



**Université de Relizane**  
**Faculté des Sciences et Technologie**  
**Département de Génie Mécanique**  
**-2021/2022-**



**Technologie de Base**  
**2<sup>ème</sup> Génie Mécanique**

- Chapitre I: Matériaux
- Chapitre II: Elaboration des matériaux
- Chapitre III: Usinage des matériaux
- Chapitre IV: Assemblage des matériaux

# Préliminaire

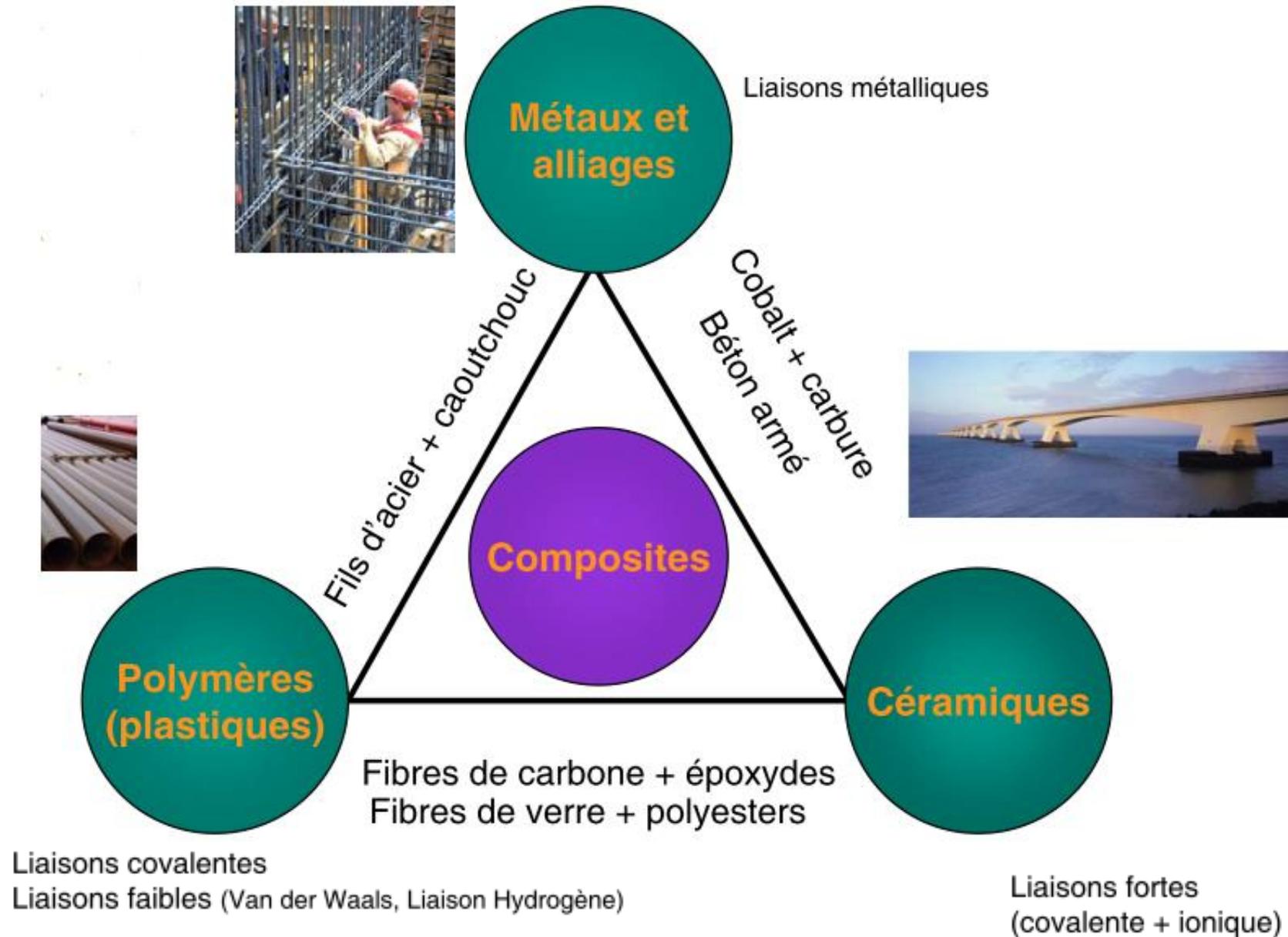
## Qu'est qu'un matériau?

Un matériau est la matière choisie en raison de ses propriétés d'usage spécifiques et mise en œuvre par des techniques appropriés pour l'obtention d'un objet de géométrie donnée à fonction préméditée.

Le choix d'un matériau dépend de plusieurs critères :

- Caractéristiques *mécaniques* : élasticité, plasticité, résistance à la rupture, résistance à l'usure, ténacité, tenue à la fatigue, au fluage...
- Caractéristiques *physico-chimiques* : comportement à la corrosion, vieillissement...
- Caractéristiques de *mise en œuvre* : usinabilité, soudabilité, trempabilité...
- Caractéristiques *économiques* : prix, disponibilité, capacité au recyclage, expérience industrielle, durée de vie...

