thermique Capacité calorifique spécifique Coefficient de dilatation thermique
Propriétés électriques et magnétiques	
Interaction avec l'environnement	
Aptitude à la mise en œuvre	
Propriétés esthétiques	

Les classes de propriétés des matériaux.

Propriétés économiques et environnementales	Coût et disponibilité Recyclabilité Durabilité Empreinte carbone
Propriétés physiques générales	Masse volumique
Propriétés mécaniques	Module d'élasticité Limite d'élasticité, résistance à la traction Dureté Ténacité Résistance à la fatigue Résistance au fluage Pouvoir amortissant
Propriétés thermiques	Conductivité thermique Capacité calorifique spécifique Coefficient de dilatation thermique
Propriétés électriques et magnétiques	Résistivité Constante diélectrique Perméabilité magnétique
Interaction avec l'environnement	
Aptitude à la mise en œuvre	
Propriétés esthétiques	

Les classes de propriétés des matériaux.

Propriétés économiques et environnementales	Coût et disponibilité Recyclabilité Durabilité Empreinte carbone
Propriétés physiques générales	Masse volumique
Propriétés mécaniques	Module d'élasticité Limite d'élasticité, résistance à la traction Dureté Ténacité Résistance à la fatigue Résistance au fluage Pouvoir amortissant
Propriétés thermiques	Conductivité thermique Capacité calorifique spécifique Coefficient de dilatation thermique
Propriétés électriques et magnétiques	Résistivité Constante diélectrique Perméabilité magnétique
Interaction avec l'environnement	Oxydation Corrosion Usure
Aptitude à la mise en œuvre	
Propriétés esthétiques	

Les classes de propriétés des matériaux.

Propriétés économiques et environnementales	Coût et disponibilité Recyclabilité Durabilité Empreinte carbone
Propriétés physiques générales	Masse volumique
Propriétés mécaniques	Module d'élasticité Limite d'élasticité, résistance à la traction Dureté Ténacité Résistance à la fatigue Résistance au fluage Pouvoir amortissant
Propriétés thermiques	Conductivité thermique Capacité calorifique spécifique Coefficient de dilatation thermique
Propriétés électriques et magnétiques	Résistivité Constante diélectrique Perméabilité magnétique
Interaction avec l'environnement	Oxydation Corrosion Usure
Aptitude à la mise en œuvre	Facilité de mise en forme Assemblage Finition
Propriétés esthétiques	

Les classes de propriétés des matériaux.

Propriétés économiques et environnementales	Coût et disponibilité Recyclabilité Durabilité Empreinte carbone
Propriétés physiques générales	Masse volumique
Propriétés mécaniques	Module d'élasticité Limite d'élasticité, résistance à la traction Dureté Ténacité Résistance à la fatigue Résistance au fluage Pouvoir amortissant
Propriétés thermiques	Conductivité thermique Capacité calorifique spécifique Coefficient de dilatation thermique
Propriétés électriques et magnétiques	Résistivité Constante diélectrique Perméabilité magnétique
Interaction avec l'environnement	Oxydation Corrosion Usure
Aptitude à la mise en œuvre	Facilité de mise en forme Assemblage Finition
Propriétés esthétiques	Couleur Texture Toucher

Propriétés objectives

(intrinsèques au matériau)

Mécaniques statiques :

- constantes d'élasticité,
- dureté,
- contraintes limites...

Mécaniques dynamiques :

- viscosité,
- fluage, fatigue,
- ténacité,
- amortissement...

Structurales :

- structure amorphe ou cristalline, variétés allotropiques,
- températures de changement d'état,
- homogénéité...

Physiques :

- masse volumique,
- propriétés électriques, thermiques, magnétiques, optiques, radioactives...

Chimiques :

- réactivité,
- toxicité,
- tenue à la corrosion...

Tenue au vieillissement

Stabilité physique

Tribologiques :

- friction,
- usure...

Propriétés attribuées

(dépendant du contexte)

Disponibilité :

- ressources,
- réserves,
- fournisseurs,
- niveaux de qualité...

Coût :

- matière première,
- élaboration,
- mise en oeuvre...

Degré de familiarité :

- connaissance du matériau, expérience à court et long terme,
- savoir-faire acquis sur le matériau...

Aptitudes à la mise en oeuvre :

- ductilité,
- coulabilité,
- usinabilité...

Aptitudes à l'assemblage :

- soudabilité,
- collabilité...

Désignation :

- chimique,
- normalisée,
- commerciale...

Impact environnemental :

- contenu en énergie,
- dégradabilité,
- recyclabilité...