# La classification des matériaux



# Electronégativité croissante

Electronégativité croissante

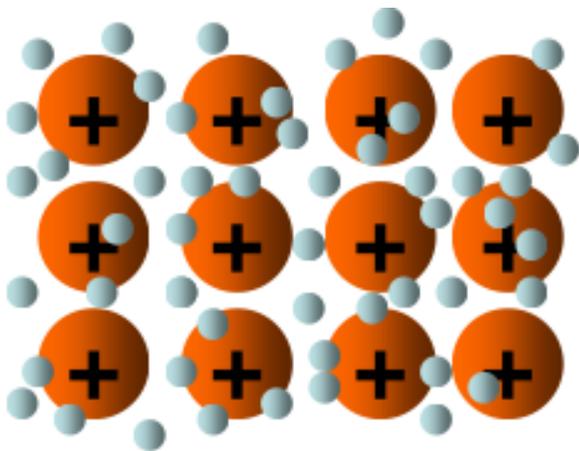
1	2,2 H																	2 He	
3	0,98 Li	1,57 Be																	10 Ne
11	0,93 Na	1,31 Mg																	18 Ar
19	0,82 K	1 Ca	1,36 Sc	1,54 Ti	1,63 V	1,66 Cr	1,55 Mn	1,83 Fe	1,88 Co	1,91 Ni	1,9 Cu	1,65 Zn	1,81 Ga	2,01 Ge	2,18 As	2,55 Se	2,96 Br	36 Kr	
37	0,82 Rb	0,95 Sr	1,22 Y	1,33 Zr	1,6 Nb	2,16 Mo	2,1 Tc	2,2 Ru	2,28 Rh	2,2 Pd	1,93 Ag	1,69 Cd	1,78 In	1,96 Sn	2,05 Sb	2,1 Te	2,66 I	54 Xe	
55	0,79 Cs	0,89 Ba	1,1 La	1,3 Hf	1,5 Ta	1,7 W	1,9 Re	2,2 Os	2,2 Ir	2,2 Pt	2,4 Au	1,9 Hg	1,8 Tl	1,8 Pb	1,9 Bi	2 Po	2,2 At	86 Rn	
87	0,7 Fr	0,9 Ra	1,1 Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn							

58	1,12 Ce	1,13 Pr	1,14 Nd	1,13 Pm	1,17 Sm	1,2 Eu	1,2 Gd	1,2 Tb	1,22 Dy	1,23 Ho	1,24 Er	1,25 Tm	1,1 Yb	1,27 Lu
90	1,3 Th	1,5 Pa	1,7 U	1,3 Np	1,3 Pu	1,3 Am	1,3 Cm	1,3 Bk	1,3 Cf	1,3 Es	1,3 Fm	1,3 Md	1,3 No	1,3 Lr

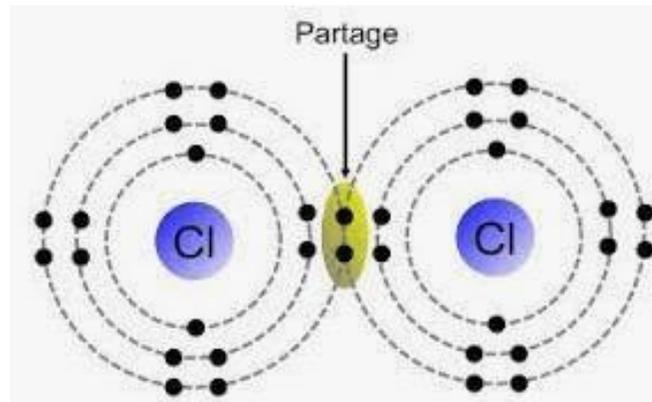
## Deux types de liaisons :

- liaison primaire ou chimique (forte): seulement les couches d'électrons externes de l'atome sont impliquées. La condition couche vide/pleine est remplie (*covalente, ionique, métallique*)
- liaison secondaire ou physique (faible): plus faible que les liaisons primaires, influence les propriétés physiques du matériau (*Van der Waals, hydrogène*).

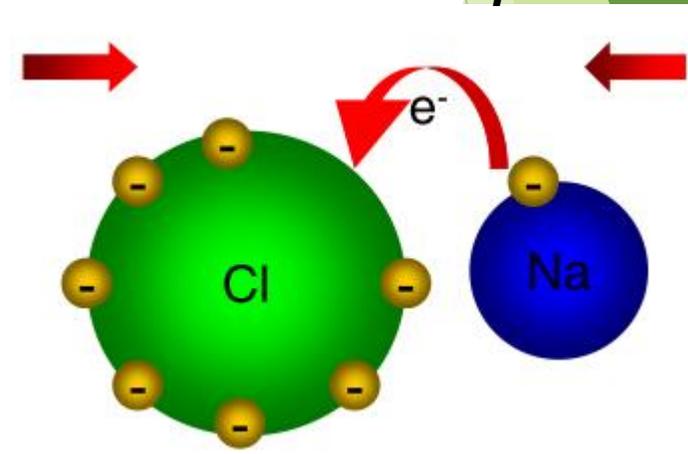
### Métallique



### Covalente



### Liaison ionique



Diamant, Si, Ge

**Covalente**

**Polymères**

graphite

**Céramiques**

SiO<sub>2</sub>

mica

**Métaux**

Fe, Ni, Co

**Métallique**

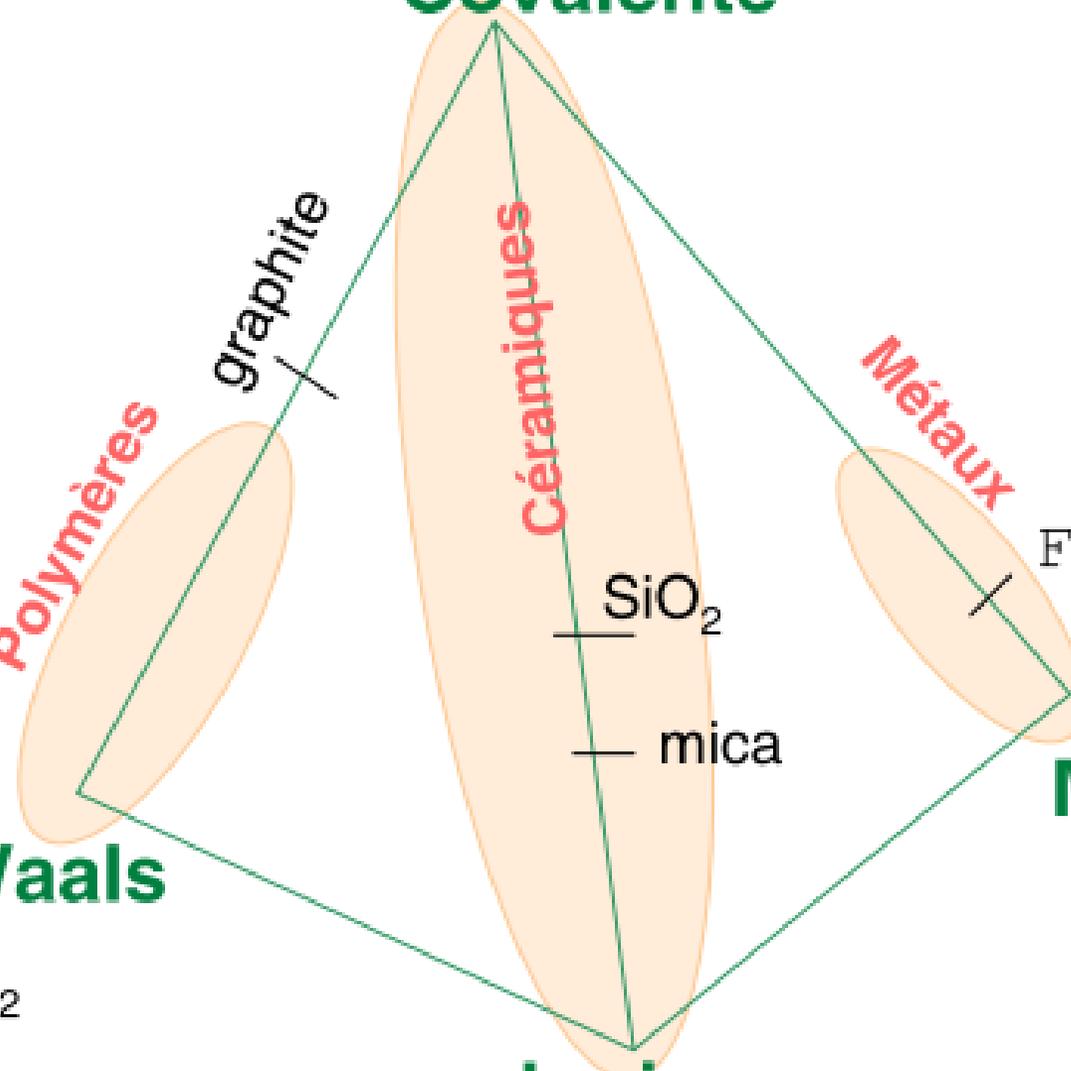
Cu, Na, Ag

**Van der Waals**

H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>

**Ionique**

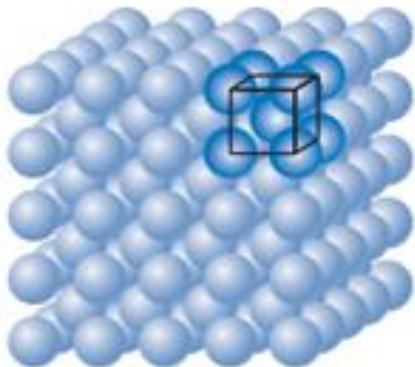
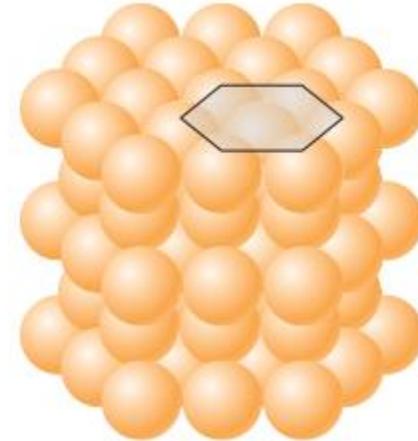
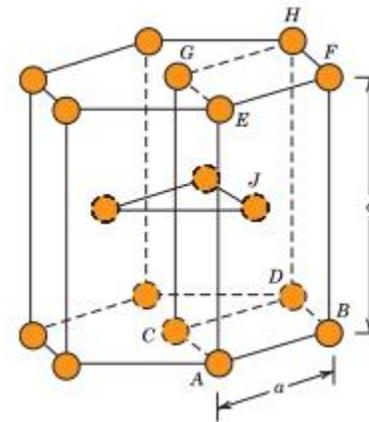
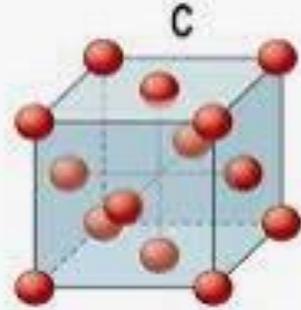
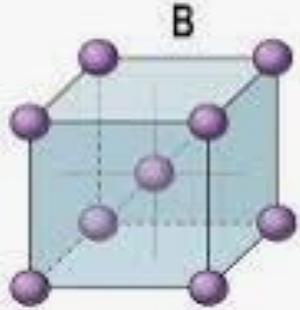
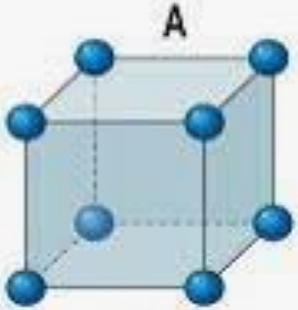
NaCl, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



# Métaux et alliages

Les métaux ont une structure cristalline. Les plus fréquentes de ces structures cristallines sont celles cubique centrée (cc), cubiques à faces centrées (cfc) et hexagonale compacte (hc).

Les métaux qu'utilisent les ingénieurs sont rarement des corps purs ou des mélanges parfaitement homogènes ; se sont souvent des corps qui comportent plusieurs phases distinctes aux propriétés différentes. Les propriétés des matériaux dépendent du type des phases en présence et de leur répartition, autrement dit, de la microstructure des matériaux.



## Alliages des Métaux

Un alliage métallique est constitué d'un métal de base auquel on ajoute des atomes d'un autre métal en vue d'accroître ses caractéristiques mécaniques (résistance en général).

### Types d'alliages

On distingue :

a) Les alliages ferreux

Tout alliage constitué essentiellement de Fer (Fe) et de Carbone (C).

L'augmentation du pourcentage en carbone dans les aciers, accroît les caractéristiques suivantes :

- Dureté (H) [Brinell (HB), Rockwell (HR), Vickers (HV), Knoop (HK)]
- Résistance à la Rupture ( $R_m$ )
- Limite Élastique ( $R_e$ )