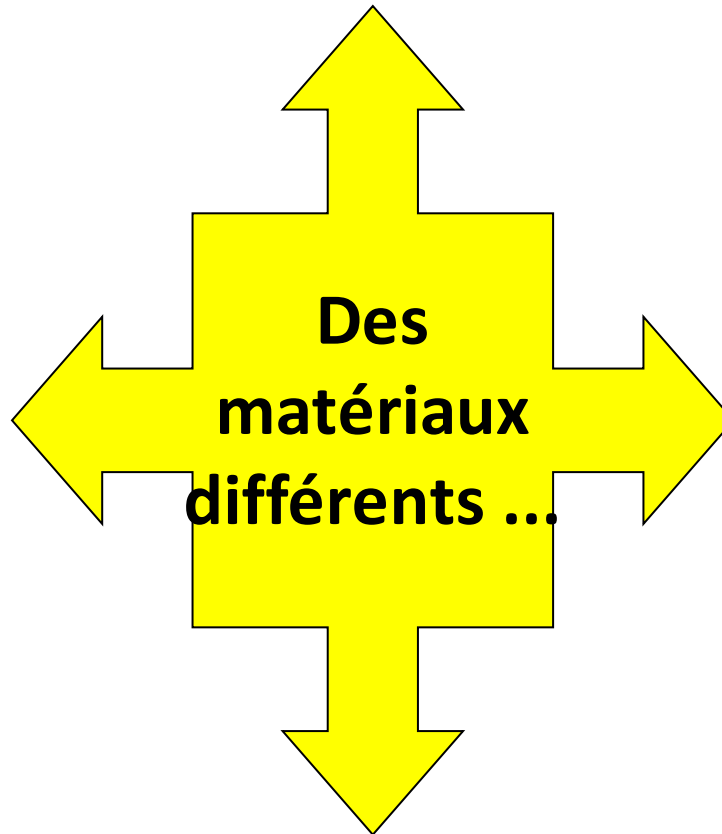
Caractéristiques organoleptiques :

- aspect, texture, couleur..

Quatre problématiques complémentaires...

Quelle est l'origine de ces matériaux ?

Quelles sont les propriétés de ces matériaux ?



Comment transformer ces matériaux ?

Comment recycler ces matériaux ?

Les différentes classes de matériaux.

Métaux et alliages	
Polymères	
Verres et céramiques*	

Les différentes classes de matériaux.

Métaux et alliages	Fer et aciers Aluminium et alliages Cuivre et alliages Nickel et alliages Titane et alliages
Polymères	
Verres et céramiques*	

Les différentes classes de matériaux.

Métaux et alliages	Fer et aciers Aluminium et alliages Cuivre et alliages Nickel et alliages Titane et alliages
Polymères	Polyéthylène (PE) Polyméthacrylate de méthyle (PMMA, Perspex) Nylon ou Polyamide (PA) Polystyrène (PS) Polyuréthane (PU) Polychlorure de vinyle (PVC) Polyéthylène Téréphtalate (PET) Polyétheréther Cétone (PEEK) Epoxydes (EP) Elastomères, dont le caoutchouc naturel (CN)
Verres et céramiques*	

Les différentes classes de matériaux.

Métaux et alliages	Fer et aciers Aluminium et alliages Cuivre et alliages Nickel et alliages Titane et alliages
Polymères	Polyéthylène (PE) Polyméthacrylate de méthyle (PMMA, Perspex) Nylon ou Polyamide (PA) Polystyrène (PS) Polyuréthane (PU) Polychlorure de vinyle (PVC) Polyéthylène Téréphtalate (PET) Polyétheréther Cétone (PEEK) Epoxydes (EP) Elastomères, dont le caoutchouc naturel (CN)
Verres et céramiques*	Alumine (Al_2O_3 , émeri, saphir) Magnésie (MgO) Verres de silice (SiO_2) et silicates Carbure de silicium (SiC) Nitrure de silicium (Si_3N_4) Ciment et béton

Composites	
Matériaux naturels	

- * Les céramiques sont des composés minéraux non métalliques et cristallins. Les verres sont des solides non cristallins (ou *amorphes*). La plupart des verres ne sont pas métalliques, mais on dispose à l'heure actuelle d'une gamme de *verres métalliques* aux propriétés intéressantes.
- ** Les cermet (CÉramique et METal) sont des composites : grains de céramique dans une matrice de métal.

Composites	Polymères renforcés par fibre de verre (PRFV) Polymères renforcés par fibre de carbone (PRFC) Polymères chargés « Cermets »**
Matériaux naturels	

* Les céramiques sont des composés minéraux non métalliques et cristallins. Les verres sont des solides non cristallins (ou *amorphes*). La plupart des verres ne sont pas métalliques, mais on dispose à l'heure actuelle d'une gamme de *verres métalliques* aux propriétés intéressantes.

** Les cermets (CÉRamique et METal) sont des composites : grains de céramique dans une matrice de métal.

Composites	Polymères renforcés par fibre de verre (PRFV) Polymères renforcés par fibre de carbone (PRFC) Polymères chargés « Cermets »**
Matériaux naturels	Bois Cuir Coton/laine/soie Os Roche/craie Silex/sable/agrégats

* Les céramiques sont des composés minéraux non métalliques et cristallins. Les verres sont des solides non cristallins (ou *amorphes*). La plupart des verres ne sont pas métalliques, mais on dispose à l'heure actuelle d'une gamme de *verres métalliques* aux propriétés intéressantes.

** Les cermets (CÉRamique et METal) sont des composites : grains de céramique dans une matrice de métal.

CLASSIFICATION DES MATÉRIAUX

sont étroitement liées à la nature des liaisons chimiques entre les atomes qui les constituent.

Matériaux métalliques.

Ce sont les métaux purs et leurs mélanges, ou alliages, comportant essentiellement des **liaisons métalliques**.

Matériaux organiques.

Ce sont les matériaux d'origine biologique, les polymères et élastomères de synthèse, comportant des liaisons covalentes et des liaisons faibles.

Matériaux minéraux.

Ce sont les roches, oxydes, verres minéraux, céramiques comportant des liaisons ioniques et/ou des liaisons covalentes.

Matériaux composites.

Ils associent de manière structurée à fine échelle des matériaux différents, appartenant éventuellement à des classes différentes parmi les trois précédentes.