- Résistance Corrosion
- Résistance à l'Usure

b) Alliages non ferreux

Ils ne contiennent pas de fer mais combinent plutôt d'autres métaux.

## Caractérisation des propriétés mécaniques des métaux

L'ingénieur ne peut calculer une pièce ni déterminer les charges admissibles sans connaître les caractéristiques mécaniques du matériau qu'il compte utiliser. Entre autres, il doit savoir à partir de quelle charge la pièce commence à se déformer de façon irréversible, entraînant ainsi une modification de sa géométrie, et à partir de quelle charge il y a risque de rupture. Le but des essais mécaniques est d'obtenir des valeurs des propriétés qui seront utilisables dans les calculs de résistance des matériaux ou qui permettront d'apprécier le comportement d'un matériau en service.

En règle générale, pour être valable et donner des mesures significatives, les essais mécaniques doivent mettre en jeu des états de contraintes simples et connus, d'interprétation facile et non équivoque. De plus, ils doivent être reproductibles : les résultats obtenus par un laboratoire doivent être utilisables de façon universelle et avoir partout la même signification.

C'est pourquoi les organismes nationaux et internationaux normalisent ces essais. Citons, à titre d'exemples, les organismes de normalisation suivants : l'ASTM (American Society for Testing and Materials, USA), l'ACNOR (Association Canadienne de normalisation), l'AFNOR (Association Française de normalisation), l'ISO (International Standardization Organization) (Organisation internationale de normalisation). La normalisation des essais porte sur la géométrie des éprouvettes et sur leur prélèvement, sur les machines d'essai et leur étalonnage, sur les techniques expérimentales mises en œuvre et sur le dépouillement et la présentation des résultats.

Les propriétés mécaniques concernent :

- La déformation d'un matériau soumis à une force ;
- La résistance à la rupture ( $R_m$ ) : caractérise la contrainte maximale que peut supporter un matériau avant de se rompre ;
- La dureté (H) : résistance d'un matériau à la pénétration ;
- La ductilité : capacité du matériau à se déformer de manière irréversible avant de rompre ;
- La rigidité : fonction de l'intensité des liaisons entre atomes ou molécules (module d'Young) ;
- La ténacité : capacité d'un matériau à emmagasiner de l'énergie avant sa rupture.

# POLYMÈRES

Le mot polymère vient du grec « polus » plusieurs, et « meros » partie. Un polymère est une macromolécule, organique ou inorganique, constituée de l'enchaînement répété d'un même motif, le monomère (du grec monos: un seul ou une seule, et meros ; partie), reliés les uns aux autres par des liaisons covalentes. Les chaînes de polymères interagissent entre elles avec des forces plus faibles comme les liaisons de van der Waals. Les propriétés des polymères dépendent notamment du type de monomère(s), de la nature de leur assemblage et du degré de polymérisation.

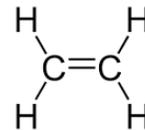
Macromolécule  $\dots\mathbf{M-M-M-M-M-M}\dots = [-\mathbf{M}-]_n$  l'unité constitutive est  $\mathbf{M}$ ; elle est formée d'un groupe d'atomes qui se répète. Les réactions chimiques permettant de passer d'un monomère  $\mathbf{M}$  à la macromolécule  $[-\mathbf{M}-]_n$  s'appellent polymérisation.

$\mathbf{M}$ = motif monomère (motif de répétition)

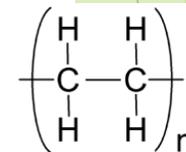
$n$ =degré de polymérisation ; nombre de fois que l'on rencontre  $\mathbf{M}$  dans la macromolécule

**Exemple : Le polyéthylène**

**Molécule d'éthylène :**



**polyéthylène:**



# Classification des polymères

## 1) Suivant leurs architecture

Les procédés modernes utilisés pour la synthèse des polymères permettent de leur conférer des structures variées :

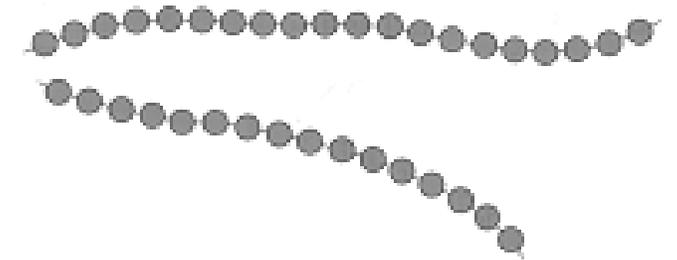
### 1. Polymères linéaires

Les monomères sont joints bout à bout en chaînes simples. Ces longues chaînes flexibles qui font penser à une masse de spaghettis. Dans le cas des polymères linéaires, les liaisons de Van Der Waals entre les chaînes peuvent être prononcées.

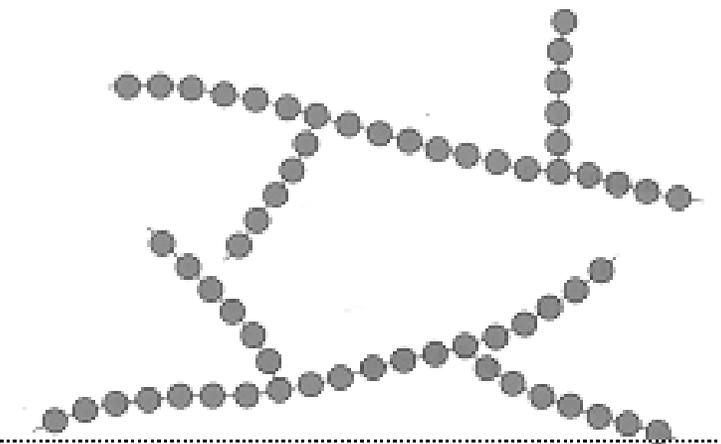
Parmi les polymères courants qui adoptent une structure linéaire figurent : le Polychlorure de Vinyle

### 2. Polymères ramifiés

Les Polymères ramifiés se caractérisent par la présence de chaînes latérales qui sont raccordées aux chaînes principales.



*a) Polymères linéaires*



*b) Polymères ramifiés*

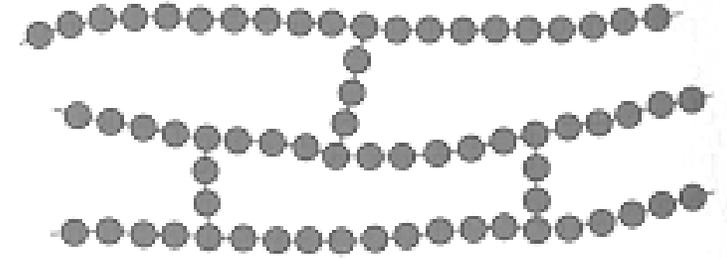
## Classification des polymères

### 3. Polymères à liaisons transversales

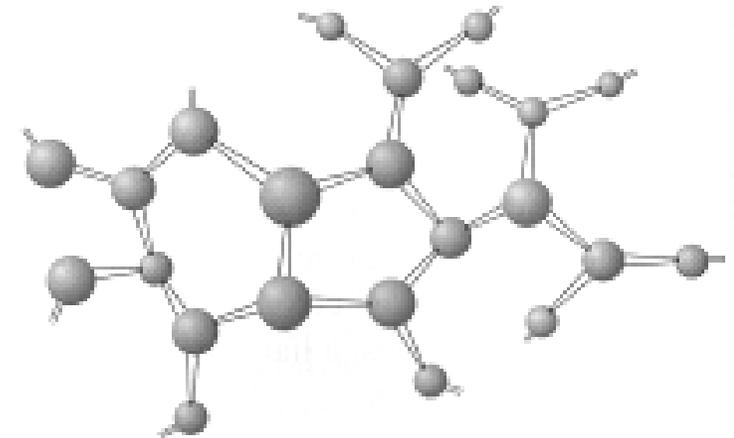
Des liaisons covalentes joignent en divers points les chaînes linéaires adjacentes. Ces liaisons apparaissent au cours de la synthèse du polymère ou à la suite d'une réaction chimique irréversible et résultent souvent de l'ajout d'atomes comme par exemple : le caoutchouc naturel comporte des liaisons transversales d'atomes de S.

### 4. Polymères réticulés

Les monomères à liaisons covalentes forment des réseaux tridimensionnels et sont plus rigides. Les époxydes appartiennent à ce groupe.



*c) Polymères à liaisons transversales*



*d) Polymères réticulés*

## II) Suivant leurs propriété

### **1. Thermoplastiques**

Très nombreux, ils sont les plus utilisés. Ils sont des polymères linéaires ou ramifiés. Ils ramollissent à la chaleur. Ils peuvent être refondus et remis en œuvre plusieurs fois. Cette matière conserve de façon réversible sa thermoplasticité initiale.

### **2. Thermodurcissables**

Ils commencent par se ramollir sous l'action de la chaleur. Les molécules sont réticulées pendant le durcissement pour atteindre un état solide qu'elle conservera sous forme irréversible.

### **3. Elastomères**

Ce sont des matériaux amorphes, mais avec quelques pontages entre les chaînes macromoléculaires linéaires, ces liaisons sont assurées par des atomes C, S ou O. La réaction permettant d'établir ces liaisons covalentes est la vulcanisation. Cette opération confère aux élastomères une structure tridimensionnelle très souple et très déformable, car le taux de réticulation est faible. Ils se distinguent par leur grande capacité de déformation réversible qui peut atteindre 1000%.

## Les températures clés : $T_g$ , $T_f$

Nous considèrerons que la température de transition vitreuse d'un matériau  $T_g$ , est la température en-dessous de laquelle les molécules ont une faible mobilité relative. La température  $T_g$  est habituellement utilisée pour les phases totalement ou partiellement amorphes.

### a) État vitreux : $T < T_g$

Dans une phase cristalline, les molécules sont rangées et alignées. Elles n'ont en revanche aucun ordre dans une phase vitreuse : elles forment des pelotes enchevêtrées. La mobilité des molécules de la phase vitreuse est d'autant plus faible que la température est basse. Ce qui confère à tous les polymères en général une bonne rigidité, une bonne résistance mécanique, et une faible capacité de déformation.

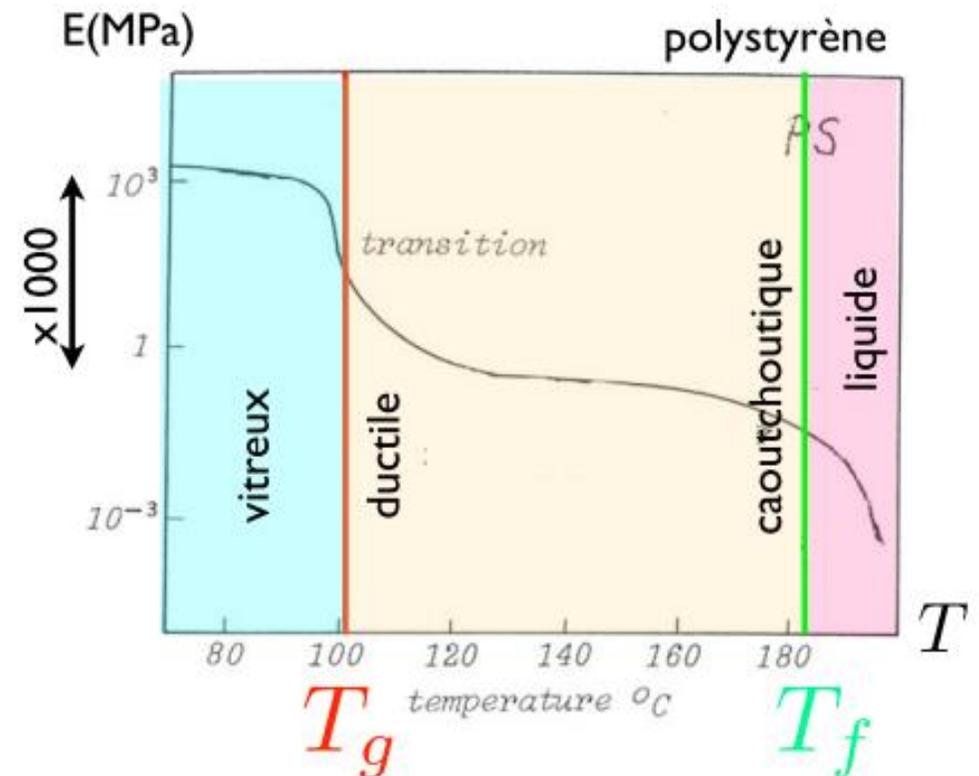
### b) État caoutchoutique : $T_g < T < T_f$

Lorsque la température augmente, le nombre de liaisons de faible intensité, Van der Waals, diminue ce qui libère les mouvements moléculaires. Le polymère devient souple et capable de se déformer élastiquement ou plastiquement sans rupture.

### c) État fluide : $T_f < T$

Les polymères thermoplastiques (non-réticulés) sont complexes car, en plus de posséder une température de fusion,  $T_f$ , au-dessus de laquelle leur structure cristalline disparaît.

Cet état ne concerne que les thermoplastiques. La phase cristalline n'existe plus car  $T > T_f$ , le matériau s'écoule comme un fluide.

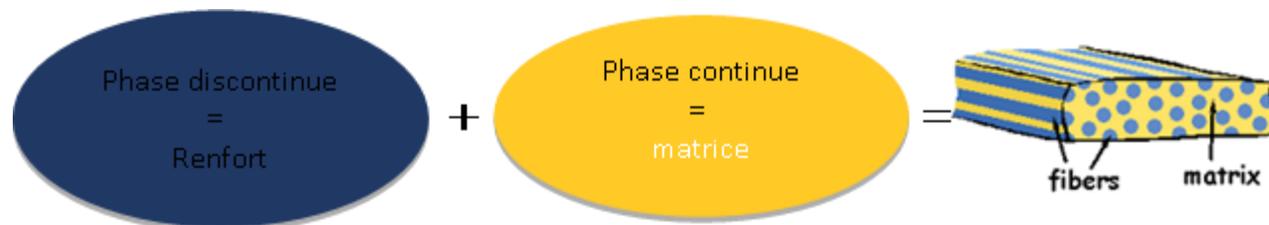


# Matériaux composites

La technologie moderne a besoin de matériaux qui allient à la fois rigidité, résistance mécanique, ténacité élevée et une grande légèreté. Aucun matériau simple ne permet de combiner ces caractéristiques mécaniques. Pour atteindre cet objectif il faut nécessairement utiliser un matériau composite.

## Définition

Un matériau composite est constitué de différentes phases nommées renforts et matrice. Les renforts se présentent sous forme de fibres (continues ou discontinues) ou particules. Le rôle du renfort est d'assurer la fonction de résistance mécanique aux efforts. La matrice assure la cohésion entre les renforts de manière à répartir les sollicitations mécaniques. L'arrangement des fibres, leur orientation permettent de renforcer les propriétés mécaniques de la structure.



## Classification des composites

⇒ Suivant la forme des constituants

Fibres

Particules



⇒ Suivant la nature des constituants

Composites à matrice organique

Fibres minérales : ex (C, verre)

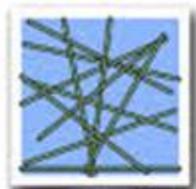
Fibres organiques : ex (kevlar)

Fibres métalliques : ex (Al)

Composites à matrice minérale (C,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $MgO$ , SiC...)

Composites à matrice métallique :

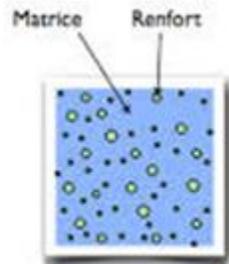
ex(alliages d'aluminium)



(a)



(b)



(c)

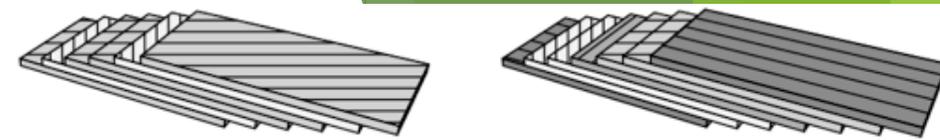
# Structures des composites

## 1. Structures en stratifiées

Les structures stratifiées sont constituées de couches successives de matériaux composites. Ces couches sont également nommées plis. Elles sont liées par de la résine. Ces pièces structurelles sont réalisées en optimisant les directions des renforts en fonction des charges qu'elles doivent subir. L'interface interlaminaire assure le transfert des déplacements et des contraintes normales d'une couche à une autre.

## 2. Structures en sandwich

Les structures composites subissant des sollicitations de type flexion ou torsion sont généralement construites en matériaux sandwichs. Une structure sandwich est composée d'une âme et de deux peaux en matériaux composites. L'assemblage est réalisé par collage à l'aide d'une résine. Les âmes les plus utilisées sont de type nid d'abeilles, âme ondulée ou mousse. Ces structures ont une grande rigidité en flexion et torsion.

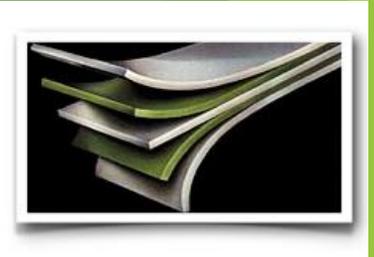


(a)  $[-45/45/-45/-45/45/-45]$

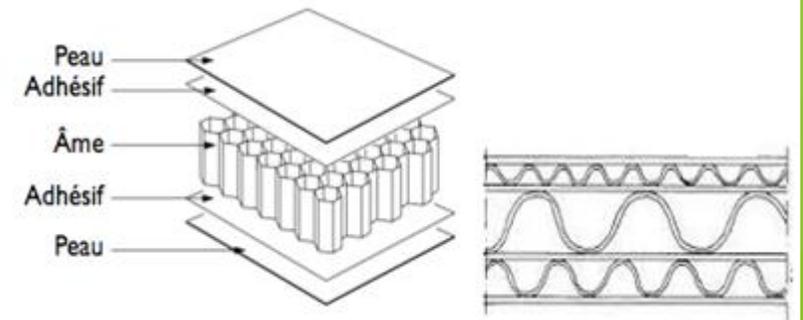
(b)  $[0/45/45/90/-45/-45/0]$



(a)



(b)



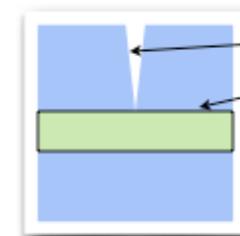
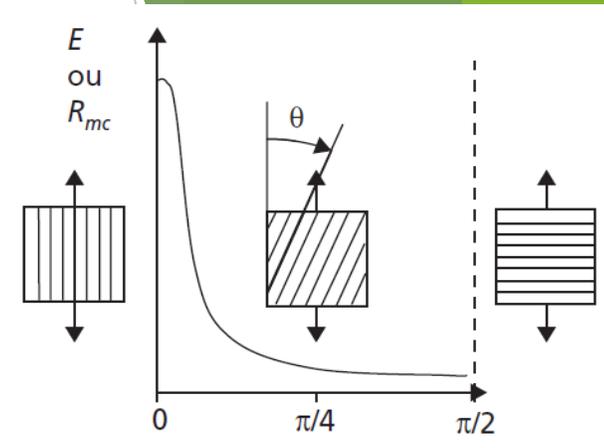
## Comportement mécanique des composites

### Rôle des fibres

L'orientation des fibres longues parallèlement aux contraintes mécaniques, dans les composites fibreux, permet un transfert quasi-total de charges vers les fibres, ce qui rend possible la réalisation des composites légers et résistants. Dès que la contrainte normale maximale (en traction ou compression) s'écarte de la direction des fibres, l'effet de renforcement chute très vite.

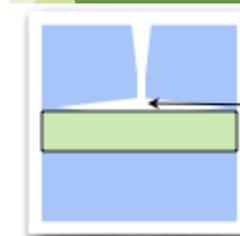
### Rôle des interfaces

Les composites étant des matériaux hétérogènes, ils possèdent des *interfaces*, ce terme utilisé dans le domaine des matériaux composites, pour décrire la surface ou la zone qui sépare la fibre et la matrice (discontinuité macroscopique). C'est dans cette zone que s'effectue précisément le transfert de charge de la matrice vers le renfort (ou vice versa) et elle est également le siège de concentration de contraintes résiduelles lors de la préparation du composite. *Les interfaces ont la propriété de dévier les fissures* : lorsqu'une fissure se propage dans la matrice et atteint l'interface, elle ne traverse pas les renforts mais elle change de direction et suit l'interface. En d'autres termes, au lieu d'une rupture brutale, on observe plutôt une décohésion, c'est-à-dire un décollement progressif entre les renforts et la matrice



(a)

Fissure  
Interface



(b)

Décohésion